В.С. Римкевич, А.А. Пушкин, О.В. Чурушова КОМПЛЕКСНАЯ ПЕРЕРАБОТКА УГОЛЬНОЙ ЗОЛЫ ТЭЦ

В результате изучения процессов фторидной переработки техногенных отходов ТЭЦ выявлены оптимальные условия получения аморфного кремнезема, глинозема, красного железооксидного пигмента и других товарных продуктов. Разработан эффективный метод комплексного извлечения различных полезных компонентов из электромагнитной фракции угольной золы.

Ключевые слова: угольная зола, фторидный метод, комплексное извлечение, аморфный кремнезем, глинозем, полезные компоненты.

В настоящее время в Россий-ской Федерации действует более 170 тепловых электростанций (ТЭЦ) на угольном топливе, в которых сжигается ежегодно 650 млн т угля и вследствие чего образуется 300 млн т золы и шлаков. Хранение золошлаковых отходов представляет серьезную экологическую и экономическую проблему. Под хранение золошлаковых отходов ТЭЦ в России отчуждено более 20 тыс. км² земельных участков, на которых находится 1,3-1,5 млрд т этих техногенных отходов. Существующие методы переработки [1, 2, 3 и др.] позволяют извлекать незначительные количества ценных компонентов. содержашихся в золошлаковых отходах.

В тоже время по вещественному составу угольную золу можно рассматривать как самостоятельное комплексное месторождение нерудных и рудных металлов. Оно выгодно отличается от обычных месторождений полезных ископаемых тем, что находится на поверхности и не требует расходов на добычу из недр. Кроме того запасы золы значительны и они постоянно увеличиваются.

Целью настоящей работы являлось изучение физико-химических процессов переработки угольной золы и разработка фторидного метода комплексного извлечения различных полезных компонентов.

Экспериментальная часть

Большими перспективами для комплексной переработки техногенного сырья обладает золоотвал Благовешенской ТЭЦ, расположенный в 3 км западнее ТЭЦ в пади Горбуниха, которая использована в качестве естественного резервуара для хранения золы. Четыре котла Благовешенской ТЭЦ потребляют ежегодно около 1 млн т угля, и годовое поступление золы на золоотвал составляет 150 тыс. т в пересчете на сухое топливо. Зола на золоотвал поступает в виде воднозольной пульпы по золоотводу длиной 3 км. Золошлаковый материал накапливается в золоотвале и его объем в настоящее время составляет более З млн т.

Для экспериментального изучения из золоотвала были отобраны 3 пробы общим весом 141 кг, которые после сушки были разделены на магнитную, электромагнитную и немагнитную фракции. Средняя влажность проб составляла 39,5% по массе. Среднее содержание магнитной фракции составляет 9,1%, электромагнитной – 88,7%, немагнитной – 2,2% по массе. Магнитная фракция на 50–70% представлена шариками магнетита сизовато черного цвета; в электромагнитной фракции преобладают прозрачные и полупрозрачные частицы раскристаллизованого пузырчатого стекла силикатного состава и их шлакоподобные агрегаты, присутствуют зерна полевых шпатов и кварца с включениями магнетита; в немагнитной фракции наблюдаются зерна кварца, полевых шпатов и частицы несгоревшего угля.

Объектом исследования являлась электромагнитная фракция (-0,25 мм) золы состава, мас.%: $SiO_2 - 54,27$; $Al_2O_3 - 21,01$; $Fe_3O_4 - 7,82$; $TiO_2 - 0,66$; CaO - 8,24; MnO - 0,30; MgO - 2,49; $Na_2O - 0,40$; $K_2O - 1,23$; $P_2O_5 - 0,08$; $SO_3 - 0,27$; п.п.п. – 2,91.

Для переработки электромагнитной фракции золы, состоящей по данным рентгенофазового анализа в основном из минералов кварца (SiO₂) и муллита (Al₆Si₂O₁₃), применялся гидродифторид аммония (NH, HF) марки ч.д.а., аммиачная вода (NH, OH) марки х.ч. и соляная кислота (35% HCl) марки х.ч. В нормальных условиях NH₄HF₂ представляет собой инертное, кристаллическое вещество ромбической структуры, которое в отличие от других фторирующих реагентов (фтор, фтористый водород, плавиковая кислота) не представляет существенной экологической опасности для приготовления реакционных смесей, но при нагревании он становится более энергичным реагентом, чем газообразный фтор [4]. Температура плавления гидродифторида аммония составляет 126,8 °С, температура разложения – 238 °C, растворимость в воде – 370 г/см³ при 70 °С.

Исходные компоненты, взятые в заданных соотношениях, растирали, перемешивали и помещали в тефлоновые, стеклоуглеродные или платиновые тигли или чашки. Величина навесок составляла 5–40 г. Фторирование осуществляли на лабораторной установке специальной конструкции с реактором из никелевого сплава, в котором исходное сырье спекали с гидродифторидом аммония и полученные смеси термически обрабатывали при заданных температурах и временах выдержки. Для разделения и сбора летучих продуктов применяли двухзонный конденсатор, изготовленный из нержавеющей стали и фторопласта. Выделяющийся газообразный аммиак и пары воды улавливали во фторопластовом устройстве, заполненном водным раствором. Вышелачивание железа осуществляли разбавленной соляной кислотой в аппарате из нержавеющей стали. Регенерацию гидродифторида аммония и соляной кислоты производили в лаборатор-HOM выпаривателе-кристаллизаторе, синтез аморфного кремнезема, гидроксида алюминия и оксида железа проводили в гидролизном аппарате, выполненном из фторопласта. Для синтеза глинозема применяли электропечь специальной конструкции.

Исходное сырье, промежуточные фазы и конечные продукты исследовали химическим, рентгенофазовым, спектральным, и электронно-микроскопическими методами анализов, применяемыми в Аналитическом центре минералого-геохимических исследований ИГиП ДВО РАН.

Химический анализ на содержание элементов (Si, Al, Fe, Na, K и другие) в пробах проводили на спектрометре BRUKER S4 PIONEER. Определение содержания фтора и аммиака осуществляли после отгонки H₂SiF₆ и NH₃ титрованием полученных растворов нитратом тория и серной кислотой соответственно. Для рентгенофазового анализа применяли рентгеновский дифрактометр MAXIMA XRD-700 (CuK₂-излучение, $\lambda = 1,54060$ Å) с базой данных для фазового анализа ICDD PDF 2008. Эмиссионный спектральный анализ микропримесей проводили на спектрографе СТЭ-1 со скрещенной дисперсией со стандартным определением 44 элементов. Электронномикроскопические исследования проводили на сканирующем электронном микроскопе GSM-6390 LV JEOL с определением породообразующих элементов. Размеры наночастиц определяли на атомно-силовом микроскопе SOLVER P47 в Институте автоматики и процессов управления ДВО РАН (г. Владивосток).

Расчеты термодинамических параметров, констант скорости и энергии активации химических реакций осуществляли с применением программ, разработанных на основе приложения Microsoft Access 2007.

Результаты и их обсуждение

Перед проведением экспериментальных работ был проведен термодинамический расчет вероятности протекания химических реакций комплексной переработки электромагнитной фракции угольной золы. Термодинамические расчеты проводились с использованием данных [5, 6]. По данным расчетов (табл. 1) реакции протекают в сторону образования конечных продуктов.



Рис. 1. Зависимость количества аммиака (NH₃), выделившегося при спекании угольной золы с гидродифторидом аммония, от времени процесса (т) при различных температурах. Штрихами показано теоретически возможное количество аммиака. Температура °C: 1 – 50; 2 – 100; 3 – 150; 4 – 200

На основании полученных экспериментальных данных по убыли массы навесок за определенные промежутки времени при заданных температурах и по данным химических анализов на элементы в продуктах реакций вычисляли кинетические параметры процессов - константы скорости и энергии активации. Степень образования продуктов реакций, необходимую для дальнейших расчетов, определяли по формуле: $\alpha = m/m_{\text{расч}}$, где m – масса образовавшегося продукта, $m_{\rm pacy}$ – теоретически возможное его количество. Для расчетов констант скорости реакций спекания использовали топохимическое уравнение Праута-Томпкинса, которое обрабатывали методом наименьших квадратов. Расчет констант скорости реакций сублимации проводился в предположении экспоненциальной зависимости концентрации сублимата от времени. Энергию активации рассчитывали по уравнению Аррениуса для констант скорости методом наименьших квадратов по линеаризированной форме этого уравнения. Ошибки при расчетах кинетических параметров не превышают 5,5% относительных.

> При смешивании угольной золы с NH₄HF₂ в стехиометрическом соотношении 1:2,4 образовывается вязкая масса, и реакция фактически начинается при комнатной температуре с выделением воды. Взаимодействие при спекании описывается реакциями основных компонентов 1-5 (табл. 1). По экспериментальным данным минерал магнетит (Fe₃O₄) не подвергается фторированию, а в результате спекания образуется гематит ($Fe_{a}O_{a}$).

На рис. 1 показаны кинетические кривые зависи-

Таблица 1

Расчетные значе	ния изменений	энергии Ги	ббса (∆G,	кДж)
для химических ј	реакций перера	аботки угол	ьной золы	l i

N⁰	T, °C	25	100	200	300	400	500	600	
1	$SiO_2 + 3NH_4HF_2 = (NH_4)_2SiF_6 + 2H_2O\uparrow + NH_3\uparrow$								
	ΔG	-34,4	-69,3	-115,9	-162,5	-209,4	-255,6	-348,8	
2	$Al_2O_3 + 6NH_4HF_2 = 2(NH_4)_3AIF_6 + 3H_2O\uparrow$								
	ΔG	-340,4	-339,1	-337,3	-335,5	-333,7	-331,9	-328,3	
3	$CaO + NH_4HF_2 = CaF_2 + H_2O\uparrow + NH_3\uparrow$								
	ΔG	-157,9	-180,2	-208,8	-239,4	-268,0	-298,7	-357,9	
4	$Na_{2}O + NH_{4}HF_{2} = 2NaF + H_{2}O\uparrow + NH_{3}\uparrow$								
	ΔG	-309,7	-331,7	-360,1	-390,5	-419,9	-449,2	-508,0	
5	$K_2O + NH_4HF_2 = 2KF + H_2O\uparrow + NH_3\uparrow$								
	ΔG	-342,5	-247,4	-336,6	-425,8	-486,4	-486,4	-547,0	
6	$AlF_3 + 3NH_4HF_2 = (NH_4)_3AlF_6 + 3HF$								
	ΔG	17,0	3,0	-16,0	-35,00	-54,0	-72,0	-91,00	
7 $(NH_4)_3AIF_6 = AIF_3 + 3NH_3\uparrow + 3HF\uparrow$									
	ΔG	268,4	187,0	78,5	-30,1	-138,6	-247,2	-464,3	
8	8 $Fe_2O_3 + 6HCl = 2FeCl_3 + 3H_2O$								
	ΔG	-40,0	-13,0	22,1	58,01	94,2	129,3	165,4	
9	$(\mathrm{NH}_{4})_{2}\mathrm{SiF}_{6} + 4\mathrm{NH}_{4}\mathrm{OH} = \mathrm{SiO}_{2}\downarrow + 6\mathrm{NH}_{4}\mathrm{F} + 2\mathrm{H}_{2}\mathrm{O}$								
	ΔG	-48,7	-19,1	20,3	59,7	99,2	138,6	217,5	
10	$(NH_4)3AIF_6 + 3NH_4OH = AI(OH)_3 \downarrow + 6NH_4F$								
	ΔG	-43,0	-71,1	-108,5	-145,9	-183,3	-220,7	-258,1	
11	11 $2\text{FeCl}_3 + 6 \text{ NH}_4\text{OH} = \text{Fe}_2\text{O}_3\downarrow + 6\text{NH}_4\text{Cl} + 3\text{H}_2\text{O}$								
	ΔG	-520,0	-528,0	-539,0	-551,0	-562,0	-573,0	-585,0	
12	12 $NH_3 + H_2O = NH_4OH$								
	ΔG	-9,6	-3,4	4,9	13,2	21,5	29,8	38,1	
13		$NH_3 + HF = NH_4F$							
	ΔG	-39,1	-23,3	-2,1	19,1	40,3	61,5	83,7	
14		$2NH_4F = NH_4HF_2 + NH_3\uparrow$							
	ΔG	0,5	-12,0	-28,7	-45,4	-62,1	-78,8	-95,5	
15	$NH_4Cl = HCl\uparrow + NH_3\uparrow$								
	ΔG	93,0	72,1	42,9	15,0	-13,1	-42,2	-70,3	

мости количества выделившегося при спекании аммиака от времени при различных температурах. С учетом констант скоростей и энергии активации процесс протекает в кинетической области (табл. 2, реакции 1–5); способ ускорения процесса – повышение температуры. При температурах выше температуры плавления NH₄HF₂ взаимодействие происходит с максимальной скоростью, и при 200 °C за 3,0 ч достигается выделение аммиака более 98% от теоретически возможного. Выделяющийся газообразный

Таблица 2

<i>Τ</i> ₍₁₋₅₎ , °C	<i>К</i> _с , мин ⁻¹	<i>Τ</i> ₍₇₎ , °C	К _с , мин ⁻¹	
Реакци	и (1-5)	Реакция (7)		
50	0,003819	350	0,05343	
100	0,005045	450	0,05974	
150	0,009240	550	0,13443	
200	0,009587			
Е _а , кДж/моль	28,6		18,8	

Значение констант скорости (Кс) и энергии активации (Еа) процессов, описываемых реакциями спекания(1–5) и сублимации (7).

аммиак и пары H₂O образуют аммиачную воду по реакции 12, которая поступает на стадии гидролиза (реакции 9, 10, 11).

По данным рентгенофазового анализа полученный порошкообразный спек состоит из смеси гексафтороалюмината ($(NH_4)_3AlF_6$) и гексафторосиликата (NH_4)_2SiF_6 аммония, фторида кальция и Fe₂O₃. Результаты наших исследований по влиянию фторирующего реагента (20% от стехиометрии) на выход смеси фтор-аммониевых солей показал, что оптимальным является расчетное стехиометрическое отношение 1 : 2,4. Если это соотноше-



Рис. 2. Кинетические кривые улетучивания гексафторосиликата аммония в восстановительных условиях при различных температурах с получением нелетучего остатка: *m* – масса образца, *т* – время сублимации. Штрихами показано теоретически возможное количество нелетучего остатка. Температура °C: 1 – 350; 2 – 450; 3 – 550

ние меньше, например 1 : 2, то выход целевых продуктов снижается до 70% по массе; при большем соотношении (1 : 3) выход продуктов достигает более 98% по массе, однако при этом выделяется повышенное количество NH₃ и гидродифторид аммония расходуется не полностью.

Термическая переработка при температурах 350–550 °С полученного в оптимальных условиях порошкообразного спека в восстановительных условиях приводит к образованию нелетучего остатка, который по данным рентгенофазового анализа состоит из фторида алюминия, фторида кальция и гематита. При термической

> обработке осуществляется реакция 7, а фторид кальция и фториды щелочных металлов не подвергаются сублимации и остаются в нелетучем остатке.

> В результате термической обработки при температуре выше 300 °С происходит сублимация летучего (NH4)SiF₆, что согласуется с выводами авторов [7]. На рис. 2 показаны кинетические кривые, рассчитанные по данным убыли массы нелетучего остатка в восстановительных условиях с получением фторида алюминия и других компонентов при различных температу

рах и временах выдержки. Процесс характеризуется низкой энергией активации и высокими константами скорости (табл. 2, реакция 7). Из приведенных экспериментальных данных видно, что температура 550 °С является наиболее благоприятной для обескремнивания, и за 25 мин масса нелетучего остатка составляет более 98%. от теоретически возможной.

Летучий (NH₄)₂SiF₆ улавливается в первой зоне конденсатора, а пары NH₃ и HF, выделяющиеся в результате разложения фтор-аммониевых солей, взаимодействуют между собой во второй зоне конденсатора с образованием фторида аммония (NH₄F) по реакции 13.

Фторид аммония направляется в выпариватель-кристаллизатор, где при выпаривании водного раствора NH₄F образуется гидродифторид аммония по реакции 14, который поступает в начало технологического процесса.

По данным эмиссионного спектрального анализа гексафторосиликат аммония имеет высокую химическую чистоту – содержание металлических примесей не привышает $10^{-4}-10^{-5}$ мас.% (Al, Fe, Mg, Ca и др.). Повторная сублимационная очистка позволяет получить (NH₄)₂SiF₆ с содержанием вредных примесей менее $10^{-6}-10^{-8}$ мас.% [8].

Водный раствор гексафторосиликата аммония (3–33 мас.% (NH₄)₂SiF₆) взаимодействует с аммиачной водой (25 мас.% NH₃) при температурах 20– 80 °С и рН = 8–9 по реакции 9. Образовавшийся гель выпадает в осадок, выдерживается в течение 1 ч, и затем путем фильтрования отделяется от раствора NH4F, который поступает на дальнейшую переработку (реакция 14).

В результате происходит синтез нанодисперсного аморфного кремнезема высокой химической чистоты со средним размером наночастиц 17–89 нм. По данным анализа на атомно-силовом микроскопе SOLVER R-47 наименьшего среднего значения (17 нм) размер наночастиц достигает в условиях синтеза при исходной концентрации 3 мас.% $(NH_4)_2SiF_6$ и температуре 80 °C; наночастицы увеличиваются до средних размеров 61 нм и 89 нм при концентрациях 20 и 33 мас.% (NH₄)₂SiF₆ соответственно для аналогичной температуры. При концентрации 3 мас.% (NH₄)₂SiF₆ понижение температуры синтеза до 20 °С способствует увеличение среднего размера наночастиц до 33 нм. Изменение концентрации и температуры в указанных интервалах позволяет увеличивать удельную поверхность порошков аморфного кремнезема от 92 до 508 м²/г, при этом удельный объем пор увеличивается от 0,096 до 0,225 см³/г.

Спектральный анализ нанодисперсных порошков аморфного кремнезема подтверждает наличие в них минимального количества вредных примесей (менее 10–4 мас.%); на дифрактограммах наблюдается рентгеноаморфное гало с отсутствием кристаллических фаз. По данным химического анализа в аморфном кремнеземе содержится 99,999 мас.% SiO₂ и обнаружены следы фтора.

Образовавшийся после сублимации нелетучий остаток подвергают вышелачиванию водой с удалением хорошо растворимых фторидов щелочных металлов (NaF и KF). Полученный нерастворимый осадок, состоящий по данным рентгенофазового анализа из AlF₃, Fe₂O₃, CaF₂, выщелачивают разбавленной соляной кислотой при температуре 50-60 °С и выдержке 3 ч по известной методике [9]. В результате образуется раствор хлорида железа (FeCl₃) по реакции 8, который отделяется путем фильтрования от нерастворимого в соляной кислоте осадка, состоящего по данным рентгенофазового анализа из фторидов алюминия и кальция.

Хлорид железа подвергается гидролизу в водных растворах под дей-

ствием аммиачной воды (25 мас.% NH₃) при температурах 20–80 °С и pH = 7–8 по реакции 11 с образованием красного железооксидного пигмента (Fe₂O₃), который выпадает в осадок, выдерживается при заданной температуре не менее 1 ч и отделяется путем фильтрования от хлорида аммония (NH₄Cl). В выпарителе-кристаллизаторе из NH₄Cl регенерируются аммиак и соляная кислота (реакция 15), которые поступают на стадии технологического процесса.

Нерастворимый кислотный осадок спекается NH₄HF₂ при температуре 180 °С в течение З ч с образованием гексафтороалюмината аммония по реакции 6; фторид кальция не подвергается термической обработке. После вышелачивания водой с удалением растворимого (NH₄)₃AlF₆, образуется концентрат, состоящий из фторида кальция и других полезных компонентов, который поступает на дальнейшую переработку.

Далее в водном растворе (0,5– 3 мас.% (NH₄)₃AlF₆) гексафтороалюминат аммония взаимодействует с аммиачной водой (25 мас.% NH₃) при температурах 20–80 °С до образования осадка гидроксида алюминия при рН = 8–9, который выдерживали при заданной температуре в течение 1 ч. Затем осадок путем фильтрования отделяется от раствора фторида аммония, который поступает на стадию регенерации NH₄HF₂ (реакция 14).

В результате прохождения процесса (реакция 10) происходит образование микрочастиц гидроксида алюминия с размерами фракций от 1 до 10 мкм 2–10%, от 10 до 50 мкм 10– 60%, микрочастицы крупнее 50 мкм – более 30% по массе. Спектральный анализ микрочастиц гидроксида алюминия показал наличие в них минимального количества микропримесей (менее 10⁻¹ мас.%), на дифрактограммах фиксируется кристаллическая фаза гиббсит. По данным химического анализа в гидроксиде алюминия содержится 64,98 мас.% Al_2O_3 , суммарное содержание шелочей ($Na_2O + K_2O$) не превышает 0,1 мас.%.

В разбавленных растворах при концентрации 0,5 мас.% $(NH_4)_3AIF_6$ и температуре 80 °С достигается максимальное извлечение гидроксида алюминия, равное 97,10 мас.%, которое уменьшается до 88,91 мас.% при концентрации 3 мас.% $(NH_4)_3AIF_6$ для аналогичной температуры. При концентрации 0,5 мас.% $(NH_4)_3AIF_6$ и температуре 20 °С степень извлечения гидроксида алюминия составляет 91,88 мас.%, и она уменьшается до 77,62 мас.% с повышением концентрации $(NH_4)_3AIF_6$ до 2 мас.% для аналогичной температуры.

Затем гидроксид алюминия подвергается кальцинации при температурах 1100–1200 °С в течение 20–40 мин с получением кондиционного металлургического глинозема, содержащего по данным рентгенофазового анализа 60-80% у-Аl₂O₃ и 20-40% α-Al₂O₃. По данным химического, электронномикроскопического и спектрального анализов, полученный глинозем содержит 99,8 мас.% Al₂O₃ и следующие примеси (мас.%): SiO₂ – 0,02; Fe₂O₃ – 0,03; ТіО₂ – следы; СаО, MgO, Na₂O и К_оО не обнаружены, и соответствует маркам ГО и Г1 [10], и из него путем электролитического восстановления извлекается технический алюминий марок А5–А-85.

Был произведен расчет материального баланса и определены расходные коэффициенты для всех химических соединений, участвующих в реакциях комплексной переработки электромагнитной фракции угольной золы. Материальные потоки показаны на рис. 3, где под формулами химических соединений приведены расходные коэффициенты на 100 кг угольной золы. На схеме в скобках обозначены химические реакции комплексной переработки угольной золы, термодинамические расчеты вероятности прохождения которых приведены в табл. 1. Применяемые дополнительные компоненты легко восстанавливаются с отсутствием твердых, жидких и газообразных отходов, что позволяет многократно использовать их в технологическом процессе (реакции 12–15). В технологическом процессе используется замкнутый цикл оборотной воды. Приведенная схема показывает замкнутость материальных потоков, где теоретически можно регенерировать 95,12% гидродифторида аммония, 95,5% аммиачной воды и до 100% соляной кислоты. При комплексной переработке угольной золы теоретически образуется 54,26 кг аморфного кремнезема, 21,01 кг глинозема, 8,09 кг красного



Рис. 3. Технологическая схема материальных потоков при комплексной фторидной переработке электромагнитной фракции угольной золы с теоретическим извлечением полезных компонентов

железооксидного пигмента и другие полезные компоненты – гексафторосиликат аммония, фториды натрия и калия, которые используются в различных отраслях промышленности.

В лабораторных условиях при фторидной переработке электромагнитной фракции угольной золы степень извлечения аморфного кремнезема составляет 96%, глинозема – 95,5%, красного железооксидного пигмента – 94,8%, регенерация гидродифторида аммония, аммиачной воды и соляной кислоты достигает 93%.

Аморфный кремнезем используется как наполнитель для резины, пластмассы, красок, цветных лаков, лекарственных и косметических вешеств. при производстве полупроводникового кремния и других целей. Глинозем широко применяется для производства технического алюминия электролитическим способом. для изготовления специальных видов керамики и электрокерамики. Обладающий сильными огнестойкими и биоцидными свойствами гексафторосиликат аммония находит применение в деревообрабатывающей, пищевой, химической и других отраслях промышленности. Диоксид железа предназначается для получения высокачественных красок, бумаги, резины, пластмасс и других производств.

Среднемировая стоимость (\$/кг) аморфного кремнезема составляет 5,0, глинозема – 0,45, гексафторосиликата аммония – 4,0, диоксида железа – 3,0. Среднемировая стоимость (\$/кг) золы – 0,06, гидродифторида аммония – 2,0, аммиачной воды – 0,1, соляной кислоты – 0,2. Степень регенерации применяемых дополнительных компонентов довольно высокая, что обеспечивает экономическую рентабельность, замкнутый цикл и экологическую безопасность технологического процесса.

Выводы

Теоретическими И экспериментальными исследованиями процессов фторидной переработки угольной золы определены оптимальные физико-химические условия получения аморфного кремнезема, глинозема, красного железооксидного пигмента и других товарных продуктов. В результате разработан фторидный метод переработки угольной золы с комплексным извлечением различных полезных компонентов, который позволяет значительно уменьшить материальные и энергетические затраты и обеспечивает более экологически чистое и безопасное получение конечной продукции по сравнению с существующими способами.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Черепанов А.А., Кардаш В.Т. Комплексная переработка золошлаковых отходов ТЭЦ // Геология и полезные ископаемые мирового океана. – 2009. – № 2. – С. 98–115.

2. Делицын Л.М., Власов А.С. Необходимость новых подходов к использованию золы ТЭС // Теплоэнергетика. – 2010. – № 4. – С. 49–55.

3. Фомина Е.Ю., Артемова О.С. Исследование возможности переработки золошлаковых отходов ТЭС металлургическими методами // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2011. – № 8. – С. 273–277.

4. Химическая технология неорганических веществ. Справочник / Под ред. Т.Г. Ах-

метова. – М.: Высшая школа, 2002. – 534 с.

5. Равдель А.А., Пономарева А.М. Краткий справочник физико-химических величин. – Л.: Химия. – 1983. – 234 с.

чин. – Л.: Химия. – 1983. – 234 с. 6. Лидин Р.А., Андреева Л.П., Молочко В.А. Справочник по неорганической химии. – М.: Химия. – 1987. – 320 с. 7. Римкевич В.С., Гиренко И.В., Пуш-

7. Римкевич В.С., Гиренко И.В., Пушкин А.А. Изучение процессов фторидной переработки кианитовых концентратов // Журнал прикладной химии. – 2013. – Т. 86. – Вып. 10. – С. 1511–1518.

8. Римкевич В.С., Пушкин А.А., Гиренко И.В. Синтез и свойства наночастиц аморфного SiO₂ // Неорганические материалы. – 2012. – Т. 48. – № 4. – С. 423–428. 9. Андреев А.А., Дьяченко А.Н., Крайденко Р.И. Кинетические исследования взаимодействия фторида и хлорида аммония с компонентами техногенного сырья / Современные неорганические фториды. Труды Второго Международного сибирского семинара INTERSIBFLUORINE-2006. 11–16 июня 2006. – Томск: Изд-во Института неорганической химии СО РАН, 2006. – С. 6–10.

10. Лайнер А.И., Еремин Н.И., Лайнер Ю.А., Певзнер И.З. Производство глинозема. – М.: Металлургия, 1978. – 344 с. **ПИЛЕ**

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ _

Римкевич Вячеслав Сергеевич – кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией, старший научный сотрудник, e-mail: vrimk@yandex.ru, Пушкин Александр Андреевич – кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник, e-mail: pushkin@ascnet.ru, Чурушова Ольга Валерьевна – инженер, e-mail: churushova86@mail.ru, Институт геологии и природопользования Дальневосточного отделения Российской академии наук (ИГиП ДВО РАН).

UDC 66.002.3; 622.7.004.8

COMPLEX PROCESSING OF COAL ASH OF TEC

*Rimkevich V.S.*¹, Candidate of Geological and Mineralogical Sciences, Head of Laboratory, Senior Researcher, e-mail: vrimk@yandex.ru,

Pushkin A.A.¹, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher,

e-mail: pushkin@ascnet.ru,

Churushova O.V.¹, Engineer, e-mail: churushova86@mail.ru,

¹ Institute of Geology and Nature Management, Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences, 675000, Blagoveshchensk, Russia.

The study of fluoride processing processes of industrial wastes of TEC results in the revelation of optimal conditions of receiving of amorphous silica, alumina, red iron oxide pigment and other trade products. The effective method of complex extraction of various useful components from electromagnetic fraction of coal ash was developed.

Key words: coal ash, fluoride method, complex extraction, amorphous silica, alumina, useful components.

REFERENCES

1. Cherepanov A.A., Kardash V.T. Geologiya i poleznye iskopaemye mirovogo okeana. 2009, no 2, pp. 98–115.

2. Delitsyn L.M., Vlasov A.S. Teploenergetika. 2010, no 4, pp. 49–55.

3. Fomina E.Yu., Artemova O.S. Gornyi informatsionno–analiticheskii byulleten'. 2011, no 8, pp. 273–277.

4. Khimicheskaya tekhnologiya neorganicheskikh veshchestv. Spravochnik. Pod red. T.G. Akhmetova (Chemical technology of inorganic substances. Reference-book, Akhmetov T.G. (Ed.)), Moscow, Vysshaya shkola, 2002, 534 p.

5. Ravdel' A.A., Ponomareva A.M. Kratkii spravochnik fiziko-khimicheskikh velichin (A brief handbook of physical-chemical variables), Leningrad, Khimiya, 1983, 234 p.

6. Lidin R.A., Andreeva L.P., Molochko V.A. Spravochnik po neorganicheskoi khimii (Spravochnik po neorganicheskoi khimii), Moscow, Khimiya, 1987, 320 p.

7. Rimkevich V.S., Girenko I.V., Pushkin A.A. Zhurnal prikladnoi khimii. 2013, vol. 86, issue 10, pp. 1511–1518.

8. Rimkevich V.S., Pushkin A.A., Girenko I.V. Neorganicheskie materialy. 2012, vol. 48, no 4, pp. 423–428.

9. Andreev A.A., D'yachenko A.N., Kraidenko R.I. Sovremennye neorganicheskie ftoridy. Trudy Vtorogo Mezhdunarodnogo sibirskogo seminara INTERSIBFLUORINE-2006. 11–16 iyunya 2006 (Modern inorganic fluorides. Proceedings of the 2nd International Siberian seminar INTERSIBFLUORINE 11–16 June 2006), Tomsk, Izd-vo Instituta neorganicheskoi khimii SO RAN, 2006, pp. 6–10.

10. Lainer A.I., Eremin N.I., Lainer Yu.A., Pevzner I.Z. *Proizvodstvo glinozema* (Alumina production), Moscow, Metallurgiya, 1978, 344 p.