

$$K_n^{\max} = K_{н.ф}^н / K_{об}^{\text{р.м}} = (1 - K_n K_{квч}^н K_{об}^н + K_{пр.п} K_{квч}^{\text{нр.п.}} K_{об}^{\text{нр.п.}}) / K_{об}^{\text{р.м}} \quad (24)$$

где  $K_{н.ф}^н$  – фактическое значение коэффициента извлечения из недр ценностей при данных технологических схемах добычи и обогащения рудной массы.

Оптимальное значение  $K_n$  находится в пределах:

$$(1 - K_n + K_{пр.п}) \sum C_j / (K_{об}^{\text{р.м}} C_0) \leq \leq (1 - K_n + K_{пр.п}) (\sum C_j + P_{уд}) / (K_{об}^{\text{р.м}} C_0) \leq K_{н.ф}^н / K_{об}^{\text{р.м}} \quad (25)$$

Анализ показывает, что значение коэффициента изменения качества руды не может превышать 1, в виду несовершенства технологии добычи и обогащения, т. е.  $K_{квч} < 1$ . С учетом этого можно составить выражение:

$$K_{квч} = (\sum C_j + P_{уд}) / K_{об}^{\text{р.м}} C_0 \leq 1, \quad (26)$$

по которому рассчитывается максимальная прибыль от каждой тонны добытой рудной массы (руб/т) в конкретных технологических и экономических условиях:

$$P_{уд}^{\max} = C_0 K_{об}^{\text{р.м}} - \sum C_j \quad (27)$$

С учетом вышеизложенного составлен алгоритм расчета оптимальной полноты извлечения полезных компонентов из недр  $K_n^{\text{опт}}$ :

1. Установить фактические значения показателей  $K_n$ ,  $K_{пр.п}$ ,  $K_{об}^{\text{р.м}}$ .

2. Определить ценность 1 т балансовой руды по формуле  $C_0 = \sum \alpha_{\text{с}} \varepsilon_{\text{с}} \varepsilon_{\text{м.н}} C_{\text{опт}}$ .

3. Определить суммарные затраты на получение готовой продукции ( $\sum C_j$ ).

4. Вычислить значение  $K_n^{\text{опт}}$  по формуле (24).

5. Определить максимальную удельную прибыль предприятия  $P_{уд}^{\max}$  по формуле (27);

6. Вычислить оптимальное значение коэффициента  $K_n^{\text{опт}}$  по формуле

$$K_n^{\text{опт}} = (1 - K_n + K_{пр.п}) (\sum C_j + P_{уд}^{\max}) / K_{об}^{\text{р.м}} C_0.$$

#### Список литературы

1. *Технико-экономическая оценка извлечения полезных ископаемых из недр*/М. И. Агошков, В. И. Никаноров, Е. И. Рыжов и др. – М.: Недра, 1974.
2. *Фефелов В. С.* Анализ уравнения баланса ценностей для подземных рудников//Комплексное использование минерального сырья, 1986. – № 10. – С. 83–88.
3. *Юматов Б. Н., Секисов Г. В., Буянов М. И.* Нормирование и планирование полноты и качества выемки на карьерах. – М.: Недра, 1987.
4. *Фефелов В. С., Филиппов С. А.* Определение оптимальной полноты извлечения запасов на горных предприятиях//Горный журнал, 1990. – № 2. – С. 11–12.
5. *Филиппов С. А.* Основные положения теории рациональной разработки месторождений полезных ископаемых//Горный вестник Узбекистана, 1997. – № 1. – С. 60–70. ■

УДК 622.524.31.29

© М. В. Рыльникова, А. Ф. Илимбетов, И. А. Абдрахманов, 2006

## КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ медноколчеданных месторождений Южного Урала\*

**М. В. Рыльникова**, проф., д-р техн. наук

Институт проблем комплексного освоения недр РАН

**А. Ф. Илимбетов**, директор, канд. техн. наук

Бурибаевский ГОК

**И. А. Абдрахманов**, директор

Учалинский ГОК

В СССР развитие горнодобывающей промышленности по отраслевому принципу предполагало формирование предприятий, ориентированных на извлечение только основных компонентов, содержащихся в рудах месторождения. Так, на медноколчеданных месторождениях извлекали базовые компоненты – медь, цинк, серу и дополнительно оценивали содержание в соответствующих концентратах золота и серебра. Полный химический анализ на содержание в рудах и отходах их переработки редких металлов и редкоземельных элементов, платино-

*Длительное освоение медноколчеданных месторождений Урала физико-техническими способами привело к существенному истощению балансовых запасов и снижению их качества, а также к накоплению на поверхности большого количества отходов горно-металлургического производства в виде складированных хвостов обогащения и металлургических шлаков, отвалов некондиционных руд и вмещающих пород, промышленных стоков. Вовлечение в эксплуатацию более бедных руд сопровождается увеличением объемов добычи и неизбежным ростом отходов их переработки. Комплексное освоение уральских медноколчеданных месторождений, представленных многокомпонентными рудами сложного вещественного состава, позволит решить не только вышеперечисленные, весьма актуальные для действующих горных предприятий проблемы, но и расширить минерально-сырьевую базу горнодобывающих регионов и отдельных предприятий, повысить эффективность их производства и конкурентоспособность на мировом рынке сырья.*

\* Грант РФФИ 06-05-64541.

идов не проводили, поэтому драгоценные металлы и редкоземельные элементы, присутствующие в рудах преимущественно в труднораскрываемых сульфидах, уходили в хвосты, размещаемые и накапливаемые на поверхности в хвосто- и шламохранилищах. Хранение отходов горно-металлургического производства приводило к природному выщелачиванию и миграции в окружающую среду тяжелых металлов и вредных химических элементов, загрязнению поверхностных и подземных вод, запылению близлежащей территории.

Комплексное освоение месторождений предполагает комплексное использование всех содержащихся в рудах полезных компонентов при применении рационального сочетания известных и перспективных физико-химических геотехнологий, преимущественно малоотходных, а

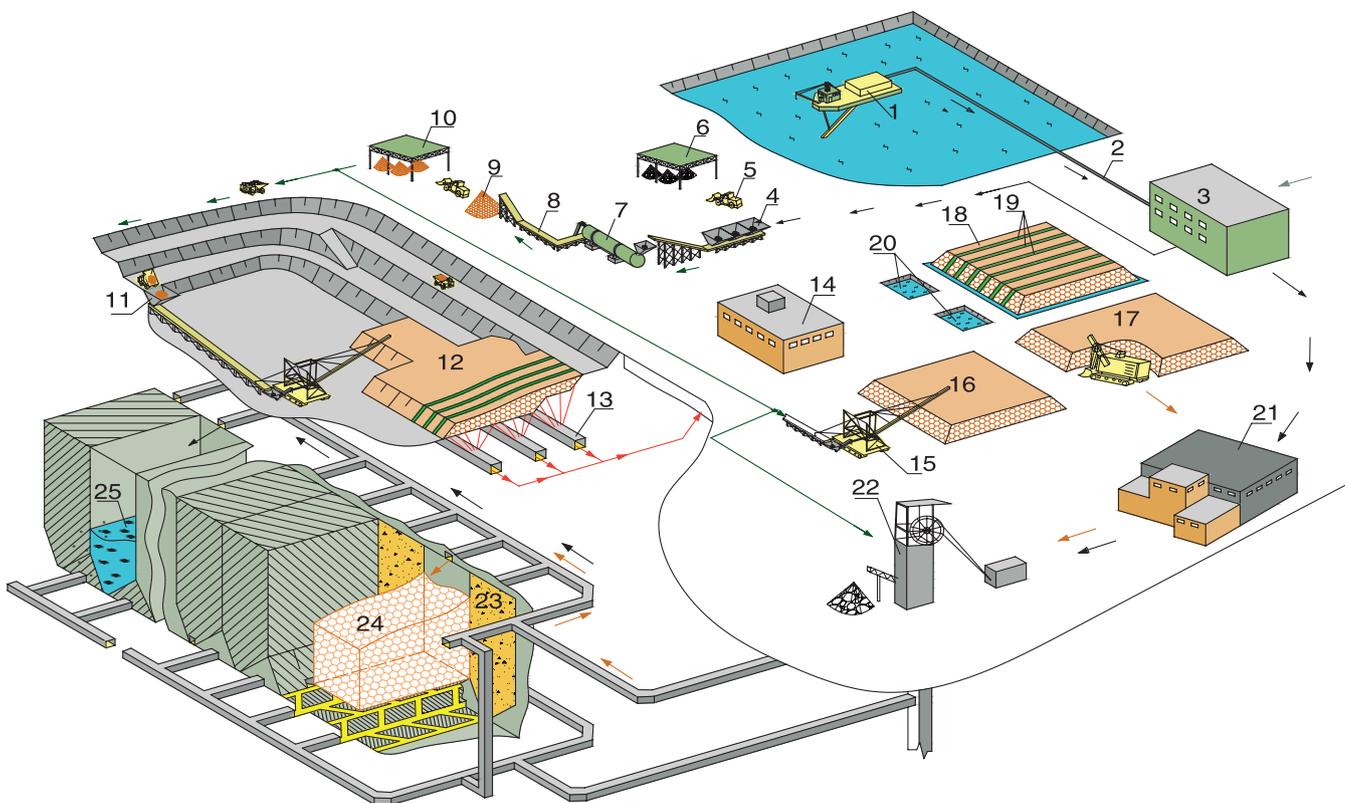
также переработку и использование накопившихся отходов производства и сформированных открытыми и подземными работами выработанных пространств (рис. 1). Обязательным условием реализации технологической схемы комплексного освоения является использование отходов выщелачивания в технологии закладки отработанных подземных камер.

Для реализации концепции комплексного освоения месторождений предприятиям по добыче и переработке сырья в принимаемых проектных решениях следует решить вопросы:

- наиболее полного и экономически оправданного извлечения из недр основных и попутных полезных ископаемых, в том числе разных по составу и качеству, а также полезного использования попутных компонентов из руды на всех стадиях ее

добычи и переработки с получением товарной продукции в виде твердых, жидких, в отдельных случаях газообразных, концентратов и их соединений;

- рационального использования в промышленных и хозяйственных целях вскрышных вмещающих пород и отходов обогащения руд;
- экологические путем применения малоотходных технологий, сокращения объемов накопленных и текущих твердых отходов, очистки и деминерализации сбрасываемых шахтных и дренажных вод с извлечением ионов тяжелых металлов в товарные концентраты для предотвращения их миграции в окружающую среду;
- использования в хозяйственных целях пустот, создаваемых в результате извлечения из недр полезных ископаемых.



**Рис. 1. Принципиальная технологическая схема комплексного освоения природных и сопутствующих техногенных месторождений:**

1 – земснаряд; 2 – пульповод; 3 – обогатительная фабрика; 4 – дозирующий бункер; 5 – компоненты шихты, доставленные со склада; 6 – склад; 7 – окомкователь; 8 – система конвейеров; 9, 10 – места временного складирования окатышей; 11 – приемный бункер; 12 – штабель окатанного материала; 13 – выработки для сбора продуктивного раствора; 14 – комплекс переработки продуктивного раствора; 15 – консольный штабелюкладчик; 16, 18 – формируемый и выщелачиваемый штабель окатанного материала; 17 – склад отходов выщелачивания (после извлечения полезных компонентов); 19 – система орошения; 20 – прудки продуктивного и маточного растворов; 21 – закладочный комплекс; 22 – копер; 23 – искусственный массив на основе твердеющей закладочной смеси; 24 – массив окатышей; 25 – формируемый массив гидравлической закладки

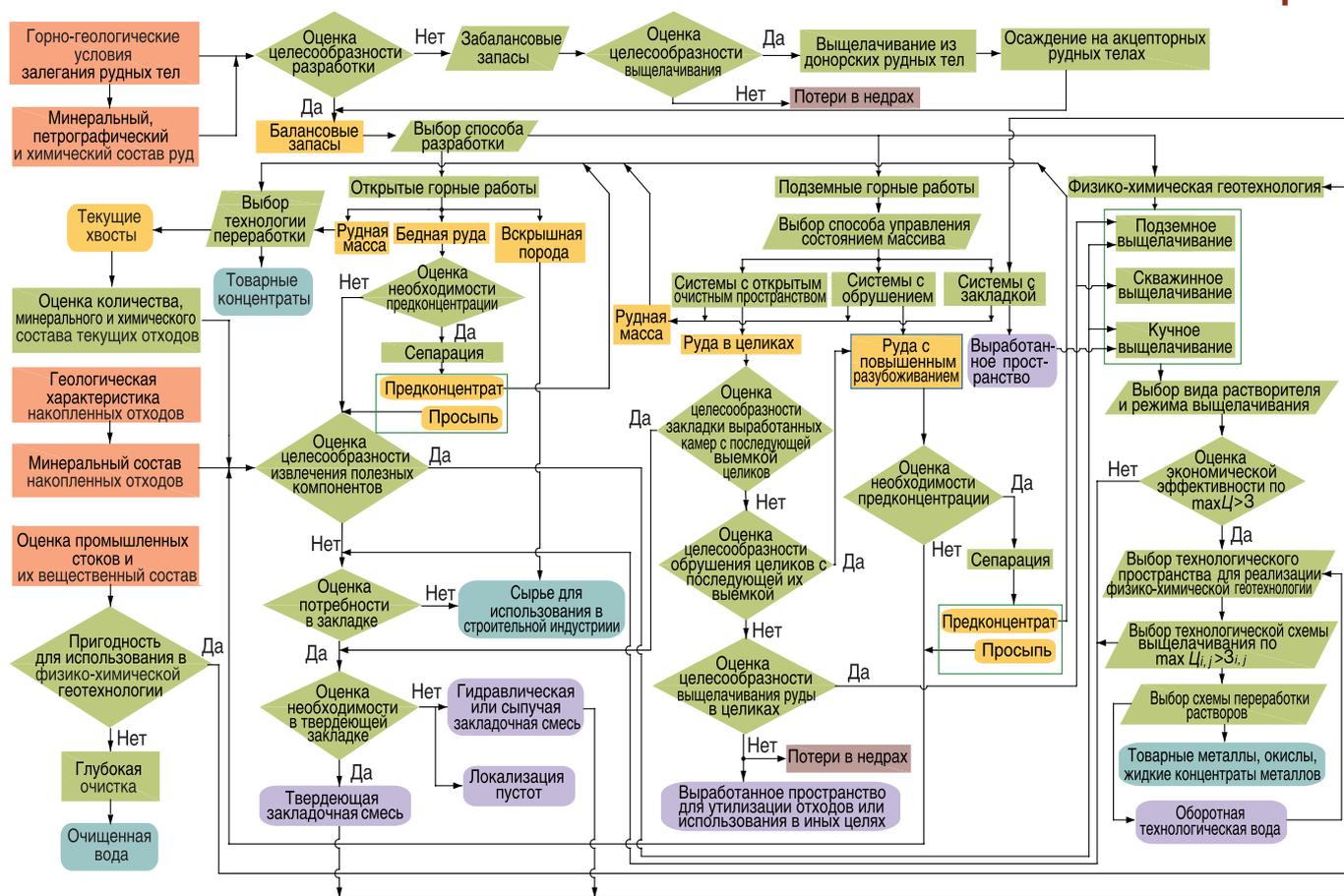


Рис. 2. Алгоритм выбора технологической схемы комплексного освоения медноколчеданного месторождения и сопутствующих техногенных образований

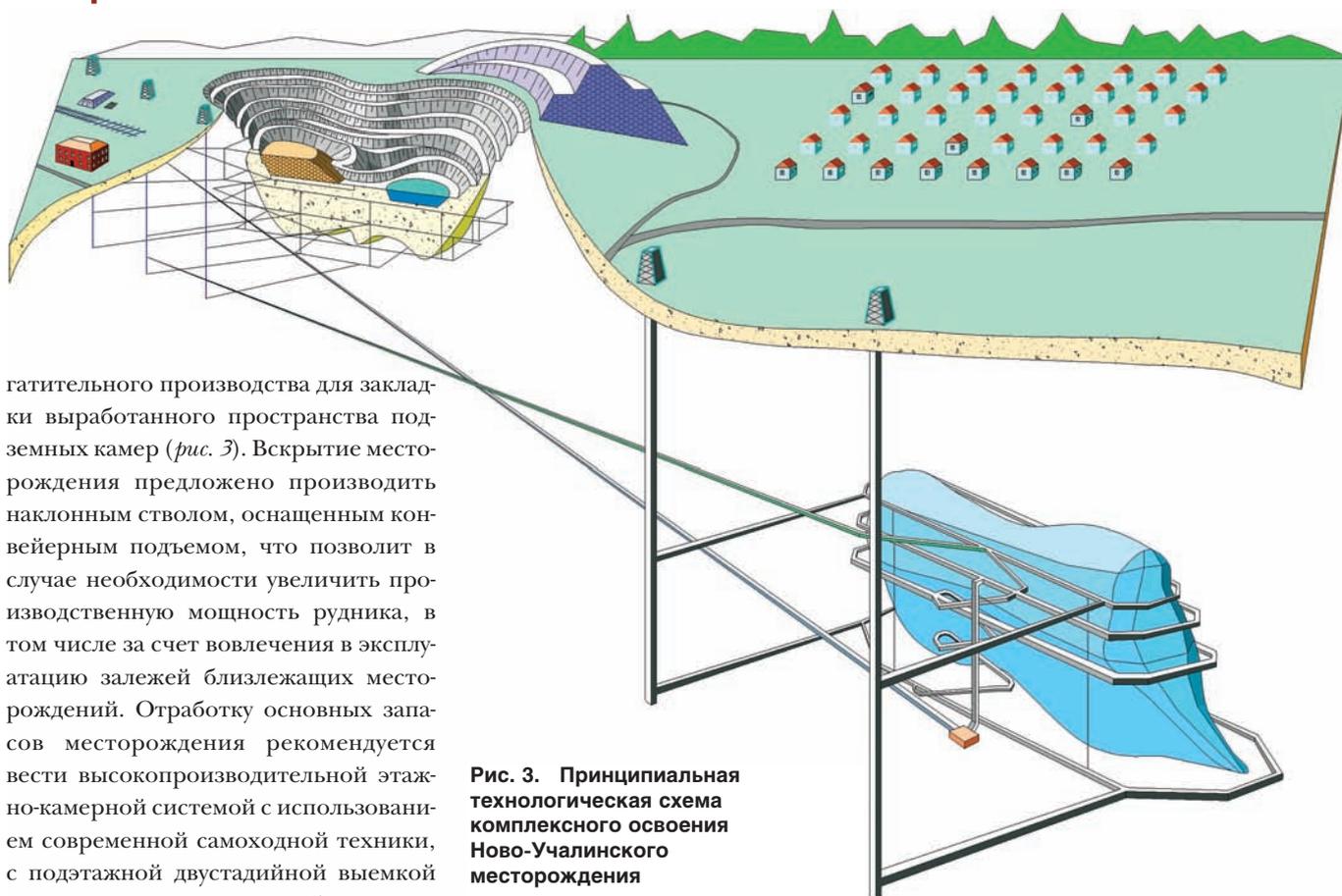
Применительно к медноколчеданному месторождению Южного Урала стратегия комплексного освоения должна предусматривать, наряду с комплексным использованием добываемых полезных ископаемых, также вовлечение в эксплуатацию других различных по составу полезных ископаемых и применение в процессе промышленного освоения месторождений разнообразных способов и технологий разработки, соответствующих конкретным горно-геологическим условиям отдельных рудных участков и залежей техногенного сырья. Это могут быть совместно или последовательно реализуемые открытая, подземная и физико-химическая геотехнологии, процессы выщелачивания, применяемые для извлечения цветных, редких и благородных металлов из хвостов и шлаков обогатительного и металлургического передела медноколчеданных руд, использование отходов выщелачи-

вания для закладки выработанного пространства подземных камер.

Для выбора варианта реализации процессов комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии в расширенном геотехнологическом цикле разработки природных и сопутствующих им техногенных месторождений с последующей утилизацией отходов в закладке разработан алгоритм выбора единой технологической схемы комплексного освоения месторождений природного и техногенного медноколчеданного сырья (рис. 2). В соответствии с алгоритмом, повышение полноты, комплексности и эффективности освоения месторождений медноколчеданных руд при изменяющемся качестве сырья обеспечивается в результате рационального сочетания физико-технических и физико-химических процессов добычи и переработки кондиционных и бедных руд, отходов их

добычи и переработки с извлечением цветных, благородных и редких металлов и утилизацией отходов в закладке выработанного пространства.

Представленный алгоритм и экономико-математическая модель были использованы для обоснования условий освоения перспективного Ново-Учалинского месторождения. Рациональная технологическая схема предусматривает реализацию концепции комплексного освоения медноколчеданных месторождений с использованием горно-капитальных выработок действующего Учалинского рудника для строительства пускового комплекса, разработкой балансовых запасов подземной технологией системами с твердеющей закладкой и забалансовых – методом подземного выщелачивания, а также с вовлечением в отработку методом кучного выщелачивания сопутствующих техногенных образований с утилизацией отходов горно-обо-



**Рис. 3. Принципиальная технологическая схема комплексного освоения Ново-Учалинского месторождения**

гатительного производства для закладки выработанного пространства подземных камер (рис. 3). Вскрытие месторождения предложено производить наклонным стволом, оснащённым конвейерным подъемом, что позволит в случае необходимости увеличить производственную мощность рудника, в том числе за счет вовлечения в эксплуатацию залежей близлежащих месторождений. Отработку основных запасов месторождения рекомендуется вести высокопроизводительной этажно-камерной системой с использованием современной самоходной техники, с поэтапной двустадийной выемкой руды и применением комбинированной закладки. Для закладки камер первой очереди, в соответствии в результатами выполненных исследований, рекомендуется использовать твердеющую закладку на основе извести и отходов выщелачивания хвостов обогащения и пиритного концентрата с добавлением при формировании несущего слоя тонкоизмельченных шлаков медной плавки.

Принципиальная технологическая схема технологии выщелачивания отходов горно-обогатительного производства в выработанном пространстве карьера включает (рис. 4): работы по подготовке сырья к выщелачиванию; кучное выщелачивание меди и других ценных компонентов; переработку продуктивных растворов; приготовление из отходов выщелачивания на закладочном комплексе твердеющей смеси для подачи в выработку подземного рудника. В основании карьера, на южном и северном флангах, одновременно обрабатываются штабели кучного выщелачивания. Размеры куч в плане определяются площадью осно-

вания карьера, высота укладываемого штабеля 12 м. За сезон на площадке обрабатывается два штабеля. По завершении отработки штабеля расформируют, отгружают в автотранспорт и транспортируют на закладочный комплекс. Отработанное сырье используется для погашения подземных пустот твердеющей, гидравлической или сухой закладкой.

Для компенсации потери доходности предприятия в период падения цен на мировом рынке металлов целесообразно в проекте рассмотреть вариант отработки залежей или локальных участков некондиционных руд методом подземного выщелачивания (рис. 5). Для этого необходимо заблаговременно предусмотреть проведение соответствующих подготовительных выработок.

Наличие в отдельных промышленных регионах (Учалинском, Сибайском, Акьярском) группы генетически однотипных, близко расположенных месторождений позволяет поэтапно вводить участки этих месторождений

в эксплуатацию и формировать комплексные решения по вскрытию и отработке запасов в едином технологическом проекте с общими:

- транспортной схемой, закладочным комплексом и вспомогательными цехами;
  - технологией утилизации и переработки отходов;
  - рациональной схемой инвестирования строительства с получением положительных денежных потоков в достаточно короткие сроки.
- Возможность комплексного освоения разрабатываемых и перспективных месторождений определяется следующими факторами:

- геологическими, включающими: наличие в рудных телах, карьерных, подотвалных и шахтных водах широкого спектра полезных компонентов в количествах, достаточных для промышленного освоения; структурные особенности бедных вкрапленных руд, указывающие на преимущественное распределение рудообразующих

минералов по трещинам, что позволяет эффективно применять процессы подземного выщелачивания для комплексного извлечения цветных, редких и благородных металлов; фильтрационные свойства руд и вмещающих пород, а также наличие по периметру рудных тел метасоматических измененных пород, способных при насыщении водой формировать гидроизоляционные барьеры, обеспечивающие наиболее полный сбор продуктивных растворов выщелачивания;

■ техническими, определяющими возможность высокопроизводительного и достаточно полного извлечения полезных ископаемых и компонентов при добыче и переработке горной массы и снижение вредного воздействия горных работ на окружающую среду в результате применения рационального сочетания различных физико-технических и физико-химических геотехнологий в комплексе с прогрессивными технологиями глубокой переработки медноколчеданных руд;

■ экономическими, обусловленными необходимостью превышения доходов, получаемых от реализации всей основной и дополнительной продукции, над затратами, связанными с переходом от традиционных способов добычи полезных ископаемых к комплексному освоению месторождений, а также с благоприятными конъюнктурой и ценами мирового рынка на цветные, редкие и благородные металлы и их соединения.

Однако решению задач комплексного освоения месторождений полезных ископаемых в российском горно-промышленном производстве на практике препятствуют:

■ недостаточная степень изученности месторождений на стадии геологоразведочных работ, особенно в части вещественного состава и экономической оценки эффективности вовлечения в промышлен-

ную разработку попутных полезных ископаемых и иных георесурсов;

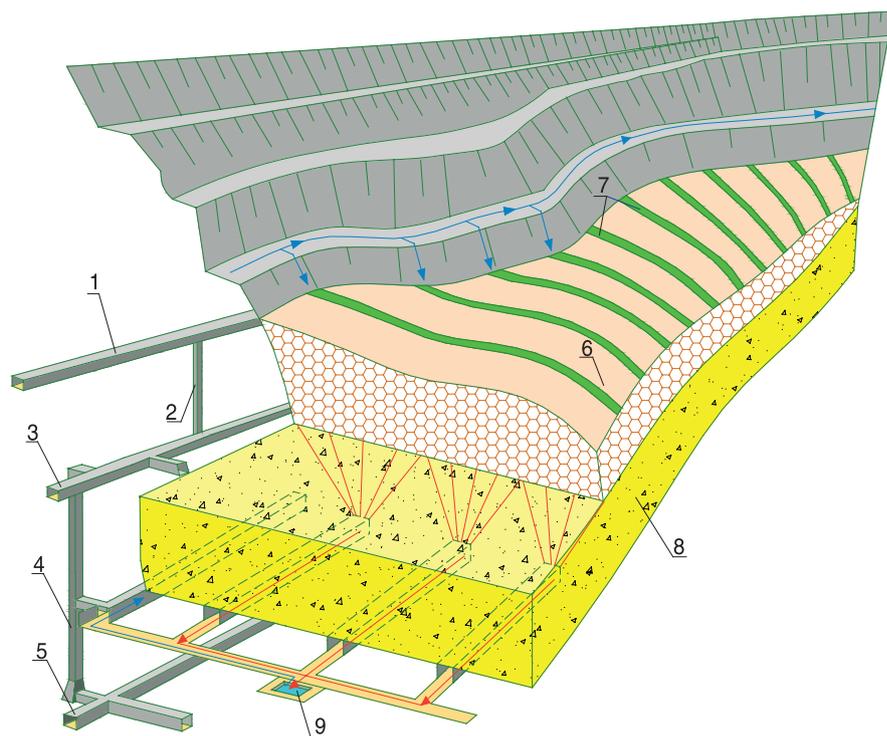
■ несовершенство технологических схем и способов разработки месторождений с точки зрения полноты извлечения из недр основных и попутных компонентов с полезным использованием других, сформированных в ходе освоения месторождений, георесурсов;

■ низкие темпы внедрения прогрессивных технологических схем и способов глубокой переработки добытого минерального сырья, отсутствие надлежащего учета и слабая изученность вещественного состава отходов производства для обоснования рациональных путей их использования в других отраслях.

Важность и, одновременно, сложность решения перечисленных вопросов комплексного освоения медноколчеданных месторождений заключается в том, что и комплексное освоение месторождения, и полнота использования георесурсов решаются не путем

простого сложения отдельных производств, а путем создания иного хозяйственно-организационного принципа развития горнопромышленного комплекса. Этот принцип должен войти в практику проектирования строительства горнодобывающего предприятия, полностью использующего как природные и техногенные георесурсы, так и прогрессивные технологии добычи и переработки руд, адаптированные к горно-геологическим условиям месторождения и учитывающие специфику вещественного состава руд.

Если при малых масштабах производства и благоприятных горно-геологических условиях недр сохраняют способность к самовосстановлению своей природоорганизующей функции [1], то с увеличением масштабов горного производства эта способность недр может сократиться вплоть до уровня, за которым наступает деградация развитых биологических форм (например, в результате осушения водоносных горизонтов, питающих влагой почву, при снятии растительно-



**Рис. 4. Кучное выщелачивание окаткованных хвостов обогащения в отработанном Учалинском карьере:**

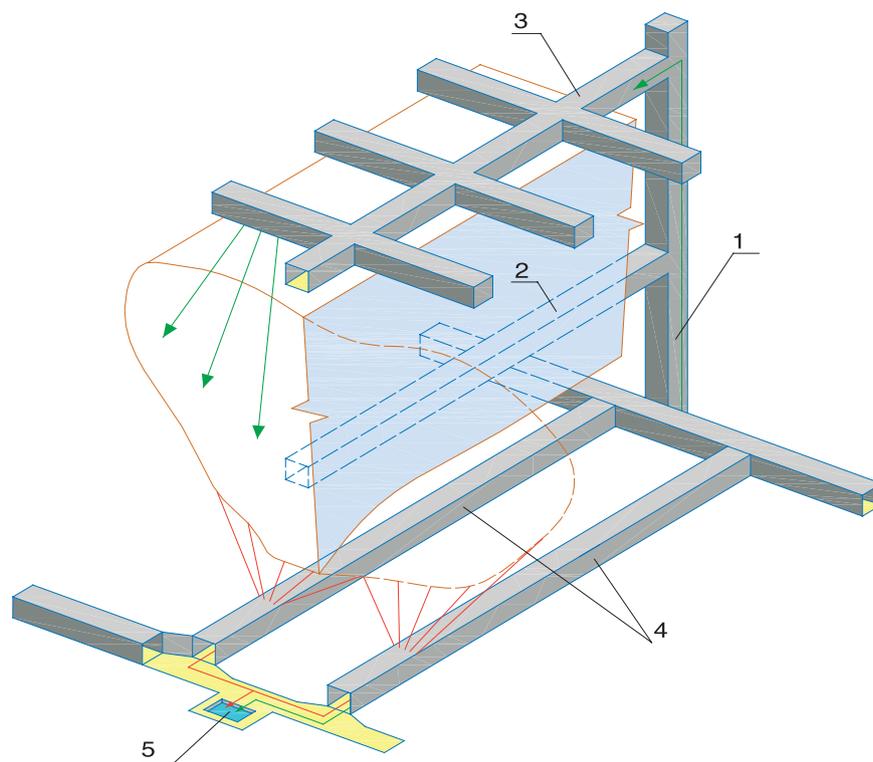
- 1 – вентиляционный штрек; 2 – вентиляционно-ходовой восстающий;  
3 – доставочный штрек; 4 – рудоспуск; 5 – откаточный штрек;  
6 – штабель окатанного материала; 7 – система орошения;  
8 – искусственная потолочина; 9 – прудок для сбора продуктивного раствора

го слоя, при подработке земной поверхности с нарушениями ее сплошности, образованием провалов и т. д.). В связи с этим комплексное освоение недр предусматривает применение таких геотехнологий, которые не приводят к деградации территорий, атмосферы и гидросферы в регионе деятельности горного предприятия. Обязательным условием является также применение технологий восстановления и рекультивации нарушенных территорий, технологий, не допускающих сброса неочищенных и недеминерализованных шахтных и дренажных вод, технологий очистки воздуха исходящей струи, выбрасываемой в атмосферу [2], а также сокращение выхода и объемов накопленных твердых отходов добычи и обогащения полезных ископаемых.

Еще одно неотъемлемое направление комплексного освоения недр – воспроизводство новых видов ресурсов, не присущих недрам в явном виде: создание и использование полостей в недрах, т. е. подземного выработанного пространства, пригодного для хозяйственных или иных целей; классификация текущих твердых отходов и выделение наиболее ценных сортов пород из общей отвальной массы; переработка накопленных отвалов с извлечением из них попутных компонентов. Сюда же можно отнести добытые попутно и складированные на поверхности забалансовые запасы полезных ископаемых.

Эффективная реализация ресурсо-воспроизводящих функций недр способствует как получению дополнительной продукции и соответствующего экономического эффекта, так и улучшению экологической обстановки в районе деятельности горного предприятия.

Непрерывным условием рационального комплексного освоения недр становится не только достижение максимального технико-экономического эффекта от промышленного освоения и использования природных и техногенных георесурсов, но и социального и экологического эффекта в результате сохранения недр как ресурса жизнеобеспечения на Земле.



**Рис. 5. Отработка локального рудного тела подземным выщелачиванием:**

- 1 – вентиляционно-ходовой восстающий; 2 – буровой штрек;  
3 – штрек для подачи раствора выщелачивания;  
4 – выработки для сбора и транспортирования продуктивного раствора; 5 – прудок-накопитель

Таким образом, по своей сути комплексное освоение крупных медноколчеданных месторождений означает реализацию следующих направлений:

- извлечение из недр и использование минерально-сырьевых и иных георесурсов;
- создание новых видов ресурсов на базе материальных богатств и особых свойств недр;
- сохранение недр как комплексного многофункционального ресурса обеспечения жизнедеятельности на Земле.

Проблемы комплексного освоения уральских медноколчеданных месторождений, представленных многокомпонентными рудами сложного вещественного состава, – весьма актуальны для действующих горных предприятий. Решение этих проблем позволит расширить минерально-сырьевую базу горнодобывающих регионов и отдельных предприятий, повысить эффективность их производства и конкурентоспособность на мировом рынке сырья.

С этих позиций необходимо определить основные положения стратегии освоения месторождений и рудоносных провинций, базирующейся на целостной ресурсно-технологической оценке осваиваемых участков во всем многообразии ресурсов недр и включающей:

- поэтапный ввод отдельных участков в освоение с учетом горно-геологической и горнотехнической специфики и пространственного расположения георесурсов, а также приоритетности их извлечения;
- управление процессами освоения ресурсов с оперативным контролем изменения их состояния, местоположения и качества;
- предотвращение порчи ресурсов или снижения уровня эффективности их промышленного освоения в будущем;
- мониторинг состояния природной среды на всех этапах освоения месторождений и рудоносных провинций;
- установление параметров горных предприятий на каждом этапе осво-

ения рудоносных провинций, исходя из существования обратных связей между последующими и предыдущими этапами;

- производственно-технологическую и экологическую сбалансированность параметров в отношении всех видов ресурсов недр.

Реализация указанных основных положений стратегии сохранения недр при освоении рудоносных провинций сопряжена, по сути, с нахождением баланса между экономически целесообразной интенсивностью освоения и возможностью сохранения жизнеобеспечивающих свойств окружающей среды.

Интенсивность освоения достигается за счет применения наиболее производительных способов извлечения георесурсов из недр и полезных компонентов из минерального сырья, использования оборудования наибольшей (в рациональных пределах) единичной мощности, увеличения степени концентрации производства и комплексности освоения георесурсов.

Новые горные технологии должны базироваться на следующих принципах:

- увеличение избирательности воздействия на недра и селективность изменения свойств минерального вещества на макро- и микроуровне;
- максимальное использование геомеханических, геохимических и других природных аномалий участков недр, минералов и их агрегатов, анизотропности свойств;
- увеличение степени комплексности использования ресурсов рудоносных провинций стратегических видов минерального сырья на базе ресурсовоспроизводства;
- повышение степени сопряженности технологических процессов до создания поточного производства;
- минимальное изменение экологической функции недр, как части природной среды.

Реализация этих принципов была заложена в программу проведения комплексных исследований комбинированной физико-технической и физико-химической геотехнологии освоения медноколчеданных место-

рождений Урала, разработанной ИПКОН РАН совместно с Магнитогорским государственным техническим университетом. Опытные промышленные испытания технологии намечено провести на месторождениях, разрабатываемых Учалинским и Бурибаевским ГОКа. Положительные результаты опытно-промышленной апробации данной технологии при комплексном освоении медноколчеданных месторождений позволят:

- повысить степень извлечения полезных компонентов и обеспечить горнодобывающие предприятия дополнительной товарной продукцией;
- реализовать сухой, экологически безопасный способ кратковременного складирования отходов на специально подготовленных полигонах;
- контролировать качество складированного сырья на выходе с обогатительной фабрики;
- рассматривать сформированный массив не как хранилище отходов, а как техногенное месторождение, которое может быть эффективно освоено методами физико-химической геотехнологии, что позволит сократить налоговые платежи;
- реализовать процесс кучного и подземного выщелачивания целенаправленно сформированных тех-

ногенных месторождений из окомкованных хвостов;

- вовлечь в эффективное освоение другой потенциальный источник минерального сырья – техногенные стоки (подотвалы, шахтные воды), которые могут быть использованы в качестве растворителя ценных компонентов при выщелачивании;
- использовать отходы кучного выщелачивания окатышей в качестве инертного заполнителя твердеющей закладочной смеси для закладки первичных подземных камер;
- применять местные материалы и отходы производства в качестве вяжущего при приготовлении закладочной смеси;
- сократить объемы, а в отдельных случаях и полностью отказаться от строительства и эксплуатации хвостохранилищ. ■■■

#### Список литературы

1. *Проблемы комплексного освоения суперкрупных рудных месторождений*/ Под ред. акад. РАН К. Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д. Р. Каплунова. – М., 2004.
2. *Проблемы геотехнологических процессов комплексного освоения суперкрупных рудных месторождений*/ Под ред. акад. РАН К. Н. Трубецкого, чл.-корр. РАН Д. Р. Каплунова. – М., 2005.

