

УДК 622.7

**Г.В. Секисов, Н.М. Литвинова**

## **ИЕРАРХИЧЕСКАЯ СИСТЕМА СКВОЗНАЯ РУДОПОДГОТОВКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ**

*Рассмотрены проблемы повышения качества переработки труднообогатимого золотосодержащего сырья. Проведен сравнительный анализ способов интенсификации процессов рудоподготовки на основе изучения действующих основных схем переработки руд Дальневосточного региона и предлагаемых разработок в этой области. Приведены результаты исследований интенсификации процессов рудоподготовки на основе физико-химического воздействия.*

*Ключевые слова: золотосодержащее сырье, переработка руд, Дальневосточный регион, рудоминеральная подготовка.*

**З**начительную часть минерально-сырьевой базы на Дальнем Востоке составляют месторождения бедных, тонковкрапленных и разряда труднообогатимых руд, причем большинство месторождений представлено труднообогатимыми золотомышьяк – серосодержащими рудами. Примерами таких месторождений в Дальневосточном регионе могут служить Майское, Нежданкинское, Наталкинское, Албазинское, Учаминское, Лебединое, Куранахское, Маломырское, Ключус, Ледяное, Колчеданный Утес, Березитовое, Кировское, Золотая Гора, Верхнемынское, Придорожное, Жильное, Буровое, Ягодное, Нонинское, Хаканджинское и др.

При ограниченных запасах руд ряда месторождений они характеризуются еще и низким содержанием полезных компонентов и невысоким уровнем их извлечения. Большая часть золота в таких рудах находится в тонкодисперсном состоянии и (или) связано с арсенопиритом, пиритом, углеродом, кварцем.

Выбор наиболее рационального метода переработки упорных золотосодержащих руд для каждого конкретного объекта осуществляется исходя из совокупности следующих факто-

ров: минеральный состав исходного сырья и форма нахождения золота в руде; необходимого уровня извлечения золота в конечную товарную продукцию; защита окружающей среды от воздействия токсичных отходов.

В основном, технологические схемы перерабатываемых руд Дальневосточного региона являются традиционными и включают минеральную рудоподготовку сырья, его механическое обогащение, химико-металлургическую переработку, аффинаж или рафинирование.

Отказ предприятий от гравитационных процессов перед цианированием в ряде случаев приводит к снижению сквозного извлечения золота и накоплению в хвостах цианирования свободных крупных, раскрытых золотин.

Несмотря на значительное количество научно-технических решений и предложений, среди металлургических процессов извлечения золота на предприятиях продолжают использовать (или предусматривают использование при разработке проектов) технологию цианидного вскрытия золота.

Введение в эксплуатацию месторождений забалансовых руд и минеральных отходов горно-обогатительных предприятий делает в большинстве

случаев цианирование экономически невыгодным. Для такого типа руд наиболее перспективными являются способы кучного и подземного выщелачивания, что предъявляет более жесткие требования к токсичности используемых растворителей. Опытно-промышленные установки кучного выщелачивания на территории Дальнего Востока введены в эксплуатацию на Куранахском, Лопуховском, Самозаводском, Таборном, Межсопочном рудных полях в Якутии, Комсомольской залежи в Хабаровском крае, Покровском и Бамском месторождениях в Амурской области [1]. Однако технология кучного выщелачивания при всех своих преимуществах имеет и определенные недостатки, ограничивающие область ее применения, в частности при выщелачивании не извлекается золото, заключенное в кварце и тонковкрапленное в пирите.

Другой важной проблемой при этом, требующей безотлагательного решения, является экологическая. Для ее решения проводится разработка альтернативных цианистому процессу методов – выщелачивание благородных металлов с менее негативными экологическими последствиями с использованием гипохлорита, галогенидов, тиомочевины, тиосульфатов и некоторых других активных реагентов [2], [3].

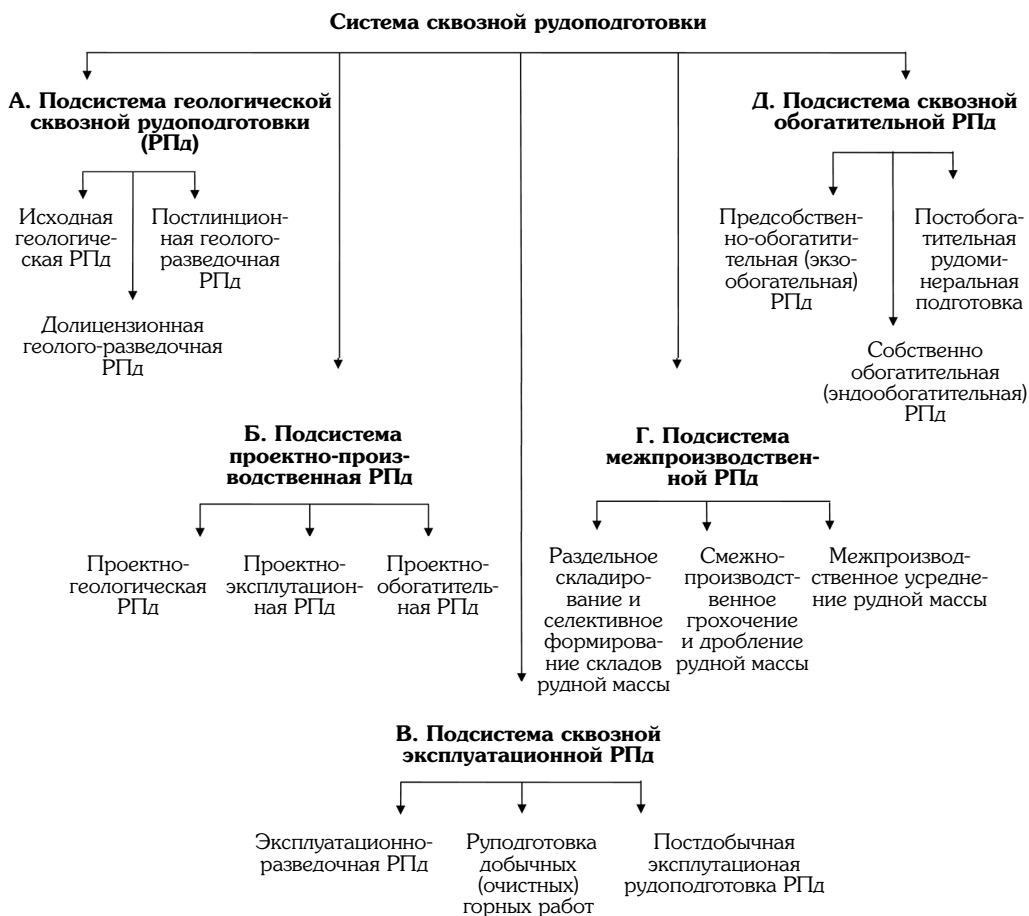
Применяемые в настоящее время технологии обогащения таких руд сложны и в тоже время не обеспечивают высокого уровня извлечения. Это требует дополнительных исследований для создания экономически эффективных и экологически безопасных технологий извлечения тонкодисперсного золота. Поэтому требуются новые подходы к обеспечению решения проблемы рационального обогащения таких руд.

Следует отметить, что в последнее время начала развиваться теория на-

правленного радикального изменения технологических свойств минералов, однако сделаны пока только первые шаги. Развитие фундаментальных исследований в этом направлении явится залогом решения таких крупных и актуальных проблем, как эффективное извлечение благородных металлов, ассоциированных с халькогенидными минералами, пиритом и арсенопиритом.

В связи с этим в настоящее время проблемы повышения селективности, напряженности, интенсификации обогащительных процессов и надежности использования оборудования могут быть эффективно решены, если при переработке труднообогатимых руд неотъемлемым подготовительным процессом станет организационно-технологическая система направленного изменения техно-логических свойств разделяемых полезных минералов и, прежде всего, повышения их контрастности. Минеральная подготовка – интегральная категория по отношению к процессам подготовки любого минерального сырья, которая должна стать единой системой способов и технологических приемов целенаправленного физического, биологического, механического воздействия на полезное ископаемое, минеральное сырье и промпродукты, обеспечивающих повышение их качества, раскрытие минеральных зерен, улучшение их поверхностных свойств и стабилизацию основных технологических параметров [4].

Данная организационно-технологическая система должна представлять собой иерархическую систему сквозной рудоминеральной подготовки, начиная с общегеологической и в производственном отношении – с геологоразведочной стадий, а завершая минеральноподготовительной операцией при получении готовой минеральной продукции. На рис. 1 пред-



**Рис. 1. Общий состав иерархической системы сквозной рудоподготовки**

ставлена схема, отражающая общий состав иерархической системы сквозной рудоподготовки.

Подлинно рациональная рудоподготовка, обеспечивающая в пределе максимально возможную обогатимость рудоминеральной массы (при современном уровне техники и технологии, экономической целесообразности и экологической безопасности, а также при конкретном качестве руды в массиве) может быть достигнута лишь при комплексном научно – техническом обосновании и проектной разработке и прогрессивной материализации, последовательной и полной реализации иерархической системы сквозной под-

готовки к переработке минерального сырья.

Осуществляемая ныне горнодобывающими и горно – металлургическими предприятиями страны рудоподготовка (при освоении рудных месторождений) пока еще далека от такой системы. Исключение в определенной мере, представляет лишь подсистема обогатительной рудоподготовки, хотя и она на ряде предприятий несовершенна.

Только тесная в комплексе стратегическая, методологическая, экономическая, социально-экологическая, правовая, организационно – технологическая иерархическая и системная

взаимосвязь всех стадий и процессов освоения месторождений, положенная в основу создания и производственной реализации рациональной сквозной рудоподготовки позволит значительно повысить обогатимость бедных и трудных перерабатываемых руд.

Следует при этом отметить, что если на предыдущей стадии или процессе освоения рудного месторождения не будет обеспечена рациональная рудоподготовка (в широком ее проявлении), то на последующих стадиях, процессах и операциях не представляется возможным обеспечить соответствующий уровень обогатимости, количества и качества получаемой минеральной продукции.

В данной работе раскрывается состав общеобогатительной рудоподготовки в стадийно-вещественном аспекте, который схематично представлен на рис. 2. Схема представляет собой блок минералоподготовки завершающего иерархического уровня.

Подготовка исходного минерального сырья осуществляется на третьей стадии иерархического уровня. На стадии подготовки исходного минерального сырья осуществляется предобоганительная минеральная классификация, включающая процессы дробления и измельчения материалов, процесс отделения крупных минеральных частиц, разделение тонкозерни-

стых минеральных масс на различные классы крупности, выделение песков при классификации материала, разделение тонких минеральных частиц с помощью специальных реагентов и др.

Рациональное использование минеральных ресурсов в целом должно обеспечить не только значительное повышение качества подготовки рудоминеральной (в том числе и собственно рудной) массы к переработке, но и при этом обеспечивают стабильность гранулометрического состава, сохранение основных технологических свойств рудоминерального сырья, что в большей степени зависят от уровня и состояния техники и технологии его подготовки. Особенно это характерно для золотосодержащей рудной массы.

Высокие энергоемкость (потребление до 20% всей вырабатываемой энергии) и затраты на основные операции обогатительной рудоподготовки – дробление, обогатительное усреднение и измельчение, усложнение собственно обогатительного процесса предопределяют необходимость повышения эффективности подготовительных процессов и операций, включая их интенсификацию.

В практике переработки золотосодержащих руд наиболее часто применяются два основных типа технологических схем обогатительной рудоподготовки: с измельчением круп-



**Рис. 2. Исходный состав обогатительной минеральной подготовки в стадийно-вещественном аспекте**

нодробленной руды в мельницах типа «Каскад» с последующим доизмельчением в шаровых мельницах и с трехстадиальным дроблением исходной руды в конусных или центробежно-ударных дробилках с последующим измельчением дробленной руды в шаровых. На втором месте по распространенности следуют схемы рудоподготовки с трехстадиальным дроблением руды в центробежно-ударных дробилках (Barmac, Merlin, Титан) и последующим измельчением дробленной руды в шаровых мельницах.

Наметилась тенденция широкого использования дробильно-измельчительного оборудования производства КНР, отличающегося низкой стоимостью, но не столь высокой надежностью как отечественное [5].

Решение проблемы снижения затрат на измельчение может быть осуществлено комплексно в следующих основных направлениях:

- установление оптимальных параметров измельчения;
- поиск наиболее износостойкой и экономичной футеровки мельниц;
- разработка более экономичных измельчительных аппаратов, позволяющих снизить потери ценного компонента при переработке тонко вкрапленных руд без переизмельчения и основанных на процессе селективной дезинтеграции;
- обоснование рациональных условий и широкое использование эффективных способов воздействия на руду – термохимического и гидрохимического вскрытия, электрохимической обработки пульпы, облучения руд энергией ускоренных электронов, воздействия мощными электромагнитными импульсами, микроволновой энергией, динамического и механического удара, резонанса и кавитации, электроразрядного и электроимпульсного способов разрушения минералов, предварительной механохимической активации руд,

бактериального окисления, подачи в зону разрушения материала высокотемпературного потока жидкости, перегретого пара или горячего воздуха; обработки золотосодержащего материала горячими растворами под давлением с последующей гравитацией, создания условий для разрушения частиц руды в водной суспензии в режиме резонансного разрыва, управления циркулирующей шаров за счет воздействия электромагнитного поля, нагревания руды и др.

Для решения проблемы снижения стоимости измельчения ведутся работы по следующим направлениям: определение оптимальной мелющей нагрузки по всем параметрам измельчения; повышение эффективности работы классифицирующего оборудования; поиск наиболее износостойкой и экономичной футеровки мельницы; разработка более энергонапряженных, экономичных измельчительных аппаратов и эффективных способов воздействия на руду.

Существующие методы интенсификации подготовительных процессов требуют определенных условий для их эффективного проведения. Они энергозатратны, сложны при реализации в промышленных масштабах и условиях.

Одним из направлений решения задачи интенсификации технологических процессов переработки золотосодержащих материалов, не требующего значительного увеличения капитальных вложений, является целенаправленное изменение прочностных свойств горной породы под действием ПАВ с одновременным регулированием гранулометрического состава продукта и уменьшением выхода шламовых фракций. Все эти процессы разупрочнения горных пород, в конечном счете, сводятся к нарушению межзерновых контактов и развитию микротрещиноватости, что значительно способствует применению различного

рода поверхностно-активных веществ, которые проникают в микротрещины и поры породы, вызывают расклинивающее действие в зародышевых трещинах и способствуют снижению их прочности. В настоящее время ПАВ используются в основном для создания соответствующей среды в процессе измельчения: как ингибиторы коррозии металлов, регуляторы рН среды.

Целевым объектом экспериментально-теоретических работ являлся третий блок обогатительной подготовки – подготовка исходного минерального сырья. В результате проведенных исследований интенсификации процессов измельчения с использованием физико-химических воздействий в ИГД ДВО РАН получены следующие результаты:

1) Установлена закономерность изменения кинетических и энергетических характеристик упорных золотосодержащих руд в результате комплекса физико-химических воздействий на минеральную массу и получены математические выражения, которые представлены зависимостями:

$$a) \frac{dR}{dt} = kR^n,$$

где  $R$  – выход готового класса крупности, %;  $t$  – время измельчения, мин.;  $n$  – коэффициент, определяемый методом линеаризации кинетических кривых, характеризующий порядок процесса измельчения;  $k$  – коэффициент измельчения, изменяющийся в зависимости от вещественного состава руды;

$$b) \frac{dR}{dt} = kR^n \cdot C^m,$$

где  $C$  – расход реагента, г/т;  $m$  – коэффициент, определяемый методом линеаризации кинетических кривых, изменяющийся в зависимости от при-

меняемых интенсифицирующих добавок при измельчении.

2) В целях оценки энергетической характеристики процесса измельчения руд получено уравнение расчета величины удельной поверхностной энергии

$$\sigma_y = \frac{E}{\Delta S},$$

определяющейся соотношением энергии, затраченной на измельчение руды, к приросту удельной поверхности измельченной рудной массы; при этом установлено, что добавка эффективного реагента – борнилацетата способствует снижению удельной поверхностной энергии в 1,2 раза.

3) Выявлено, что добавка эффективных реагентов в процесс измельчения – борнилацетата и комплекса ПАВ-1, способствует раскрытию «упорных» минеральных зерен (извлечение золота при сорбционном цианировании руды Многовершинного месторождения с применением борнилацетата повышается на 8%, при флотации измельченной руды Албазинского месторождения с реагентом ПАВ-1 извлечение золота во флотационный концентрат повышается в 1,7 раза).

4) Доказано, что применение в качестве реагентов борнилацетата и комплекса ПАВ-1 позволяет снизить удельную поверхностную энергию измельчаемой рудной массы в 1,2–1,5 раза, что способствует разрушению труднораскрываемых сростков минералов [6].

Таким образом, обоснована одна из подсистем сквозной рудоподготовки минерального сырья, использование которой позволяет реализовать основные методы интенсификации и повышения эффективности в целом переработки руд различного вещественного состава.

1. Гудков С.С. Итоги освоения технологии кучного выщелачивания в золотодобыче России // Цветные металлы. 2007. № 2. С. 71–74.
2. Яшина Г.М. Изыскание нетоксичных растворителей для выщелачивания благородных металлов // Цветная металлургия. 1992. № 4. С. 12–14.
3. Пинигин С.А. Использование нецианистых растворителей в процессах переработки золотосодержащих руд и концентрат // Ресурсы Забайкалья. 2001. № 1. С. 49–52.
4. Секисов Г.В., Резник Ю.Н. Минеральная подготовка и технические системы. М.: ВЛАДМО, 2000. 392 с., 286 илл.
5. Царьков В.А. Современные схемы и оборудование для рудоподготовки, применяемые при переработке коренных золотосодержащих руд. // Новое оборудование для рудоподготовки. Золотой стандарт. 2005. № 6. С. 3–6.
6. Литвинова Н.М. Совершенствование технологических методов измельчения упорных золотосодержащих руд (на примере руд Многовершинного и Албазинского месторождений) // Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук, Хабаровск, 2008. **ГИАБ**

### КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Секисов Г.В. – заведующий лабораторией, заслуженный деятель науки РФ, доктор технических наук, профессор,  
Литвинова Н.М. – научный сотрудник, кандидат технических наук,  
Институт горного дела ДВО РАН, e-mail:adm@igd.khv.ru.

UDC 622.7

### THE ANALYSIS OF THE REGULATORY FRAMEWORK ENSURING THE SAFETY OF HYDRAULIC ENGINEERING STRUCTURES

Sekisov G.V., Head of Laboratory, заслуженный деятель науки РФ, Doctor of Technical Sciences, Professor,  
Litvinova N.M., Researcher, Candidate of Engineering Sciences,  
Mining Institute of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, e-mail:adm@igd.khv.ru.

*Discusses the problems of improvement of quality of processing of refractory gold-bearing raw materials. A comparative analysis of the methods of intensification of the processes of ore-preparation on the basis of the study of the main schemes of processing of ores in the far Eastern region and proposed developments in this area. Results of researches of the intensification of the processes of ore-preparation on the basis of physical and chemical influence.*

**Key words:** gold-bearing raw material, ore processing, Far East area, ore preparation.

### REFERENCES

1. Gudkov S.S. *Cvetnye metally*, 2007, no 2, pp. 71–74.
2. Jashina G.M. *Cvetnaja metallurgija*, 1992, no 4, pp. 12–14.
3. Pinigin S.A. *Resursy Zabajkal'ja*, 2001, no 1, pp. 49–52.
4. Sekisov G.V., Reznik Ju.N. *Mineral'naja podgotovka i tehicheskie sistemy* (Mineral preparation and engineering systems), Moscow, VLADMO, 2000. 392 p.
5. Car'kov V.A. *Novoe oborudovanie dlja rudopodgotovki. Zolotoj standart*, 2005, no 6, pp. 3–6.
6. Litvinova N.M. *Sovershenstvovanie tehnologicheskikh metodov izmel'chenija upornyh zolotosoderzhashnih rud (na primere rud Mnogovershinnogo i Albazinskogo mestorozhdenij)* (Improvement of processing methods for the rebellious gold-bearing ore grinding (in terms of Mnogovershinny and Albazinsky deposits), Abstract of dissertation for the degree of candidate of technical Sciences, Khabarovsk, 2008.