

## ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 553.94:519.6:622.33

В.П.Потапов, В.И. Удовицкий, Б.Ф.Нифантов, И.В.Кандинская

### СОЗДАНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ БАЗЫ ДАННЫХ ЦЕННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ТОВАРНЫХ УГЛЯХ ПРЕДПРИЯТИЙ КУЗНЕЦКОГО БАССЕЙНА

Кузнецкий угольный бассейн занимает площадь около 27 тыс. км<sup>2</sup>. В плане бассейн имеет неправильную четырехугольную форму, вытянутую в северо-западном направлении почти на 330 км при наибольшей ширине 110 км [1].

Залегающие в обрамлении Кузнецкого бассейна горные породы относятся к протерозою, кембрию, ордовика, силуру и девону. Непосредственно Кузнецкая котловина сложена породами среднего и верхнего девона, карбона, перми, триаса, юры, а также покровными образованиями верхнемезозойского и кайнозойского возраста. Породы девона и нижнего карбона неугленосны, за исключением вернедевонских отложений Барзасского района, где вскрыты пласты липтобиолитовых углей. Угленосные отложения по биостратиграфическим и литологическим данным подразделены на серии, подсерии и свиты [1-3].

Промышленная угленосность в бассейне связана, в основном, с верхнепалеозойскими (С<sub>3</sub>-Р) отложениями Алтае-Саянской складчатой области. Угли балахонской и кольчугинской серий разнообразны по вещественно-петрографическому составу, степени метаморфизма, что определило многообразие технологических свойств полезного ископаемого.

Оценка металлоности товарных углей предприятий бассейна выполнена Сибирской геолого-геофизической лабораторией ВНИГРИУголь для 16

геолого-промышленных районов бассейна: Анжерского, Кемеровского, Ленинского, Беловского, Бачатского, Прокопьевско-Киселевского, Араличевского, Байдаевского, Осиновского, Бунгуро-Чумышского, Кондомского, Томь-Усинского, Ускатского, Терсинского, Мрасского, Ерунаковского.

Опробование товарных углей на малые химические элементы (МХЭ) осуществлялось сотрудниками лаборатории путем составления групповых проб по маркам углей. Исключение сделано для коксующихся углей некоторых предприятий с разнообразным марочным составом выдаваемой продукции. Дифференциация составляемых групповых проб по направлениям использования (коксование или энергетика) сохранялась для всех без исключения товарных углей. С целью сокращения объема аналитических работ оценка содержания МХЭ выполнена на шахтомарку или в целом на шахто-выдачу. Составление групповых проб при этом производилось с учетом долевого участия соответствующих марок. Основное внимание уделялось рядовым углям.

Данные вошли в справочник [4], являющимся первым отечественным изданием, в котором подведены итоги тридцатилетних исследований состава и концентраций цветных, черных, редких, благородных, радиоактивных, рудных и нерудных элементов. На их долю приходится около 1 % минеральной

части угля, и которые условно выделяются как малые элементы. Справочник составлен в основном по материалам ревизионного опробования товарной продукции предприятий угольной промышленности в 1988-1991 г.г. Для обоснования и контроля полученных результатов привлекались данные опробования 1960-1970 г.г. Банк данных включает анализы 13.5 тыс. проб товарных углей на 25-50 химических элементов, выявленных современными методами аналитических исследований.

Товарная продукция угледобывающих предприятий бассейна потенциально рудоносна (титан, иттрий, иттербий, цирконий, ниобий, рубидий, стронций, литий, бериллий, кобальт, золото, серебро, таллий, висмут) и обладает признаками токсичности (фтор, таллий, хром).

Опробованию товарных углей на малые элементы подвергались действующие разрезы, шахты и обогатительные фабрики.

В оцениваемые объекты не включены предприятия с запасами угля, отработка которых завершается в ближайшие 10-15 лет, и в ряде случаев шахты и разрезы с малой производственной мощностью.

Определено, что примеси представляют собой ряд химических элементов от 3 до 92 элементов таблицы Менделеева и могут быть условно разделены на ценные и токсичные. Токсичные элементы, накапливаясь в продуктах переработки

углей, могут наносить существенный вред окружающей среде. Ценные, представленные редкими и редкоземельными элементами (скандий, иттрий, галлий, цирконий и др.), необходимо учитывать в случае экспортных поставок продуктов переработки углей из-за высоких мировых цен на них.

Совместными научными исследованиями, выполненными сотрудниками КузГТУ и Сибирской геолого-геофизической лаборатории ВНИГРИУголь [5, 6] установлено распределение МХЭ по продуктам физико-механической, физико-химической, химической и термической переработок каменных углей, а также их содержание в отвалах горных предприятий.

Анализам подвергались отобранные на Кемеровской ГРЭС пробы: 1060 (бункер сырого угля); 1061 (пыль циклона); 1062 (шлак, котел № 12); 1063 (зола электрофильтров первого ряда); 1064 (зола электрофильтров второго ряда).

Содержание МХЭ определялось полуколичественным и количественным методами спектрального анализа в ПГО "Запсибгеология". Результаты анализов показаны в табл. 1.

Представленные в табл. 1 результаты экспериментов позволили установить:

- существенного изменения концентраций Be, Sn, Si, Eu в угле и продуктах его сгорания не происходит;

- содержание других элементов в золе и шлаках электрофильтров первого и второго рядов увеличивается от 2 до 8 раз по сравнению с сжигаемым углем;

- следов P, As, Rb, Ta, U в рядовом угле не обнаружено, а в продуктах сгорания концентрация этих элементов возросло соответственно до 1000, 100, 115, 7, 8.5 г/т.

Проведены экспериментальные исследования в магнитных полях различной напряженности по разделению

пробы 1062 Кемеровской ГРЭС на индукционно-роликовом сепараторе 138Т-СЭ при токах намагничивания системы 0.5; 1.0; 2.0; 4.0; 8.0 и 10.0 А.

Последовательность получения продуктов разделения следующая. Первоначальная проба проходила через сепаратор и разделялась на магнитную и немагнитную фракции. Маг-

нитная фракция перечищалась при том же токе. Немагнитная фракция пропусклась через тот же сепаратор при большем токе намагничивания. Содержание элементов в магнитной и немагнитной фракциях в зависимости от тока намагничивания системы сепаратора показано в табл. 2.

В результате магнитного

Таблица 1  
Распределение элементов в исходном угле и продуктах его сгорания на Кемеровской ГРЭС

МХЭ	Содержание МХЭ в пробах, г/т				
	1060	1061	1062	1063	1064
Li	20		20	100	70
Be	2	2	1.8	1.5	1.6
P			1000	1000	1000
Sc	4.6	3.1	18.78	19.56	20.29
Ti	700	700	3800	3700	4400
V	20	18	120	150	140
Cr	25	10	94	280	340
Mn	350	210	980	150	240
Co	5.2	3.7	19.9	26.4	25.7
Ni	7.5	7	45	35	39
Cu	20	30	50	50	110
Zn	50	50	100	100	100
Ga	7	5	8.2	14	10
As			100	100	100
Rb				114.7	111.7
Sr	250	300	200	300	300
Y	15	14	54	34	50
Nb	10	10	10	20	20
Mo	1	1	0.8	2.7	2.7
Sn	2		2	3	3
Cs	1.7		6.1	4.0	5.3
Ba	1500	2000	4615	1080	920
La	15.5	10.7	91	72	77
Ce	31.0	32.0	182.9	176.3	204.9
Sm	3.87	3.05	11.37	10.48	13.15
Yb	2.2	2.2	7.9	4.6	8.2
Lu	1.0	0.5	1.46	2.28	2.75
Hf	1.46	0.81	4.61	5.42	5.43
Ta			6.99	6.76	5.78
Rb	15	7.2	26	26	23
Th	4.8	3.5	18.6	20.5	22.6
U			5.5	8.5	7.1
Na	1025	1057	4154	3172	43.72
Mg	3000	3000	10000	10000	10000
Al	70000	70000	100000	100000	100000
Si	100000	100000	100000	100000	100000
K	5000	5000	7000	10000	10000
Ca	20000	20000	50000	30000	30000
Fe	10700	7500	59723	44395	51927
Eu	1.0	2.4	2.5	2.7	2.8
Tb	0.76	2.02	3.14	1.92	1.56

Таблица 2  
Содержание МХЭ в продуктах магнитного разделения пробы 1062

МХЭ	Содержание МХЭ (г/т)						
	Магнитная фракция в зависимости от тока намагничивания, А						Немагнитная фракция
	0.5	1.0	2.0	4.0	8.0	10.0	
Li	50	30	30	30	20	30	50
Be	6.5	2.5	5.4	1.6	1.6	1.3	1.6
P	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Sc	17.95	19.01	19.61	19.61	19.81	19.47	18.56
Ti	3300	4100	3800	4100	3500	4300	5400
V	110	77	78	90	83	130	150
Cr	375.82	344.62	110	88.06	89.74	86.47	80.59
Mn	1050	690	800	800	310	570	770
Co	23.04	20.85	20	19.94	20.18	19.18	20.55
Ni	53	35	40	49	31	41	48
Cu	107	107	110	110	70	107	107
Zn	200	100	50	70	50	70	70
Ga	8.5	8.4	8.6	8.6	10	9.2	10
As	100	100	100	100	100	100	100
Rb	121.39	70.75	146.79	101.99	94.78	107.81	137.74
Sr	200	200	200	300	300	300	300
Y	37	59	44	51	46	42	38
Nb	20	30	20	20	20	20	30
Mo	4	7	3	4.2	2.3	3	4.3
Sn	10	5	2	3	3	3	3
Cs	4.31	4.82	5.50	5.60	4.29	5.15	3.14
Ba	121.4	174.4	132.8	135.5	163.5	217.0	129.3
La	60.55	64.02	61.54	61.33	60.61	62.38	63.60
Ce	171.06	147.79	199.79	198.72	49.01	120.75	129.62
Sm	13.73	13.39	11.74	7.89	9.55	10.36	11.38
Yb	7.4	8.63	6.04	5.79	6.74	8.41	6.02
Lu	1.95	2.74	2.01	1.68	2.37	1.06	1.95
Hf	4.67	4.61	4.13	4.44	5.47	5.25	5.31
Ta	8.08	7.50	7.30	8.49	10.45	6.95	5.58
Pb	170	32	32	27	5	19	24
Tr	18.34	21.04	19.44	18.55	19.28	19.09	18.1
U			5.41	8.65	5.44	6.40	0.01
Na	4345	4860	4839	4592	4360	4137	28007
K	7000	7000	7000	7000	7000	7000	10000
Ca	20000	30000	30000	30000	30000	30000	30000
Eu	2.78	2.82	2.39	2.63	2.6	2	2.31
Tb	1.08	1.56	2.74	1.61	2.17	2.01	1.5

Примечание: Содержание Mg, Al, Si, Fe во всех продуктах магнитного разделения оказалось постоянным и составило соответственно 10000 100000 10000 100000 г/т

разделения пробы 1062 установлено:

- Mn, Zn, Sn, Pb и в меньшей степени Be преимущественно распределяются в магнитную фракцию при токе намагничивания 0.5 а;
- заметно некоторое увеличение содержание Li, Ni в магнитном продукте при минимальном токе намагничивания и немагнитной фракции;

- преобладающее распределение Na в немагнитной фракции;
- преимущественное распределение Cr в магнитную фракцию при токах малых токах намагничивания 0.5 и 1 а;
- увеличение концентрации V и Ti в немагнитном продукте;
- при малых токах U не обнаруживается в магнитном

концентрате и немагнитном продукте. Некоторое увеличение концентрации заметно в магнитных фракциях при токах от 2 до 10 а.

Полученные результаты свидетельствуют, что МХЭ, содержащиеся в угле и продуктах сгорания, необходимо учитывать при оптимизации процессов переработки каменных углей, когда в качестве критерия оптимальности принимают выручку от реализации углепродуктов или величину прибыли. Воспользоваться этим источником получения дополнительной прибыли можно, если при заключении контракта о поставке углей любых марок предварительно учесть содержание МХЭ.

Опыт работы с результатами различных аналитических данных характеризующих химический состав кузнецких углей и отходов их добычи, переработки и потребления впервые нами получен с использованием АБД «Геохимия углей Кузбасса».

Эта АБД создана программистами И.В.Удаловой и О.Ю.Христенко с участием И.П.Башкова. Идея алгоритма вычислений и хранения информации предложена Б.Ф. Нифантовым в 1992 г. К настоящему времени появилась необходимость в разработке более совершенной модели базы данных совмещенной с автоматизированными системами поиска, сортировки, статистических расчетов, электронной графики, включая графическую привязку к геологической, картографической информации – картам, разрезам, стратиграфическим колонкам и другим формам изображения данных. Подобный опыт работы накоплен в геологии, но и он требует совершенствования и расширения.

Разнообразие и значительный объем геологической и геохимической информации, представленный в справочнике [4] ускорили формирование идей

Талица 3  
Кондиционные содержания элементов в ЗШМ пластов углей Кемеровского геолого-экономического района

Поля добычи и пласты	Элементы, компоненты	Содержания	Количество
Ш. Бирюлинская Пл. XXI	Ag Hf	г/т г/т	386.7 96.3
Р-з «Черниговец» Пл. Подволковский Пл. Подволковский	Nb Sc Ti Ga	г/т г/т % г/т	301.2 101.1 4.1 132.4
Р-з «Кедровский» Пл. Кемеровский  Пл. Волковский	Ti Ga Y Ti Ga	% г/т % г/т г/т	1.3 92.8 661.7 1.7 93.5
Ш. «Яруновская» Пл. Волковский  Пл. Безымянный	Hf Ta Lu	г/т г/т г/т	256.4 270.8 106.3

об оценке экономической стратегии переработки углей и минеральных отходов с целью извлечения ряда ценных элементов. Их потенциальные ресурсы в накопленных золошлаках Кузбасса (в сумме по Li, Sc, Ti, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Nb, Ag, La,

Ce, St, Eu, Tb, Yb, Lu, Hf, Ta, Au, Th, U) составляют не менее 1,4 млн. т. на общую сумму потребительской ценности свыше 130 млрд. USD.

Потенциально рудные содержания в золошлаках добавляют к вышеприведенному объ-

ему ресурсов 7,7 и 5,2 млн. т. на сумму 9,2 и 2,2 млрд. USD. Соответственно, общий объем минеральных ресурсов (без учета кремния и ряда других элементов) в золошлаках может быть оценен около 14,3 млн. т, в т. ч. золота - 157,5 т и серебра 313,6 т; редкоземельных элементов – не менее 34980,4 т. Общая сумма потенциальной товарной ценности 70 млн. т запасенных Кузнецких золошлаков превышает 143,5 млрд. USD. При организации в будущем переработки их в объеме 10 млн. т в год ожидается получение 20,5 млрд. USD доходов, что превышает доход от современной продажи кузнецких углей в количестве 100 млн. т. Это означает, что экономический потенциал Кузбасса при организации промышленной переработки накопленных золошлаков может возрасти более чем в 2 раза в течение 5 лет, которые необходимы для старта организации и завершения создания первой очереди производственных мощностей по переработке минеральных отходов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Еремин И.В., Арцер А.С., Броневец Т.М. Петрология и химико-технологические параметры углей Кузбасса. – Кемерово, Кемеровское областное издательство «Притомское», 2001.-400с.
2. Геология месторождений угля и горючих сланцев СССР. Том 7. Кузнецкий, Горловский бассейны и другие угольные месторождения Западной Сибири. – М.: Недра, 1969. – 912 с.
3. Решения Всесоюзного совещания по разработке унифицированных стратиграфических схем докембрия, палеозоя и четвертичной системы Средней Сибири 1979 г. Ч. II. // Новосибирск, 1982. - 130 с.
4. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник. – М.: Недра, 1996. – 238 с.
5. Оценка содержания химических элементов в угле и продуктах его сгорания /Т.И.Кургузкина, В.В.Ворончихина, Л.Н.Меркушева и др. // Химия и химическая технология :Сб.науч.тр. / Кузбас. гос. техн. ун-т. -Кемерово, 1995. С.94-96
6. Удовичкий В.И. Моделирование подготовительных и основных процессов переработки каменных углей. -Кемерово, Кузбассвуиздат,1998. -500 с.

□ Авторы статьи:

Потапов Вадим Петрович - докт. техн. наук, директор института угля и углехи- мии СО РАН	Удовичкий Владимир Иванович - докт. техн. наук, проф. каф.. обогащения по- лезных ископаемых	Нифантов Борис Федорович - канд. геол.-минер. наук, доцент, с.н.с. Института угля и углехимии СО РАН	Кандинская Ирина Владимировна - ассистент кафедры вычис- лительной техники и ин- формационных технологий
---	--	--	--