

УДК 622.882:622.271

## ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ УГЛЕПОТРЕБЛЕНИЯ

Е. К. Райфкершт, студент гр. ГОс-141, III курс  
научный руководитель В. Л. Мартьянов, к.т.н., доцент  
Кузбасский государственный технический университет  
им. Т. Ф. Горбачева  
г. Кемерово

При сжигании угля на тепловых электростанциях (ТЭС) часть шлака, расплавленного в ядре факела пылеугольных форсунок до жидкого состояния, преобразуется в тонкостенные силикатные микрошарики идеальной сферической формы. На выходе из топочной камеры эти микросферы улавливаются электрофильтрами и совместно с пылевидными частицами золы-уноса по пульпопроводу отправляются в гидроотвал.

Этот материал обладает широкими потребительскими свойствами и вошел в научную литературу под названием силикатные или алюмосиликатные полые микросферы, сокращенно СПМ (АСПМ) [1]. Согласно принятой классификации техногенных месторождений [2] их следует относить к возобновляемым попутным компонентам золошлаковых отходов ТЭС.

В концентрированном виде товарная микросфера представляет собой несслеживающийся порошок серого цвета с широкой вариацией размеров отдельных микрошариков, как по диаметру (20-500 мкм), так и по толщине стенок (2- 30 мкм). Колебание важнейших физико-механических параметров СПМ, зафиксированное для ТЭС Кузбасса [4]: по насыпной плотности (110 - 445 кг/м<sup>3</sup>), плотности минерального скелета оболочки (2400 - 2530 кг/м<sup>3</sup>), коэффициенту воздушного заполнения (50 - 69%). По всем показателям микросферы золотвалы Кузбасса отвечают требованиям ГОСТов 9757-90 и 23037-99, предъявляемым к заполнителям различного назначения.

Вследствие очень низкой насыпной плотности порошок из микросферы в 2-3 раза легче воды, поэтому процесс извлечения микросфер реализуется сбором плавающего на поверхности гидрозолотвалов материала.

Исходя из ранее выполненных общих оценок [4], на крупнейших угольных ТЭС Кузбасса ежегодно образуется не менее нескольких тысяч тонн СПМ.

Уникальные свойства вещественного состава и строения силикатных полых микросфер, определили широкий круг их использования в производстве керамических легковесных теплоизоляционных материалов, пластиков, радиопрозрачных керамик, облегченных тампонажных смесей и буровых растворов. Из микросфер можно получать теплоизоляторы, превосходящие по своим свойствам базальтовое волокно, наполнители для

различных полимерных материалов, в том числе сферопластиков и термопластиков [1].

Область применения полых микросфер достаточно широка [6, 7]: они входят в состав стеклопластиков, заливочных паст для заделки швов, синтетических пен, высококачественных легких бетонов, керамических плит для обшивки космических аппаратов, являются минеральным сорбентом для очистки сточных вод и водоемов от загрязнений.

Спрос на микросферы высок, несмотря на их стоимость: рядовой класс продается в пределах 30 – 50 тыс. руб/т, классифицированный в упаковках (мешках различного веса) в 2 и более раз дороже.

Кроме того, в настоящее время отмечаются тенденции истощения запасов, ухудшения горно-геологических условий разработки и экономико-географических условий эксплуатации многих месторождений металлических полезных ископаемых. Это свидетельствует о необходимости комплексного освоения уже рентабельно разрабатываемых месторождений угля и вовлечения в переработку отходов ТЭС и обогатительных фабрик.

Повышенные содержания меди, молибдена, кобальта, цинка, свинца, золота, серебра, редких и редкоземельных металлов отмечены в хвостохранилищах углеобогатительных фабрик и золо-шлаковых отвалах ТЭС [8]. В углях и их золах отмечаются также повышенные концентрации ряда ценных металлов – галлия, германия, ванадия, вольфрама, иттрия, ниобия, титана, циркония и некоторых других. [9–12].

Следовательно, полезные попутные компоненты углей Кузбасса можно считать перспективной местной минерально-сырьевой базой ряда ценных металлов (галлия, германия, ванадия, вольфрама, скандия и др.), 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, содержащих продукты сжигания углей Кузбасса с содержанием в среднем титана - Ti – 12 %; галлия Ga – 10 %; алюминия Al – 19%; железа, иттрия, циркония и гафния (Fe, Y, Zr и Hf) – по 6 %; золота Au – 3,9 г/т. Следует отметить, что при сжигании угля конкретных горных предприятий, содержание некоторых элементов в золе отвалов может быть существенно выше, например, алюминия в золе углей разрезов, разрабатывающих угли марки Д (до 37 %) или золота в золе разрезов Центрального Кузбасса, разрабатывающих угли некоторых пластов марки СС и КСН (до 30 – 60 г/т).

В настоящее время имеются эффективные технологические решения, позволяющие качественно перерабатывать золо-шлаковые отходы с целью извлечения из них, например, с помощью выщелачивания золота, титана, лития, бериллия, ванадия, вольфрама, иттрия, меди, марганца, редкоземельных элементов и др. [9, 10].

Себестоимость извлечения металлов из золо-шлаковых отходов сжигания углей даже лабораторным способом оценивается в несколько тысяч руб/кг. Например, 4000 руб/кг для извлечения галлия, 8000 руб/кг – иттрия.

При извлечении ценных редких металлов из руд в промышленности применяются дорогостоящие физико-химические методы (ультразвуковые методы, метод зонной плавки), поэтому на мировом рынке цены на эти металлы составляют, например, на галлий 76000 руб. за кг, иттрий около 70000 руб. за кг. Учитывая относительно невысокую себестоимость извлечения металлов из золо-шлаковых отходов, производственная себестоимость небольших производств, даже на базе лабораторных, будет, по крайней мере, не выше, чем себестоимость промышленного получения этих металлов из руд.

Государственным институтом редкометаллической промышленности (г. Москва) разработан способ хлорирования, на основе которого разработаны технологические схемы извлечения редких металлов из доменных шламов НКМК, из отходов обогащения Абагурской аглофабрики, а также из клинкера Беловского цинкового завода [10]. Расчеты показали, что при переработке только 2 тыс. т золы для извлечения из нее лишь титана, циркония, ванадия и галлия затраты по проекту окупаются в течение года, а чистая выручка достигает более 200 млн. руб.

Для уточнения экономической целесообразности использования этих попутных полезных компонентов необходимо применять международную классификацию ООН запасы/ресурсы, критерии оценки которой основаны на: степени геологической изученности, наличии промышленных технологий извлечения и переработки минерального сырья, наличии спроса на минеральное сырье. Исходя из этих параметров запасы полезных ископаемых подразделяются на экономические, потенциально экономические и, возможно, экономические. Для оценки запасов редких металлов в углях и в золо - шлаковых отходах Кузнецких углей можно выделить следующие критерии, позволяющие оценить экономическую эффективность их извлечения:

1. Степень геологической изученности (запасы ряда металлов в углях можно оценить по категории С2, а в золе углей – по более высокой категории С1, т.е. как балансовые).

2. Рентабельные технологии извлечения ценных металлов из углей и отходов угольной продукции.

3. Экономический фактор – цены, спрос – предложение, условия продаж и т.д.

Мировое потребление цветных металлов ежегодно прирастает примерно на 2,5–3%. Промышленный рост прогнозируется и в России.

Дальнейшее развитие промышленности Кузбасса, особенно металлургии и машиностроительного комплекса, потребует увеличения местной сырьевой базы цветных и редких металлов.

Перспективность производства по извлечению дефицитных металлов из зольных отходов теплоэлектростанций можно наглядно продемонстрировать с помощью метода технологических цепочек. Расчет суммарной себестоимости по цепочке производится по формуле [8, 9]:

$$S_1 = f_1 \times (S_0 + a_1 + t l_1),$$

где  $S_0$  – себестоимость добычи руды;  $S_1$  – себестоимость обогащения;  $a_1$  – затраты на обогащение на месте;  $l_1$  – расстояние транспортировки руды до места обогащения;  $t$  – тариф перевозки 1 т груза (примерно 10 \$ на т/км до 1000 км).  $f_1 = f_0, f_1, f_2, f_3$  – 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 ( $\varepsilon$ ):

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

Таким образом, коэффициент расхода вещества является величиной, обратной величине извлечения металла ( $1/\varepsilon$ ). 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 извлечения ценных металлов из золо-шлаковых отходов по всей технологической цепочке 2-ю и 3-ю стадии можно для упрощения расчетов объединить в единую стадию (получение концентрата золы и получение ценных цветных и редких металлов).

Суммарная себестоимость получения 1 т редких металлов из руд, например циркония, составляет в среднем 200 000 \$ / т, или более 12 000 млн. руб. / т ( $S_1 = 1,5 \times (200 \$ + 300 \$ + 10 \$) = 765 \$$ ,  $S_{2, 3} = 2 \times (765 \$ + 100 000 \$ + 10 \$) = 201550 \$$ ). А из золо-шлаковых отходов (таких металлов, как Ti, Zr, V, Ga) методом термохлорирования, например, в среднем составит 80 000 \$ / т, или  $\approx 5 000$  млн. руб. / т ( $S_{2, 3} = 2 \times (30 \$ + 40 000 \$ + 10 \$) = 80 080 \$$ ). Полиметаллы (такие, как Cu, Pb, Zn) также могут извлекаться из золы в комплексе с редкими металлами.

Очевидно, что себестоимость извлечения редких металлов из зол гораздо ниже, чем промышленное получение этих металлов из руд.

Значителен и социально-экологический эффект, определяемый улучшением экологии региона, созданием рабочих мест и т.д., что крайне важно для Кемеровской области.

В экономике Кемеровской области невелика доля малых предприятий (особенно наукоемких), невелики и объемы инвестиций в этот сектор экономики (в 3–10 раз меньше, чем в других индустриальных регионах).

Одним из путей развития наукоемких малых предприятий является создание компактных производств, даже на базе лабораторных, по переработке техногенных отходов и извлечению из них ценных металлов. Эти производства могут работать в составе крупных энергетических предприятий Кузбасса: 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). Годовой выход золы на них составляет нескольких сотен тыс. т золы, из которой можно получать несколько тыс. т концентрата для малых наукоемких производств.

Из накапливаемых за год золыных отвалов ТЭС Кузбасса можно извлечь не менее 100 т Ti, Zr, 10 т V, 1 т Ga, Ge [11, 12]. Цены на эти металлы достигают 100 \$/кг и более. Для извлечения ценных металлов может быть использовано не менее 40 млн. т накопленных в Кемеровской области золоотвалов ТЭС. Извлекаемые металлы могут быть, в первую очередь, востребованы в электротехническом машиностроении, на машиностроительных, ферросплавных и других предприятиях области и других субъектов СФО (Новосибирской и Иркутской областей, Красноярского края) и Сибирского региона, а также на внешних рынках.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Кизильштейн Л.Я., Рылов В.Г., Шпицглюз А.Л. Полимеры из золы // Энергия: экономика, техника, экология, 1988. №5. С.46-47.
2. Шпирт М.Я. Безотходная технология. Утилизация отходов добычи и переработки твердых горючих ископаемых. М.: Недра, 1986.
3. Кизильштейн Л.Я., Дубов И.В., Шпицглюз А.Л., Парада С.Г. Компоненты зол и шлаков ТЭС. М.: Энергоатомиздат, 1995. - 176 с.
4. Пат. 4121945 (США) МКИ С 04 В 31/40. Процесс обогащения золы-уноса.
5. Пат. 4652433 (США) МКИ С 01 7/00; С 01 49/00. Способ извлечения минералов и производство сопутствующих продуктов из золы-уноса.
6. Chaves A.J.F., Morales D.R. Lastia quintera R. Recovery of genospheres and magnetite from coal burning power plant fly ash // Trans. of Iron and Steel Inst. of Japan, 1987. Vol.27. N 7. P. 531- 538.
7. Fischer G.L., Chang D.P.G., Brummer M. Fly-ash collected from electrostatic precipitators: microcrystalline structures and the mystery of the spheres // Science. 1976/ Vol.192. P. 553-555.
8. 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.
9. Редкие элементы в углях Кузбасса / С.И. Арбузов, В.В. Ершов, А.А. Поцелуев, Л.П. Рихванов. Кемерово, 1999. 248 с.
10. Туркин В.А. Потенциальная металлоносность углей Кузбасса // ТЭК и ресурсы Кузбасса. 2001. № 2. С. 91–96.
11. В. Л. Мартянов, С. С. Чувиков. Обоснование рационального порядка разработки угольных месторождений. Инновации в угольной отрасли и экономике Кузбасса. Сб.статей. Часть 1, Белово, 2011- с. 198-203.
12. В. Л. Мартянов. Обоснование рационального порядка отработки карьерного поля «Бунгурское 1– 6». Инновации в технологиях и образовании. Сб. Науч. Тр. VI международной научной конференции, Белово, 2013 – с. 185-189.