

УДК 550.42

## ПОЛЕЗНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ-ПРИМЕСИ В УГЛЯХ ДОНБАССА РАЗНЫХ МАРОК

Шубин Ю.П.

(Донбасский государственный технический университет,  
г. Алчевск, Украина)

*Випробувані вугільні пласти 52 шахт Луганської області, які охоплюють діапазон марок вугілля від довгополуменевого до антрацитів. Виділені групи елементів-домішок за поведінкою у вугіллі різного ступеня метаморфізму. По мірі збільшення ступеня метаморфізму вугілля відбувається збільшення вмісту срібла, міді, марганцю – зменшення германію, берилію і вісмуту, майже не змінювався вміст ніобію і цинку, вміст інших елементів збільшувався в тенденції. Промислові концентрації у вугіллі відмічені для берилію, германію, вісмуту, літію, ітрію, ітербію, галію та титану.*

*The coal seams of 52 mines of Lugansk area covering a range of the rank of coal from jet coal up to anthracite have been tested. The groups of admixture elements on behaviour in coals of different degrees metamorphism are allocated. In process of increase of a degree of coal metamorphism there is an increase in the content of silver, content copper and manganese and there is a reduction in germanium, beryllium and bismuth, the content of niobium and zinc have not changed the content of other elements have increased. The industrial concentrations in coals are noted for beryllium, germanium, bismuth, lithium, yttrium, ytterbium, gallium and titanium.*

**Введение.** Использование углей, как источников комплексного минерального сырья пока ещё не достигло должного уровня, так как реально извлекаются из углей и их зол лишь некоторые элементы-примеси, хотя и разработаны минимальные промышленные содержания большинства из них в углях и их золах [1, 2].

**Методика досліджень.** Были опробованы угли Лисичанского, Алмазно-Марьевского, Селезнёвского, Краснодонского, Боково-Хрустальского и Должанно-Ровенецкого угленосного районов, пробы угля изучались методом полуколичественного спектрального анализа, выполненного в лаборатории ГРГП «Восток». Всего было отобрано проб угля: антрациты – 16 шахт (163 пробы), тощие угли – 4 шахты (46 проб), отощённые спекающиеся, коксующиеся и жирные угли – 14 шахт (93 пробы), газовые угли – 8 шахт (45 проб), длиннопламенные угли – 10 шахт (60 проб). Пробы угля отбирались у кровли, у почвы и в центре угольных пластов. Средние содержания элементов рассчитывались методом среднего арифметического, расчёт средних медианных значений показали близкие значения. Содержания сурьмы, фосфора, фтора, стронция, бария, лития и мышьяка часто были за порогом чувствительности анализа.

Анализ содержаний элементов в углях разных марок позволил выделить группы элементов, концентрирующиеся в углях определённых марок (табл. 1, 2).

В антрацитах концентрируется иттрий, кобальт, лантан, марганец, литий, хром, олово, серебро, свинец, никель, ванадий, медь, фосфор, скандий, фтор, стронций, цирконий, титан, сурьма, иттербий и молибден. Для тощих углей характерна концентрация сурьмы и бария. В жирных, коксующихся и отощённых спекающихся углях концентрируется стронций и мышьяк, в газовых углях – молибден, мышьяк, висмут, скандий, цинк и галлий, в длиннопламенных – бериллий, германий, висмут, иттербий и фтор.

По характеру содержаний элементов-примесей в углях разных марок можно выделить такие группы элементов: германий-бериллий, иттрий-кобальт-лантан-никель-ванадий-скандий, марганец-литий-хром, серебро-медь, ниобий-олово, цинк-висмут, фтор-стронций-цирконий-титан, иттербий-свинец, особняком стоят галлий, сурьма, мышьяк, барий и фосфор. При этом сурьма и мышьяк показывают прямо противоположные тенденции к накоплению и рассеиванию в разных марках угля.

Таблица 1

Средние содержания элементов-примесей  
 в углях разных марок, г/т

Марка угля	V	Ti	Ba	Mn	P	As	Sr	F	Li	Zr	Cr	Zn	Cu	Pb	
Антрациты	51	1637,6	753	660,4	242,4	132	162,5	152	114	94	61	19,4	43,7	40	
Тощие	32,4	864,6	976	321	89	95,3	89	33,2	32,2	61	19,4	39,1	35,2	14,1	
Жирные, коксующиеся, отощенные спекающиеся	36,6	939,8	291	321	135	170	127	82	30	69,3	20,7	42,6	30,6	9	
Газовые	39,5	828	528,5	349,4	136,6	199,8	70,2	28,7	49,7	57,2	28,5	60,9	27	11,8	
Длиннопламенные	37,4	1218	196	287	50	75	96	111	23,9	73,8	21,7	51,3	27,3	17,3	
Марка угля	Ni	Co	Ga	La	Be	Mo	Sn	Nb	Yb	Sc	Ge	Bi	Sb	Ag	Y
Антрациты	29,5	15,7	11,5	12,8	4,5	5,1	4,1	3,5	6,4	7,9	2,2	2	2,3	0,08	33,9
Тощие	16,5	7	6,7	8,3	6,2	2,8	2,9	4	0,5	3,9	3,4	2,3	2,5	0,02	17,9
Жирные, коксующиеся, отощенные спекающиеся	18,7	7,7	7,1	9,7	8,1	2,9	2,9	3,8	0,38	4,7	3,9	2,1	0,1	0,01	19
Газовые	17,8	7,6	44,3	9,3	7,8	4,1	3,4	3,3	0,4	5,7	5,9	2,8	0	0,01	18,1
Длиннопламенные	19,2	6,5	8,3	9,3	19,1	3,5	3,3	3,6	2,5	5,6	11	2,5	0,8	0,01	21,4

Примечание: содержание ртути не определялось.

Таблица 2

Элементы-примеси, достигающие минимальных  
 промышленных содержаний в углях разных марок

Марка угля	Элементы-примеси, превышающие минимальные промышленные содержания	
	в углях	в золе
Антрациты	Bi, Ti, Li, Y, Yb	Mn, Bi, Li, Y, Mo, Yb
Тощие	Be, Y	Li
Жирные, коксующиеся, отощенные спекающиеся	Be, Y	Y, Co, Mn, Li, Zr, Yb, Mo, Sc
Газовые	Be, Bi, Y, Li, Ga	Mn, Li, Yb, Be, Mo, Sc, (Ge)
Длиннопламенные	Ge, Be, Bi, Y, Yb	Ge, Be, Sc, Mo, Yb, Mn, Co, Ga

Нами отмечено, что содержание германия закономерно уменьшается от 11 г/т в длиннопламенных углях до 2,2 г/т в антрацитах (табл. 1, 3). Исследованиями углей доказана роль метаморфизма в процессе выноса германия из них [4].

Таблица 3  
 Распределение элементов-примесей по углям разных марок

Полезный элемент	Уголь		Число шахтных полей с промышленным содержанием	Марки углей с промышленным содержанием
	Минимальное промышленное содержание, г/т	Диапазон среднеарифметических содержаний, г/т		
Висмут	1,0	2,0-2,8	52	<u>А, Г, Д</u>
Литий	35,0	49,7-114	24	<u>А, Г</u>
Бериллий	5,0	6,2-19,1	36	Т, Ж, К, ОС, Г, Д
Иттрий	15,0	17,9-33,9	52	<u>А</u> , Т, Ж, К, ОС, Г, Д
Иттербий	1,5	2,5-6,4	26	А, Д
Галлий	20,0	44,3	8	<u>Г</u>
Германий	30 (эн) 3,5 (кокс)	5,9-11	18	Г, <u>Д</u>
Титан	1500	1637,6	16	А

Полужирным подчёркнутым курсивом отмечены марки углей, промышленные содержания элементов-примесей в которых превышают минимальные промышленные более, чем в 2 раза, полужирным шрифтом – содержания в которых превышают минимальные промышленные более, чем в 3 раза.

Среднее содержание германия в углях Донбасса [5] составляет 4 г/т, а в золе углей – 18 г/т. В коксующихся углях Донбасса кондиционное среднее содержание германия составляет 4 г/т, а в энергетических – 8,6 г/т. Минимальное промышленное содержание бериллия в энергетических углях составляет 5 г/т [2]. По нашим данным средние содержания бериллия в длиннопламенных углях – 19,1 г/т, в антрацитах – 4,5 г/т. Среднее содержание висмута превышает минимальное промышленное содержание (1г/т) в антрацитах в 2 раза, в длиннопламенных и газовых - в 2,5 и 2,8 раза, соответственно. Минимальные промышленные содержания титана (1,5 кг/т) достигаются лишь в антрацитах (1,6 кг/т). Содержания лития

достигают промышленных (35 г/т) в антрацитах (114 г/т) и длиннопламенных (49,7 г/т). Содержание иттрия превышает минимальное промышленное (15г/т) во всех углях, в особенности – в антрацитах (33,9 г/т), содержание иттербия превышает минимальное промышленное содержание (1,5 г/т) в антрацитах (6,4 г/т) и длиннопламенных (2,5 г/т) углях. Галлий превышает минимальные промышленные содержания (20 г/т) в газовых углях (44,6 г/т). Таким образом, изученные нами каменные угли представляют интерес на предмет извлечения бериллия, германия, титана, лития, висмута, галлия, иттрия, и иттербия.

Содержание фосфора нелинейно возрастает с увеличением степени метаморфизма, в длиннопламенных углях 50 г/т, а в антрацитах – 242,4 г/т, это совпадает с отмеченной ранее тенденцией [1]. Содержание меди по мере метаморфизма углей имеет тенденцию к возрастанию, не достигая промышленных содержаний в антрацитах.

В золах углей, полученных в результате сжигания углей в лабораторных условиях перечень элементов, достигающих минимальных промышленных концентраций несколько изменился, такие элементы, как кобальт, молибден, скандий и цирконий при озолении углей стали превышать минимальные промышленные содержания (табл. 4).

Полужирным подчеркнутым курсивом отмечены марки углей, промышленные содержания элементов-примесей в которых, превышают минимальные промышленные более, чем в 2 раза, полужирным шрифтом – содержания в которых превышают минимальные промышленные более, чем в 3 раза.

Таким образом, установлен перечень промышленно-значимых содержаний элементов-примесей в углях разных марок и их золах, что, безусловно, важно для регулирования «качества» угля (по содержанию определённых элементов-примесей) и золы в технологических процессах в связи с последующим извлечением соответствующих ценных элементов.

Отмеченные общие тенденции поведения выделенных групп элементов по мере увеличения степени метаморфизма углей могут, с одной стороны, отражать общие тенденции трансформации их форм нахождения и поведения в углях на

этапах торфонакопления, диагенеза, катагенеза, метабенеза и последующего метаморфизма, а с другой – наметить для каждой марки угля комплексы элементов-примесей, содержания которых достигают промышленных, что в дальнейшем может быть использовано для оценки угольных месторождений как источников комплексного минерального сырья.

Таблица 4

Распределение элементов-примесей по золам углей разных марок

Полезный элемент	Зола		Число шахтных полей	Марки углей с промышленным содержанием
	Минимальное промышленное содержание, г/т	Диапазон средне-арифметических содержаний, г/т		
Висмут	5,0	13,1	16	<u>А</u>
Литий	175,0	210-580,8	42	А, Т, Г, Ж, К, ОС, Г
Бериллий	20,0	27,9-34	18	Г, Д
Иттрий	75,0	113,6-209	48	А, Ж, К, ОС, Г, Д
Иттербий	7,5	10,8-16,2	48	А, Д, Ж, К, ОС, Г
Галлий	100,0	105,9	10	Д
Германий	150,0	393,1	10	<u>Д</u>
Кобальт	100	103,1-128,6	24	Ж, К, ОС, Д
Молибден	30	40,5-54	48	А, Ж, К, ОС, Г, Д
Скандий	50	59,2-68,2	32	Ж, К, ОС, Г, Д
Цирконий	600	603,2	14	Ж, К, ОС

Промышленные содержания элементов-примесей в углях разных марок и их золах существенно различаются, набор элементов в золах существенно больше, тогда как некоторые элементы достигают промышленных содержаний как в углях, так и в их золах.

## СПИСОК ССЫЛОК

1. Юдович Я. Э., Кетрис М.П. Токсичные элементы-примеси в ископаемых углях. - Екатеринбург: УрО РАН, 2005. – 654 с.
2. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России. Справочник / Ю.Н. Жаров, Е.С. Мейтов, И.Г. Шарова и др. - М.: Недра, 1996. - 239 с.

3. Юдович Я.Э. Геохимия ископаемых углей. - Л.: Наука, 1978. - 262 с.
4. Шпирт М.Я., Сендульская Т.И. Распределение германия и типы его соединений в твёрдом топливе // Хим. твёрд. Топлива. - 1969. - № 2 – С. 3-11.
5. Юдович Я. Э., Кетрис М.П. Германий в углях. – Сыктывкар, 2004. – 216 с.