

Краснов О.С. (АО «ВНИГРИ», г. Санкт-Петербург),
Салихов В.А., Король Л.Н. (Новокузнецкий филиал
ФГБОУ ВО «Кемеровский государственный
университет»)

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И МЕТОДИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ РАЗРАБОТКИ ЭКОНОМИЧЕСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ И ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПЕРЕРАБОТКИ МИНЕРАЛЬНОГО СЫРЬЯ И ЕГО ОТХОДОВ

*В связи с дефицитом минерально-сырьевой базы стратегически важных редких металлов в Российской Федерации предложены методологические и методические подходы к разработке экономически эффективных и экологически безопасных технологий по извлечению этих металлов из минерального сырья и техногенных отходов. Приведены основные параметры геолого-экономической оценки объектов, перспективных для извлечения редких металлов. Обоснованы критерии оценки эффективности разрабатываемых технологий. Обоснованы задачи и предложена последовательная поэтапная схема разработки инновационных технологий. **Ключевые слова:** редкие металлы, параметры, критерии, методы, технологии.*

Krasnov O.S. (VNIGRI), Salikhov V.A., Korol L.N. (FGBEU VO «Kemerovo State University», Novokuznetsk)

METHODOLOGICAL AND METHODICAL ASPECTS OF THE DEVELOPMENT OF ECONOMICALLY EFFECTIVE AND ECOLOGICALLY SAFE TECHNOLOGIES OF PROCESSING OF MINERAL RAW MATERIALS AND WASTE

*Due to the lack of a mineral resource base of strategically important rare metals in the Russian Federation, methodological and methodological approaches have been proposed for the development of cost-effective and environmentally friendly technologies for the extraction of these metals from mineral raw materials and industrial wastes. The main parameters of the geological and economic assessment of objects that are promising for the extraction of rare metals are given. The criteria for evaluating the effectiveness of the technologies being developed are substantiated. Tasks are grounded and a sequential phased scheme for the development of innovative technologies is proposed. **Keywords:** rare metals, parameters, criteria, methods, technologies.*

В настоящее время в Российской Федерации (РФ) и в мире отмечается дефицит цветных и редких металлов для металлургии и ряда других отраслей промышленности (атомной, электронной, авиационной, космической и т.д.). Это связано со снижением количест-

ва и качества руд, ухудшением экономико-географических условий их эксплуатации и ростом затрат, а также с высокими затратами на поиски и разведку новых месторождений.

По потреблению стратегически важных металлов Россия значительно отстает от развитых стран. При этом намечающийся рост производства в РФ подтверждает остроту и актуальность проблемы снабжения промышленности дефицитными металлами и предполагает увеличение мероприятий по комплексному использованию руд, а также по эксплуатации техногенных месторождений. К списку стратегических видов минерального сырья, утвержденному распоряжением Правительства РФ № 50 от 16.01.1996 г., из числа редких металлов отнесены литий, бериллий, ниобий, тантал, цирконий, германий, рений, скандий [3].

Следует учитывать также огромные объемы накапливаемых техногенных отходов. Отечественные горные предприятия ежегодно складировуют на поверхности около 5 млрд т вскрышных и отвальных пород и примерно 700 млн т поставляют в отвалы обогатительные фабрики. В настоящее время в Российской Федерации накоплено около 80 млрд т отходов, в том числе более 2 млрд т золы ТЭС, ТЭЦ, ГРЭС, шлаков черной и цветной металлургии [6, 10]. Например, в настоящее время в РФ накоплено более 1,5 млрд т золошлаковых отходов (ЗШО). При этом ежегодно накапливается 30 млн т. Данный вид техногенных ресурсов является перспективным источником получения железа, алюминия, кремнезема или оксида кремния (сырье для химической и нефтехимической промышленности).

Особенно важно, что все эти объекты являются уникальным источником многих ценных редких металлов. Основной источник получения германия — зола ТЭЦ [2]; рения — пыль обжига молибденовых концентратов; селена и теллура — отходы переработки сульфидных медных руд; кадмия, таллия, индия — полиметаллические руды, галлия — отходы переработки бокситов и нефелинов. Масштабная эксплуатация техногенных месторождений позволит поддерживать требуемый уровень производства ценных металлов даже при значительном снижении объемов добычи металлических руд.

Хозяйственная деятельность по переработке техногенных отходов должна активизироваться в соответствии со Стратегией по развитию перерабатывающей отрасли РФ до 2030 г. в рамках государственной программы «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности». Переработка золошлаковых и других техногенных отходов является серьезной проблемой, требующей развития диверсификации производства с помощью инновационных технологий. Основным видом диверсификации здесь будет концентрический, предполагающий поиск и использование

дополнительных возможностей для производства новой продукции, относящейся к профилю других отраслей, которая соответствует уже существующим возможностям имеющихся производств. В сочетании с этим видом диверсификации может применяться вертикальная и горизонтальная диверсификации (расширение выпуска продукции путем интеграции производства). Успешная деятельность в одном из новых секторов производства может позволить в этом случае перейти и к конгломератному виду диверсификации, т.е. к освоению совершенно новых видов деятельности (например, создание техногенных, экологических и туристических кластеров).

В связи с этим следует отметить, что в отходах минерального сырья накапливается значительное количество токсичных и экологически вредных элементов, таких как — Hg, As, Be, Mn, Cr, Cd, Tl и др. [6, 7]. В результате воздействия на окружающую природную среду промышленных и бытовых отходов в 1,5–2 раза и более превышаются предельно допустимые концентрации (ПДК) многих вредных веществ в атмосфере и в водных источниках. Это серьезно отражается на здоровье населения. Высокими темпами растет заболеваемость детского населения (нервные болезни, новообразования, врожденные аномалии и т.д.). В промышленно развитых районах отмечается высокий уровень онкологических заболеваний [10]. Сложившаяся ситуация требует решения проблемы по переработке техногенных отходов в ближайшее время.

В настоящее время в РФ разработан ряд технологий извлечения из минерального сырья и его отходов многих ценных металлов, прошедших лабораторные и полупромышленные испытания. Ряд металлов извлекается промышленным способом (Ge, V, Ti, Zr). Например, извлекаются из хибинских апатитовых месторождений нефелин, сфен для получения титановых продуктов, бадделлит для получения циркония. Применяется извлечение германия при коксовании или из зол уноса. Перспективно извлечение многих редких металлов при промышленном сжигании углей. При переработке угольных и рудных отходов перспективно их сорбционное выщелачивание, термохлорирование с последующим восстановлением, а также перспективны биологические методы обработки минерального сырья и его отходов [6, 10].

В целом комплексная оценка и последующая разработка попутных полезных компонентов, содержащихся в основных полезных ископаемых, проводится недостаточно, а накапливаемые отходы добычи минерального сырья используются в малых объемах. Одной из причин являются высокие затраты на извлечение металлов, сопоставимые с затратами на добычу традиционных полезных ископаемых, и даже превышающие их. Следует также учитывать, что сейчас практически отсутствуют экологически безопасные методы извлечения металлов из полезных ископаемых (руд, углей и пр.) и их отходов. При этом снижение количества рентабельных запасов рудных полезных ископаемых предполагает необходимость извлечения метал-

лов из комплексных руд и из техногенных месторождений [1, 4, 5]. Сложившаяся ситуация требует в первую очередь разработки методологических и методических подходов к решению этой проблемы.

Проведение научных исследований по данной проблеме является междисциплинарным (геологические исследования минерального сырья и отходов, исследование различных аспектов разработки технологий и обогащения этих объектов, оценка экологических и социальных показателей проектов по извлечению редких металлов, экономические исследования по проектам) и предполагает использование теоретических и экспериментальных методов. При этом методологические подходы основаны на следующих принципах:

- принцип общественной народно-хозяйственной (экономической) потребности;
- принцип полноты использования недр;
- принцип системности, позволяющий рассматривать геологические, технологические, а также экономические и экологические аспекты реализации проекта по извлечению стратегически важных металлов из полезных ископаемых (руд, углей и пр.) и их отходов;
- принцип комплексности — проведение исследований на основе методов математической статистики, геологических, физико-химических и социально-экономических методов;
- принцип оптимальности, направленный на выбор наилучших путей достижения конечных результатов.

В целом должны применяться современные количественные (вероятностно-статистические оценки проектов по использованию технологий извлечения стратегически важных металлов из минерального сырья и его отходов) и качественные (описание изучаемых объектов) методы научного анализа.

Также должны применяться традиционные методы обогащения минерального и техногенного сырья (например, гравитационная и магнитная сепарация, гидрометаллургические методы обогащения руд; озоление, экстракция или центрифугирование углей) в сочетании со специальными физико-химическими методами.

Разработка технологий по извлечению редких, стратегически важных металлов из минерального сырья и техногенных отходов должна проводиться в рамках теории устойчивого развития. Основными критериями этой теории и, следовательно, разрабатываемых технологий, являются получаемые при реализации проектов экономический, социальный и экологический эффекты. Это предполагает получение существенного экономического эффекта от данной производственной деятельности и улучшение социального положения работников этих предприятий, и одновременно повышение качества жизни населения на этой территории, что связано уже с получением экологического эффекта. Достижение подобного устойчивого развития — крайне сложная задача, требующая разработки инновационных технологий.

Первоначальным этапом освоения техногенных объектов является геолого-экономическая оценка

стратегически важных металлов, содержащихся в комплексных и техногенных месторождениях, которая включает [8]:

- геологический параметр — оценка запасов/ресурсов стратегически важных металлов;
- технологический параметр — наличие промышленных, высокорентабельных, инновационных технологий по извлечению этих металлов;
- экономический параметр — анализ рынков данного вида минеральной продукции.

Положительная оценка по всем трем параметрам позволяет оценить исследуемые объекты как экономически эффективные, а по двум — как перспективные для разработки. Редкие металлы сейчас востребованы и дефицитны. При этом имеются объекты минерального и техногенного сырья, представляющие интерес в плане извлечения этих металлов. Поэтому основная проблема сейчас заключается именно в технологическом параметре, то есть в разработке инновационных технологий, что позволит экономически эффективно и экологически безопасно извлекать многие стратегически важные редкие металлы из минерального сырья и его отходов.

Безопасность и эффективность разрабатываемых технологий должна оцениваться с учетом количественных показателей содержания металлов в исходных рудах и отходах, коэффициентов их выхода в готовую продукцию, показателей содержания в окружающей природной среде и в готовой продукции токсичных и экологически вредных металлов. Для оценки технологий, в рамках геолого-экономической оценки комплексных рудных и техногенных месторождений, необходимо применять следующие критерии.

Геологический критерий. Основные параметры здесь — количество запасов редких металлов и оптимальные параметры сети опробования, позволяющие точнее оценить количество их запасов. В каждом конкретном случае следует определять параметры разведочной сети с учетом специфики распределения ценных металлов в рудах и техногенном сырье [9].

Технологический критерий. Основные параметры — коэффициент извлечения редких металлов из техногенных отходов и затраты на извлечение металлов.

Экологический критерий — это содержание токсичных и экологически вредных металлов в переработанных отходах и в окружающей природной среде меньше предельно допустимых концентраций (желательно значительно меньше).

Первые три критерия должны быть близки между собой по значениям на стадии лабораторных исследований, полупромышленных и промышленных испытаний. Физико-химические основы лабораторных методов и разрабатываемых технологий извлечения редких металлов должны соответствовать этим критериям.

Экономический критерий — это динамика цен и спроса на стратегически важные металлы. Цены должны обеспечивать рентабельность технологий извлечения стратегических металлов. Кроме того, следует учитывать коммерческие и финансовые риски, барьеры при

вхождении на рынки редких металлов, что будет напрямую влиять на величину выручки и прибыли.

В целом параметры технологий извлечения редких металлов должны определять:

- технологическую безопасность промышленных технологий и, следовательно, их экологическую безопасность;
- снижение экологической нагрузки на окружающую природную среду при переработке минерального сырья и его отходов с использованием инновационных промышленных технологий;
- затраты на извлечение металлов и коэффициенты их извлечения, качество и цену металлов (концентратов металлов), и в целом рентабельность промышленных технологий.

Поэтому следует оценивать соответствие разрабатываемых технологий вышеуказанным универсальным требованиям и с их помощью производить выбор оптимальных технологий с учетом специфики разрабатываемых объектов.

Основными задачами проектов по извлечению стратегически важных редких металлов из техногенных отходов являются:

- маркетинговый анализ состояния и динамики развития рынков стратегически важных редких металлов;
- проведение с учетом обоснованных количественных критериев (минимальное бортовое содержание металлов, запасы металлов, коэффициенты извлечения металлов из исходного минерального или техногенного сырья, динамика спроса и цен на металлы) прогнозной геолого-экономической оценки стратегически важных редких металлов, содержащихся в минеральном сырье и его отходах, выявление объектов, перспективных для извлечения этих металлов;
- изучение специфических особенностей перспективных объектов — комплексных рудных и угольных, а также техногенных месторождений (хвосты обогащения руд, техногенные отходы металлургических и энергетических предприятий), оценка соответствия содержаний редких металлов кондициям, обоснование рациональных схем разработки этих объектов;
- анализ опубликованной и патентной информации по методам извлечения редких металлов из полезных ископаемых (руд, углей и пр.) и их отходов;
- выбор перспективных экономически эффективных и экологически безопасных методов по извлечению стратегически важных редких металлов из минерального сырья и его отходов;
- разработка на основе этих методов технологий по извлечению редких металлов из минерального сырья и его отходов;
- выбор оптимальных технологий извлечения ценных металлов из руд и их отходов путем проведения анализа технико-экономических и экологических показателей;
- оценка влияния разработанных технологий по извлечению ценных редких металлов из минерального сырья и его отходов на окружающую природную среду и на инновационное развитие региона.

В целом предлагается следующий последовательный поэтапный порядок проведения исследований по разработке промышленных рентабельных технологий по извлечению редких металлов из минерального сырья и техногенных отходов.

На первом этапе проводится прогнозная геолого-экономическая оценка объектов (минерального сырья и его отходов), позволяющая выбрать объекты, перспективные для извлечения стратегически важных металлов.

На втором этапе для этих объектов определяются перспективные методы извлечения редких металлов. Физико-химические основы этих методов позволяют разрабатывать экономически эффективные технологии переработки минерального сырья и его отходов, безопасные для окружающей среды.

На третьем этапе проводится разработка технологий по извлечению стратегически важных редких металлов.

На четвертом этапе выбираются инновационные технологии извлечения редких металлов. Выбор технологий должен проводиться на основе принципа оптимальности в рамках теории устойчивого развития, с учетом получаемых экономического, социального и экологического эффектов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беневольский, Б.И. Минерально-сырьевой потенциал — базовый элемент экономического суверенитета и национальной безопасности России / Б.И. Беневольский // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2005. — № 5. — С. 39–42.
2. Беневольский, Б.И. Два аспекта проблемы утилизации горнопромышленных отходов / Б.И. Беневольский, А.И. Кривцов, А.И. Романчук, Б.К. Михайлов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2011. — № 1. — С. 37–42.
3. Быховский, Л.З. Редкометалльное сырье России: перспективы освоения и развития минерально-сырьевой базы / Л.З. Быховский, Н.А. Архипова // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 11. — С. 26–30.
4. Быховский, Л.З. Стратегическое минеральное сырье: пути решения проблемы дефицита / Л.З. Быховский, Л.П. Тигунов // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2015. — № 5. — С. 43–49.
5. Быховский, Л.З. Техногенные отходы как резерв пополнения минерально-сырьевой базы: состояние и проблемы освоения / Л.З. Быховский, Л.В. Спорыхина // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. — 2011. — № 4. — С. 15–20.
6. Геохимия редких элементов в углях Сибири / С.И. Арбузов [и др.]. — Томск: Изд-во «Д-Принт», 2007. — 468 с.
7. Панфилов, Е.И. О состоянии и путях развития минерально-промышленного комплекса России / Е.И. Панфилов // Маркшейдерия и недропользование. — 2014. — № 1 (69). — С. 3–15.
8. Салихов, В.А. Геолого-экономическая и экономическая (стоимостная) оценка цветных и редких металлов, содержащихся в углях и золошлаковых отходах углей / В.А. Салихов // Вестник Томского государственного университета. Экономика. — 2014. — № 1 (25) — С. 123–128.
9. Салихов, В.А. Специфические особенности экономической оценки цветных и редких металлов, содержащихся в техногенных месторождениях / В.А. Салихов, О.С. Краснов // Разведка и охрана недр. — 2016. — № 6 — С. 42–46.
10. Салихов, В.А. Экономическая оценка и комплексное использование попутных полезных компонентов углей и золошлаковых отходов углей (на примере Кемеровской области): монография / В.А. Салихов; НФИ КемГУ. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2013. — 224 с.

© Краснов О.С., Салихов В.А., Король Л.Н., 2019

Краснов Олег Сергеевич // Okrasnov@vniigri.ru
Салихов Валерий Альбертович // Salihov-VA@yandex.ru
Король Леонид Николаевич // korol.lenya@yandex.ru

Башкуров А.Ю. (МГРИ-РГГРУ)

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО СОСТАВА ОБЛЕГЧЕННОГО ТАМПОНАЖНОГО РАСТВОРА ДЛЯ ЦЕМЕНТИРОВАНИЯ СКВАЖИН

*В условиях рыночной экономики перед горными предприятиями стоит актуальная задача качественного строительства скважин, особенно получение в затрубном пространстве жесткого цементного камня, который обеспечит плановые показатели добычи. Необходимо получить легкий тампонажный цемент с необходимыми эксплуатационными свойствами из доступных дешевых материалов. Значительный интерес в качестве облегчающей добавки представляют алюмосиликатные полые микросферы. Целью работы является выбор оптимального состава облегченного тампонажного раствора для цементирования скважин и анализ влияния различных реагентов на качество образования цементной крепи, т.е. повышение качества цементирования. **Ключевые слова:** алюмосиликатные микросферы, цементирование.*

Bashkurov A.Yu. (MGRI-RGGRU)

THE CHOICE OF OPTIMAL COMPOSITION OF LIGHT WEIGHT CEMENT SLURRY FOR

*In conditions of market economy the mining industry is a topical problem of the quality of well construction, especially getting in the annulus of a hard cement, which will ensure planned production figures. You need to light backfill cement the required performance properties of the available, cheap materials. Of considerable interest as additives to facilitate represent aluminosilicate hollow microspheres. The aim of this work is to determine the optimal composition of the lightweight cement slurry for cementing wells and analyze the effect of various reagents on the quality of education of the cement lining, that is, improving the quality of cementing. **Keywords:** aluminosilicate microspheres, cementation.*

При существующей технологии крепления скважин завершающим и наиболее ответственным этапом является разобшение пластов, от качества выполнения которого в значительной степени зависит успешное строительство скважины. Разобшение пластов — это совокупность операций и процессов, проводимых для закачки тампонажного раствора в затрубное пространство (т.е. в пространство за обсадной колонной) с целью создания там надежной изоляции в виде плотного материала, образующегося со временем в результате отвердения тампонажного раствора [1].

Цементный камень, находящийся за обсадной колонной, должен обладать достаточной непроницаемостью и прочностью, а также иметь хорошее сцепление с поверхностью обсадных труб и со стенками ствола скважины. Поскольку цементный камень должен оставаться устойчивым и прочным на протяжении