

УДК 332.1

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ДОБЫЧИ РУДНОГО ЗОЛОТА

А.А. Брагин, В.А. Черданцев

Новосибирский государственный университет
экономики и управления «НИНХ»
E-mail: reachwish@gmail.com

Цены на драгоценные металлы складываются в зависимости от ситуации на международном рынке, поэтому золотодобывающие предприятия могут повышать свою конкурентоспособность лишь за счет снижения затрат как капитальных, так и эксплуатационных.

Современная минерально-сырьевая база России и мира в целом характеризуется интенсивной разработкой освоенных в основном крупных и уникальных месторождений. Быстрое сокращение качественных и технологичных запасов большинства месторождений, ухудшение горно-геологических условий залегания горных рудных тел привело к уменьшению доли месторождений с легкообогатимыми рудами, увеличению доли месторождений с технологически упорной рудой, содержащей труднообогатимое тонкодисперсное золото.

Первостепенное значение приобретает и проблема комплексного и рационального использования полезных ископаемых. Развитие новых эффективных технологий для переработки минерального сырья является одним из важнейших факторов научно-технического прогресса. Актуальной задачей является включение в производство современных биогидрометаллургических технологий с высокой степенью извлечения металлов, отвечающих требованиям охраны окружающей среды.

Ключевые слова: золотодобыча, ресурсный потенциал, современные тенденции, инновации, охрана окружающей среды.

CURRENT PROBLEMS AND DEVELOPMENT TRENDS OF GOLD ORE MINING

A.A. Bragin, V.A. Cherdancev

Novosibirsk State University of Economics and Management
E-mail: reachwish@gmail.com

The prices of precious metals are added, depending on the situation on the international market, so gold mining companies can increase their competitiveness only by reducing the cost of both capital and operating.

Modern mineral resources of Russia and the world as a whole is characterized by intensive development of the developed mainly large and unique deposits. Rapid reduction of quality and technological stocks of most deposits, deteriorating geological conditions of occurrence of mining ore bodies has led to a decrease in the share of deposits with free-milling ores, increasing the share of deposits with technologically hard ore containing finely divided refractory gold.

Of paramount importance is the problem of integrated and sustainable use of natural resources. The development of new efficient technologies for mineral processing is one of the most important factors of scientific and technical progress. The actual problem is the inclusion of advanced production technology Biohydrometallurgical with a high degree of extraction of metals which meet the requirements of environmental protection.

Key words: gold mining, resource potential, current development trends, innovation, environmental protection.

Большинство научных разработок и публикаций последних лет в области обогащения и металлургической переработки руд благородных металлов так или иначе связаны с проблемами извлечения упорного золота и организации комплексного освоения, глубокой переработки и использования исходного и техногенного минерального сырья. В их решении принимают участие научно-исследовательские организации, предприятия и фирмы всех стран, являющихся основными производителями этого металла из рудного сырья.

В настоящее время большинство золотодобывающих предприятий применяют цианирование, включая его в различные схемы обогащения. Цианидный способ не обеспечивает высокое извлечение вкрапленного и ассоциированного тонкодисперсного золота (20–60 %) из всех типов упорных руд и оно достигается (80–90 % и более) в случае использования предварительных (до цианирования) процессов вскрытия упорного золота прокалкой, обжигом, автоклавным окислением, цементированием и другими способами. Применение цианирования негативно сказывается на окружающей среде.

Хотя мы наблюдаем стремительный рост добычи и производства в отрасли, анализируя современную ситуацию в отрасли и последние события на рынке золота, можно сказать, что перед большинством недропользователей все более остро встает задача повышения ликвидности золотодобывающих проектов. Ухудшение состояния окружающей среды и истощение природных ресурсов приводят к ужесточению экологического законодательства во многих странах. Этот факт делает актуальным согласование деятельности предприятий с экологическими требованиями и ограничениями [6].

В итоге наиболее очевидны два варианта развития отрасли: извлечение золота из упорных месторождений и переработка техногенных отвалов и хвостохранилищ, содержащих ценные компоненты. Помимо решения актуальной народнохозяйственной проблемы – ресурсосбережения и расширения сырьевой базы золота, изучение и освоение техногенных объектов важно с точки зрения экологии.

Оба варианта связаны с поиском рационального способа извлечения благородных металлов из обедненных источников. При выборе методов обогащения необходимо учитывать их влияние на окружающую среду, так как большинство традиционных технологий считаются опасными для окружающей среды [4].

Наибольшей распространенностью пользуются установка кучного выщелачивания, технология прямого цианирования.

Материалом исследования являлась проектная документация к освоению месторождений «Авляякан» и «Киранкан» по технологии прямого цианирования, а также месторождения «Аметистовое» с использованием установки кучного выщелачивания.

Резюмируем исследование вещественного состава и технологических свойств руды, проведенное в рамках научно-исследовательской работы «Разработка рациональной технологии переработки руд месторождения «Авляякан», проведение полузаводских испытаний и составление технологического регламента для проектирования предприятия» и выполненное

ОАО «Иргиредмет» (г. Иркутск, 2004 г.). Рассмотрим особенности технологии прямого цианирования на примере обоснования ее применения на месторождениях «Авляякан» и «Киранкан» (ООО «Рудник Авляякан» и ООО «Киранкан» – 2006 г.), с 2010 г. принадлежащие и разрабатываемые ОАО «Полиметалл».

Рациональный анализ золота и серебра в технологической пробе выполнен с оценкой вскрываемости металлов при стадийном измельчении руды от крупности –2,0 до –0,074 мм и отражен в табл. 1.

Таблица 1

Рациональный состав золота и серебра в руде месторождения «Авляякан»

Формы нахождения металлов и характер связи с компонентами руды	Распределение металлов			
	Золото		Серебро	
	г/т	%	г/т	%
1. Свободные, извлекаемые амальгамацией, в том числе при последовательном уменьшении крупности:	5,94	59,2	6,34	12,8
–2,0 мм	2,12	21,2	2,25	4,5
–1,0 мм	2,11	21,0	2,04	4,2
–0,16 мм	1,53	15,2	1,50	3,0
–0,074 мм	0,18	1,8	0,55	1,1
2. В виде сростков (извлекаемые цианированием)	3,90	38,8	33,60	67,8
3. Всего в цианируемых формах	9,84	98,0	39,94	80,6
4. Связанные с оксидами, гидроксидами железа, карбонатами и хлоритами (извлекаемые цианированием после обработки соляной кислотой)	0,16	1,6	5,10	10,3
5. Связанные с сульфидами (извлекаемые цианированием после обработки азотной кислотой)	0,01	0,1	0,45	0,9
6. Тонковкрапленное в породообразующих минералах	0,03	0,3	4,05	8,2
Итого по балансу	10,04	100	49,54	100

Согласно этим данным, до 98 % золота находится в доступных прямому цианированию формах. Серебро является попутно извлекаемым компонентом руд; основная доля металла (80,6 %) доступна прямому цианированию. Благодаря низкому содержанию тонковкрапленного золота и компонентов руды, связанных с сульфидами, руды месторождений «Авляякан» и «Киранкан» соответствуют практически образцовым характеристикам для обработки методом прямого цианирования [5].

В последние 30 лет наиболее динамично развивающейся технологией в золотодобывающей промышленности стало кучное выщелачивание. Метод основан на способности растворения золота, содержащегося в руде, цианидами и диффузии растворенных цианистых комплексов металлов в выщелачивающий раствор. Кучное выщелачивание заключается в многократном промывании руды, уложенной в штабель на специально подготовленном основании, цианистыми растворами, сборе дренирующих металло-содержащих растворов и последующем извлечении золота из растворов гидрометаллургическим способом.

К минеральному сырью, наиболее пригодному для переработки методом кучного выщелачивания, относится сырье, обладающее легкоцианиру-

емыми свойствами; достаточной пористостью и проницаемостью, которые обеспечивают доступ цианистых растворов к поверхности благородных металлов и диффузию растворенных цианистых комплексов в продуктивный раствор.

В условиях маломасштабного производства и значительного дефицита электроэнергии, отсутствия стационарных ее источников наиболее предпочтительным для извлечения золота из растворов КВ может оказаться метод цементации. В отличие от сорбционных методов, цементация характеризуется низкими капиталоемкостью и эксплуатационными затратами, а также низкой потребляемой электрической мощностью, что может иметь решающее значение при выборе метода переработки растворов.

Основной товарный продукт КВ – золотосеребряные слитки получают при плавке либо катодных осадков, выделяемых из щелочно-цианистых элюатов электролизом, либо золотосодержащих шламов кислотной обработки осадков цементации. Плавка обожженных золотосодержащих продуктов осуществляется в индукционной печи типа ИСТ или в руднотермической печи конструкции «Иргиредмета» производительностью от 1 до 10 кг золота за одну плавку.

Рассмотрим обоснование принятой технологии на месторождении «Аметистовое». Месторождение «Аметистовое» расположено на севере Камчатского края.

В основу технических решений проекта установки кучного выщелачивания положен «Технологический регламент для переработки руды месторождения “Аметистовое” методом кучного выщелачивания», выполненный ОАО «Иргиредмет» в 2010 г.

Результаты рационального анализа, представленные в табл. 2, свидетельствуют, что данная руда является сравнительно легко цианируемым сырьем: при крупности измельчения 98 % класса $-0,074$ мм прямым цианированием из нее извлекается 90,57 % золота [1].

Таблица 2

**Результаты рационального анализа руды месторождения «Аметистовое»
на золото и серебро**

Формы нахождения металлов и их связи с рудными компонентами	Распределение металлов			
	Золото		Серебро	
	г/т	%	г/т	%
1. В виде свободных зерен с чистой поверхностью (извлекаемое амальгамацией)	0,195	3,20	7,60	56,76
2. В виде сростков (извлекаемое цианированием)	5,330	87,37	5,00	37,34
3. Всего в цианируемой форме	5,525	90,57	12,60	94,10
4. В пленках и минералах, растворимых в соляной кислоте – карбонатах, гидроксидах железа (извлекаемые цианированием после обработки HCl)	0,130	2,13	0,17	1,28
5. Тонковкрапленные в сульфиды (пирит, арсенопирит и др.)	0,130	2,13	0,31	2,31
6. Тонковкрапленные в породообразующие минералы	0,315	5,17	0,31	2,31
7. Всего в упорной форме	0,575	9,43	0,79	5,90
Итого: в исходной руде по балансу	6,100	100	13,39	100,00

Данные месторождения были подобраны со следующим требованием: образцовые характеристики состава руды для освоения соответствующими технологиями (низкое содержание упорных компонентов и высокая доступность методу цианирования) при наиболее схожих локальных климатических показателях.

Сравнительный анализ основных показателей технологий извлечения золота из коренных месторождений является одной из основных задач настоящего исследования. При высокой степени зависимости эффективности методов от многочисленных условий и факторов, характерных для конкретных месторождений, относительность сравнения очевидна. Мы проанализировали и сравнили основные параметры производительности метода прямого цианирования на ЗИФ и установки кучного выщелачивания (УКВ), особенности технологических процессов на обоих предприятиях. Вышеописанные характеристики проиллюстрированы в табл. 3 [1, 5].

Таблица 3

Технико-экономические показатели проектов

Показатель	Технология	
	УКВ	ЗИФ
1. Золото, доступное к цианированию, %	90,57	98
2. Производительность фабрики, тыс. т/год	600	150
3. Проектное содержание золота в руде, г/т	11,01	16,59
4. Проектное содержание серебра в руде, г/т	33,35	110,75
5. Проектное извлечение золота в товарный продукт, %	75	90,62
6. Проектное извлечение серебра в товарный продукт, %	60	72,32
7. Содержание золота в хвостах цианирования, г/т	2,71	<1
8. Срок эксплуатации предприятия, лет	6	5
9. Режим работы, мес./год	6	12
10. Явочная численность работников перерабатывающего комплекса, чел.	104	346
11. Объем условной товарной продукции в натуральном выражении, кг		
12. Золото – за весь период эксплуатации	20 982	10 419
среднегодовой	3 497	2 679

В результате сравнительного анализа технико-экономических показателей мы пришли к заключению, что установка кучного выщелачивания золота – производительный и рентабельный способ обогащения забалансовых и бедных балансовых руд. Данный способ переработки золота обладает потенциалом для развития золотодобывающей промышленности ввиду коротких сроков освоения новых месторождений, невысоких капиталовложений и эксплуатационных затрат.

Несомненным преимуществом технологии прямого цианирования на золотоизвлекательной фабрике по сравнению с установкой кучного выщелачивания является то, что этот метод позволяет перерабатывать руду в замкнутом цикле, исключив неорганизованные источники выбросов реагентов. Важным следствием замкнутого цикла производства является возможность значительно снизить воздействия на водный и воздушный бассейны сопредельной территории.

Подробное изучение охраны окружающей среды и мероприятий по сокращению воздействий проектируемых предприятий позволяет нам раскрыть особенности воздействий применения технологий на территории присутствия. Мы можем сделать следующие выводы.

Кучное выщелачивание при его производительности имеет ряд недостатков:

- строительство секций кучного выщелачивания влечет за собой увеличение площади нарушенных земель;
- несмотря на наличие комплексного обезвреживания технологических вод и растворов, сохраняется вероятность загрязнения подземных вод;
- технология кучного выщелачивания является водоемким производством;
- большая степень заполнения ландшафтов твердыми отходами с остаточным содержанием вредных веществ и недоизвлеченного ценного компонента;
- орошение секций выщелачивания цианистым раствором является неорганизованным источником выбросов цианидов.

Прямое цианирование на ЗИФ имеет ряд особенностей:

- замкнутый цикл и водооборот внутри цеха гидрометаллургии с полным контролем над сбросами и выбросами позволяет сократить воздействие на окружающую среду до минимума;
- меньше площадь нарушаемых земель.

Для всех традиционных способов разработки месторождений характерно воздействие на биосферу, затрагивающее в большей или меньшей степени практически все ее элементы: водный и воздушный бассейны, землю, недра, растительный и животный мир.

Эффективность традиционных технологий зависима от минерального состава руды и величины частиц, включенных в нее компонентов. С увеличением технологической упорности значительно снижается извлечение ценного компонента [1, 5].

Достигнутая ступень развития технологии кучного выщелачивания, обеспечивает работой примерно 20 действующих производств в разных регионах, преимущественно тяготеющих к центральному и южному Уралу, югу Сибири и Дальнего Востока и, как правило, оперирующих в диапазоне от 100 тыс. т до 1,5 млн т руды в год при средних содержаниях золота от 0,9 до 1,3 г/т, позволяет продолжать такую деятельность с очень медленно текущим прогрессом в этой сфере. Это обуславливает и определенное замедление распространения процесса КВ по регионам и секторам горно-металлургической сферы, наблюдающееся с конца 2000-х гг.

Развитие сферы применения установок кучного выщелачивания, наверняка, возможно при усложнении и укрупнении производств – модификации производственного процесса, включении биогидрометаллургических этапов переработки, применении дамбового выщелачивания, эффективно и широко применяющихся вкуче с УКВ способов за рубежом. Также возможно и расширение числа простых и малопроизводительных установок в различных регионах и сферах, что дало бы также увеличение числа потенциальных «точек роста» производств КВ и распространение их в малоосвоенных частях страны, где применение иных рудных производств пока

невозможно. Работа в обоих направлениях принесла бы больше опыта и позволила бы укрепить конкуренцию и в сфере исследований и проектирования, и в сфере материально-технического обеспечения для таких производств.

Накопленный к настоящему времени опыт КВ вполне достаточен в качестве основы для начала работ в этой сфере.

Следует добавить, что сочетание кучного и дамбового выщелачиваний очень хорошо подходит для вовлечения в повторную переработку лежащих рудных отвалов (а иногда — и хвостов обогащения вместе с ними), позволяя одновременно доизвлечь содержащиеся там металлы и рекультивировать места прежних работ. В таких случаях нередко «кондиционное» содержание может быть значительно ниже за счет того, что затраты на добычу такого сырья в основном уже понесены, а затраты на транспортировку производятся в рамках статьи на «рекультивацию».

Ускорению прогресса в рассматриваемой сфере могла бы способствовать более энергичная конкуренция между исследователями и проектировщиками. В частности, для организации лаборатории КВ не требуется существенных затрат, сложного дорогостоящего оборудования и персонала высокой квалификации, однако независимость таких лабораторий и размещение их вблизи мест концентрации основных клиентов могли бы существенно сократить сроки и стоимость исследований и ускорить прогресс в рассматриваемой сфере, обеспечив при этом такие лаборатории устойчивым объемом заказов.

Пример Австралии, в начале 1980-х увеличившей добычу золота, во многом за счет применения КВ с примерно 80 т до более чем 330 т в год за 5–6 лет показывает, насколько велика может быть роль этого метода в развитии добычи золота и других металлов в России [2].

В качестве альтернативного метода обогащения может быть предложен биохимический способ. Он включает вскрытие упорных золотых руд бактериальным выщелачиванием (с помощью бактерий, например, *Thiobacillus ferrooxidans*). Преимущество данного метода в том, что бактериальное выщелачивание заменяет экологически вредные традиционные способы вскрытия упорных руд и уменьшает расход цианидов при извлечении драгоценного металла.

При бактериальном выщелачивании сульфидных мышьяковистых руд тионовые бактерии путем окисления разрушают кристаллическую решетку сульфидов и вскрывают пирит или арсенопирит, обеспечивая реагентам доступ к вкраплениям золота. Это позволяет исключить дорогостоящий процесс обжига, загрязняющий атмосферу ядовитыми соединениями мышьяка. В результате обеспечивается высокая степень извлечения металла, около 90 %, тогда как без предварительной бактериальной обработки упорных руд выщелачивание золота не превышает 60–70 % [4].

Опыт ЗАО «ЗДК «Полус» на горно-обогательном комбинате Олимпиадинский доказывает, что бактериальное выщелачивание конкурентоспособно благодаря большей степени извлечения золота (90 %), снижению расхода реагентов при экстракции металлов, а также меньшему негативному влиянию на окружающую среду.

Проведенное исследование доказывает, что применение цианирования допустимо и оправдывает себя только при освоении легкообогатимых месторождений и при извлечении золота в условиях растущей тенденции освоения труднообогатимых руд становится все менее рентабельным и эффективным.

Предполагается, что микробиологическая технология позволит перерабатывать руды и отходы, использование которых обычными методами нерентабельно.

Недостатком данной технологии является сравнительно высокое остаточное содержание недоизвлеченного золота (вкрапленного в упорные породы) в хвостах выщелачивания и большая степень загрязнения экосистемы. Причиной этому, по результатам нашего анализа, является применение цианирования на этапе секционного вскрытия измельченной руды. Замещение цианистого выщелачивания бактериальным позволит включить в переработку тонкодисперсное золото, содержащееся в упорной руде.

Биотехнологии позволят исключить загрязнение окружающей среды неорганизованными выбросами испарений цианистых растворов при обработке ими секций. Замещение цианирования биохимическими способами извлечения золота в процессе кучного выщелачивания позволит, как доказывают результаты нашего анализа, снизить воздействие на водный и воздушный бассейн, животный и растительный мир.

Литература

1. Дополнение к ТЭО (проект) строительства горно-обогатительного предприятия на месторождении «Аметистовое» (шифр 375/05). Установка кучного выщелачивания. Проектная документация. Раздел 5 «Сведения об инженерном оборудовании, о сетях инженерно-технического обеспечения, перечень инженерно-технических мероприятий, содержание технологических решений». Подраздел 7 «Технологические решения». Книга 1. «Сырьевая база. Установка кучного выщелачивания». Новосибирск, ЗАО «Золотопроект», 2009.
2. *Кашуба С.Г., Лесков М.И.* Кучное выщелачивание в российской практике — обзор опыта и анализ перспектив // Золото и технологии. Март № 1 (23). 2014. С. 10–14.
3. *Лодейщиков В.В.* Технология извлечения золота и серебра из упорных руд. В 2-х т. Иркутск: Иргиредмет, 1999. 786 с.
4. *Луцаков А.В., Быховский Л.З., Тигунов Л.П.* Нетрадиционные источники попутного получения золота: проблемы и пути решения // Минеральное сырье. Серия геолого-экономическая. М.: ФГУП ВНИИ минер. сырья им. Н.М. Федоровского (ВИМС), 2004. № 14. 82 с.
5. Технологический регламент для переработки руды месторождения «Аметистовое» методом кучного выщелачивания. Иркутск: ОАО «Иргиредмет», 2010.
6. *Цускман Е.И., Черданцев В.А.* Потенциальные возможности применения экологического аудита в целях снижения административного давления на предприятия и развития природоохранного бизнеса // Проблемы экономики и менеджмента. 2015. № 2 (42), февраль. С. 96–99.
7. Золотодобыча. [Электронный ресурс]. URL: <http://zolotodb.ru> (дата обращения: 10.05.2015)
8. Союз золотопромышленников, Аналитика Союза золотопромышленников [Электронный ресурс]. URL: <http://goldminingunion.ru> (дата обращения 25.04.2015).

9. Kitco Inc. – Past Historical London Fix. [Электронный ресурс]. URL: http://www.kitco.com/charts/techcharts_gold.html (дата обращения 10.05.2015).
10. *Cobbina S.J., Myilla M., Michael K.* Small Scale Gold Mining And Heavy Metal Pollution: Assessment of Drinking Water Sources In Datuku In The Talensi-Nabdam District // International journal of scientific & technology research. 2013. Vol. 2, issue 1. January.

Bibliography

1. Dopolnenie k TJeO (proekt) stroitel'stva gorno-obogatitel'nogo predpriyatija na mestorozhdenii «Ametistovoe» (shifr 375/05). Ustanovka kuchnogo vyshhelachivaniya. Proektnaja dokumentacija. Razdel 5 «Svedeniya ob inzhenernom oborudovanii, o setjah inzhenerno-tehnicheskogo obespecheniya, perechen' inzhenerno-tehnicheskikh meroprijatij, sodержanie tehnologicheskikh reshenij». Podrazdel 7. «Tehnologicheskije reshenija». Kniga 1. «Syr'evaja baza. Ustanovka kuchnogo vyshhelachivaniya». Novosibirsk, ZAO «Zolotoproekt», 2009.
2. *Kashuba S.G., Leskov M.I.* Kuchnoe vyshhelachivanie v rossijskoj praktike — obzor opyta i analiz perspektiv // Zoloto i tehnologii. Mart № 1 (23). 2014. P. 10–14.
3. *Lodejshhikov V.V.* Tehnologija izvlechenija zolota i serebra iz upornyh rud. V 2-h t. Irkutsk: Irgiredmet, 1999. 786 p.
4. *Lushhakov A.V., Byhovskij L.Z., Tigunov L.P.* Netradicionnye istochniki poputnogo poluchenija zolota: problemy i puti reshenija // Mineral'noe syr'jo. Serija geologo-jekonomicheskaja. M.: FGUP VNII miner. syr'ja im. N.M. Fedorovskogo (VIMS). 2004. № 14. 82 p.
5. Tehnologicheskij reglament dlja pererabotki rudy mestorozhdenija «Ametistovoe» metodom kuchnogo vyshhelachivaniya. Irkutsk: OAO «Irgiredmet», 2010.
6. *Cuskman E.I., Cherdancev V.A.* Potencial'nye vozmozhnosti primeneniya jekologicheskogo audita v celjah snizhenija administrativnogo davlenija na predpriyatija i razvitija prirodoohrannogo biznesa // Problemy jekonomiki i menedzhmenta. 2015. № 2 (42), fevral'. P. 96–99.
7. Zolotodobycha. [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://zolotodb.ru> (data obrashhenija: 10.05.2015).
8. Sojuz zolotopromyshlennikov, Analitika Sojuza zolotopromyshlennikov. [Jelektronnyj resurs]. URL: <http://goldminingunion.ru> (data obrashhenija 25.04.2015).
9. Kitco Inc. – Past Historical London Fix. [Jelektronnyj resurs]. URL: http://www.kitco.com/charts/techcharts_gold.html (data obrashhenija 10.05.2015).
10. *Cobbina S.J., Myilla M., Michael K.* Small Scale Gold Mining And Heavy Metal Pollution: Assessment of Drinking Water Sources In Datuku In The Talensi-Nabdam District // International journal of scientific & technology research. 2013. Vol. 2, issue 1. January.