

**Черкасова Т.Г., Черкасова Е.В., Тихомирова А.В.**  
(Кузбасский государственный технический  
университет имени Т.Ф. Горбачева)

### **ИЗВЛЕЧЕНИЕ РЕДКИХ, РАССЕЯННЫХ И РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ИЗ ЗОЛ И ШЛАКОВ КУЗНЕЦКИХ УГЛЕЙ**

В Кузбассе ежегодно добывается свыше 14 млн. тонн угля, в связи с этим проблема переработки и утилизации отходов углеобогащения стоит особенно остро.

Экологическая напряженность и массовое отчуждение земель создаются в результате хранения твердых продуктов сжигания углей на обширных площадях. Твердые золошлаковые частицы разносятся вследствие ветровой эрозии на большие расстояния и оказывают негативное воздействие на окружающую среду.

Зола и шлаки, образующиеся после сжигания Кузнецких углей, содержат большое количество минеральных компонентов – соединений железа, алюминия, хрома, никеля, марганца, стронция, ванадия, галлия, циркония, а также промышленно значимые концентрации редкоземельных элементов (РЗЭ). Таким образом, золошлаковые материалы (ЗШМ) представляют собой ценное сырье для дальнейшей переработки [1, 2].

В работе предложена схема обогащения ЗШМ методом пенной флотоэкстракции с целью получения концентратов соединений металлов.

На первом этапе партии шлаков (крупные куски) измельчали до крупности – 0,2 мм на планетарной микромельнице FRITSCH pulverisette 7. Образцы зол для дальнейшей переработки использовались без дополнительного измельчения.

Элементный анализ золы уноса проводился методом оптико-эмиссионной спектроскопии с индуктивно связанной плазмой на спектрометре iCAP 6500 DUO по стандартной методике. Результаты анализа представлены в табл. 1.

Высокое содержание оксидов алюминия и кремния позволяет широко использовать золошлаковые отходы в производстве строительных материалов [3].

После проведения магнитной сепарации измельченных фракций золы с использованием неодимового магнита остается большое количество магнитной фракции. Из общей массы навески золы уноса

Кемеровской ГРЭС – 28,91 г, доля магнитной фракции составила около 85% (24,49 г).

**Таблица 1– Образец угольной золы (зола уноса Кемеровской ГРЭС)**

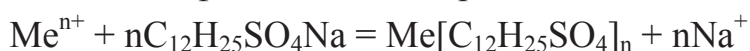
Название	Содержание, %	Название	Содержание, %
SiO <sub>2</sub>	63,5±0,1	Sr	1,1·10 <sup>-1</sup>
TiO <sub>2</sub>	0,64±0,03	Zr	2,3·10 <sup>-4</sup>
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	23,5±0,1	Nb	7·10 <sup>-4</sup>
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,3±0,6	Ga	9·10 <sup>-4</sup>
MnO	0,018±0,001	Y	1,4·10 <sup>-3</sup>
CaO	5,3±0,3	Mo	8,7·10 <sup>-4</sup>
MgO	0,86±0,08	Au	1,2·10 <sup>-4</sup>
Na <sub>2</sub> O	0,97±0,06	Ag	–
K <sub>2</sub> O	1,1±0,1	Eu	6,8·10 <sup>-5</sup>
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,29±0,06	La	1,9·10 <sup>-3</sup>
Ba	0,28±0,06	Pr	7·10 <sup>-4</sup>
		Sm	1,5·10 <sup>-4</sup>
		V	5,3·10 <sup>-3</sup>

Полученный железный концентрат имеет значительно более низкую стоимость по сравнению с полученным из руды и является товарным продуктом для нужд металлургической, химической и других отраслей промышленности.

Для дальнейшего обогащения была использована ионная флотоэкстракция для извлечения редких, рассеянных и РЗЭ различными типами ПАВ из зол и измельченных шлаков после их магнитной сепарации.

Флотацию проводили в лабораторной флотомашине ФЛ-240 в течение 5, 10, 15 минут. В качестве органической фазы использовался изооктиловый спирт (2-этилгексанол технический C<sub>8</sub>H<sub>18</sub>O), в качестве ПАВ и реагента-собирателя – додецилсульфат натрия (C<sub>12</sub>H<sub>25</sub>SO<sub>4</sub>Na), так как он является наиболее ионоселективным [4].

Флотоэкстракцию осуществляли при pH 7,5-8,5 и соотношении органической и водной фаз 1:20-1:40 по реакции:



В растворе катионы металлов образуют с додецилсульфатом натрия прочные гидроксокомплексы, которые вследствие гидрофобности алкильных радикалов переходят в органическую фазу – изооктиловый спирт.

После обработки пенные продукты собирали, высушивали и прокаливали при температуре 1000 °С в течение двух часов до получения концентратов, содержащих оксиды редких, рассеянных и редкоземельных металлов, пригодных для дальнейшей переработки (табл. 2).

**Таблица 2 – Содержание редких, рассеянных редкоземельных элементов в концентратах**

Название	Содержание элементов в концентрате, %/г/т
Sr	$2,7 \cdot 10^{-1}/2700$
Zr	$1 \cdot 10^{-1}/100$
Nb	$9 \cdot 10^{-3}/90$
Ga	$5 \cdot 10^{-3}/50$
Mo	$3 \cdot 10^{-2}/300$
V	$2 \cdot 10^{-1}/2000$
$\Sigma$ РЗЭ	$8,5 \cdot 10^{-2}/850$

Рассматривая золошлаки Кузбасса как ценное сырье для их комплексной переработки, необходимо разрабатывать и совершенствовать технологии извлечения, в частности, дорогостоящих РЗЭ, что существенно повысит рентабельность угольной отрасли за счет получения как редких металлов, так и функциональных материалов на их основе. Кроме того, сложная экологическая обстановка в Кемеровской области, перегруженной отходами угледобывающих предприятий, делает особенно актуальной проблему глубокой переработки сырья с целью улучшения качества жизни населения региона [5].

#### Литература

1. 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. 123–138.
2. Гамов, М.И. Металлы в углях: учеб.пособие / М.И. Гамов, Н.В. Грановская, С.В. Левченко – Ростов- на-Дону: ЮФУ, 2012. – 45 с.
3. Ларионова Н.А. Возможности и перспективы использования золошлаковых отходов для производства строительных материалов / Н.А. Ларионова, С.Д. Воронкевич // Вестн. Белгород. ГТУ. – 2005. – №10. – С. 145–148.
4. Джевага Н.В. Термодинамическое описание извлечения и разделения редкоземельных элементов методами ионной флотации и экстракции в виде додецилсульфатов дис. канд. хим. наук. / Н.В. Джевага. – Санкт-Петербург, 2012. – 161 с.
5. Cherkasova T.G. Rare and Rare-Earth Metals in Coal Processing Waste / T.G. Cherkasova, E.V. Cherkasova, Tikhomirova A.V., Bobrovnikova A.A., Gorynova I.P. // E3S Web of Conferences, 2017. 21. 02005: IInd Innovative Mining Symposium (Devoted to Russian Federation Year of Environment).