

УДК 622.7

Д.Р. Каплунов, В.А. Юков

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВЫХ ПОТОКОВ В ПОЛНОМ ЦИКЛЕ КОМПЛЕКСНОГО ОСВОЕНИЯ МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Выполнена систематизация минерально-сырьевых потоков полного цикла комплексного освоения месторождения. Выделено четыре класса потоков: прямые и возвратные рудные, прямые нерудные (потоки природных материалов), возвратные техногенные.

Ключевые слова: систематизация, полный цикл, комплексное освоение, рудные, нерудные и техногенные потоки, прямые, возвратные.

Балансовые запасы месторождений для открытой и подземной разработки истощаются. В тоже время полезные компоненты содержатся в уже вскрытых карьером и подземными выработками залежах бедных руд, в целиках, в закладке выработанного пространства, в отвальных рудах. Присутствуют они также в подотвальных и шахтных водах. После очистки сточных вод часть металла теряется в шламах. Потенциально – это товарные металлы, которые могут быть извлечены гидрометаллургическими методами. Зачастую химические свойства минерализованных рудничных вод таковы, что они могут быть использованы для выщелачивания ценных компонентов.

В настоящее время часть фактически уже вскрытых запасов остается вне пределов разработки. За проектным контуром, в бортах и основании карьеров остаются выклинивающиеся в массиве и распределенные по периметру рудные участки. В шахтных полях не полностью отрабатываются бедные руды и маломощные рудные залежи, отдаленные локальные рудные тела, запасы, расположенные в неблагоприятных горно-геологических условиях.

Зачастую в процесс освоения не вовлекаются накопленные техногенные образования.

Современный процесс освоения месторождения выглядит следующим образом. Основная часть утвержденных запасов месторождений отрабатывается методами физико-технической технологии: открытым, открыто-подземным и подземным. Получаемая рудная масса перерабатывается на обогатительных фабриках. Оставленные за контуром разработки руды отрабатываются сочетанием процессов и оборудования открытых и подземных горных работ. Для вовлечения в разработку сложных участков и труднодоступных залежей используют физико-химические и специальные технологии, применяемые с поверхности или из уже существующих выработок [1].

Методом подземного выщелачивания вовлекают в эксплуатацию забалансовые залежи руд сложного вещественного состава. Метод кучного выщелачивания используют для переработки бедных руд, размещенных в отвалах и техногенных отходов горного, обогатительного и металлурги-

ческого производств. Скважинной гидродобычей отрабатывают рыхлые, легкоразрушаемые разновидности руд. Выклинивающиеся, маломощные залежи ценных руд отрабатывают бурением скважин большого диаметра. Минерализованные стоки, зачастую имеющие кислую или щелочную реакцию, используют как активный агент в процессе выщелачивания. А их использование с различными добавками в качестве растворителей позволяет извлекать ценные компоненты из руд. Гидрометаллургическая переработка продуктивных растворов выщелачивания помимо получения дополнительной товарной продукции очищает промышленные стоки. Выработанное пространство карьера и отработанные камеры подземных работ используются для реализации процессов физико-химической технологии. Образующиеся в процессе комплексного освоения месторождения отходы используются для закладки выработанного подземного пространства и получения непрофильной продукции. При разработке рудных месторождений разными методами на переработку направляются потоки рудной массы и продуктивные растворы. В результате образуются твердые и жидкие техногенные отходы. Эти потоки отличаются не только по виду перемещаемого материала, но и по структурному состоянию и вещественному составу. Анализ решений по использованию потоков показал, что недропользователи не рассматривают большинство отходов горно-обогатительного производства в качестве дополнительного источника, повышающего эффективность освоения месторождения в целом.

На основе анализа практики разработки рудных месторождений были систематизированы (таблица) минерально-сырьевые и техногенные потоки, создаваемые в полном

цикле комплексного освоения месторождения.

Под полным циклом комплексного освоения рудных месторождений понимается извлечение запасов из недр, их переработка – извлечение ценных компонентов, получение дополнительной продукции из части отходов и дальнейшая утилизация большего их количества в выработанном пространстве, а также в смежных отраслях промышленности.

Разделительные признаки: класс выделяется по типу перемещаемого материала и направления движения потока; для разделения на группы применяется агрегатное состояние материала потока; а виды разделяются по разновидности материала потока; назначение определяется по направлению дальнейшего использования потока.

Прямые рудные потоки – это руда, рудная пульпа и продуктивные растворы.

Характеристика материала потоков дана на примере подземных горных работ. Рудный поток представлен материалом крупностью от 10–20 до 600–800 мм, а также мелочью, глинистыми частицами, содержащими сульфиды, полевой шпат, туфы, кварц и др. Рудная пульпа – смесь воды с частицами минерального сырья от мелочи до 10–25(50) мм с объемной консистенцией (Т:Ж) от 1:3 до 1:5. Продукты предобогащения – поверхностной или подземной сортировки представляют собой материал средне и крупнокусковой от 30-40-60-80 до 100–150 мм. Продукты обогащения после измельчения и флотации представлены весьма мелкой (в основном 0,074, иногда 0,043 мм) фракцией, содержащей различные компоненты руд. Продуктивный раствор содержит растворенные металлы в промышленных количествах.

Прямые нерудные потоки (потоки природных материалов) – забалансовые руды, породы открытых и подземных работ, хвосты обогащения, направляемые на хранение.

Карьерные, рудничные, подотвальные воды представляют собой минерализованные стоки. После очистки они могут быть использованы в производстве в качестве технической воды, направлены на полив сельскохозяйственных культур или сброшены в гидрографическую сеть. При кислой или щелочной реакции их целесообразно использовать для выщелачивания. Если минеральные стоки содержат растворенные металлы в количествах, представляющих промышленный интерес, их направляют на гидрометаллургический передел для доизвлечения металлов.

В связи с изменением кондиций или созданием новой технологии переработки накопленные в процессе разработки отходы после проведения геолого-оценочных работ, уточнения распределения, содержания металлов и подсчета «техногенных запасов» могут превратиться в кондиционное сырье.

(Проводится опробование, геометризация и дифференциация горно-обогатительных отходов по качеству. Для доизучения техногенных минеральных образований следует как минимум предусматривать: бурение контрольных скважин, проходку разведочных шурфов (на хвостохранилищах сетка 10х10м, глубина 0,8–1 м); комплексное изучение «вторичных руд», погоризонтное геотехнологическое опробование. В результате создается качественная и количественная характеристика полезных компонентов и полезных пород, содержащихся в техногенном образовании).

Переоцененные с новых позиций запасы техногенных образований

ставятся на учет. При их разработке образуются возвратные рудные потоки.

Возвратные техногенные потоки – некондиционные (по содержанию полезного компонента) материалы используются как для получения дополнительной основной и непрофильной продукции, так и для обеспечения условий дальнейшей отработки месторождения. После очистки минеральных стоков шлама, содержащих полезные компоненты, направляют на гидрометаллургический передел.

Исследованиями на соответствие физико-механических свойств горно-обогатительных отходов требованиям ГОСТов оцениваются возможности их использования в производстве стройматериалов (щебень, песок, вяжущие, керамзит, производства бетонов, наполнителей, керамики и т.д.). Аналогично по исследованию химического состава оценивается возможность использования отходов для производства горно-химического сырья, удобрений. Тем самым создаются условия для диверсификации производства – расширения номенклатуры выпускаемой продукции.

Отметим приготовление твердеющей закладки из хвостов с высоким содержанием шламовых частиц – 56–90 % класса минус 43 мкм – частиц коллоидных размеров. Закладка готовится в виде густой минеральной массы, где вода содержится в основном в связанном виде (в поровом пространстве) в минимально необходимом количестве (100–110 л/м³) для текучести материала. Принципиальной особенностью этой технологии является подача по трубам с помощью вибрации смесей высокой плотности с содержанием твердого до

80–82 вес. % по сравнению с 50 % в
обычных смесях.

22 Систематизация потоков полного цикла комплексного освоения месторождений

Класс	Группа	Вид	Назначение
Прямые рудные потоки	Твердые	Руда валовой выемки карьера и рудника	Первичная переработка - обогащение
		Руда селективной выемки карьера и рудника	
		Руда от предобогащения (сортировки)	
		Руда от добычи бурением скважин большого диаметра	
		Рудопоток целенаправленно сформированного качества	
	Жидкие	Продуктивные растворы скважинного выщелачивания с поверхности	Гидрометаллургический передел
		Продуктивные растворы скважинного выщелачивания законтурных руд карьера	
		Продуктивные растворы подземного (блокового) выщелачивания	
		Продуктивные растворы подземного скважинного выщелачивания	
	Пульпообразные	Руда скважинной гидродобычи с поверхности	Обогащение. При высоком содержании металла на металлургический передел
		Руда подземной скважинной гидродобычи	
		Руда гидроработки: гидромониторной, земснарядной	На обогащение.
		Руда шахтной гидродобычи	
Прямые нерудные потоки (потоки природных материалов)	Твердые	Породы карьера во внешние отвалы	Складирование.
		Забалансовые руды карьера во внешние отвалы	
		Порода рудника в поверхностные отвалы	
		Забалансовые руды рудника в поверхностные отвалы	Использование карьерного пространства
		Породы во внутрикарьерные отвалы	
		Забалансовые руды во внутрикарьерные отвалы	
	Пульпообразные	Наносные породы участка гидромеханизации во внешние отвалы	Складирование.
		Хвосты обогащения карьера и рудника в хвостохранилище	
	Жидкие	Карьерные, шахтные и подотвальные воды	После очистки: техническая вода; полив с\х культур; сброс в гидрографическую сеть. На кучное выщелачивание.

Продолжение табл.

Класс	Группа	Вид	Назначение
Возвратные рудные потоки	Твердые	Ранее забалансовые руды карьера и рудника после геолого-технологической переоценки	Первичная переработка - обогащение
		Ранее хвосты обогащения карьера и рудника после геолого-технологической переоценки	
Ранее породы карьера и рудника после геолого-технологической переоценки			
	Жидкие	Карьерные, шахтные и подотвальные воды после технологической переоценки	Доизвлечение металлов
Возвратные техногенные потоки	Твердые	Окатыши хвостов обогащения для выщелачивания на поверхности и в карьере	Доизвлечение металлов.
		Забалансовые руды карьера и рудника на кучное выщелачивание	
		Хвосты рудосортировки для выщелачивания на поверхности и в карьере	
		Шламы очистки карьерных, шахтных и подотвальных вод на гидromеталлургический передел	
		Сухая породная закладка (отвалы карьера, рудника, спец. добыча)	Обеспечение дальнейшей разработки.
		Гранулы для будущего водного выщелачивания	Создание техногенного месторождения
		Породы и хвосты на производство стройматериалов	Диверсификация производства – непрофильная продукция
		Породы и хвосты на производство горно-химического сырья, удобрений	
	Пульпообразные	Породная твердеющая закладка	Обеспечение дальнейшей разработки
		Лежалые хвосты обогащения в закладку: твердеющую, гидро-	Создание техногенного месторождения при заполнении гидрозакладкой камер 2-ой очереди или камер между длительно сохраняемыми целиками.
		Текущие хвосты обогащения в закладку: твердеющую, гидро-	
	Хвосты кучного выщелачивания в закладку: твердеющую, гидро-		
	Специальные	Тиксотропные (пастообразные) твердеющие закладочные смеси	Обеспечение дальнейшей разработки в сложных условиях

Для транспортировки по трубам используется явление тиксотропичности закладочной смеси. Трубопровод оборудуется упругими опорами и вибраторами. Под воздействием вибрации смесь переходит из гелеобразного состояния в гидрозоль, обладающий высокой текучестью (как жидкость). Вибрация обеспечивает также равномерное распределение цемента в смеси, значительно улучшает ее однородность и увеличивает прочностные характеристики закладки. Помимо всего, тиксотропные закладочные смеси на основе текущих хвостов обогащения создают возможность повышения тонины помола тонковкрапленных руд для дополнительного извлечения ценных компонентов.

Считается, что в наибольшей степени комплексное освоение реализовано в атомной промышленности [2, 3]. Общая технологическая схема уранодобывающего комплекса включает: подземную добычу урановых руд, радиометрическую сортировку, грохочение и сепараторное рентгенометрическое обогащение бедных руд, гидрометаллургическую переработку обогащенной рудной шихты и кучное выщелачивание урана из бедных руд с крупностью меньше машинных классов. Высокая степень извлечения урана из водных растворов с помощью ионообменных смол доказала рентабельность его добычи и других металлов путем химического растворения соединений в рудах без их извлечения из недр. Суть комплексной горно-химической технологии для скальных урановых руд состоит в следующем: богатые по содержанию урана руды добываются в шахте и перерабатываются по полной схеме на ГМЗ; рядовые руды добываются в шахте и подвергаются кучному выщелачиванию на поверхно-

сти; бедные по содержанию урана руды отбиваются системой блокового магазинирования и подвергаются выщелачиванию в шахте. Для каждого направления технологии рассчитываются эксплуатационные кондиции [2].

Призобойная сортировка – гамма-экспресс-анализ в ковшах и кузовах машин позволяет выделить 5 % забалансовой руды и превратить горную массу в рудную. Призобойная сортировка не применяется с 1989 г, но ее использование не исключается.

Выданную в шахтных вагонетках руду подвергают крупнопорционной радиометрической сортировке на рудоконтрольных станциях (РКС) рудников, расположенных в надшахтных зданиях. Выделяют забалансовую руду и отвальные хвосты (до 25 % исходной руды), а балансовую руду подразделяют на богатую и бедную. Выделенную на РКС забалансовую руду подвергают кучному выщелачиванию. После нейтрализации выщелоченную горную массу перемешают в отвалы с последующей рекультивацией.

Далее сырье попадает на автомобильную рудоконтролирующую станцию (АРКС). Богатую и рядовую руды направляют на ГМЗ. Выделенную бедную руду рассеивают на грохоте. Шламы и пески (класс – 5 мм) включают в гидрометаллургическую шихту. Выделяют машинные классы + 40 мм для рентгенометрической сепарации на РОФ. На РОФ обогащение – рентгенометрическую сепарацию ведут по четырем классам крупности и выводят в хвосты до 36% объема исходной руды.

Руду крупностью –40 +5 мм додрабливают до крупности –10 мм и направляют на кучное выщелачивание. При додрабливании извлечение урана возрастает с 70 до 80–85 %,

срок кислотной обработки руды сокращается с 12–18 до 6–10 мес, концентрация урана в продуктивных растворах возрастает на 25 %, существенно снижается себестоимость продукции.

Рудоподготовка и переработка бедных урановых руд методом кучного выщелачивания включает в себя следующие операции: выделение бедной руды крупностью – 40 мм (промпродукт) на РОФ, дробление ее с отмывкой фракции – 5мм, формирование штабеля выделенной после дробления руды крупностью – 10 + 5 мм на специально подготовленном основании с противоточной системой, монтаж оросительной системы на поверхности сформированного штабеля, выщелачивание сформированного штабеля с последующей переработкой продуктивных растворов до готовой продукции.

Применяемые методы обогащения позволяют выделить из рудной массы 35–40 % (от исходной) хвостов и забалансовой руды, что значительно снижает затраты на ГМЗ.

Способ *подземного выщелачивания* применили на одном из отработанных по традиционной технологии блоков месторождения Юбилейное. Работы продолжены на других месторождениях Стельцовского рудного поля: Весеннем, Лучистом, Новогоднем и Стрельцовском. Период эксплуатации колебался от 17 до 67 мес, расход серной кислоты – от 35 до 70 кг на кг урана, содержание урана в продуктивных растворах – от 56,1 до 85 г/л, извлечение – от 34,6 до 88,6 %. В результате установлено, что в полном цикле производства урановой продукции:

- при *обособленной* отработке маломощных рудных тел подземное выщелачивание **не** эффективно даже

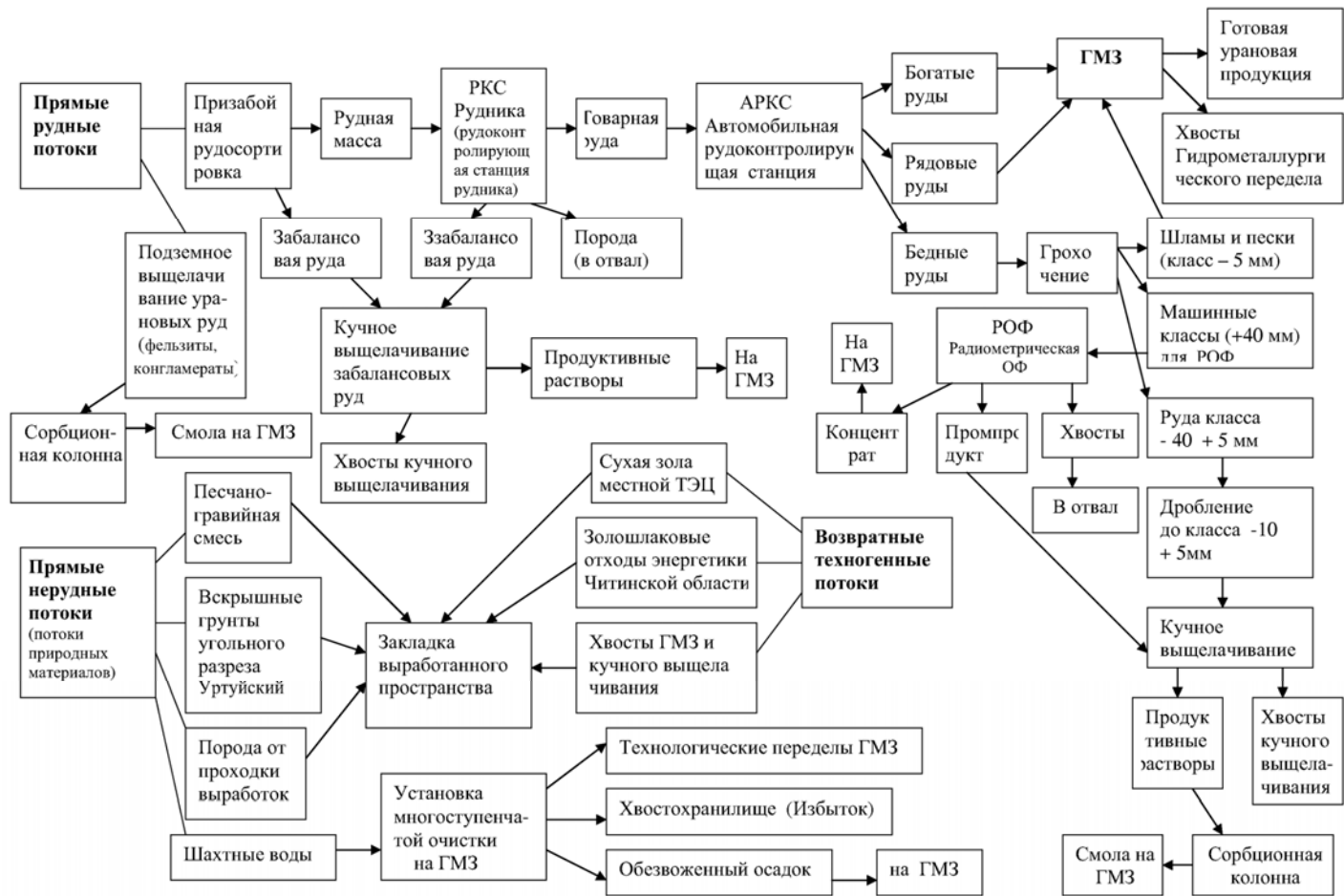
при высоком (0,8) сквозном извлечении металла;

- при отработке рудных тел мощностью более 5 м или объединении сближенных рудных тел в единую мощную рудную залежь подземное выщелачивание рентабельно в интервале мощностей от 5 до 20 м и цен на конечную продукцию от 30 до 90 дол/кг. [3, с. 43–46].

Важные преимущества такой технологии – руду после выщелачивания оставляют в недрах, на месте залегания, что исключает ее вредное влияние на воздушный и водный бассейны. Для подачи в отработанное пространство в составе закладки используют: золу местной ТЭЦ, золошлаковые отходы энергетических объектов Читинской области, хвосты местного гидрометаллургического завода, нефелиновые шламы Ачинского глиноземного завода, тонкомолотые известняки месторождения Усть-Борзя. Закладочные массивы формируют разнопрочными составами с созданием несущих слоев в нижней части погашаемых секций. Средний расход цемента снижен с 220 до 160 кг/м³.

Построенная согласно описанию схема движения минерально-сырьевых потоков при добыче урановых руд с учетом их систематизации представлена на рисунке.

При индивидуальном подходе к разработке месторождения на основе анализа горно-геологических и горно-технических условий предлагаемая систематизация может быть использована для регулирования процессов добычи, для определения возможности совмещения физико-технической и физико-химической геотехнологий, для выбора схем механизации горных работ и перемещения материалов природных и техногенных потоков и т.п.



Принципиальная схема комплексной горно-химической технологии добычи урановых руд

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 09-05-00675-а.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплунов Д.Р., Юков В.А. Горно-технические системы комбинированной геотехнологии с нетрадиционными способами добычи. Горн. журн. 2008. – № 4. – с. 66–72.
2. Кротков В.В. Состояние и пути развития атомной промышленности России. Горн. журн. 2003. – № 10. – с. 52–54.
3. 40 лет Приаргунскому производственному горно-химическому объединению-лидеру уранодобывающей отрасли России. Горн. журн. 2008. – № 8. – с. 6–81. **ГИАБ**

Коротко об авторах

Каплунов Д.Р. – член-корреспондент РАН,
Юков В.А. – кандидат технических наук, старший научный сотрудник,
Институт проблем комплексного освоения недр РАН, info@ipkonran.ru



РУКОПИСИ,

ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ МОСКОВСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО ГОРНОГО УНИВЕРСИТЕТА

Зубков А.А. канд. техн. наук, доцент, главный технолог ООО «Экомет Плюс»,
E-mail: trbusiness7@mail.ru

ОЦЕНКА ФЛОТИРУЕМОСТИ НЕКОТОРЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ИХ ИЗ
НЕТРАДИЦИОННОГО ВИДА СЫРЬЯ (764/07-10 от 31.03.2010 г.) 8 с

Изучены флотационные свойства металлической ртути, висмута при использовании различных собирателей и регуляторов среды. Установлено, что флотационные свойства металлической ртути и висмута имеют сходство по отношению действия сернистого натрия, цианида и других реагентов. Установлено, что оба металла лучше флотируются в слабокислых средах. Установленные флотационные свойства металлической ртути позволили разработать оптимальные условия извлечения ее из полупродуктов ртутного производства - ступпы, а металлического висмута - разработать режим обогащения окисленных висмутовых руд.

Ключевые слова: Ртуть металлическая, висмут, ксантогенат, флотация, диксантогенит, ступпа, золото, извлечение.

Subkov AA

ESTIMATION FLOTATION SOME METALS FOR THEIR EXTRACT FROM
NONCONITIONAL SORT OF RAW MATERIALS

Are studied flotation properties of metal mercury and bismuth at usage of varions collectors eniveroment regulfctors. It is installed that flotation properties metal mercury and bismuth have similarity undtr the ratio of operation of sulphurous sodium, cyanide and other reagents. Its is installed that both metals it is better flotation in the subacidic environments.

Installed flotation properties of metal mercury have allowed to develop optimal conditions of its extract from intermediate products of mercury production - stuppa, and metal bismuth - to develop a mode enrichment oxidised of bismuth ores.

Key words: mercury metal, bismuth, cxantogenate, flotation, gold, extract, collectors.