

ПЕРСПЕКТИВЫ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ЗОЛО-ШЛАКОВЫХ ОТВАЛОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ

Рассмотрены отдельные аспекты проблемы переработки техногенных месторождений, относящиеся к извлечению ценных металлов из углей и отходов угольной продукции в Кузбассе. В качестве критериев оценки экономической целесообразности извлечения углей предложено использовать Международную классификацию ООН запасы/ресурсы, согласно которой запасы ряда ценных редких металлов в золах углей можно оценить как потенциально экономические. Нестабильность развития экономики Кемеровской области, неустойчивый характер работы горных и металлургических предприятий подтверждают перспективность развития малых наукоемких производств.

Ключевые слова: редкие металлы; малые наукоемкие производства; рентабельность; прибыль.

В настоящее время в мире и в России отмечаются истощение запасов, ухудшение горно-геологических условий разработки и экономико-географических условий эксплуатации многих месторождений металлических полезных ископаемых. В России также наблюдается значительное сокращение объема геологоразведочных работ (ГРП) и сокращение прироста запасов. Около половины разведанных месторождений с балансовыми запасами в условиях рыночной экономики становятся условно рентабельными и даже нерентабельными для разработки. Эти обстоятельства свидетельствуют о необходимости комплексного освоения рентабельных месторождений, а также о необходимости вовлечения в переработку отходов минерального сырья.

Особенно много информации накоплено о ценных металлах, являющихся попутными компонентами в комплексных рудных месторождениях. Например, железные руды контактово-метасоматических месторождений Горной Шории и Кузнецкого Алатау часто содержат повышенные концентрации меди, молибдена, кобальта, цинка, свинца, золота, серебра, редких и редкоземельных металлов [1, 2]. Повышенные содержания этих элементов отмечены и в хвостохранилищах обогатительных фабрик [3].

Извлечение ценных цветных и редких металлов возможно из углей и из золо-шлаковых отвалов энергетических предприятий. В углях, так же как и в рудах, отмечаются повышенные концентрации ряда ценных металлов – галлия, германия, ванадия, вольфрама, ниобия, титана, циркония и некоторых других. По данным

многих авторов, эти концентрации достигают г/т, десятков г/т, и даже сотен г/т (Ti, Zr) [4–7].

Переработка золо-шлаковых отходов на промышленном производстве может дать от одного до нескольких десятков тонн редких металлов в год [4, 6, 7]. Следовательно, попутные полезные компоненты углей Кузбасса можно считать перспективной местной минерально-сырьевой базой ряда ценных металлов (галлия, германия, ванадия, вольфрама, скандия), обеспечивающих часть потребности промышленности Кемеровской области и Сибирского региона, а также перспективными для экспорта.

В Кузбассе ежегодно накапливается до 15 млн т золо-шлаковых отходов (включая металлургические и другие предприятия), в том числе из 2,6 млн т ежегодного выхода золы и шлака на ТЭС области, 2,4 млн т в виде золо-шлаковых смесей, способом гидроудаления отправляется в отвалы (в настоящее время их накоплено ≈ 40 млн т и не менее 20 млн т можно использовать в бетонах и растворах). С учетом относительно невысоких содержаний большинства цветных и редких металлов в углях (в основном это эпигенетические и, реже, сингенетические аномалии) практический интерес представляет извлечение ценных цветных и редких металлов из золо-шлаковых отвалов ТЭС (табл. 1), где их запасы могут составить тысячи т, десятки тысяч т и более [4, 10–12]. Ценные металлы можно также извлекать из зол уноса, где их содержание в 2–3 раза выше, чем в золоотвалах.

Таблица 1

Содержания ряда цветных и редких металлов в углях Кузбасса

Металл	Содержание в углях, г/т	Концентрации, рекомендуемые к оценке, г/т	Максимальное содержание в золе, г/т	Кондиции для руд, %
Титан	100–500	500	5600	10–15
Цирконий	100–300	500	3000	3
Медь	до 15	100	3700	0,5
Свинец	до 25	50	4800	2
Цинк	10–300	100	16000	1
Барий	200	1000	5800	1
Ванадий	до 50	100	5000	1
Вольфрам	до 3	100	1500	0,5–1
Бериллий	до 1	100	430	0,1
Ниобий	1–3	100	3000	0,1
Галлий	1–3	20	3000	0,04
Германий	до 1	10	2700	0,1

Практический интерес к комплексному использованию зол углей подкрепляется в последнее время совершенствованием и созданием новых технологиче-

ских схем обогащения и извлечения элементов. В настоящее время имеется целый ряд технологических решений, позволяющих эффективно утилизировать

некоторые виды золо-шлаковых отходов с целью извлечения из них полезных компонентов. Например, с помощью выщелачивания можно извлекать золото, литий, ванадий, вольфрам, иттрий, редкоземельные и др. элементы. Так, из золо-шлаковых отходов энергетических бурых углей извлекается до 40–67% титана, 45–77% бериллия, 70–87% меди, 50–81% марганца, 74–84% мышьяка, 48–60% ванадия и 62–83% галлия [5].

Себестоимость лабораторного извлечения металлов оценивается рядом исследователей на настоящий момент от нескольких тысяч руб./кг и более (например, 4000 руб./кг – Ga, 8000 руб./кг – Y). При извлечении ценных редких металлов из руд применяются дорогостоящие физико-химические методы (например, ультразвуковые методы, метод зонной плавки). Это подтверждают высокие цены на эти металлы (особенно на мировом рынке – Ga – 36000 руб. за кг, иттрий металлический около 30000 руб. за кг). Учитывая относительно невысокую себестоимость лабораторного извлечения металлов из золо-шлаковых отходов, можно ожидать, что и производственная себестоимость будет, по крайней мере, не выше, чем себестоимость традиционного получения этих металлов.

Эти данные подтверждают экономическую целесообразность извлечения ценных металлов из золы углей. Выбор оптимального варианта извлечения затруднен из-за отсутствия сейчас в РФ промышленных методов извлечения металлов. Одним из перспективных методов является способ восстановления хлоридов металлов магнием (извлечение металлов более 90%). Гиредметом (Государственным институтом редкометаллической промышленности, г. Москва) разработан способ хлорирования лопаритовых концентратов, который в настоящее время внедрен в промышленность. В настоящее время разработаны технологические схемы извлечения редких металлов из доменных шламов НКМК, из отходов обогащения Абагурской аглофабрики, а также из клинкера Беловского цинкового завода [8].

Предварительная оценка показывает, что при переработке около 2 тыс. т концентрата золы и при извлечении только титана, циркония, ванадия и галлия (10 т Ti и 10 т Zr, 1 т V и 0,1 т Ga) затраты по проекту (\approx 40 млн руб., из них 30 млн руб. – капитальные) окупаются в течение года, а выручка достигает 70 млн руб. Расчет устойчивости проекта показывает, что даже при увеличении капитальных и эксплуатационных затрат на 100% (\approx 10–15% в год) и уменьшении выручки также в 2 раза проект окупается в срок до 5 лет [4, 6]. Рост цен на металлы выше роста величины затрат. Сейчас (в \$/кг) – Ti и Zr – 100, V – 40, Ga – 1200.

Для уточнения степени экономической целесообразности использования этих попутных полезных компонентов необходимо применять международную классификацию ООН запасы/ресурсы. Она основана на приведении к единым экономическим категориям различных национальных классификаций запасов и ресурсов полезных ископаемых. Единые критерии оценки запасов/ресурсов основаны на их оценке в трехмерной системе координат: степень геологической изученности, наличие промышленных технологий извлечения и переработки минерального сырья, наличие спроса на минеральное сырье. Исходя из применяемых геологи-

ческих, технологических и экономических параметров запасы полезных ископаемых подразделяются как экономические, потенциально экономические и, возможно, экономические [9].

В целом можно выделить следующие критерии оценки запасов редких металлов в углях и в золо-шлаковых отходах углей, позволяющие оценить экономическую эффективность их извлечения.

1. Степень геологической изученности (запасы ряда металлов в углях можно оценить по категории C₂, а в золе углей – по категории C₁, т.е. как балансовые).

2. Рентабельные технологии извлечения ценных металлов из углей и отходов угольной продукции. В настоящее время они находятся в основном на стадии лабораторных и полупромышленных испытаний.

3. Экономический фактор – цены, спрос – предложение, условия продаж и т.д. (цены и объемы продаж неустойчивы, рост цен может иметь спекулятивный характер, вход на рынки металлов затруднен, что требует оценки рисков и поддержки правительства).

При оценке целесообразности извлечения металлов из углей и золы углей необходимо учитывать финансовый, экологический, социальный и косвенный эффекты и суммарный народно-хозяйственный эффект.

Мировое потребление цветных металлов ежегодно прирастает примерно на 2,5–3%, а черных металлов – на 2%. Промышленный рост прогнозируется и в Российской Федерации, но потребности в большинстве цветных и особенно редких (титан, тантал, ниобий, цирконий) металлов для российской металлургических, машиностроительных и других предприятий обеспечиваются главным образом за счет импорта. Выход на относительно устойчивые показатели развития минерально-сырьевого комплекса страны возможен (только по так называемому «перспективному варианту») к 2020 г. Это потребует привлечения значительных средств, включая средства отечественных недропользователей и зарубежных инвесторов. Следовательно, проблема удовлетворения возрастающих потребностей промышленности России в цветных и редких металлах останется актуальной и после 2020 г.

Дальнейшее развитие промышленности Кузбасса, особенно металлургии и машиностроительного комплекса, требует увеличения местной МСБ черных, цветных и редких металлов. Конкурентоспособность горно-металлургических компаний определяется наличием собственной МСБ, сортаментом продукции, консолидацией отдельных производств. Потенциальной МСБ многих ценных цветных и редких металлов являются техногенные месторождения. Перспективность производства по извлечению дефицитных металлов из золы отходов ТЭС можно наглядно продемонстрировать с помощью метода последовательного размещения производства (т.н. технологических цепочек). Расчет суммарной себестоимости по цепочке производится по формуле [4]:

$$S^1 = f^1 \times (S^0 + a^1 + t^1), \quad (1)$$

где S⁰ – себестоимость добычи руды; S¹ – себестоимость обогащения; a¹ – затраты на обогащение на месте; t¹ – расстояние транспортировки руды до места обогащения; t – тариф перевозки 1 т груза (примерно 10 \$ на т/км до 1000 км).

f^0, f^1, f^2, f^3 – коэффициенты расхода вещества, поступившего на вход, на единицу сырья и продукта на выходе (соответственно добыча руды, обогащение, получение промежуточного продукта и получение металла). Они рассчитываются с помощью величины извлечения металла (ϵ):

$$\epsilon = (C_{\text{конц}} \times (C_{\text{руда}} - C_{\text{отходы}})) / (C_{\text{руда}} \times (C_{\text{конц}} - C_{\text{отходы}})). \quad (2)$$

Таким образом, коэффициент расхода вещества является величиной, обратной величине извлечения металла ($1/\epsilon$). Для цветных металлов в среднем значение $f^1 = 1,2$; f^2 и $f^3 = 1,5$, для редких металлов в рудах $f^1 = 1,5$; f^2 и $f^3 = 2$, а для зол углей f^2 и $f^3 = 2$. При расчете суммарной себестоимости по всей технологической цепочке 2-ю и 3-ю стадии (получение промежуточного продукта и получение металла) можно для упрощения расчетов объединить в единую стадию. При расчете суммарной себестоимости извлечения ценных металлов из золо-шлаковых отходов эта стадия будет единственной (получение концентрата золы и получение ценных цветных и редких металлов методом термохлорирования). Себестоимость получения 1 т концентрата – 30 \$, а средняя себестоимость комплексного получения 1 т цветных и редких металлов – 40 000 \$ [4, 6].

Суммарная себестоимость получения 1 т полиметаллов из руд (таких, как Cu, Pb, Zn), исходя из практических данных, составит в настоящее время не менее 100 000 руб. / т:

$$S^1 = 1,2 \times (100 \$ + 200 \$ + 10 \$) = 372 \$,$$

$$S^{2,3} = 1,5 \times (372 \$ + 2 000 \$ + 10 \$) = 3573 \$.$$

Суммарная себестоимость получения редких металлов из руд (таких, как цирконий) составляет в среднем 200 000 \$ / т, или 6 000 000 руб. / т:

$$S^1 = 1,5 \times (200 \$ + 300 \$ + 10 \$) = 765 \$,$$

$$S^{2,3} = 2 \times (765 \$ + 100 000 \$ + 10 \$) = 201550 \$.$$

Себестоимость получения 1 т ценных редких и цветных металлов (таких, как Ti, Zr, V, Ga) из золо-шлаковых отходов методом термохлорирования в среднем составит 80 000 \$ / т, или $\approx 2 400 000$ руб. / т:

$$S^{2,3} = 2 \times (30 \$ + 40 000 \$ + 10 \$) = 80 080 \$.$$

Полиметаллы (такие, как Cu, Pb, Zn) также могут извлекаться из золы только в комплексе с редкими металлами, иначе их извлечение неэффективно. Себестоимость извлечения редких металлов из зол гораздо ниже, чем получение этих металлов традиционным путем. Кроме того, при комплексном извлечении металлов их доля среди извлекаемых металлов может составить до 10% и более (например, доля циркония около 50%).

Негативной стороной извлечения цветных и редких металлов из золы методом термохлорирования являются высокие требования к безопасности работ, дополнительные расходы на утилизацию переработанных зол и на другие соответствующие мероприятия. Следует учитывать тот факт, что в настоящее время нет других безопасных и дешевых методов извлечения ценных металлов из золных отходов углей. Оценивая экологические требования к имеющимся опытным методам извлечения металлов, следует повышать безопасность этих методов, учитывая их себестоимость в сравнении с традиционным производством. Таким образом, эффективным для использования будет метод, отвечающий данным требованиям.

Следует также учесть, что капитальные затраты (включая затраты на НИОКР) будут меньше традиционных затрат на горно-капитальное строительство. Извлечение металлов из отходов позволит экономить значительные средства необходимые для проведения ГРП. Все это дает косвенный эффект. Значителен социально-экологический эффект, определяемый улучшением экологии региона, созданием различных рабочих мест и т.д., что крайне важно для Кемеровской области. Таким образом, возможно получение существенного суммарного народно-хозяйственного эффекта на региональном уровне.

Согласно применяемому в экономической теории правилу ромба конкурентоспособность подобных производств в Кузбассе будет успешной и перспективной из-за влияния четырех параметров (вершин ромба) – наличия родственных и поддерживающих отраслей (горно-металлургического комплекса), условий для факторов производства (техногенных отходов, технологий извлечения металлов, оборудования), а также спроса и устойчивой стратегии развития региона.

Наглядно проиллюстрировать экономическую эффективность производства ценных цветных и редких металлов из рудных и техногенных месторождений можно также с помощью теории графов (рис. 1). Технологические цепочки анализируются по финансовым затратам, объемам производства металлов и т.д. В условиях снижения спроса на металлы более устойчивыми будут малые производства по их получению.

Поскольку в Российской Федерации прогнозируется рост внутреннего потребления редких и цветных металлов, такая разнообразная продукция (производимая в небольших объемах) будет всегда востребована. Меньший уровень капитальных вложений и годовых затрат, сопоставимые концентрации полезных компонентов в исходном сырье (в рудах и в золе углей) также подтверждают эффективность такого производства. Кроме того, при переработке техногенных месторождений улучшается экологическая ситуация.

В Кемеровской области традиционно развиты отрасли производства горно-металлургического комплекса промышленности. Весомый вклад в экономику страны и области вносят металлургические предприятия – Западно-Сибирский и Новокузнецкий металлургические комбинаты (ЗСМК и НКМК), Новокузнецкий алюминиевый завод, ОАО «Кузнецкие ферросплавы». Черная и цветная металлургия обеспечивают около 40% объема промышленного производства Кузбасса; 20% налоговых поступлений в областной бюджет и более 40% валютных поступлений. В цветной металлургии более 90% всей продукции в области обеспечивает пятое по величине предприятие в стране – Новокузнецкий алюминиевый завод. Активно работают угледобывающие компании, горнорудные предприятия по добыче и переработке руд черных, цветных и благородных металлов. Сегодня Кемеровская область обеспечивает более 50% национальной добычи угля (в том числе 79% – коксующихся марок); более 50% экспорта углей (в основном коксующихся марок).

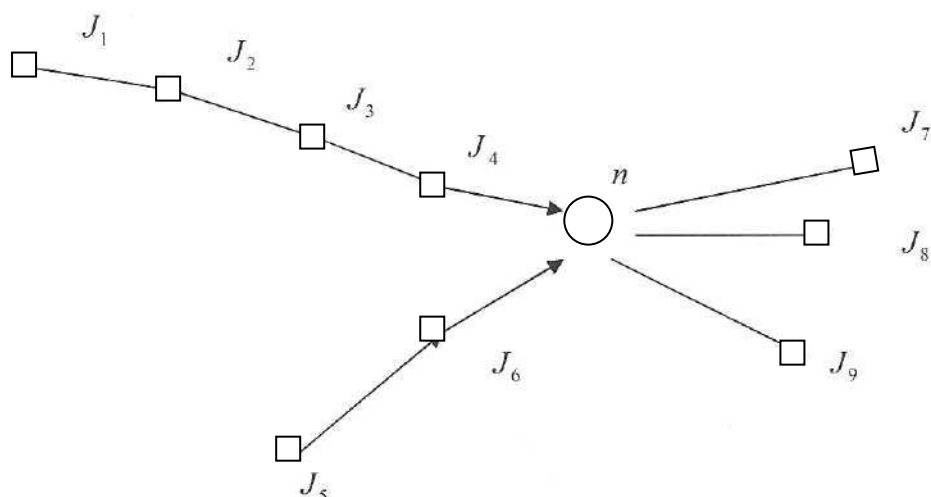


Рис. 1. Сравнительная эффективность получения цветных и редких металлов: J_1, J_2, J_3, J_4 – стадии производства металлов из рудных месторождений (соответственно добыча, обогащение, получение промежуточного продукта, получение металла); J_5, J_6 – получение редких металлов из техногенных отходов (получение концентрата из золо-шлаковых отходов и извлечение из него металлов); n – производство металлоизделий; J_7, J_8, J_9 – применение металлоизделий из ценных цветных и редких металлов в различных отраслях промышленности

В то же время следует отметить нестабильность развития экономики Кузбасса. Область пока не может покрывать свои расходы собственными доходами. Основные источники поступления денежных средств в бюджет Кемеровской области обеспечивают четыре вида налогов – налог на доходы физических лиц (примерно 25%), платежи за пользование природными ресурсами (более 10%), налог на прибыль (более 10%) и налог на имущество (около 10%). При этом нет доходов от внешнеэкономической деятельности. Для обеспечения бездефицитности бюджета необходимо увеличение собственных доходов области в полтора раза [10].

В последнее время рост производства происходил в основном в так называемых корпоративных секторах экономики, в которые входят крупные горно-металлургические компании (Евразхолдинг, СУЭК, «Русский алюминий и др.). В то же время наблюдается спад производства в машиностроении и в других некорпоративных секторах экономики (легкая, пищевая промышленность, сельское хозяйство и т.д.). В экономике области невелика доля малых предприятий (особенно наукоемких), невелики и объемы инвестиций в этот сектор экономики. Кемеровская область отстает от соседних Новосибирской и Томской областей по инновационной активности в экономике. Затраты на технологические инновации в Кузбассе в 3–10 раз меньше, чем в других индустриальных регионах [10].

Одним из вариантов развития наукоемких малых предприятий является создание компактных производств по переработке техногенных отходов и извлечению из них ценных металлов. Эти производства могут работать в составе крупных горно-металлургических компаний на основе кооперации технолого-экономических связей между ними и энергетическими предприятиями. Таким образом, малые предприятия получают инновационные возможности для внедрения современных методов извлечения металлов из техногенных месторождений. В настоящее время в результате падения цен на цветные металлы и на уголь финансовые проблемы испытывают многие металлургические и горные предприятия. Предлагаемая диверсификация производства обеспечит дополнительную прибыль угледобывающим предприятиям и повысит их финансовую устойчивость в условиях нестабильной работы в сложных горно-геологических условиях.

Основными предприятиями энергетической отрасли Кузбасса являются: ГРЭС – Южно-Кузбасская (г. Калтан), Томь-Усинская (г. Мыски), Беловская (г. Белово), Кемеровская (г. Кемерово); ТЭЦ – Западно-Сибирская и Кузнецкая (г. Новокузнецк), Кемеровская и Новокемеровская (г. Кемерово). Эти предприятия являются поставщиками тонкодисперсной золы уноса, шлака и золо-шлаковой смеси (ежегодно накапливается около 2,6 млн т отходов, табл. 2) [11].

Т а б л и ц а 2

Золо-шлаковые отходы на территории Кемеровской области

Наименование ТЭС	Объем отвалов, млн. т	Площадь отвалов, га	Годовой выход золо-шлаковых отходов, тыс. т
Томь-Усинская ГРЭС	16,5	440	800
Южно-Кузбасская ГРЭС	1,8	Нет данных	400
Кузнецкая ТЭЦ	2,6	60	230
Западно-Сибирская ТЭЦ	6	Нет данных	530
Беловская ГРЭС	3,2	280	440
Кемеровская ГРЭС	3,5	82	100
Кемеровская ТЭЦ	1,4	Нет данных	100
Новокемеровская ТЭЦ	1	Нет данных	110

Годовой выход золы на энергетических предприятиях составляет нескольких сотен тыс. т золы, из которой можно получать несколько тыс. т концентрата для малых наукоемких производств.

Преимуществом одного из перспективных методов извлечения металлов из концентрата золы – метода термохлорирования, является возможность получения губчатого или порошкового (после операции дробления) титана и циркония. Цены на эти металлы достигают 50–100 \$/кг и более. Кроме того, комплексное извлечение металлов из золы позволяет одновременно получать металлы (V, W и пр.), используемые в качестве легирующих добавок при производстве титановых и циркониевых сплавов.

Из накапливаемых за год золных отвалов ТЭС можно извлечь не менее 100 т Ti, Zr, 10 т V, 1 т Ga, Ge [6]. Учитывая тот факт, что для извлечения ценных металлов может быть использовано не менее 20 млн т накопленных в Кемеровской области золоотвалов ТЭС, можно предположить, что объемы извлекаемых металлов из них будут на порядок выше, но эти металлы могут быть, в первую очередь, востребованы в промышленности Кемеровской области и Сибирского региона.

Например, в сравнении с этой прогнозной оценкой, по мнению специалистов, прогнозируемые запасы редких металлов в комплексных апатит-магнетитовых и редкометалльных рудах и их отходах в Мурманской области (ведущем потенциальном источнике стратегического сырья России) составляют миллиарды тонн (руды Ti), миллионы тонн (руды Zr), значительны запасы Ta, Nb и других редких металлов. Их годовая добыча может составить от десятков (Ta, Nb) и тысяч тонн (Li) до десятков (Zr) и сотен тысяч тонн (Ti) [12]. Эти показатели выше на несколько порядков.

Получаемые металлы могут быть востребованы в электротехническом машиностроении области, а также на машиностроительных, ферросплавных и других предприятиях субъектов СФО (Новосибирской и Иркутской областей, Красноярского края).

Ряд ценных металлов (таких, как Ti, Zr, Ga, Ge) может быть востребован и на внешних рынках. Прибыль от их продажи можно уточнить (по «спот» или «фьючерс» условиям продаж) по формуле

$$\Pi = B \times K_B - Z, \quad (3)$$

где Π – прибыль от продажи конкретного дефицитного металла, руб.; B – выручка от продажи металла (объем производства \times цена металла), руб.; Z – общие затраты на производство металла, включая транспортные, руб.; K_B – коэффициент востребованности металла, в долях единицы.

Коэффициент востребованности определяется на основе маркетинговых исследований и, следовательно, может влиять на величину будущих затрат.

Предложенный подход к извлечению цветных и редких металлов, содержащихся в углях и в золо-шлаковых отходах, позволяет (с учетом рентабельности применяемых технологий) оптимизировать варианты извлечения дефицитных и высоколиквидных металлов из отходов угольной продукции (рис. 2).

Например, редкие металлы, содержащиеся в золах углей в относительно небольших количествах и имеющие узкую область применения, могут быть оценены по категории экономических запасов – при наличии промышленных технологий извлечения этих металлов и при больших объемах потребления.

В настоящее время запасы ряда редких металлов (Ti, Zr, V, W, Ga, Nb) в золе углей Кузбасса можно оценить как потенциально экономические.

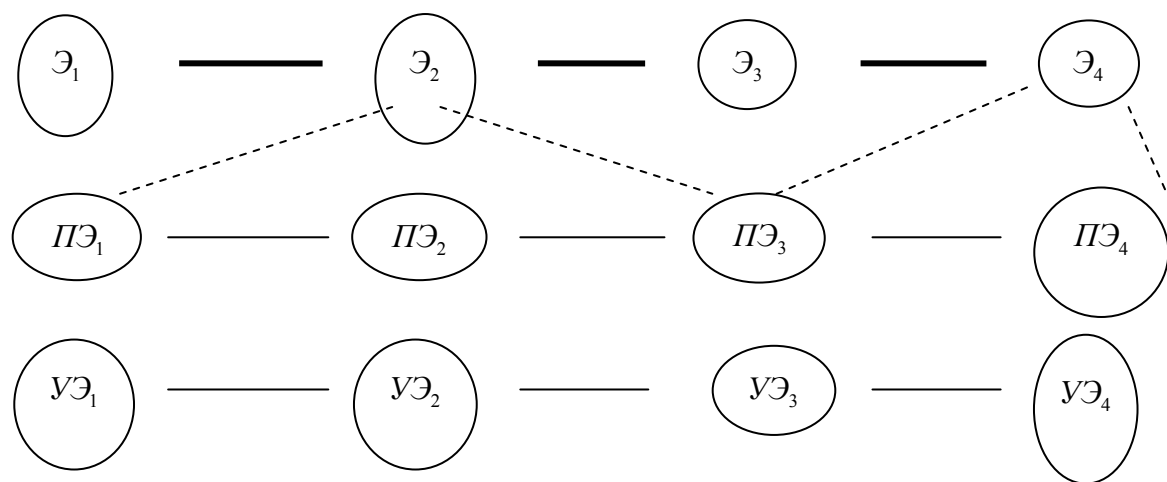


Рис. 2. Оценка использования техногенных месторождений цветных и редких металлов с помощью квазиупорядоченного графа, подразделяющего запасы металлов на экономические (Э), потенциально-экономические (ПЭ) и условно-экономические (УЭ) по 4 параметрам: содержанию металлов в золо-шлаковых отходах (1), наличию технологий извлечения металлов (2), областям применения металлов (3), объемам потребления металлов (4)

ЛИТЕРАТУРА

1. Демидов И.В. Комплексное оруденение Сухаринского железорудного узла и Шерегешевского месторождения Горной Шории // Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе: Тр. регион. конф. Новокузнецк, 2003. С. 141–144.
2. Платонов А.Н. Благородная минерализация Казского железорудного месторождения // Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе: Тр. регион. конф. Новокузнецк, 2003. С. 139–141.
3. Жданов В.Н. Геолого-технологическая оценка хвостов мокрой магнитной сепарации Мундыбашской и Абагурской ОАФ // Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе: Тр. регион. конф. Новокузнецк, 2003. С. 144–146.
4. Краснов О.С., Салихов В.А. Перспективы производства дефицитных цветных и редких металлов из угольных отходов в Кузбассе // Цветные металлы. 2007. № 8. С. 8–11.
5. Редкие элементы в углях Кузбасса / С.И. Арбузов, В.В. Ершов, А.А. Поцелуев, Л.П. Рихванов. Кемерово, 1999. 248 с.
6. Салихов В.А. Научные основы и совершенствование геолого-экономической оценки попутных полезных компонентов угольных месторождений (на примере Кузбасса). 2-е изд. перераб. и доп. Кемерово: Кузбассвуиздат, 2008. 249 с.
7. Туркин В.А. Потенциальная металлоносность углей Кузбасса // ТЭК и ресурсы Кузбасса. 2001. № 2. С. 91–96.
8. Пермяков П.Г. Процессы хлорирования в технологии переработки минерального сырья: Учеб. пособие. Новокузнецк, 2000. 76 с.
9. Кривцов А.И., Беневольский Б.И. О проекте концепций классификации ресурсов и запасов твердых полезных ископаемых и стадийности геолого-разведочных работ // Минеральные ресурсы России. Экономика и управление. 2003. № 1–2. С. 78–85.
10. Программа экономического развития Кемеровской области на 2005–2010 гг. Москва; Кемерово, 2004. 92 с.
11. Панова В.Ф. Строительные материалы на основе отходов промышленных предприятий Кузбасса: Учеб. пособие. Новокузнецк, 2005. 182 с.
12. Кольская горно-металлургическая корпорация как ключевое звено государственного резерва стратегических материалов / А.Н. Виноградов, В.Т. Калининков, В.П. Петров, В.С. Селин, В.А. Цукерман. Апатиты: Изд. КНЦ РАН, 2004. С. 171–180.

Статья представлена научной редакцией «Экономика» 2 июля 2009 г.