

ЕКОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГЕТИКИ ТА ЗАХИСТ ДОВКІЛЛЯ

УДК 620.91/92 534.014.3

А.Е. Степанов, д-р техн.наук, проф., Н.Т. Рублевский, канд.техн.наук (Институт общей энергетики НАН Украины, Киев)

СОДЕРЖАНИЕ РАДИОАКТИВНЫХ ПРИМЕСЕЙ В ИСКОПАЕМЫХ УГЛЯХ УКРАИНЫ

Зроблено спробу оцінити вміст радіоактивних ізотопів у вугіллі, що видобуто в Україні в 1990 році. Показано, що, при обсягах видобутку сотень мільйонів тонн, кількість радіоактивних речовин, які видобуваються разом з вугіллям, досягає сотень і більше тонн, що потребує глибокого вивчення процесів їх розсіювання, накопичення в навколишньому середовищі та впливу на біосферу України.

Сделана попытка оценить содержание радиоактивных изотопов в массе угля, добытого в Украине в 1990 году. Показано, что при объеме добычи порядка сотен миллионов тонн количество радиоактивных веществ, добытых вместе с углем, достигает сотен и более тонн, что требует серьезного изучения процессов их рассеивания, накопления в окружающей среде и влияния на биосферу Украины.

1. Экологическое состояние окружающей среды в большой степени определяется техногенными выбросами, в составе которых большую долю составляют отходы и выбросы от сжигания ископаемых углей. В состав этих выбросов входят, в частности, и радиоактивные вещества, которые рассеиваются в атмосфере, осаждаются на почве и поверхности водоемов, а также накапливаются в отвалах. Этот аспект загрязнения окружающей среды при сжигании углей, практически, не освещен в литературе. В данной статье сделана попытка оценить количества радиоактивных веществ, накапливающихся на территории Украины в результате сжигания украинских ископаемых углей.

2. Общеизвестно, что в состав ископаемых углей входят, в качестве т.н. балласта, примеси многих элементов из таблицы Менделеева. В первую очередь - это общеизвестные составляющие золы. Так как зольность сжигаемых углей может достигать 40% и более, объемы золы оказываются весьма внушительными - они достигают миллионов тонн. При этом оказывается значительным и количество примесей, входящих в состав угля в очень малых пропорциях, в том числе - радиоактивных.

Обычно эти примеси не учитываются [1], т.к. состав золы ограничивается окислами металлов, содержащимися в количествах от десятых долей до десятков процентов от веса золы. Это - окислы кремния, алюминия, железа, кальция, магния, калия, титана (табл. 1). В настоящей статье за основу принято количество угля, добытого в Украине за 1990 год (164,8 млн. тонн) со средней зольностью 25% (что составляет 41,2 млн. тонн золы). Для дальнейших расчетов вычислены средние содержания составляющих золы (последний столбец табл. 1).

3. По данным табл. 1 исходя из атомных весов элементов и формулы окисла определим процентное содержание металлов в окислах, входящих в состав золы. Например:

формула $\text{SiO}_2 = \text{Si} + \text{O}_2$;
молекулярный вес $60 = 28 + 32$;
содержание, % $100 = 46,7 + 53,3$,

откуда содержание кремния в окисле 46,7%. Среднее содержание данного металла в золе определим по среднему проценту содержания данного окисла в золе по всем бассейнам, а среднее содержание данного металла в золе определим исходя из средней зольности

Таблица 1. Состав золы украинских углей в процентах к массе золы (без серы)

Наименование окисла	Химическая формула	Донецкие угли	Львовско-Волынские угли	Днепровского бассейна угли	Среднее значение по всем бассейнам
Кремния	SiO_2	28-55,2	34-56,5	40,2-63,0	45
Алюминия	Al_2O_3	20-28,2	17,2-26,2	5,1-34,1	21
Железа	Fe_2O_3	10-23,5	11,1-28,9	3,2-11,6	15
Кальция	CaO	2-15	1,6-14,9	8-25	11
Магния	MgO	0,9-3	0,5-2,7	1-6,1	2
Калия	K_2O	1,5-5	1-3	0,2-1,0	2
Натрия	Na_2O	0,7-10	0,5-2,9	0,2-2,0	3
Титана	TiO_2	0,4-1,2	0,8-1,2	0,7-1,4	1

Таблица 2. Содержание примесей.

№ п/п	Наименование примеси	Обозначение	Формула окисла	Содержание примеси				Радиоактивные изотопы			
				в окисле %	в золе %	в угле %	в добытом угле, т	Содержание		Наименование	Период полураспада, лет
								в примеси %	в добытом угле, т		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	Кремний	Si	SiO ₂	46,7	21,0	5,25	8,65·10 ⁶	3,0·10 ⁻⁴	26,0	Si-32	650
2	Алюминий	Al	Al ₂ O ₃	52,9	11,1	2,78	4,58·10 ⁶	1,5·10 ⁻⁴	6,9	Al-26	7,38·10 ⁵
3	Железо	Fe	Fe ₂ O ₃	69,9	10,5	2,63	4,33·10 ⁶				
4	Кальций	Ca	CaO	71,4	7,9	1,98	3,26·10 ⁶	7,0·10 ⁻⁴	22,8	Ca-41	8,0·10 ⁴
5	Магний	Mg	MgO	60,3	1,2	0,30	0,49·10 ⁶				
6	Калий	K	K ₂ O	83,0	1,7	0,43	0,71·10 ⁶	0,0118	83,8	Mg-40	1,28·10 ⁹
7	Натрий	Na	Na ₂ O	74,2	2,2	0,55	0,91·10 ⁶				
8	Титан	Ti	TiO ₂	59,9	0,6	0,15	0,25·10 ⁶				
9	Германий	Ge	GeO ₂			0,00015	0,25·10 ³				
10	Бериллий	Be	BeO			0,00025	0,41·10 ³				
11	Вольфрам	W	WO ₂			0,00015	0,25·10 ³	30,7	76,8	W-184	2,5·10 ¹⁷
12	Свинец	Pb	PbO ₂			0,0015	2,50·10 ³	1·10 ⁻³	0,025	Pb-205	4,5·10 ¹⁰
13	Цинк	Zn	ZnO			0,0035	5,8·10 ³	49	2842,0	Zn-64	8·10 ¹⁵
14	Молибден	Mo	MoO ₂			0,0002	0,33·10 ³	0,02	0,066	Mo-63	3·10 ³
15	Рений	Re	Re ₂ O ₇			0,00002	0,033·10 ³	63	208,0	Re-187	6,2·10 ¹⁰
16	Медь	Cu	CuO			0,001	1,6·10 ³				
17	Кадмий	Cd	CdO			0,00005	0,082·10 ³	13,5	11,0	Cd-106 Cd-113	6·10 ¹⁶
18	Ванадий	V	V ₂ O ₃			0,002	3,3·10 ³	0,23		V-50	4·10 ¹⁴
19	Хром	Cr	CrO ₃			0,0018	3,0·10 ³	2,4	7,6	Cr-54	6·10 ¹⁵
20	Кобальт	Co	CoO			0,0005	0,82·10 ³				
21	Марганец	Mn	MnO ₂			0,015	24,7·10 ³	6,7·10 ⁻³	1,7	Mn-53	2·10 ⁶
22	Никель	Ni	NiO			0,005	8,2·10 ³				
23	Скандий	Sc	Sc ₂ O ₃			0,00018	0,3·10 ³				
24	Иттрий	Y	Y ₂ O ₃			0,001	1,6·10 ³				
25	Лантан	La	La ₂ O ₃			0,00015	0,25·10 ³	2·10 ⁻³	0,005	La-137	6·10 ⁴
26	Иттербий	Yt				0,0001	0,16·10 ³				
27	Церий	Ce	CeO ₂			0,015	24,7·10 ³	0,2	49,4	Ce-136	3·10 ¹¹
28	Ртуть	Hg	HgO			0,00005	0,082·10 ³	0,15	1,2	Hg-196	10 ¹⁴
29	Мышьяк	As	As ₂ O ₃			0,0025	4,1·10 ³				
30	Сурьма	Sb	Sb ₂ O ₃			0,0002	0,33·10 ³	42,7	140,9	Sb-123	1,3·10 ¹⁶
31	Висмут	Bi	Bi ₂ O ₃			0,00002	0,03·10 ³	2·10 ⁻³	0,0006	Bi-208	3,7·10 ⁵
32	Цирконий	Zr	ZrO ₂			0,005	8,2·10 ³	2·10 ⁻³	0,164	Zr-93	1,5·10 ⁶
33	Ниобий	Nb	Nb ₂ O ₅			0,00012	0,20·10 ³	2·10 ⁻⁴	0,0004	Nb-94	1,8·10 ⁴
34	Тантал	Ta	Ta ₂ O ₅			0,00002	0,03·10 ³	0,01		Ta-180	1,5·10 ¹³
35	Гафний	Hf	HfO ₂			0,00005	0,08·10 ³	0,18		Hf-174	4,3·10 ¹⁵
36	Бор	B	B ₂ O ₃			0,008	13,2·10 ³				
37	Таллий	Tl	Tl ₂ O			0,00005	0,08·10 ³				
38	Индий	In	In ₂ O ₃			0,000002	0,003·10 ³	100	3,0	In-113 In-115	(1±5)·10 ¹⁴
39	Галлий	Ga	G ₂ O			0,001	1,6·10 ³				
40	Литий	Li	Li ₂ O			0,0006	0,99·10 ³				
41	Рубидий	Rb	Rb ₂ O			0,0017	2,80·10 ³	27	756	Rb-87	4,8·10 ¹⁰

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
42	Цезий	Cs	Cs ₂ O			0,00015	0,25·10 ³	2·10 ⁻³	0,005	Cs-135	2·10 ⁶
43	Стронций	Sr	SrO			0,008	13,2·10 ³				
44	Барий	Ba	BaO			0,015	24,7·10 ³				
45	Хлор	Cl				0,015	24,7·10 ³	0,07	17,3	Cl-36	3·10 ⁵
46	Фтор	F				0,01	16,5·10 ³				
47	Бром	Br				0,005	0,82·10 ³				
48	Йод	I	I ₂ O ₅			0,0005	0,82·10 ³	3·10 ⁻⁴	0,0025	I-129	1,7·10 ⁷
49	Золото	Au				0,00001	0,016·10 ³				
50	Серебро	Ag	Ag ₂ O			0,00001	0,016·10 ²				
51	Уран	U	UO ₂			0,0002	0,33·10 ³	100	330	U-235 U-238	7·10 ⁸ 4,5·10 ⁹
52	Селен	Se	SeO ₂			0,0005	0,82·10 ³	0,01	0,082	Se-79	7·10 ⁶
53	Олово	Sn	SnO			0,0001	0,16·10 ³	6,11	9,78	Sn-74	1,5·10 ¹⁷
Сумма по строкам 1-8:									23,18410 ⁶	139,5	
Сумма по строкам 9-53:									192,30410 ⁹	4454,0	
Сумма по строкам 1-53:									23,37410 ⁶	4593,5	

угля, которую примем равной 25%. Для кремния получим: содержание кремния в золе $0,476 \times 0,45 = 0,210 = 21\%$, и содержание кремния в угле $0,21 \times 0,25 = 0,0525 = 5,255\%$.

Определенные таким образом значения помещены в табл. 2 в строках 1 ÷ 8. Начиная с девятой строки табл. 2 помещены сведения о среднем процентном содержании примесей в углях Украины, которые обычно не учитываются в составе золы. Данные об этих примесях и их содержание в угле взяты из [3].

Как видно из табл. 2, все примеси, начиная с девятой строки таблицы, содержатся в очень малом количестве. Для оценки их массы принята за основу добыча угля на Украине в 1990 году [2], которая равнялась 164,8 млн. т, и по процентному содержанию примеси (металлы) в угле определена масса каждого из элементов. Результаты приведены в табл. 2 в столбце 8. Как видно, содержание отдельных примесей колеблется от 24,7 тыс. т (для марганца, бария, хлора) до 1,6 т (для серебра). Общая масса этих примесей равна 192,3 тыс. т.

4. Особый интерес представляет содержание радиоактивных примесей в составе украинских углей, что в справочниках не приводится. Ответ на этот вопрос можно получить исходя из изотопного состава элементов, входящих в состав углей в качестве примесей. Так как изотопный состав элементов, встречающихся на Земле, практически постоянен, то процентное содержание радиоактивных изотопов в составе элементов, входящих в примеси, дает ответ на этот вопрос. Данные о содержании и свойствах радиоактивных изотопов

взяты из [4], [5] и [6]. Не учтены короткоживущие изотопы с периодом полураспада менее 600 лет. Результаты - процентное содержание радиоактивных изотопов в веществе примеси, содержание радиоактивных изотопов в добытом угле, названия изотопов и период полураспада в годах приведены в столбцах 9 ÷ 12 табл. 2. Следует отметить, что два вещества - уран и индий - являются полностью радиоактивными (строки 38 и 51 табл. 2). Общее количество радиоактивных веществ в добытом в 1990 году угле достигает (как видно из табл. 2) 4593,5 т.

5. Анализ полученных (на примере 1990 года) данных позволяет сделать следующие выводы:

- помимо общепринятых элементов, входящих в состав золы в количестве 23,18 млн. т, в составе золы содержится еще 192,3 тыс. т различных элементов, что составляет 0,117% от общего количества сожженного угля;
- в состав примесей входит 4593,5 т радиоактивных изотопов (в том числе 330 радиоактивного урана и 3 т радиоактивного индия), которые выбрасываются в окружающую среду в виде окислов, что составляет около двух процентов от общей массы элементов-примесей;
- многие из элементов и все радиоактивные изотопы, входящие в состав примесей, токсичны [7] и могут оказывать болезнетворное влияние на людей и животных и накапливаются в окружающей среде Украины, что дает основание рекомендовать более глубокое и всестороннее изучение поднятых в статье вопросов, и если данная статья привлечет внимание специалистов, то цель настоящей работы можно будет считать достигнутой.

1. Энергетическое топливо СССР / Справочник. - М.: Энергоиздат, 1991. - 184 с.

2. Народне господарство УРСР у 1990 році / Статистичний довідник. - К.: Техніка, 1991. - 496 с.

3. Металлогения и геохимия угленосных и сланцесодержащих толщ СССР / Геохимия элементов / Под ред. Н. А. Созинова. - М.: Наука, 1987. - 240 с.

4. Селинов И. П. Изотопы. Т. 1-3. - М.: Наука, - 1970.

5. Химия и технология редких и рассеянных элементов. Т. 1-3. - М.: Высшая школа, 1978.

6. Куликов И. С. Изотопы и свойства элементов / Справочник. - М.: Атомиздат, 1990. - 120 с.

7. Дмитриев М.Т., Козина Н.И., Пинигина И.А. Санитарно-химический анализ загрязняющих веществ в окружающей среде: Справочник. - М.: Химия, 1989. - 368 с.