

УДК 338.91(571.17)

**О.С.КРАСНОВ**, *д-р экон. наук, профессор, okrasnov@vnigri.ru*  
*Всероссийский научно-исследовательский геолого-разведочный институт (ВНИГРИ),*  
*Санкт-Петербург*

**В.А.САЛИХОВ**, *канд. техн. наук, доцент, okrasnov@vnigri.ru*  
*Новокузнецкий филиал-институт Кемеровского государственного университета*

**O.S.KRASNOV**, *Dr. in ec., professor, okrasnov@vnigri.ru*  
*All-Russian Petroleum Research Exploration Institute (VNIGRI), Saint Petersburg*  
**V.A.SALIKHOV**, *PhD in eng. sc., associate professor, okrasnov@vnigri.ru*  
*Novokuznetck Branch-institute of Kemerovo State University*

## **ОЦЕНКА ПЕРСПЕКТИВ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ ЦВЕТНЫХ И РЕДКИХ МЕТАЛЛОВ ИЗ ЗОЛОШЛАКОВЫХ ОТВАЛОВ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ КЕМЕРОВСКОЙ ОБЛАСТИ**

Рассмотрены аспекты проблемы переработки техногенных месторождений, относящиеся к извлечению ценных цветных и редких металлов из золошлаковых отходов углей, накапливаемых энергетическими предприятиями Кемеровской области. Оценены перспективы использования этих металлов в промышленном производстве Кемеровской области и Сибирского региона.

**Ключевые слова:** металлы, техногенные месторождения, малые наукоемкие производства.

## **THE PROSPECTS EVALUATION OF NON-FERROUS AND RARE METALS RECLAIMING FROM ASH-SLAG DUMPS OF ENERGY ENTERPRISES IN KEMEROVO REGION**

Some problem aspects of anthropogenic fields reprocessing by iron-reclaiming from ash-slag waste coal accumulated by energy enterprises in Kemerovo Region are described in this article. Prospects for the use of these metals in the Kemerovo region and Siberia industry are valued here.

**Key words:** metals, anthropogenic deposits, small science-intensive production.

В настоящее время в мире и в России отмечается истощение запасов, ухудшение горно-геологических условий разработки и экономико-географических условий эксплуатации многих месторождений металлических полезных ископаемых. В России также значительно сокращается объем геолого-разведочных работ и прирост запасов. При этом около половины разведанных месторождений с балансовыми запасами в условиях рыночной экономики становится условно рентабельными и даже нерентабельными для разработки. Эти обстоятель-

ства свидетельствуют о необходимости комплексного освоения рентабельных месторождений, а также вовлечения в переработку отходов минерального сырья [5].

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, 8]. Повышенные содержания этих элементов отмечены и в хвостохранилищах обогатительных фабрик [2].

Извлечение ценных цветных и редких металлов возможно из углей и из золошлаковых отвалов энергетических предприятий. В углях Кузбасса, как и в рудах, отмечены повышенные (от нескольких до сотен грамм на тонну) концентрации ряда ценных металлов: галлия, германия, ванадия, титана, циркония, стронция, цинка, свинца и др. [4, 10, 11, 12].

Промышленная переработка золошлаковых отходов может дать от одного до нескольких десятков тонн редких металлов в год [4, 11, 12]. Следовательно, попутные полезные компоненты углей Кузбасса можно считать перспективной местной минерально-сырьевой базой (МСБ) ряда ценных металлов (титана, циркония, стронция, галлия, ванадия), обеспечивающей часть потребности промышленности Кемеровской области и Сибирского региона, а также экспорт.

В Кемеровской области ежегодно накапливается до 15 млн т золошлаковых отходов (включая металлургические и другие предприятия). Из 2,6 млн т ежегодного выхода золы и шлака на ТЭС области 2,4 млн т в виде золошлаковых смесей способом гидроудаления отправляется в отвалы (в настоящее время их накоплено около 40 млн т и не менее 20 млн т можно использовать в бетонах и растворах). Из-за относительно невысоких содержаний большинства цветных и редких металлов в углях, практический интерес представляет извлечение ценных цветных и редких металлов из золошлаковых отвалов ТЭС, где их концентрации в несколько раз выше [4, 10, 11, 12]. Ценные металлы можно также извлекать из зол уноса, где их содержание в 2-3 раза выше, чем в золоотвалах.

Практический интерес к комплексному использованию зол углей подкрепляется в последнее время совершенствованием и созданием новых технологических схем обогащения и извлечения элементов. В настоящее время разработан целый ряд технологических решений, позволяющих эффективно утилизировать некоторые виды золошлаковых отходов с целью извлечения из них полезных компонентов. Например, с помощью

выщелачивания, можно извлекать золото, литий, ванадий, вольфрам, иттрий, редкоземельные и другие элементы. Из золошлаковых 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 [10].

Себестоимость лабораторного извлечения металлов относительно невысока: например, 14 тыс. руб./кг для галлия, 3 тыс. руб./кг для иттрия [10], хотя применяются дорогостоящие физико-химические методы (например, плавление в вакуумно-дуговых и электронно-лучевых печах). Можно ожидать, что и производственная себестоимость будет, по крайней мере, не выше, чем себестоимость получения этих металлов из руд.

Дефицит минерального сырья, наличие лабораторных и ряда опытно-промышленных технологий извлечения металлов из зол (с гораздо меньшими энергозатратами по сравнению с силикатными рудами), а также достаточно высокие цены на металлы и металлургическую продукцию на мировом рынке (галлий 36 тыс. руб./кг, иттрий металлический около 30 тыс. руб./кг), позволяют говорить о целесообразности извлечения ценных металлов из зольных отвалов ТЭС.

Экономический эффект проекта по извлечению ценных металлов из золошлаковых отходов углей должен определяться путем сопоставления ожидаемой выручки от продажи металлов и затрат с расчетом балансовой и чистой прибыли по проекту с учетом емкости внутренних и внешних рынков металлов, а также коммерческих (снижение цен, объемов продаж, противодействие конкурентов) и финансовых (неплатежи, неоптимальное распределение финансовых ресурсов, большие объемы инвестиций в проект) рисков.

Выбор оптимального варианта извлечения затруднен из-за отсутствия в России рентабельных промышленных методов извлечения металлов. Одним из перспективных методов является способ восстановления хлоридов металлов магнием (извлечение металлов более 90 %). В Государствен-

ном институте редкометаллической промышленности (Москва) разработан способ хлорирования лопаритовых концентратов, который в настоящее время внедрен в промышленность. Известны и технологические схемы извлечения редких металлов из доменных шламов и из отходов обогащения железных и полиметаллических руд [7].

Предварительная оценка показывает, что объем производства при извлечении металлов из золы углей составит более 30 т редких металлов в год, из них около 10 т Ti, Zr и Sr; более 3 т V; более 2 т Ga; до 1 т Nb и Ge. Капитальные затраты составят более 30 млн руб., а ежегодные затраты – более 9 млн руб. Выручка от получения этих металлов при переработке примерно 2 тыс. т концентрата около 70 млн руб. (в ценах 2000 г.). Расчет устойчивости проекта (чистый дисконтированный доход больше нуля, индекс доходности более 1,5) показывает, что даже при увеличении капитальных и эксплуатационных затрат на 100 % и уменьшении выручки в 2 раза, проект окупится за срок до 5 лет. За последние 10 лет цены на металлы выросли в 2-4 раза (галлий 400 и 900 долларов, ванадий 10 и 40 долларов за килограмм), а затраты в 1,5-2 раза [11].

Ожидается, что в период до 2020 г. рост потребности металлургических предприятий России в сырье будет обусловлен увеличением спроса на металлопродукцию на внутреннем рынке (вследствие ожидаемого оживления производства в отраслях-металлопотребителях), при сравнительно стабильных объемах экспорта. Рост внутреннего потребления металлопродукции и рост ее экспорта возможны при поставках продукции так называемого четвертого передела (например, обработка цветных металлов, твердосплавная металлургия и т.д.).

Дальнейшее развитие промышленности Кемеровской области, особенно металлургии и машиностроительного комплекса, требуют увеличения местной минерально-сырьевой базы черных, цветных и редких металлов [9]. 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 зольных отходов ТЭС можно наглядно продемонстрировать с помощью метода последовательного размещения производства (так называемых технологических цепочек) [4]. Себестоимость обогащения

$$S^1 = f^i (S^0 + a^1 + tl^1),$$

где  $f^0, f^1, f^2, f^3$  – коэффициенты расхода вещества, поступившего на вход, на единицу сырья и продукта на выходе (соответственно, добыча руды, обогащение, получение промежуточного продукта и получение металла), рассчитываемые на основе извлечения металла

$$\varepsilon = \frac{C_{\text{конц}} (C_{\text{руда}} - C_{\text{отходы}})}{C_{\text{руда}} (C_{\text{конц}} - C_{\text{отходы}})};$$

$C$  – содержание металла в концентрате, руде и отходах;  $S^0$  – себестоимость добычи руды;  $a^1$  – затраты на обогащение на месте;  $l^1$  – расстояние транспортировки руды до места обогащения;  $t$  – тариф на перевозку 1 т груза.

Таким образом, коэффициент расхода вещества является величиной, обратной величине извлечения металла ( $1/\varepsilon$ ). При расчете себестоимости стадий 3 и 4 (коэффициенты  $f^2$  и  $f^3$ ) можно объединить в единую стадию получения металла. Для цветных металлов в среднем  $f^1 = 1,2$ ;  $f^2 = f^3 = 1,5[(1,9 + 1,1)/2]$ , для редких металлов в рудах  $f^1 = 1,5$ ;  $f^2 = f^3 = 2[(2,9 + 1,1)/2]$ , а для зол углей  $f^2 = f^3 = 2[(2,95 + 1,05)/2]$ .

Себестоимость извлечения редких металлов из зол ниже, чем при получении 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 30 %). Тогда себестоимость получения цветных металлов будет сопоставима с себестоимостью их получения из руд. Извлечение этих металлов целесообразно в комплексе с редкими металлами.

Негативной стороной извлечения цветных и редких металлов из золы методом термохлорирования являются высокие требования к безопасности работ, дополнительные расходы на утилизацию переработанных зол и другие мероприятия. Следует учитывать, что в настоящее время нет других безопасных и дешевых методов извлечения ценных металлов из зольных отходов углей. В соответствии с экологическими требованиями к опытным методам извлечения металлов следует повышать безопасность этих методов с учетом технологических и экологических рисков.

Согласно правилу ромба М.Портера, конкурентоспособность производств по извлечению металлов из золы углей в Кемеровской области будет успешной из-за влияния четырех факторов (вершин ромба): наличия родственных и поддерживающих отраслей (горно-металлургического комплекса), наличия условий для факторов производства (техногенных отходов, технологий извлечения металлов, оборудования), наличия спроса и наличия устойчивой стратегии развития региона.

Эти производства могут работать в составе крупных горно-металлургических компаний, на основе кооперации технологико-экономических связей между ними и энергетическими предприятиями. Таким образом, малые наукоемкие предприятия получают инвестиционные возможности для внедрения современных методов извлечения металлов из техногенных месторождений и определенные льготы.

В настоящее время в результате падения цен на цветные металлы и уголь финансовые проблемы испытывают многие металлургические и горные предприятия. Предлагаемая диверсификация производства обеспечит дополнительную прибыль этим предприятиям.

Основными предприятиями энергетической отрасли Кемеровской области 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 золошлаковой смеси (см. таблицу) [6].

**Золошлаковые отходы на территории Кемеровской области**

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

Годовой выход золы на энергетических предприятиях достигает нескольких сотен тысяч тонн золы, из которой можно получить несколько тысяч тонн концентрата для малых наукоемких производств. Из накапливаемых за год зольных отвалов ТЭС можно извлечь не менее 100 т титана, циркония, стронция, 10 т ванадия, 1 т галлия и германия [11]. Учитывая 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 из них металлов будут на порядок выше, но эти металлы могут быть, в первую очередь, востребованы в промышленности Кемеровской области и Сибирского региона. 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) [3].

Получаемые металлы могут быть востребованы в электротехническом машиностроении области, а также на машинострои-

тельных и других предприятиях Новосибирской и Иркутской областей, Красноярского края. Ряд ценных металлов (Ti, Zr, Ga, Ge) может быть востребован и на внешних рынках. Прибыль от их продажи можно определить с учетом условий продаж и объемов реализации металлов:

$$\Pi = (V_1Ц_1 + V_2Ц_2 + \dots + V_nЦ_n) - З,$$

где  $\Pi$  – прибыль от реализации металлов;  $V_1, V_2, \dots, V_n$  – годовые объемы реализации сортов металлов;  $Ц_1, Ц_2, \dots, Ц_n$  – сортовые цены за единицу продукции;  $З$  – затраты на производство и реализацию металлов.

#### 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. 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.
3. Кольская горно-металлургическая корпорация как ключевое звено государственного резерва стратегических материалов / А.Н.Виноградов, В.Т.Калинников, В.П.Петров, В.С.Селин, В.А.Цукерман // Север-2003: проблемы и решения: Сб. статей. Апатиты, 2004. С.171-180.
4. Краснов О.С. Перспективы производства дефицитных цветных и редких металлов из угольных отходов в Кузбассе / О.С.Краснов, В.А.Салихов // Цветные металлы. 2007. № 8. С.8-11.
5. Кривцов А.И. Сбалансированное использование и воспроизводство минерально-сырьевой базы России в долгосрочной перспективе / А.И.Кривцов, Б.И.Беневольский, И.Ф.Мигачев // Руды и металлы. 2005. № 1. С.32-38.
6. Панова В.Ф. Строительные материалы на основе отходов промышленных предприятий Кузбасса: Учеб. пособие. Новокузнецк, 2005. 182 с.
7. Пермяков П.Г. Процессы хлорирования в технологии переработки минерального сырья: Учеб. пособие. Новокузнецк, 2000. 76 с.
8. Платонов А.Н. Благородная минерализация Казского железорудного месторождения // Перспективы развития технологий переработки вторичных ресурсов в Кузбассе: Тр. регион. конф. Новокузнецк, 2003. С.139-141.
9. Программа экономического развития Кемеровской области на 2005-2010 гг.: Офиц. текст. М. – Кемерово, 2004. 92 с.

10. Редкие элементы в углях Кузбасса: Монография / С.И.Арбузов, В.В.Ершов, А.А.Потелуев, Л.П.Рихванов. Кемерово, 1999. 248 с.

11. Салихов В.А. Научные основы и совершенствование геолого-экономической оценки попутных полезных компонентов угольных месторождений (на примере Кузбасса): Монография. Кемерово, 2008. 249 с.

12. Туркин В.А. Потенциальная металлоносность углей Кузбасса // ТЭК и ресурсы Кузбасса. 2001. № 2. С.91-96.

#### REFERENCES

1. Demidov I.V. Complete mineralization of Suharin-sky iron deposit site and Sheregeshevsky field of Mountain Shoria // Prospects for development of technologies for secondary resources processing in Kuzbass: Collection of a regional conference. Novokuznetsk, 2003. P.141-144.
2. Zhdanov V.N. Geological and technological assessment of tailings of wet magnetic separation of Mundybashskaya Abagurskaya dressing plants // Prospects for development of technologies for secondary resources processing in Kuzbass: Collection of a regional conference. Novokuznetsk, 2003. P.144-146.
3. Kola Mining and Metallurgical Corporation as a key part of the state reserve of strategic materials / A.N.Vinogradov, V.T.Kalinnicov, V.S.Selin, V.A.Tsukerman // The North-2003: problems and solutions: Collection of articles. Apatity, 2004. P.171-180.
4. Krasnov O.S., Salikhov V.A. Prospects for production of scarce non-ferrous and rare metals from waste coal in the Kuzbass // Non-ferrous metals. 2007. N 8. P.8-11.
5. Krivtsov A.I., Benevolsky B.I., Migachev I.F. Balanced use and reproduction of mineral resources of Russia in the long term // Ores and metals. 2005. N 1. P.32-38.
6. Panov V.F. Building materials based on waste of industrial companies of Kuzbass: Textbook. Novokuznetsk, 2005. 182 p.
7. Permyakov P.G. The processes of chlorination in the mineral resources processing: Textbook. Novokuznetsk, 2000. 76 p.
8. Platonov A.N. Noble mineralization of Kazsk iron ore deposit // Prospects for development of technologies for secondary resources processing in Kuzbass: Collection of a regional conference. Novokuznetsk, 2003. P.139-141.
9. Economic Development Program of the Kemerovsk Region for 2005-2010: Official text. Moscow – Kemerovo, 2004. 92 p.
10. Rare elements in coals of the Kuzbass: Monograph / S.I.Arбузов, V.V.Ershov, A.A.Potseuev, L.P.Richvanov. Kemerovo, 1999. 248 p.
11. Salikhov V.A. Scientific basis and improving the geological and economic evaluation of associated mineral components of coal deposits (on the example of Kuzbass): Monograph. Kemerovo, 2008. 249 p.
12. Turkin V.A. Metal potential of the Kuzbass coal // Fuel and energy complex and resources of Kuzbass. 2001. N 2. P.91-96.