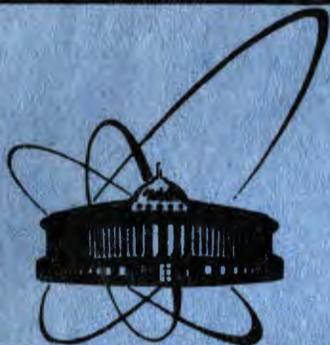


28/IV-84



ОБЪЕДИНЕННЫЙ
ИНСТИТУТ
ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ
ДУБНА

2067/84

P12-84-19

М.Я.Шпирт*, Б.Л.Жуйков, Ю.В.Иткин,*
Е.Л.Журавлева, Л.П.Кулькина, И.Х.Володарский*

КОНЦЕНТРИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ
В ПРОДУКТАХ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ
И ПОИСК СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Направлено в журнал
"Химия твердого топлива"

* Институт горючих ископаемых, Москва

1984

ВВЕДЕНИЕ

Для большинства элементов периодической системы Д.И. Менделеева известны такие месторождения твердых горючих ископаемых, в которых концентрации данного элемента значительно выше кларковых. Это позволяет рассматривать угли, сланцы и углистые породы отдельных месторождений как потенциальный сырьевой источник ряда редких и рассеянных элементов^{/1/}. Данные о содержании и распределении микроэлементов в веществе различных видов твердых горючих ископаемых обобщены в^{/1-3/}.

Генезис каустобиолитов и углистых пород позволяет предположить, что в некоторых из них могут концентрироваться также новые, не открытые пока "сверхтяжелые" элементы /СТЭ/ с зарядом ядра $Z = 108-116$, поиски которых проводятся в различных природных образцах^{/4/}.

При сжигании - наиболее широкомасштабном процессе переработки твердых топлив - некоторые элементы возгоняются и далее концентрируются в зольных уносах, что создает благоприятные предпосылки для их последующего извлечения. По предсказаниям, сверхтяжелые элементы также должны обладать высокой летучестью в восстановительной или окислительной атмосферах^{/5,6/}.

Целью настоящей работы является изучение распределения большого числа элементов в продуктах сжигания бурых углей. С практической точки зрения кроме вопросов, связанных с извлечением редких элементов, такая информация важна и для оценки степени вредного влияния продуктов переработки углей на биосферу, перспективности использования зол и шлаков как источника микроэлементов в сельском хозяйстве и др.

ХАРАКТЕРИСТИКА ИСХОДНЫХ УГЛЕЙ

В качестве исходного материала для сжигания использовали бурые угли и углистые породы: уголь А, Б и углистую породу В одного месторождения, а также уголь Г другого месторождения. Основные характеристики их представлены в табл.1. Для варьирования зольности исходного топлива использовали также искусственно составленные смеси из углистой породы В и угля Б в соотношениях 1:3, 1:2 и 1:1 по массе. Кроме того, анализировали продукты промышленного сжигания на ТЭЦ углей Д и Е еще двух месторождений /как показал анализ, угли сжигались в соотношении Д:Е=1:4/.

Таблица 1

Характеристика исходный углей

| Наименование | Влажность, % | Зольность, % | Углерод, % | Водород, % | Сера, % | Выход летучих, % | Содержание макрокомпонентов в золе, % | | | | |
|--------------|--------------|--------------|------------|------------|---------|------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-----|
| | | | | | | | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | CaO | MgO |
| A | 4,2 | 36,2 | 44,8 | 3,8 | 0,21 | 55,0 | 69,7 | 18,6 | 3,2 | 3,2 | 1,3 |
| Б | 8,2 | 16,9 | 54,5 | 4,5 | 0,22 | 53,0 | 53,4 | 30,6 | 5,2 | 6,9 | 0,5 |
| В | 3,8 | 54,4 | 32,2 | - | 0,14 | 55,7 | 76,0 | 12,7 | 2,7 | 2,4 | 0,3 |
| Г | 14,1 | 21,4 | - | - | 1,75 | 41,5 | 31,2 | 11,5 | 11,2 | 22,0 | 3,5 |

УСТАНОВКИ ДЛЯ СЖИГАНИЯ УГЛЕЙ

Сжигание производили в двух установках - "огневой стенд" и "аглочаша" - с различными типами топков. Для улавливания зольных уносов /пылей/ применяли стандартные циклонные улавливатели и рукавные фильтры. Кроме того, мы попытались получить концентраты летучих элементов, используя "химические фильтры" /CaO, Nb₂O₅ и др./, поглощавшие некоторые из возгонявшихся элементов при относительно высоких температурах в результате химического взаимодействия.

Огневой стенд /непрерывного действия/ по тепловым и аэродинамическим характеристикам моделировал процесс горения углей в слоевых и факельно-слоевых топках промышленных котельных. Производительность стенда по топливу составляла от 7 до 30 кг/ч. Принципиальная схема стенда представлена на рис.1.

Топливо подавалось шнековым питателем /1/ через пневматический забрасыватель /2/ на колосниковую решетку /3/ топки. Образующийся шлак от сжигания удалялся шурующей планкой /4/. Под колосниковую решетку подавался воздух вентилятором /5/ с расходом около 200 м³/ч. Газы из рабочего объема топки проходили над химическим фильтром из Nb₂O₅ /6/ /200 г гранул размером 3-5 мм, помещенных в сетку из нержавеющей стали, температура от 800 до 1100°C/, затем по водоохлаждаемому газоходу /7/ поступали в циклонный улавливатель /8/, где задерживались крупные частицы зольного уноса /температура 300-400°C/, и далее - в тканевый рукавный фильтр /9/ из нитрона /температура на входе от 70 до 110°C/, который обеспечивал очистку газов от тонкодисперсных частиц зольного уноса. После этого газы проходили через слой палладрованного силикагеля /10/ /150 г, температура 30-50°C/, расположенного по сечению выходной трубы для улавливания легколетучих СТЭ /7/, и далее через дымосос /11/ выбрасывались в атмосферу.

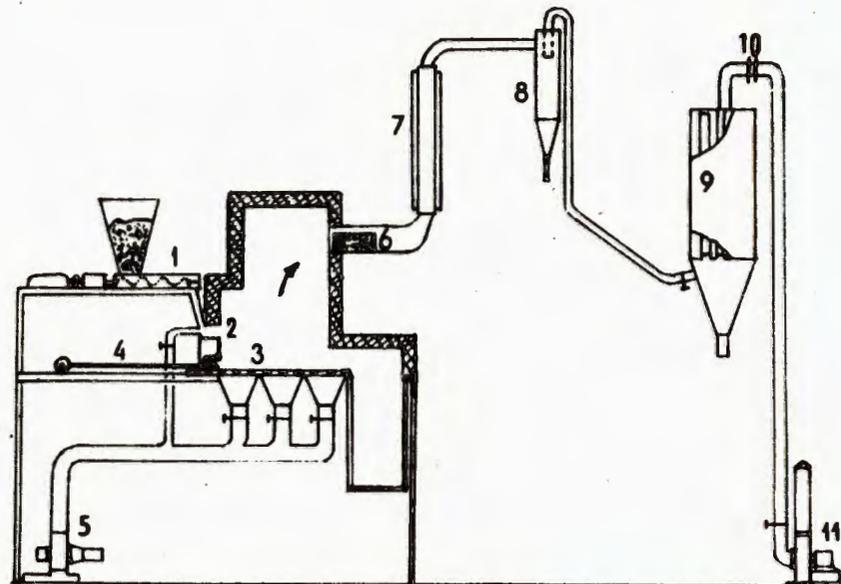


Рис.1. Схема установки "огневой стенд"/пояснения в тексте/.

Вес каждой порции угля, сжигаемого на огневом стенде /табл.2/, составлял 20-27 кг, а время сжигания - от одного до двух часов. Температура непосредственно над слоем сжигаемого материала была от 1000 до 1300°C - тем выше, чем ниже зольность сжигаемой смеси. Пылевые уносы из циклона и из рукавных фильтров собирались после сжигания каждой порции, а химические фильтры /Nb₂O₅, Pd-силикагель/, а также пыль, прошедшая за рукавный фильтр и осевшая на ловушке с силикагелем, извлекались после окончания всей серии экспериментов.

Аглочаша /периодического действия/ представляла собой огнеупорный цилиндр с внутренним диаметром 15 см и высотой 35 см /конструкция подробно описана в /8//. В аглочаше происходило слоевое сжигание угля. Время сжигания порции угля весом от 1 до 6 кг - около 30 мин. Конструкция установки позволяет контролировать температуру в горящем слое и удобна для исследования поглощения летучих элементов высокотемпературными химическими фильтрами, которые помещались непосредственно на слой сжигаемого материала таким образом, чтобы весь поток отходящих газов проходил через фильтрующий слой. В качестве фильтра при сжигании 3 кг углистой породы В в аглочаше использовали гранулы CaO диаметром 3-10 мм /300 г/, помещенные в сетку из нержавеющей стали. Зависимость улетучивания некоторых элементов от температуры изучалась при сжигании 3-килограммовых порций угля типа Г, причем температура сжигания регулировалась путем изменения величины коэффициента избытка воздуха в печи.

МЕТОДЫ АНАЛИЗА МИКРОЭЛЕМЕНТОВ

Все исходные угли, шлаки, пылевые уносы из циклонных улавливателей и рукавных фильтров, а также химические фильтры анализировались на содержание микроэлементов. Поиск СТЗ в концентратах летучих элементов производился путем детектирования спонтанного деления в установках различных типов,

Рентгенофлуоресцентный анализ /РФА/ являлся основным методом анализа микроэлементов. Применяли Si(Li)-детектор ORTEC /разрешение около 250 эВ/ с источниками возбуждения ¹⁰⁹Cd или ²⁴¹Am и 800-канальный амплитудный анализатор NOKIA-4840. Использовалась экспрессная "безэталоновая" методика анализа/9/. Чувствительность РФА существенно зависит от порядкового номера Z элемента, от состава образца и достигает для некоторых тяжелых элементов нескольких г/т. Ошибка анализа обычно находится в пределах 15% /отн./, однако в присутствии значительных количеств тяжелых элементов /концентраты летучих элементов из рукавных фильтров, химический фильтр из Nb₂O₅/ ошибка анализа может существенно увеличиваться.

γ-активационный анализ/10/ использовался для анализа некоторых образцов и концентратов на содержание U, Tl, Hg, для которых РФА дает недостаточную чувствительность, а также на содержание Rb, Mo, Rb и Ce /результаты определения последних элементов методом γ-активационного анализа практически совпали с данными РФА/. Этот метод более точный и чувствительный, чем РФА, но и более трудоемкий. Анализ проводился с использованием тормозного излучения микротрона М-22 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ и с применением полупроводниковых Ge и Ge(Li)-детекторов.

Детектирование спонтанного деления с целью обнаружения СТЗ в пылях из рукавных фильтров - концентратов летучих элементов - производилось с использованием счетчиков осколков деления, описанных в/11/ /анализируется не более 50 г вещества, фон составляет менее 1 импульса в год, эффективность регистрации 50%/. Более объемные образцы всех пылей и химических фильтров /от сотен граммов до килограммов/ анализировались с помощью счетчика мгновенных нейтронов деления/12/, /фон здесь составлял около 1 имп./сут., эффективность регистрации 40%/.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Распределение элементов при сжигании углей на огневом стенде и на ТЭЦ показано в табл.2. В качестве критерия обогащения элементов относительно нелетучей матрицы в табл.2 приведено содержание элементов в различных фракциях относительно стронция /его концентрация определялась методом РФА наиболее точно/.

Эти данные согласуются с общими закономерностями улетучивания элементов и оксидов из природных образцов/13,14/. Элементы,

Таблица 2

Содержание элементов по отношению к нелетучему Sr в твердых продуктах сжигания углей на огневом стенде по данным РФА и γ-активационного анализа

| Образец | Зольность, % | Нелетучее | | | | | | | | | | Летучее | | | | | | | | | | | | |
|---------|---------------------------------|-----------|------|------|------|------|------|-------------------|------|------|------|---------|------|-------|------|------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|
| | | Sr | Zr | Y | Ba | Rb | La | Ce | U | Fe | Tl | Cu | Ge | Ga | As | Pb | Zn | Mo | Sn | Sb | I | Tl | Hg | |
| 1 | Исходный уголь А | 36,2 | 1,00 | 0,5 | 0,12 | 2,0 | 0,29 | 0,13 | 0,29 | 50 | 11 | 0,1 | 0,64 | 0,24 | 0,38 | 0,07 | 0,11 | - | - | - | - | - | - | |
| | Шлак | 52,2 | 1,00 | 0,57 | 0,12 | 2,2 | 0,32 | 0,13 | 0,3 | 0,04 | 73 | 7 | 0,03 | 0,2 | 0,13 | 0,17 | 0,03 | 0,07 | 0,07 | 0,03 | 0,03 | 0,003 | 0,006 | 0,006 |
| | Сухой унос из рукавного фильтра | 86,4 | 1,00 | 0,52 | 0,1 | 1,8 | 0,18 | 0,1 | 0,25 | 0,05 | 78 | 8 | 0,1 | 0,83 | 0,28 | 1,0 | 0,03 | 0,5 | 0,05 | 0,03 | 0,08 | 0,003 | 0,009 | 0,009 |
| 2 | Исходный уголь В | 76,5 | 1,00 | 0,50 | 0,14 | 1,8 | 0,1 | 0,11 | 0,28 | 0,06 | 270 | 12 | 3,3 | 6,8 | 0,80 | 7,1 | 1,1 | 5,9 | 0,11 | 0,28 | 0,43 | 0,07 | 0,05 | 0,2 |
| | Шлак | 53,4 | 1,00 | 0,73 | 0,14 | 2,7 | 0,48 | 0,14 | 0,33 | 0,03 | 63 | 10 | 0,26 | 1,7 | 0,23 | 0,13 | 0,2 | 0,65 | 0,01 | 0,03 | 1,2 | - | 0,02 | 0,02 |
| | Рукавный фильтр | 86,4 | 1,00 | 0,60 | 0,12 | 2,3 | 0,23 | 0,1 | 0,28 | 0,1 | 87 | 8 | 0,23 | 2,4 | 0,41 | 0,31 | 0,1 | 0,56 | - | 0,01 | 1,2 | - | 0,04 | 0,06 |
| 3 | Исходная смесь В:Ш:ТЭЦ | 26,3 | 1,00 | 0,31 | 0,19 | 2,2 | 0,14 | 0,12 | 0,30 | 0,12 | 34 | 3,5 | 0,1 | 0,3 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,2 | 0,07 | 0,04 | 0,2 | - | 0,01 | 0,01 |
| | Шлак | 87,9 | 1,00 | 0,37 | 0,16 | 2,4 | 0,16 | 0,16 | 0,37 | 0,1 | 40 | 4,9 | 0,04 | 0,3 | 0,04 | 0,05 | 0,04 | 0,04 | - | 0,01 | 0,13 | - | - | - |
| | Рукавный фильтр | 61,3 | 1,00 | 0,43 | 0,15 | 1,0 | 0,1 | 0,02 | 0,1 | 0,1 | 120 | 11 | 0,26 | 17 | 1,8 | 8,1 | 2,8 | 4,3 | 0,07 | 0,03 | 2,5 | - | 0,11 | 0,06 |
| 4 | Исходная смесь | 29,6 | 1,00 | 0,34 | 0,19 | 2,2 | 0,15 | 0,12 | 0,30 | 0,12 | 36 | 3,9 | 0,1 | 0,4 | 0,1 | 0,1 | 0,1 | 0,23 | 0,07 | 0,04 | 0,26 | - | 0,01 | 0,01 |
| | Шлак | 96,4 | 1,00 | 0,42 | 0,17 | 2,5 | 0,18 | 0,16 | 0,37 | 0,1 | 45 | 3,6 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 0,02 | 0,04 | 0,04 | - | 0,01 | 0,13 | - | - | - |
| | Рукавный фильтр | 62,5 | 1,00 | 0,32 | 0,14 | 2,1 | 0,1 | 0,1 | 0,22 | 0,1 | 33 | 3,4 | 0,03 | 0,61 | 0,09 | 0,29 | 0,11 | 0,18 | 0,04 | 0,01 | 0,83 | - | - | - |
| 5 | Исходная смесь | 35,4 | 1,00 | 0,40 | 0,18 | 2,3 | 0,21 | 0,13 | 0,31 | 0,10 | 40 | 4,9 | 0,1 | 0,5 | 0,13 | 0,11 | 0,1 | 0,3 | 0,07 | 0,04 | 0,42 | - | 0,01 | 0,01 |
| | Шлак | 96,3 | 1,00 | 0,40 | 0,18 | 2,4 | 0,19 | 0,15 | 0,33 | 0,1 | 42 | 5,2 | 0,1 | 0,23 | 0,1 | 0,04 | 0,04 | 0,04 | - | 0,02 | 0,18 | - | 0,02 | 0,03 |
| | Рукавный фильтр | 56,4 | 1,00 | 0,33 | 0,13 | 0,9 | 0,1 | 0,02 | 0,1 | 0,13 | 45 | 6,8 | 0,13 | 2,2 | 2,2 | 8,9 | 3,8 | 5,0 | 0,15 | 0,10 | 3,2 | 0,02 | 0,1 | 0,06 |
| 1-5 | Сухой унос | 33,8 | 1,00 | 0,45 | 0,16 | 2,3 | 0,28 | 0,14 | 0,31 | 0,1 | 45 | 6,8 | 0,13 | 0,65 | 0,2 | 0,17 | 0,1 | 0,3 | 0,07 | - | 0,4 | - | - | - |
| | Шлак | 93,0 | 1,00 | 0,40 | 0,15 | 2,4 | 0,27 | 0,15 | 0,34 | 0,1 | 47 | 6,3 | 0,06 | 0,40 | 0,1 | 0,08 | 0,05 | 0,05 | - | 0,02 | 0,18 | - | - | - |
| | Рукавный фильтр | 69,7 | 1,00 | 0,40 | 0,15 | 1,2 | 0,1 | 0,05 | 0,14 | 0,1 | 188 | 10,3 | 0,3 | 15 | 1,8 | 8,6 | 2,7 | 5,1 | 0,11 | 0,10 | 2,2 | - | - | - |
| 1-5 | Nb ₂ O ₅ | 100 | 1,00 | - | - | - | 0,3 | - | 0,22 | - | 120 | - | - | 7,9 | 1,2 | 1,8 | 1,5 | 2,0 | - | - | 1,7 | - | - | - |
| | Шлак на рукавном фильтре | 26 | 1,00 | 0,4 | 0,1 | 3,4 | 0,1 | - | 0,1 | - | 1700 | 50 | - | 12 | 0,9 | 9,0 | 1,3 | 4,7 | 0,15 | - | 4,6 | 0,1 | - | - |
| | Шлак + рукав + ТЭЦ | 1,00 | 0,5 | 0,10 | 1,4 | 0,20 | 0,01 | 0,12 ^в | 0,01 | 35 | - | - | 1,4 | 0,001 | 0,03 | 0,05 | 0,4 | 0,04 | - | - | 0,01 | 0,004 | 0,003 | - |
| 6 | Шлак + рукав | 1,00 | 0,3 | 0,08 | 1,4 | 0,18 | 0,01 | 0,16 ^в | 0,04 | 100 | 8 | 0,2 | 11 | 0,03 | 0,63 | 0,3 ^в | 1,7 | 0,3 | - | 0,04 | 0,06 | 0,02 | 0,01 | - |
| | Рукавный фильтр | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

* Данные γ-активационного анализа

нелетучие в атомарном состоянии и в виде оксидов /Y, Zr, La, Ce, U/ или взаимодействующие с оксидно-силикатной основой золы /Sr, Ba, Rb/, в пределах точности анализа практически не обогащались относительно нелетучей матрицы, хотя обогащение относительно сжигаемого материала происходило в соответствии с зольностью фракции. Некоторое обогащение нелетучего Fe во фракциях из рукавных фильтров объясняется захватом окалина из труб и циклона. То же касается, вероятно, и Ti. Незначительное обогащение медью связано, по-видимому, с ее относительно большой летучестью в атомарном состоянии.

Элементы, обладающие высокой летучестью при температурах ~1200°C в атомарном состоянии: Pb, Zn, As, Sb, Tl, Hg, J, а также в виде оксидов: Ge, Ga, Sn /низшие оксиды типа MeO, устойчивые в восстановительной атмосфере/, Mo /оксид MoO₃/, значительно обогащались относительно нелетучей матрицы в циклонной пыли /крупная фракция пыли/. Еще большая степень обогащения наблюдалась в пыли рукавных фильтров /мелкая фракция/, а также в пыли, прошедшей рукавный фильтр /табл.2/.

В табл.3 приведены коэффициенты концентрирования в зольных уносах рукавных фильтров летучих элементов относительно сжигаемого материала и относительно шлака. Они составляют от десятка до сотни единиц. Если в исходных углях или шлаках те или иные микроэлементы не были обнаружены, то в этих случаях в табл.3 приведены лишь нижние пределы коэффициентов концентрирования этих микроэлементов, рассчитанные в предположении, что их концентрации в углях или шлаках соответствуют чувствительности определения.

Коэффициент концентрирования в пыли определяется степенью выхода компонента в газовую фазу, температурой, при которой происходит пылеулавливание, дисперсностью пыли и тем, какая часть

Таблица 3

Факторы обогащения летучих элементов в зольных уносах рукавных фильтров относительно сжигаемого материала /в скобках - относительно шлака/

| Исходный сжигаемый материал | Ge | Ga | As | Pb | Zn | Mo | Sn | Sb | I | Tl | Hg |
|--|-------------|-------------|---------------|--------------|-------------|----|-----------|-------------|-------|--------------|---------------|
| A | 20 (30) | 7 (6) | 40 (40) | >30 (>60) | 100 (80) | | (>7) | >40 (20) | (>20) | (>10) | |
| B | 20 (25) | 30 (6) | 130 (85) | >40 (>20) | 13 (40) | 12 | | 4 (4) | | | >5 |
| B : B - I : 3 | 75 (30) | 25 (7) | 100 (90) | >40 (>40) | 30 (>60) | 16 | | 20 (10) | | | >12 |
| B : B - I : 1 | 70 (130) | 30 (>40) | 110 (>250) | 50 (>40) | 30 (>70) | 25 | >3 | 15 (10) | | >10 | |
| B : B - I : 1 | 60 (60) | 40 (20) | 140 (150) | 60 (>60) | 30 (>80) | 25 | >4 (3) | 10 (10) | | >10 (>30) | 100 (>100) |
| D : B - I : 4 (промышленное сжигание) | 12 | >30 | 25 | >30 | 7 | 13 | | 15 | 15 | >10 | >7 |

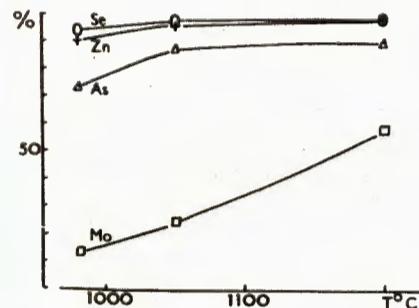


Рис.2. Зависимость степени возгонки элементов от температуры в процессе сжигания угля Г на аглочаше.

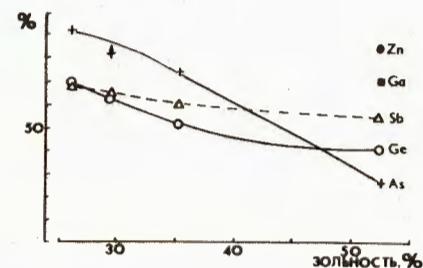


Рис.3. Зависимость степени возгонки элементов от зольности смеси углей Б и В при сжигании на огневом стенде.

зола уносится в фильтры. В промышленных условиях коэффициент концентрирования оказался несколько ниже, чем в пыли из рукавных фильтров огневого стенда /табл.3/. Это объясняется тем, что промышленные образцы представляли собой смесь относительно крупнодисперсной циклонной пыли и пыли из рукавных фильтров.

На рис.2 показана степень возгонки некоторых элементов в зависимости от температуры в слое при сжигании угля на аглочаше, а на рис.3 - степень возгонки микроэлементов в зависимости от зольности смеси углистой породы В и угля Б, сжигаемых на огневом стенде. В случае низкой зольности смеси для некоторых элементов степени улетучивания точно не определены /рис.3/. Для Pb и Ga они составили более 80%, для Zn - более 90%. Снижение выхода летучих элементов в газовую фазу при увеличении зольности смеси от 26% до 52% объясняется уменьшением температуры сжигания /температура, измеренная в объеме топки огневого стенда, падала соответственно от 1200 до 1000°C/, а также усилением конкуренции взаимодействия возгоняемых элементов с нелетучими компонентами шлака.

Химические фильтры дают возможность извлекать элементы из газовой фазы при высокой температуре, когда эти элементы еще не адсорбируются летучей золой. При сжигании углей на огневом стенде мы использовали фильтр из Nb₂O₅ /800°C/. Как следует из табл.2, этот фильтр концентрировал Ge, Ga, As, Pb, Zn, Sb, при этом коэффициенты обогащения относительно нелетучей матрицы золы /Sr/ на поверхности гранул составили соответственно 20, >12, >23, >30, >80, >26, что приближается к степени обогащения этих элементов в пыли низкотемпературных рукавных фильтров /сравни со средним значением для всех образцов, табл.2/.

При сжигании углей на аглочаше мы использовали химический фильтр из CaO /1200°C//13,6/. Коэффициенты концентрирования

Ge, Ga, As, Sb относительно нелетучего Zr /Sr содержался в материале фильтра/ составили соответственно 86, >18 , >6 , 8.

Поглощение элементов химическими фильтрами из Nb_2O_5 и CaO связано с образованием термически устойчивых двойных оксидов, например $GaNbO_4$ ^{15/}, $Ca_3(AsO_4)_2$, $Ca_2Sb_2O_5$ ^{13/} и др.

Условия проведения экспериментов не позволили добиться высокой степени извлечения элементов химическими фильтрами /максимум 20% извлечения Ga фильтром из CaO/, однако в другой постановке опытов степень извлечения, по-видимому, может быть значительно выше^{13/}.

ПОИСК СВЕРХТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

При поиске СТЭ в природных образцах, как правило, исходят из предположения, что они должны претерпевать спонтанное деление с периодом полураспада около 10^9 лет^{4/}.

В зольных уносах рукавных фильтров, полученных при сжигании смесей В и Б в соотношении 1:2 и 1:1, спонтанное деление регистрировалось с помощью пропорциональных счетчиков^{11/}. Навески составляли около 15 г. За 20 суток измерений не было зарегистрировано ни одного импульса /от урана, содержащегося в образце, можно было ожидать 2 импульса/. Предел содержания СТЭ в зольных уносах составил 10^{-12} г/г. Если считать, что коэффициент концентрирования СТЭ здесь ~ 100 /см.табл.3/, предел содержания СТЭ в смесях углей В и Б составит 10^{-14} г/г.

Все пылевые уносы и химические фильтры, полученные при сжигании углей А, В и смесей В и Б /общий вес углей 116 кг/ измерялись с помощью нейтронного детектора. Здесь также не было замечено превышения счета над фоновым. Предел содержания СТЭ - 10^{-14} г/г.

На нейтронном детекторе измерялись также пыли из рукавных фильтров /7 кг/ от промышленного сжигания углей Д и Е. Содержание СТЭ в этой пыли - менее $3 \cdot 10^{-13}$ г/г, а в углях Д и Е - менее 10^{-14} г/г /предполагается, что коэффициент концентрирования равен 30/.

Таким образом, СТЭ ни в одном из образцов не обнаружены, что, по-видимому, объясняется их отсутствием в исходных образцах в достаточных концентрациях. Потери СТЭ в процессе переработки углей представляются маловероятными, так как сконцентрированы практически все летучие элементы, содержащиеся в исходных углях.

Хотя в процессе концентрирования в пылях произошла более чем десятикратная очистка летучих элементов от урана, содержание урана все же остается фактором, ограничивающим чувствительность поиска новых природных спонтанно делящихся излучателей. Для дальнейшего повышения степени концентрирования и чувствительности метода можно проводить сжигание полученных пылей.

Достигнутый уровень чувствительности довольно высок, и метод сжигания углей и их смесей с породой представляется весьма перспективным для дальнейших поисков СТЭ в различных углях и минералах.

ВЫВОДЫ

1. В процессе сжигания углей элементы, летучие в атомарном состоянии или в виде оксидов /Pb, As, Ge, Ga, Zn, Sb, Mo, Hg, Tl, J, Sn/, возгоняются и концентрируются в пылевых уносах, где коэффициенты концентрирования составляют до сотни единиц. Напротив, Sr, Ba, Zr, Ti, Rb, La, Ce, U, Fe остаются преимущественно в шлаке.
2. Для достижения высокого выхода летучих микроэлементов целесообразно смешивать породу высокой зольности, содержащую микроэлементы, с углем низкой зольности.
3. Химические фильтры /из CaO, Nb_2O_5 / дают возможность извлекать летучие элементы из отходящих газов при высокой температуре.
4. Поиск СТЭ с использованием сжигания угля или смеси породы с углем позволяет уже в первой стадии концентрирования достичь чувствительности 10^{-14} г/г.

Авторы выражают глубокую признательность академику Г.Н.Флерову, который явился инициатором этой работы, а также член-корреспонденту АН ЧССР И.Зваре за плодотворные обсуждения. Мы благодарны М.П.Иванову и Е.А.Соколу за проведение измерений спонтанного деления.

ЛИТЕРАТУРА

1. Юровский А.З. Минеральные компоненты твердых горючих ископаемых. "Недра", М., 1968.
2. Клер В.Р. Изучение сопутствующих полезных ископаемых при разработке угольных месторождений. "Недра", М., 1978.
3. Лебедев В.В., Рубан В.А., Шпирт М.Я. Комплексное использование углей. "Недра", М., 1980.
4. Flerov G.N., Ter-Akopian G.M. Pure Appl.Chem., 1981, vol.53, p.909-923.
5. Айхлер Б. ОИЯИ, P12-7767, Дубна, 1974.
6. Жуйков Б.Л. ОИЯИ, P12-82-64, Дубна, 1982.
7. Eichler B. ZfK-396, Rossendorf, 1978.
8. Ратынский В.М. и др. Химия твердого топлива, 1977, № 2, с.102-108.
9. Журавлева Е.Л. ОИЯИ, 14-80-358, Дубна, 1980.
10. Эрнандес Т., Кулькина Л.П. ОИЯИ, 18-80-846, Дубна, 1980.
11. Флеров Г.Н. и др. ЯФ, 1974, т.20, № 9, с.472-482.

12. Ter-Akopian G.M. et al. Nucl.Instr.Meth., 1981, vol.190, No.1, p.119-124.
13. Жуйков Б.Л. ОИЯИ, P12-82-63, Дубна, 1982.
14. Шпирт М.Я. Химия твердого топлива, 1982, № 3, с.35-43.
15. Плоткин С.С., Плющев В.Е. Порошковая металлургия, 1972, № 2, с.69-73.

НЕТ ЛИ ПРОБЕЛОВ В ВАШЕЙ БИБЛИОТЕКЕ?

Вы можете получить по почте перечисленные ниже книги, если они не были заказаны ранее.

| | | |
|---------------|---|-------------|
| | Труды VI Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Дубна, 1978 /2 тома/ | 7 р. 40 к. |
| | Труды VII Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц, Дубна, 1980 /2 тома/ | 8 р. 00 к. |
| D11-80-13 | Труды рабочего совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике, Дубна, 1979 | 3 р. 50 к. |
| D4-80-271 | Труды Международной конференции по проблемам нескольких тел в ядерной физике. Дубна, 1979. | 3 р. 00 к. |
| D4-80-385 | Труды Международной школы по структуре ядра. Алушта, 1980. | 5 р. 00 к. |
| D2-81-543 | Труды VI Международного совещания по проблемам квантовой теории поля. Алушта, 1981 | 2 р. 50 к. |
| D10,11-81-622 | Труды Международного совещания по проблемам математического моделирования в ядерно-физических исследованиях. Дубна, 1980 | 2 р. 50 к. |
| D1,2-81-728 | Труды VI Международного семинара по проблемам физики высоких энергий. Дубна, 1981. | 3 р. 60 к. |
| D17-81-758 | Труды II Международного симпозиума по избранным проблемам статистической механики. Дубна, 1981. | 5 р. 40 к. |
| D1,2-82-27 | Труды Международного симпозиума по поляризационным явлениям в физике высоких энергий. Дубна, 1981. | 3 р. 20 к. |
| P18-82-117 | Труды IV совещания по использованию новых ядерно-физических методов для решения научно-технических и народнохозяйственных задач. Дубна, 1981. | 3 р. 80 к. |
| D2-82-568 | Труды совещания по исследованиям в области релятивистской ядерной физики. Дубна, 1982. | 1 р. 75 к. |
| D9-82-664 | Труды совещания по коллективным методам ускорения. Дубна, 1982. | 3 р. 30 к. |
| D3,4-82-704 | Труды IV Международной школы по нейтронной физике. Дубна, 1982. | 5 р. 00 к. |
| D2,4-83-179 | Труды XV Международной школы молодых ученых по физике высоких энергий. Дубна, 1982. | 4 р. 80 к. |
| | Труды УШ Всесоюзного совещания по ускорителям заряженных частиц. Протвино, 1982 /2 тома/ | 11 р. 40 к. |
| D11-83-511 | Труды совещания по системам и методам аналитических вычислений на ЭВМ и их применению в теоретической физике. Дубна, 1982. | 2 р. 50 к. |
| D7-83-644 | Труды Международной школы-семинара по физике тяжелых ионов. Алушта, 1983. | 6 р. 55 к. |
| D2,13-83-689 | Труды рабочего совещания по проблемам излучения и детектирования гравитационных волн. Дубна, 1983. | 2 р. 00 к. |

Рукопись поступила в издательский отдел
13 января 1984 года

Заказы на упомянутые книги могут быть направлены по адресу:
101000 Москва, Главпочтамт, п/я 79
Издательский отдел Объединенного института ядерных исследований

**ТЕМАТИЧЕСКИЕ КАТЕГОРИИ ПУБЛИКАЦИЙ
ОБЪЕДИНЕННОГО ИНСТИТУТА ЯДЕРНЫХ
ИССЛЕДОВАНИЙ**

| Индекс | Тематика |
|--------|--|
| 1. | Экспериментальная физика высоких энергий |
| 2. | Теоретическая физика высоких энергий |
| 3. | Экспериментальная нейтронная физика |
| 4. | Теоретическая физика низких энергий |
| 5. | Математика |
| 6. | Ядерная спектроскопия и радиохимия |
| 7. | Физика тяжелых ионов |
| 8. | Криогеника |
| 9. | Ускорители |
| 10. | Автоматизация обработки экспериментальных данных |
| 11. | Вычислительная математика и техника |
| 12. | Химия |
| 13. | Техника физического эксперимента |
| 14. | Исследования твердых тел и жидкостей ядерными методами |
| 15. | Экспериментальная физика ядерных реакций при низких энергиях |
| 16. | Дозиметрия и физика защиты |
| 17. | Теория конденсированного состояния |
| 18. | Использование результатов и методов фундаментальных физических исследований в смежных областях науки и техники |
| 19. | Биофизика |

Шпирт М.Я. и др.
Концентрирование элементов в продуктах сжигания углей
и поиск сверхтяжелых элементов

P12-84-19

Изучено распределение редких и рассеянных элементов в процессе сжигания углей и их смесей с углистой породой в условиях, моделирующих промышленные. Возгоняются и концентрируются в пылевых уносах или в высокотемпературных "химических фильтрах" /из CaO, Nb₂O₅/ элементы Pb, As, Ge, Ga, Zn, Sb, Mo, Hg, Tl, J, Sn. Элементы Sr, Ba, Zr, Ti, Rb, La, Ce, Fe, U остаются преимущественно в шлаке. В концентратах летучих элементов, полученных при сжигании ряда углей и углестых пород, не было обнаружено спонтанного деления, превышающего фон; предел содержания сверхтяжелых элементов в этих породах < 10⁻¹⁴ г/г.

Работа выполнена в Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ.

Препринт Объединенного института ядерных исследований. Дубна 1984

Перевод О.С.Виноградовой

Shpirt M.Ya. et al.
Element Concentration in Products of Coal Burning
and the Search for Superheavy Elements

P12-84-19

A distribution of rare and scattered elements in the process of coal burning was studied under model industrial conditions. Ge, Ga, Pb, As, Zn, Sb, Mo, Hg, Tl, I, Sn elements were found to sublime and concentrate in volatilizing dust or/and "chemical filters" /made of CaO, Nb₂O₅/. Sr, Ba, Zr, Ti, Rb, La, Ce, Fe, U elements stay mainly in clinker. No spontaneous fission activity has been found in concentrates of volatile elements from several coals and coal rocks burning. It gives a superheavy element content limit for these rocks less than 10⁻¹⁴ g/g.

The investigation has been performed at the Laboratory of Nuclear Reactions, JINR.

Preprint of the Joint Institute for Nuclear Research. Dubna 1984