

ХИМИЧЕСКАЯ ТЕХНОЛОГИЯ

УДК 622:533.940.4

Б.Ф. Нифантов, А.Н. Заостровский, О.П. Занина

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПЫТА ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЕРЕРАБОТКИ ЗОЛЫ СПОСОБОМ МАГНИТНОЙ СЕПАРАЦИИ НА ЮЖНО – КУЗБАССКОЙ ГРЭС

Южно – Кузбасская ГРЭС введена в эксплуатацию в 1951 г. В соответствии с проектом она использует 1400 – 1500 тыс. т угля в год, поставляемого Калтанским угольным разрезом (марка Т, зольность по проекту 14,0 %, фактическая – 25,0 %). За эти годы в отвалах накоплено 14 – 15 млн. т зольных отходов, содержащих магнетит, который предполагалось извлечь и направить в качестве добавки в шихту для доменной выплавки чугуна на Кузнецком металлургическом комбинате. Золошлаковые отходы находятся в двух отвалах (№ 1 и № 2), занимающих суммарную площадь около 60 – 65 га. Мощность накопленных отходов на отдельных участках достигает 10–12 м.

Результаты изучения продуктов разделения золы на промышленном магнитном сепараторе

Извлечение магнетита производилось с помощью магнитного сепаратора (электромагнитный валковый сепаратор 2 ЭВМ-36/100), установленного в трубопроводном тракте удаления водой золоотходов.

Наиболее существенными из примесей для дальнейшего изучения технологической и экономической (экологической) оценки отходов являются фосфор, сера, марганец, медь, цинк, германий, серебро, олово, свинец.

Магнитная фракция из золы Южно – Кузбасской ГРЭС обладает ощутимым дефицитом по Fe, Mg, Ti, V, Cr, Co, Ni, Sr и избытком по Al, Si, K, Ca, Mn по сравнению со средним составом магнетитов месторождений мира по 31 пробе [1, 2].

При этом отметим, что минеральные ресурсы золошлакоотвала до настоящего времени изучены

недостаточно [3].

В дальнейшем потребуется более полно изучить вещественный состав золошлаков Южно – Кузбасской ГРЭС с мониторингом состава продуктов разделения твердого материала отходов сжигания углей, а также дать сравнительную характеристику по пробам с поверхности отвалов и из неглубоких искусственных выработок, материала буровых проб.

При изучении золошлаков и продуктов сепарации применен комплекс химических и спектральных методов анализа в соответствии с установленными требованиями [4, 5].

Предварительные данные, полученные в процессе изучения геохимии магнитной фракции (16 проб), при среднем содержании железа 35,47 %, удовлетворяют техническим нормам производства железорудного агломерата по результатам испытаний проб на Абагурской ОАФ.

Концентрат содержит, кроме Fe^{3+} и Fe^{2+} , 34 химических элемента (компоненты). Из них главными по анализам и расчетам являются (%): SiO_2 – 27,02; TiO_2 – 0,37; Al_2O_3 – 11,48; Fe_2O_3 – 41,43; FeO – 8,36; CaO – 2,76; MgO – 2,53; MnO – 1,08; Na_2O – 2,2; K_2O – 0,53; SO_3 – 0,13; P_2O_5 – 0,94. Примеси (г/т): Sc – 4,5; Cu – 173,0; Zn – 657,0; Mo – 6,3; Ag – 0,1; Sn – 35,4; Pb – 189,0 и другие не являются технологически вредными.

Галлий (28,8 г/т) и германий (9,6 г/т) в дальнейшем могут быть дополнительно изучены как сырьевые источники получения редкometальных концентратов. Это позволит подсчитать ресурсы (запасы) ценных, определить роль токсичных элементов, выявить качественно-технологические

Таблица 1

№№ п/п	Виды анализов, определений	Количество проб	
		частные	групповые
1	Полуколичественный (приближенно – количественный) спектральный анализ на 48 элементов	76	-
2	Количественный спектральный анализ на 18 элементов	76	-
3	Рентгено – спектральный (химический) анализ на SiO_2 , TiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , MnO , CaO , MgO , K_2O , Na_2O , P_2O_5 , S_{opr} , C_{opr} , п.п.п.	54	-
4	Химическое определение S, P, Hg, As, Se, F, Cl	76	8
5	Определение зольности, A^d , %	76	-
6	Определение удельного веса, г/см ³	76	8
7	Определение гранулометрического состава	-	8

показатели сырьевых концентратов, которые по технико-экономическим и геологическим условиям следует выделять из отходов сжигания углей при глубокой переработке [6 - 19].

Методы изучения состава проб, способы пробоотбора, пробоподготовки

На Южно – Кузбасской ГРЭС в мониторинговом режиме были отобраны две серии частных проб (76 проб). Пробы отбирались вручную из угля, поступающего на сжигание, непосредственно после его дробления и измельчения; из золы, после сжигания угля, на выходе из скрубберов; из магнитного концентрата, после магнитной сепарации; из немагнитной фракции.

Все частные пробы отбирались с массой около 2 кг, затем подвергались сушке при комнатной температуре.

Из частных проб были сформированы восемь проб по 0,5 кг, соответственно, из каждого изучаемого продукта и из каждой мониторинговой серии.

Методика изучения каменного материала

Отобранные в процессе мониторинга частные пробы (76) и сформированные групповые (8) анализировались в Западно-Сибирском испытательном центре (ЗСИЦ, г. Новокузнецк).

Виды анализов и определений приведены в табл. 1

Исследовательские работы были последовательно ориентированы на решение следующих задач:

- обработка полученных результатов спектральных (количественных и приближенно – количественных), химических (рентгеноспектральных) и других анализов на персональном компьютере с использованием программы Fox – Pro (автор – программист И.В. Удалова), оценка их достоверности и достаточности;

- формирование автоматизированного банка данных, включающего исходную геохимическую информацию (результаты анализов) и получение расчетов по каждому виду исследуемого продукта (уголь, зола, сепарированные фракции);

- выявление уровней кларковых и аномальных

концентраций химических элементов по углю, золе и продуктам ее разделения, анализ результатов;

- исследования парных корреляций по содержаниям химических элементов, между содержаниями элементов и зольностью ($A^d, \%$), удельным весом проб и зольностью ($A^d - d_r^d$);

- анализ результатов мониторинга;

- предварительная геолого-экономическая оценка выявленных повышенных концентраций ценных, и экологическая характеристика токсичных элементов.

Отметим, что количество “малых” элементов в определениях ЗСИЦ для углей, золы, магнитного концентрата и немагнитной фракции не полностью отвечали возможностям спектральных анализов приближенно-количественного и количественного. По этим данным характеристика элементного состава проб может быть оценена на предварительном уровне.

По редкоземельным элементам, за исключением спектральных определений иттербия, информация отсутствует.

В дальнейшем требуется изучение содержаний La, Ce, Pr, Nd, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Er, Tm, Yb, Lu инструментальным нейтронно-активационным методом. Приведенный ряд элементов вместе с главными элементами золошлаков от сжигания углей наиболее целесообразно и полностью будут характеризовать химический состав углей и продуктов их сжигания.

Дальнейшая геохимическая характеристика сжигаемых углей, полученных твердых продуктов сжигания осуществлялась путем выявления корреляционных связей между содержаниями (x, y) произвольного набора пар элементов. Исследованы связи, отвечающие выражению прямой линии ($y = a + bx$) с вычислениями параметров a , b и коэффициентов корреляций, среднеквадратичных отклонений фактических и расчетных содержаний. Основным ожидаемым результатом этих исследований является получение расчетных формул по связям количественных содержаний элементов в парах и множествах парных составляющих при надежно высоких коэффициентах корреляций.

Таблица 2

Осредненные данные коэффициентов концентраций элементов по фракциям потоков сжигаемых углей, золы и продуктов ее разделения

Наименование показателя	Уголь	Зола	Магнитный концентрат	Немагнитная фракция
Количество проб	22	22	16	16
Количество элементов	29	36	35	36
Количество элементо-определений	526	804	576	579
Средний коэффициент концентрации по углам (ККУ)	2,87	4,75	5,11	6,93
Средний коэффициент концентрации по золам (ККЗУ)	2,72	1,00	1,04	1,55
Средний коэффициент концентрации по глинистым породам (ККГП)	6,85	2,03	2,04	2,35

Например, стронций и скандий, в нашем примере, в углях обладают при $a = 48,6866$ и $b = 90,2286$ коэффициентом корреляции 0,72 при 22 анализах в пределах содержаний, г/т: Sr – до 700, Sc – до 5; среднеквадратичное отклонение по стронцию – 81,982 г/т. Вероятно, при значительном увеличении точек наблюдений (числа измерений) может наблюдаться иной характер корреляционной связи. При условии устойчивости показателей высокого коэффициента корреляции имеется возможность выбора оптимальной расчетной формулы. В этом случае от химических, спектральных и других определений одного из элементов в паре можно отказаться. Развитие этих исследований приведет к фактическому выбору половины от числа анализируемых элементов, что существенно удешевит и повысит производительность определений содержаний.

Результаты геохимического изучения проб

Достоверность результатов химических, спектральных и других анализов и определений несомненна. Аномальные содержания отдельных элементов удовлетворительно объясняются с позиций разнообразия химического состава потока углей, использованных для сжигания (табл. 2).

Зола и немагнитная фракция по обобщенным данным кларковых показателей отличаются незначительно. Средние расчетные показатели содержаний элементов приведены в табл. 3.

По приведенным данным, очевидно, что содержания элементов различаются по фракциям и вычисленному составу золошлакового материала (ЗШМ).

Составы фракционных проб золы, немагнитной и магнитной фракций отличаются определенными, часто малоразличающимися изменениями концентраций (деконцентраций) содержащихся в

Таблица 3

Содержания элементов в вычисленном ЗШМ, золы и фракциях разделения золы от сжигания углей марки Т Калтанского углеразреза

Элемент	Ед. из- мер.	ЗШМ	Зола	Немагнитная фракция	Магнитный концентрат
Li	г/т	-	136,55	175,04	-
Be	г/т	20,22	8,12	8,39	4,57
F	г/т	378,44	86,24	108,59	73,51
Na	%	-	0,32	0,27	0,16
Mg	%	4,88	0,54	0,46	1,53
Al	%	3,42	11,53	11,09	6,08
Si	%	-	23,07	24,72	12,63
P	%	0,35	0,14	0,14	0,41
S	%	1,62	0,07	0,06	0,05
Cl	%	0,1	0,07	0,05	0,05
K	%	-	1,21	1,56	0,44
Ca	%	2,44	1,82	1,26	1,97
Sc	г/т	24,51	8,92	9,78	4,54
Ti	%	1,19	0,39	0,34	0,22
V	г/т	150,58	62,20	70,16	65,42
Cr	г/т	63,73	42,09	37,66	28,78
Mn	%	0,38	0,26	0,15	0,84
Fe ³⁺	%	0,98	3,53	1,66	28,98
Fe ²⁺	%	-	1,08	0,71	6,50
Co	г/т	10,86	15,85	17,35	19,26
Ni	г/т	24,09	41,66	38,76	82,50
Cu	г/т	129,34	96,72	78,25	172,86
Zn	г/т	376,11	229,29	323,99	656,78
Ga	г/т	72,37	23,92	23,17	28,78
Se	г/т	4,08	0,73	0,63	0,49
Sr	г/т	2241,21	1016,07	1029,65	140,69
Y	г/т	293,23	97,90	122,68	25,58
Zr	г/т	2544,71	564,49	588,37	112,55
Nb	г/т	54,66	16,67	22,06	10,23
Mo	г/т	9,29	2,78	1,63	6,41
Sn	г/т	-	3,49	4,85	35,37
Ba	г/т	7292,59	1761,73	2338,05	770,62
Yb	г/т	14,24	10,00	10,66	4,99
Pb	г/т	182,1	213,27	195,63	188,59

них элементов. Это иллюстрируется четырьмя рядами.

1. Зола – немагнитная фракция.

1.1 Рост концентраций Li, F, Si, K, Sc, V, Co, Zn, Y, Zr, Nb, Sn, Ba.

1.2. Уменьшение концентраций Na, Mg, Al, S, Cl, Ca, Ti, Cr, Mn, Fe^{3+} , Fe^{2+} , Ni, Cu, Se, Mo, Pb.

2. Зола – магнитная фракция.

2.1. Рост концентраций Mg, P, Ca, V, Mn, Fe^{3+} , Fe^{2+} , Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, As, Mo, Sn;

2.2. Уменьшение концентраций Li, Be, F, Al, Si, S, Cl, K, Sc, Ti, Cr, Se, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, Ba, Yb, Pb.

Приведем некоторые расчетные коэффициенты обогащения магнитного концентрата компонентами (элементами) относительно золы углей (табл. 4).

Вычисленные коэффициенты обогащения позволяют полагать, что эффективность извлечения железа в концентрат достаточно высокая. При средних суммарных содержаниях окисного и зажиганного железа в золе (4,6 %) и, соответственно, в магнитном концентрате (35,5 %) коэффициент обогащения по элементарному железу составляет 7,7. Этот показатель будет численно меняться в зависимости от режима сепарации и минералогических показателей ферромагнитных фракций золы.

Из расчетов следует, что коэффициент обогащения железа варьируется в пределах 6,1-10,3. Это доказывает геохимическую неоднородность поступавших на сжигание углей и условий синтеза магнетита в технологических режимах работы ГРЭС.

Сопоставление минимальных и максимальных значений коэффициентов обогащения железа с аналогичными показателями по ряду анализируемых элементов в золе и магнитной фракции позволяет полагать, что в исследованном временном режиме мониторинга наблюдается как прямая, так и обратная связь химических элементов с показателями обогащения железа.

По золе зафиксированы прямые связи - с Al_2O_3 , SiO_2 , P, Ti, Sn, Pb; обратные - с Be, S, CaO, Fe_2O_3 , FeO, Cu, Zn, Ga, Zr. По магнитному концентрату - прямые связи с Ti, Fe_2O_3 , FeO, Cu, Zn; обратные - с Al_2O_3 .

Одновременно следует отметить, что содержания некоторых элементов во второй половине мониторинга, как в золе, так и магнитном концентрате оказались нестабильными. Причины нестабильности соотношений элементов в данной работе не изучались.

Стабильными показателями деконцентраций (уменьшения содержаний) в ряду ЗШМ - фракции характеризуются Be, F, Mg, P, S, Cl, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Ga, Se, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Ba, Yb. При этом существенный "бросок" содержаний выявлен для 20 элементов с максимальными значениями показателей для серы (23,0), селена (5,6), циркония (4,5).

Показатели убывания содержаний укладываются в следующий ряд (ЗШМ-зола):

Be	F	Mg	P	Cl	Ca
2,5	4,4	9,0	2,5	1,4	1,3
Sc	Ti	V	Cr	Ga	Sr
2,8	3,0	2,4	1,5	3,0	2,2
Y	Nb	Mo	Ba	Yb	
3,0	3,3	2,3	4,1	1,4	

Вычисленные показатели зависят от содержания железа в составе золы.

Оксисленность теоретической молекулы магнетита в золе и концентрате составляет $\text{Fe}_2\text{O}_3 / \text{FeO} = 3,6 - 5,0$. Аналогичный показатель по выборке магнетитов из месторождений мира – 2,3331.

Необходимо отметить, что для отходов Абагурской агломерационно-обогащительной фабрики (г. Новокузнецк) этот показатель составляет – 1,97. Следовательно, отходы Абагурской ОАФ можно предлагать для переработки их с извлечением магнетита с применением мокрой магнитной сепарации совместно с золоотходами. Последние по содержанию валового железа (18,69: 4,6 = 4,06) в 4,06 раза беднее железом, чем отходы Абагурской ОАФ. Соответствующие показатели по отношению к минералогическим пробам магнетитов мира: для золы ЮК ГРЭС – 15,25; магнитного концентраты – 1,98; отходов Абагурской ОАФ – 3,75.

Таким образом, вторичное минеральное сырье (сыпучие отходы) с содержаниями окисных ферромагнитных минеральных фракций может быть успешно обогащено путем мокрой магнитной сепарации при вышеуказанных отношениях валового железа с извлечением товарного магнетита, пригодного для агломерационных фабрик, подготавливающих руды для металлургии.

Таблица 4
Средние содержания компонентов (элементов)
в золе и магнитной фракции золы
и вычисленный коэффициент обогащения

Компоненты, элементы	Средние содержания		Коэффициент обогащения
	в магнитном концентрате	в золе	
Fe_2O_3 , %	41,43	5,05	8,2
FeO, %	8,36	1,38	6,0
MnO, %	1,08	0,33	3,3
MgO, %	2,53	0,9	2,8
Ni, г/т	82,5	41,7	2,0
Cu, г/т	172,86	96,7	1,8
Zn, г/т	656,78	229,3	2,9
Ga, г/т	28,78	23,9	1,2
Ge, г/т	9,55	н.д.	—
As, г/т	8,59	7,3	1,2
Mo, г/т	6,41	2,8	2,3
Sn, г/т	35,37	3,5	10,1
P, г/т	4087,0	1429,0	2,9

Таблица 5
Коэффициенты концентраций химических элементов в отходах, их фракциях
и магнетитах (к золам углей мира)

Элементы	Магнетит (лит. данные)	Магнитный концентрат	Зола ЮК ГРЭС	Немагнит. фракция золы	Отходы Абагурской ОАФ
Na	0,26	0,24	0,48	0,41	1,51
Mg	0,39	1,58	0,56	0,48	2,67
Al	0,01	0,46	0,87	0,84	0,41
Si	0,03	0,49	0,90	0,96	0,72
P	-	5,11	1,79	1,79	-
S	-	0,03	0,04	0,03	0,77
K	0,05	0,21	0,58	0,75	0,39
Ca	0,06	0,59	0,54	0,38	2,63
Ti	1,15	0,62	1,07	0,95	0,28
V	7,56	0,44	0,42	0,47	0,20
Cr	1,76	0,37	0,54	0,48	0,77
Mn	8,01	17,22	5,27	3,14	-
Co	11,67	0,71	0,59	0,64	5,56
Ni	6,73	1,18	0,60	0,55	1,79
Cu	-	2,70	1,51	1,22	18,75
Zn	7,07	5,25	1,83	2,59	25,20
Sr	1,09	0,18	1,30	1,32	0,13
Sn	-	5,90	0,58	0,18	1,17
Au	-	-	-	-	12,50

Кроме золошлаков и отходов аглофабрик к таким отходам могут быть отнесены: окалина, отходы промывки золотоносных песков, шламы обогатительных фабрик и другие.

Примеси в железных рудах имеют немаловажное значение. К наиболее распространенным из них могут быть отнесены: Na, Mg, Al, Si, P, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Mn, Co, Ni, Zn, Sr. Их содержания зависят от геохимических условий рудоотложения в различных месторождениях. Нередко магнетитовые железные руды содержат промышленно извлекаемые примеси Au, W, Ge, U или других ценных металлов [1, 2].

Рассмотрим кларковые соотношения содержаний главных и других примесей.

Данные в табл. 5 отражают, в целом, низкий (подфоновый) уровень концентраций для Na, Mg, Al, Si, S, K, Ca, Ti, V, Cr, Co, Ni. Наиболее значительными концентрациями характеризуется марганец. Повышенными – Zn, Cu, Sn. В магнитном концентрате содержание марганца составило 0,8% (т.е. 17,2 ККЗУ). Там же – 0,07% Zn; 9,6 г/т Ge; 35,4 г/т Sn. В дальнейшем их геохимический статус должен быть отслежен с выявлением маркето-

логических показателей. В золе и немагнитной фракции, соответственно, – 21,8 и 21,0 % глинозема. Использование этих фракций золошлакоотходов для извлечения Al_2O_3 требуют дальнейшего изучения. Однако следует указать, что средний состав нефелинов по справочнику В.Ф. Морковкиной [20], золы и немагнитной ее фракции могут быть для технологий конкурентоспособны (таблица 5, 6).

Более высокое в зольных фракциях содержание кремнезема и значительно меньшее содержание суммы Na_2O+K_2O (в 9,1 – 10,8 раза), надо полагать, будет способствовать более эффективному извлечению технических продуктов (Na_2SiO_3 , Al_2O_3 и других) при добавлении в нефелиновую шихту части золы или немагнитной фракции золы. Эту вероятную возможность следует изучить в экспериментах, в т.ч. в производственных технологиях заводов по производству глинозема из нефелинового сырья.

Аналогично, конкурентоспособность магнетитового концентрата, полученного из золы ЮК ГРЭС, по отношению к средним составам магнетитов [1, 2] может быть представлена следующим

Таблица 6

Состав нефелина, золы и немагнитной фракции золы

Компоненты, %	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	FeO	MnO
Нефелин [20]	42,68	следы	33,68	0,33	0,19	следы
Зола	49,36	0,64	21,78	5,05	1,38	0,33
Немагнитная фракция золы	52,88	0,57	20,96	2,37	0,92	0,20
Компоненты, %		MgO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5
Нефелин [20]		0,24	1,34	14,9	5,59	следы
Зола		0,90	2,54	0,43	1,46	0,33
Немагнитная фракция золы		0,76	1,77	0,36	1,88	0,33

рядом данных $[(\text{Me}_x\text{O}_y)_{\text{МТ}} : (\text{Me}_x\text{O}_y)_{\text{М.К.}}]$: $\text{Na}_2\text{O} - 1,06$; $\text{MgO} - 0,25$; $\text{Al}_2\text{O}_3 - 0,07$; $\text{SiO}_2 - 0,03$; $\text{K}_2\text{O} - 0,23$; $\text{CaO} - 0,11$; $\text{TiO}_2 - 1,87$; $\text{V}_2\text{O}_3 - 11,77$; $\text{Cr}_2\text{O}_3 - 4,76$; $\text{MnO} - 0,46$; $\text{Fe}_2\text{O}_3 - 1,64$; $\text{FeO} - 3,48$; $\text{NiO} - 5,71$; $\text{ZnO} - 1,35$; $\text{SrO} - 6,01$.

Наиболее высоко содержащимися, характерными компонентами магнитного концентраты из золы ЮК ГРЭС являются по отношению к чистым магнетитам Al_2O_3 в 14,3 раза, SiO_2 в 33,33 раза.

Для магнетитовых руд (последнее требует частных конкретных сравнений) более вероятны превышения содержаний Ti , V , Cr , Co , Ni , Sr над таковыми же в магнитных концентратах из зол углей.

Каждый из магнитных концентратов, выделенный из золы других углей, будет обладать специфическим набором ценных и токсичных элементов. Так, в рассматриваемом магнитном концентрате надфональными до аномальных ККЗУ характеризуются Mg , P , Mn , Fe^{3+} , Ni , Cu , Zn , Nb , Sn , Pb . Прагматическое значение этих и других элементов, в дальнейшем, требует более углубленного изучения, осмысления, маркетологических и других характеристик. Заметим, что отходы Абатурской ОАФ в тех же рамках характеризуются наличием ряда элементов: Na , Mg , P , Mn , Ca , Fe^{3+} , Co , Ni , Cu , Zn , As , Sn , Sb , Hf , Ta , Au , Hg .

В итоге этого рассмотрения следует подчеркнуть, что мониторинг по фракциям золы ЮК ГРЭС должен быть повторен на более длительный период – непрерывно 30-60 суток (с отбором 4 фракций: уголь, зола, магнитный и немагнитный концентрат, т.е. 120-240 проб). По условиям технологии сжигания углей на ЮК ГРЭС отбирать шлак не представляется возможным.

Предварительное изучение отходов и их фракций характеризуется отсутствием данных количественных определений методом инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) и другими: Na , Ca , Sc , Cr , Fe , Co , As , Rb , Sr , Ag , Sb , Cs , Ba , La-Lu , Hf , Ta , Au , Hg , Th , U . Имеется настоятельная необходимость изучения надежными количественными методами содержаний: Li , Be , B , F , Sc , Ti , V , Cr , Mn , Co , Ni , Cu , Zn , Ga , Ge , As , Se , Rb , Sr , Y , Zr , Nb , Mo , Ru , Rh , Pd , Ag , Cd , In , Sn , Sb , Te , Cs , Ba , (La - Lu), Hf , Ta , W , Re , Os , Ir , Pt , Au , Hg , Tl , Pb , Bi , Th , U . Требуется при этом достижение чувствительностей (порогов определений) в следующих пределах, г/т:

0,1 – 0,01: Ru , Rh , Pd , Re , Os , Ir , Pt , Au , Hg , Tl , Bi ;

0,1 – 1,0: Li , Be , Sc , Ga , Ge , As , Se , Ag , Cd , In , Sn , Sb , Te , (La-Lu), Hf , Ta , W , Au , Hg , Tl , Pd , Bi , Th , U ;

1,0 – 10,0: B , F , Cl , Rb , Sr , Y , Zr , Nb , Cs , Ba ;

10 – 100: $\text{C}_{\text{орг.}}$, $\text{C}_{\text{неорг.}}$, Na , Mg , Al , Si , P , S , K , Ca , Mn , Fe .

Отметим, что стандартизованные методы и методики определений содержаний элементов в подавляющем большинстве случаев не отвечают

вышеприведенной шкале в аттестованных испытательных центрах и лабораториях. Именно это приводит к «пропускам» данных по золоту, редкоземельным элементам (РЗЭ), платиновой группе металлов (ПГМ) и другим весьма ценным элементам. Низкая чувствительность анализов сдерживает возможности геохимических исследований и прогнозов.

Значение результатов мониторингового опробования золоотходов на ЮК ГРЭС

В процессе обработки результатов анализов проб, отобранных в период мониторинга из углей, золы, магнитной и немагнитной фракций, изучено и проанализировано распределение выявленных химических элементов в режиме сжигания углей.

Для сравнений выбраны химические элементы и окислы с явно повышенными концентрациями и, соответственно, представляющими определенный интерес.

Такими элементами являются:

- в угле: Be , P , S , Sc , Ti , Mn , Cu , Ga , Se , Sr , Y , Zr , Nb , Mo , Ba , Yb , Pb ;

- в золе: Li , Be , Al_2O_3 , SiO_2 , P , S , Cl , CaO , Sc , Ti , Mn , Fe_2O_3 , FeO , Cu , Zn , Ga , Sr , Y , Zr , Nb , Mo , Ba , Yb , Pb ;

- в немагнитной фракции: Li , Al_2O_3 , SiO_2 , P , Mn , Cu , Zn , Sr , Y , Zr , Nb , Ba , Yb , Pb ;
- в магнитном концентрате: Al_2O_3 , P , S , Ti , Mn , Fe_2O_3 , FeO , Cu , Zn ,

Вычисленные данные по минимальным, средним и максимальным значениям содержаний элементов, а также их отношения, рассчитаны по анализам углей (ЗШМ), золы, магнетитового концентраты характеризуются наибольшими колебаниями по содержаниям:

- в угле: Be , S , Sc , Mn , Cu , Y , Mo , Yb , Pb ;

- в золе: Li , Sc , Mn , Cu , Zn , Sr , Y , Sn , Ba , Yb , Pb ;

- в немагнитной фракции золы: Li , Mn , Zn , Y , Yb ;

- в магнитном концентрате: P , S , Mn , Cu , Zn , Ge , Sn .

При этом однообразный характер изменения содержаний (во всех продуктах опробования) выявлен для изученных элементов - Sc , Mn , Cu , Y , Yb , Pb и др.

Наименьшие колебания содержаний зафиксированы: в угле: P , Ga , Se , Zr , Ba ; в золе: Al_2O_3 , SiO_2 , P , Ti , Fe_2O_3 , FeO , Ga , Zr , Nb ; в немагнитной фракции: Al_2O_3 , SiO_2 , P , Sr , Zr , Nb ; в магнитном концентрате: Al_2O_3 , Ti , Fe_2O_3 , FeO .

Отметим ряд элементов и компонентов, имеющих невысокие различия по содержаниям в ЗШМ, золе и продуктах ее разделения: Al_2O_3 , SiO_2 , Ti , Fe_2O_3 , FeO , P , Zr и др.

Часть ассоциации элементов, характеризующаяся повышенными (промышленными и высокими) концентрациями, находится в группе с максимальными колебаниями содержаний. Опыт

промышленного извлечения магнитной сепарацией магнетита из золы от сжигания кузнецких углей марки Т, добывого на углеразрезе «Калтанский» в Кемеровской области (Кузбасс) оказался успешным. При содержании валового железа в исходной золе 4,6 % в магнитный концентрат было извлечено 35,48 % этого металла. Состав расчетанной формулы магнетита при этом отвечал соотношению, %: Fe_2O_3 - 83,21; FeO - 16,79 = 4,96. Коэффициент обогащения равен 7,7. Главные

компоненты концентрата по расчетам имели содержания, (%): SiO_2 (27,0), TiO_2 (0,37), Al_2O_3 (11,48), Fe_2O_3 (41,43), FeO (8,36), CaO (2,76), MgO (2,53), K_2O (0,53), Na_2O (2,2), SiO_3 (0,13), P_2O_5 (0,94). Их сумма – 97,73 %. Примеси содержаний 25 элементов (компонентов) и потери при прокаливании (1,705 %) дополняют эту сумму до 99,44 %. Испытания концентрата на Абагурской ОАФ показали, что он пригоден для добавления в шихтосмесь при производстве товарного агломерата.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минералы: Справочник, Т. II, вып. 3. М.: Недра, 1967. 676 с.
2. Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы, т.5. Несиликатные минералы. Перевод с английского. М.: Мир, 1966. 408 с.
3. Шпирт М.Я., Иткин Ю.В. Изучение состава золоотвала ЮК ГРЭС в качестве сырьевой базы для получения аглопоритового гравия и добавок для цементной промышленности. / АЦОТТ, НИИЦемент. – М., 1998.
4. Инструкция по изучению и оценке попутных полезных ископаемых и компонентов при разведке угля и горючих сланцев. / Отв. Редактор К.В. Миронов. М.: Наука, 1987. 137 с.
5. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: справочник. М.: Недра, 1996. 238 с.
6. Балашов Ю.А. Геохимия редкоземельных элементов. – М.: Наука, 1976.
7. Голицын М.В., Голицын А.М. Всё об угле. // Под ред. В.Ф. Череповского. М.: Наука, 1989. 192с.
8. Каменные угли как сырье для получения лития. // Геол., экон. Методика прогноза, поисков, оценки и разведки месторожд. топлив. – энергетич. сырья: ЭИ/ВИЭМС. – 1990. Вып. 3. с. 44 – 45.
9. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов. / Под ред. Н.А. Созинова. М.: Наука, 1987. 239 с.
10. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР. Геохимия элементов. / Под ред. Н.А. Созинова. М.: Наука, 1988. 256 с.
11. Кургузкина Т.Н., Ворончихина В.В., Меркушева Л.Н., Удовицкий В.И., Нифантов Б.Ф. Оценка содержания химических элементов в угле и продуктах его сгорания. // Химия и химическая технология: Сб. научных трудов. Кемерово, 1995. с. 94.
12. Меркушева Л.Н., Ворончихина В.В., Кургузкина Т.Н., Удовицкий В.И., Нифантов Б.Ф. Исследование возможности выделения малых химических элементов (МХЭ) из угля и продуктов его сгорания. // Химия и химическая технология: Сб. научных трудов. Кемерово, 1995. с. 97.
13. Середин В.В. О новом типе редкоземельного оруднения кайнозойских угленосных впадин. // Доклады АН СССР. 1991. Т. 320, № 6.
14. Середин В.В. Первые данные об аномальных концентрациях ниобия в углях России. // Доклады АН СССР. 1994. Т. 335, № 5. С. 634 - 636.
15. Шпирт М.Я., Клер В.Р., Перциков И.З. Неорганические компоненты твердых топлив. М.: Химия, 1990. 240 с.
16. Юдович Я.Э. Геохимия ископаемых углей (неорганические компоненты). Л.: Наука, 1978. 262 с.
17. Юдович Я.Э. Грамм дороже тонны. / Под ред. Н.П. Юшкина. М.: Наука, 1989. 160 с.
18. Юдович Я.Э., Кетрис М.П., Мерц А.В. Элементы – примеси в ископаемых углях. Л.: Наука, 1985. 239 с.
19. Червяков Е.И., Романенко М.Ф., Репин Н.Я., Михальченко В.В., Лукша В.А., Постникова О.В., Бугров Ю.М., Фединин Н.И., Болтухин В.П., Миртова С.М., Вавин В.Г., Трунова О.Н., Нифантов Б.Ф., Ефремов Ю.М., Иноzemцева Л.М., Ситников Е.С. и другие. Программа комплексного использования минерального сырья и утилизации отходов. // Территориальная комплексная программа охраны окружающей среды Кемеровской области до 2005 года. Т.6. / Администрация Кемеровской области; Сибирский промстройпроект. Кемерово, 1993. 108 с.
20. Химические анализы изверженных горных пород и породообразующих минералов. / Сост. В.Ф. Морковкина. М.: Наука, 1994. 250 с.

Авторы статьи:

Нифантов Борис Федорович - к.г.-м.н., ст. науч. сотр. Института угля и углехимии СО РАН	Заостровский Анатолий Николаевич - к.т.н., ст. науч. сотр. ИУУ СО РАН, доц. каф. химической технологии твёрдого топлива и экологии	Занина Ольга Павловна - инженер ООО «Роском»
--	--	--