

УДК 622:533.940.4

Б. Ф. Нифантов, А.Н. Заостровский, О.П. Занина

КУЗНЕЦКИЕ УГЛИ, ПРОМЫШЛЕННЫЕ ОТХОДЫ ДОБЫЧИ И ПОТРЕБЛЕНИЯ УГЛЕЙ - НОВАЯ МИНЕРАЛЬНО-СЫРЬЕВАЯ БАЗА ДЛЯ ИЗВЛЕЧЕНИЯ ЦЕННЫХ МЕТАЛЛОВ И МИНЕРАЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

Комплексное освоение минерально-сырьевой базы (МСБ) месторождений становится одним из главных направлений переработки минерального сырья.

В природе нет мономинеральных месторождений. Такими они представлялись для того, чтобы выделить одно полезное ископаемое, а не комплекс минерального сырья, например, пластов углей или рудных тел. К настоящему времени накоплен убедительный научный материал о новых качественных показателях угольной продукции, отходов, вмещающих и включенных пород и минералов, сопровождающих пластины углей Кузбасса [1]. В последние годы исследовательские и технологические работы по извлечению ценных и утилизации токсичных элементов весьма существенно развиваются в ряде зарубежных стран - США, Канаде, Австралии, Болгарии, Польше, Франции, а также в России.

Целью работы является обоснование пригодности минерально-сырьевой базы кузнецких углей и отходов для извлечения редких металлов.

Задачи исследований состоят в системном анализе результатов изучения фактического материала по геохимии кузнецких углей.

На основе геолого-геохимических данных представляется возможным прогнозирование использования товарных углей, горной массы и отходов для извлечения редких металлов. Выполнение исследования позволяют обосновать пригодность (МСБ) различных марок кузнецких углей и отходов для глубокой переработки при рассмотрении ассоциации рудных элементов как основы промышленного концентрирования товарных концентратов металлов. В настоящее время можно предлагать разделение потока добываемых углей с получением их металлоносных фракций в сортаменте по 20 - 30 элементам. Выделенные из горной массы металлоугольные концентраты будут реализованы для предприятий металлургических отраслей промышленности, химии, электронных и других производств. База информации о показателях новых качеств кузнецких углей позволит рационально избрать и создать новые продвинутые технологии сепарации горной массы для производства металлоугольной продукции, специализированных способов ее потребления.

Экономическая оценка рудообразующих химических элементов в кузнецких углях соответствует их суммированной потребительской стоимости, значительно превосходящей современную цену органической горючей массы углей.

Исследования геохимических показателей золошлакообразующей массы (ЗШМ) пластов углей показали, что в пределах Кузбасса в 85 пластроучастках максимальные содержания 20 - 30 элементов превышают нормативные кондиции для извлечения алюминия, железа, редких, благородных и других металлов.

Актуальность выполненных работ заключается в новом пополнении знаний о МСБ Кузбасса данными по товарной ценности кузнецких углей с учетом содержаний рудных элементов.

Массив данных, включающий 476 проб (30406 элементоопределений), по выборке подразделен по значениям зольности на 5 групп.

Зависимость мощности и зольности пластов углей показана на рис. 1.

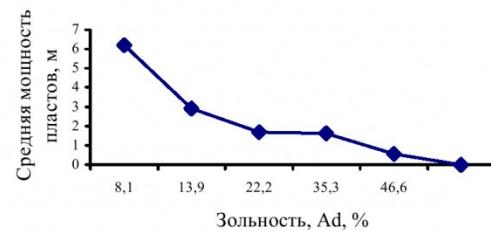


Рис. 1. Зависимость зольности и мощности кузнецких углей

Для каждой группы изучено распределение в них элементов по трем категориям зольностей в интервалах, S, M, L, соответственно, с малыми, средними и высокими показателями.

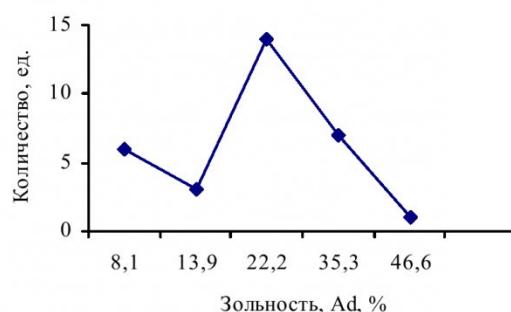


Рис. 2. Количество ведущих элементов в ассоциациях

Зольность 8,1 % - Li, Zn, Rb, Ag, Au, Hg;
Зольность 13,9 % - Li, Cd, Au; Зольность 22,2 % - Be, B, F, Co, Zn, As, Sr, Nb, Mo, Sn, Ba, Yb, Au, Hg; Зольность 35,3 % - As, Ag, Sb, U, F, Sn, Au; Зольность 46,6 % - Rb

Таблица 1

Распределение главных зоообразующих компонентов кузнецких углей

Зольность, A ^d , %	Содержание, %					
	Si ₂ O ₃	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO
8,1	40,3	2,2	19,2	9,6	9,4	5,1
13,9	42,8	1,9	19,6	9,4	10,1	3,7
22,2	45,1	1,6	17,6	9,8	10,1	4,5
35,3	57,1	1,1	16,5	7,3	9,4	1,3

Выделенные группы характеризуются общей закономерностью вхождения наибольшего числа исследованных элементов в интервал М.

Поэтому для каждой группы особым диагностическим значением обладают наборы ассоциаций элементов в интервале L при средних показателях зольностей в группах (рис. 2).

Из показанных наборов элементов для высокозольных (22,0 - 47,0 %) фракций, в первую очередь для интервала L, характерны Rb, Au, Ag, Hg. Этот вывод имеет прямое поисковое значение при исследовании углей, их продуктов разделения и сжигания. Элементы низкозольных фракций (S) представлены немногочисленными наборами или отдельными их представителями. Так, первые три группы из интервалов S характеризуются наличием K, Se, Ag. Последний из этих элементов более характерен для L-интервалов. Однако следует иметь в виду, что серебро способно входить в составы органических соединений и поэтому его не следует отождествлять с элементами, присущими только неорганической части углей. Это утверждение справедливо для ряда других представителей металлов и неметаллов в углях.

В последних двух группах интервалов S выделены Cl, Na, Mg, Ca, Fe. Это, скорее всего, связано с преобладанием в обломочной, глинистой хемогенной частях неорганической минеральной массы подобных высокозольных углей карбонатов, полевых шпатов, возможно, самостоятельных галоидных соединений или примесей галогенидов.

Склонность рубидия к L-интервалам фракций достаточно уверенно отмечалась нами при изучении кузнецких углей. Приуроченность к упомянутому выше интервалу Li, Zn, Be, B, Sr, Nb, Mo, Yb вызывает ряд вопросов, прежде всего потому, что они более свойственны M - интервалам. В последних широким распространением пользуются литофильные, халькофильные, сидерофильные элементы, общее количество которых достигает 30-43.

Одним из наиболее представительных примеров фрагментов ассоциации S, L интервалов можно полагать - Li, Be, B, F, Na, Mg, Al, Si, P, S, Ca, Sc, Ti, V, Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Zn, Ga, Ge, Rb, Sr, Y, Zr, Hf, Ta, Pb, Bi, Th. Заметим, что РЭ являются наиболее постоянными участниками этой композиции в сопровождении Sc, Ti, Y, Zr, Nb, Hf, Ta, Th, U. Нередко, Be, B, F, Ti, V, Cr, Mn, Co тесно связаны с перечисленными элементами, образуя в общей картине закономерных геохимических кор-

реляционных связей кластерные центры.

Обобщение данные о содержаниях элементов (компонентов) зоообразователей, также типично представляющие S, L интервалы, с их показателями для массивов изученных проб приведены в табл.1.

Количество аналитических данных для проб вычисляемых содержаний SiO₂ и Al₂O₃ было недостаточно для окончательных выводов. Отметим, что геологические данные изучения содержаний главных компонентов углей в пределах зольностей 8,0 - 14,5 % для 2083 проб составили, (в %): для SiO₂ (45,0 - 67,0), для Al₂O₃ (18,0 - 27,6) по сведениям Э.М. Паха. Они совпадают с генеральной выборкой по количеству нами изученных проб (расчетных определений) SiO₂ - 155 (160), Al₂O₃ - 152 (157), имея при этом средние (пределные) содержания, соответственно, %: SiO₂ - 44,88 (0,02 - 47,88); Al₂O₃ - 20,77 (1,4 - 36,0). Приведенные сведения характеризуют золу и ЗШМ угольных пластов во всех продуктивных свитах от тайлаганской до мазуровской. В период предшествующих исследований, начиная с 1969 года, были опубликованы основополагающие работы по геологии Кузбасса, геохимии, марочному составу углей, размещению в углях редких элементов и другие. Накопленный фактический материал пока еще недостаточно систематизирован и обработан. По нашему мнению, главным направлением исследований будет избрана поисковая оценка пласта участков, товарной угольной продукции и отходов для выявления, прежде всего, рудных содержаний химических элементов.

Следующим, важнейшим показателем является содержание валового железа в ЗШМ. Оно варьирует для изученных зоошлаков в пределах 0,0007 - 53,83 по данным анализов 400 проб (508 определений). Кондиционными для извлечения являются содержания железа свыше 7,5 % и алюминия 13,2 % (Al₂O₃ - 25,0 %). Близки к 100% по уровню изученности TiO₃, MnO; несколько хуже изученность Fe₂O₃, CaO, MgO, Na₂O. Калий изучен недостаточно, в пределах 2,6 - 8,3%. В общем, изученность углей с увеличением зольности проб падает, т.к. пласти углей с зольностями свыше 25% не разрабатываются на большинстве добывающих предприятий Кузбасса. Такие пробы из пластов отобрать не представлялось возможным. Средняя вычисленная мощность пластов также, соответственно, убывает с возрастанием их средней зольности. С повышением содержаний

Таблица 2

Показатели концентраций РЗЭ, ТПТ, ЦПЦ химических элементов. Показатели ЦПЦ кузнецких углей по примесям химических элементов превосходят выявленные группированные данные ТПТ по токсичности углей

Группы (колич. элементов)	ККУ, ед.	ККЗУ, ед.	ККГП, ед.	Уд. в., г/см ³	Мощность пласта, м
РЗЭ (7)	3,9	2,0	4,6	1,45	3,95
ЦПЦ(36)	3,2	3,4	51,4	1,45	4,03
ТПТ(19)	1,4	1,8	6,9	1,43	4,14

SiO_2 увеличивается зольность.

Обратная зависимость к зольности выявлена для Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO , Na_2O , K_2O , HCl . В дальнейшем следует изучить зависимость связей компонентов золы углей и содержаниями редких элементов.

Концентрации химических элементов далее будут численно определяться известными понятиями регионального кларка (РК) или регионального коэффициента концентрации (РКК), местного кларка (коэффициента МКК) и коэффициентов концентраций мирового уровня: по углам - ККУ, золам углей - ККЗУ, глинистым породам - ККГП. Эти группы показателей достаточно отражают особенности геохимического статуса кузнецких углей.

Региональные кларки для каждого элемента рассчитаны по 476 пробам и 30406 элементоопределениям. При этом вычисленные средние зольность и встречаемость элементов равны 13,22 и 65,7 %. Средние для 55 элементов показатели концентраций, т.е. численные отношения к мировым данным составили: по каменным углам (ККУ - 2,6); золам каменных углей (ККЗУ - 2,9); глинистым породам относительно расчетных кларков для теоретической золошлаковой массы (ЗШМ), ККГП - 36,0. Они отвечают среднему удельному весу углей 1,44 г/см³ и средней мощности угольного пласта 4,09 м. По частным выборкам (число элементов) для РЗЭ (7), ценным и потенциально ценным элементам (ЦПЦ-36), токсичным, потенциально токсичным (ТПТ) и радиоактивным элементам (19) вычислены следующие осреднённые данные (табл. 2).

Индивидуальные характеристики разрабатываемых пластов углей и получаемой углепродукции по геохимическим данным могут стимулировать новое направление маркетинга товарных углей. Безусловно, расчёты дополнительной коммерческой или потребительской ценности углей или отходов имеют смысл при реализации соответствующих технологий. Стремление осуществить их внедрение значительно повысило бы интерес к минеральным отходам угольной, коксохимической, металлургической и других отраслей промышленности.

Для удобства дальнейшего рассмотрения вычислены фоновые показатели относительно РККУ для 5 групп выделенных зольностей (табл. 3; рис. 3). Показатели РККУ, как и другие показатели кларков концентраций, целесообразно объединить в пять уровневых групп.

Заметно выражена связь пяти групп проб с различной зольностью. С её возрастанием увеличиваются фоновые показатели для Li, S, K, Sc, Ti, V, Fe, Co, Ni, Zn, Rb, Y, Sn, Sb, Ce, Sm, Eu, Yb, Lu, Hf, Pb, Th, U. Убывают те же показатели для Na, Ag, Ta, Au, Hg. Не обнаружили этих зависимостей A1, B, Mg, Al, Si, P, Ce, Cr, Mn, Ga, Ge, As, Se, Sr, Zr, Nb, Mo, Cs, Ba, La, Tb, Bi.

Достаточно определенно выявляется характер связей зольности, мощности пласта или его фраг-

Таблица 3
Группы уровней концентраций элементов в кузнецких углях

Наименования уровней	Интервалы КК	Элементы
Подфоновый	0 - 1,0	Be, B, F, Al, Si, S, K, Ti, V, Fe, Ga, Se, Mo, Cd, Sb, W, Pb
Надфоновый	1,0 - 3,0	Na, Mg, P, Cl, Ca, Sc, Cr, Mn, Co, Ni, Cu, Zn, Ge, Rb, Y, Sn, Cs, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Th, U
Средний	3,0 - 5,0	Li, As, Sr, Ba, Lu, Hg
Высокий	5,0 - 10,0	Zr, Ag, Hf, Ta, Au, Bi
аномальный	более 10,0	Nb, La

мента с фоновыми показателями концентраций. Для их представления обозначим стремление элементов оказаться в относительно мощных пластах (фрагментах) через L1, L2, L3, L4, L5 и маломощных пластах (фрагментах) через S1, S2, S3, S4, S5, где цифрами в порядке увеличения индицированы

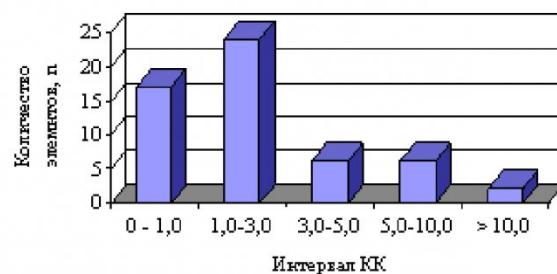


Рис. 3. Гистограмма распределения количества элементов по численным показателям уровней геохимического фона

выделенные выше группы зольности. Размещение элементов показано в табл.4.

Выявленные особенности приуроченности содержаний элементов к зольности и мощности пла-

Таблица 4

Характеристики приуроченности элементов к пластам углей с различной мощностью и зольностью

Индекс	Элементы
S1	Al, P, K, W
S2	Sb, W, S, Hg
S3	Cl, As, Se, Sr, Sb, Au, Hg
S4	F, Na, Mg, Ca, Fe, As, Sb, Au, Hg
S5	Mg
L1	Cl, Zn, Ge, As, Mo, An, Sb
L2	Al, S, Bi
L3	Al, Si, P, Zn, Rb, Ag, Ta, Bi, Tb
L4	Cl, Zu, Ge, Bi
L5	Na, Ca, Fe, Rb

стов не могут быть однозначно интерпретированы. Низкозольные угли Кузбасса обычно связаны с пластами увеличенной мощности. При длительном времени накопления растительного материала с изменением состава вадозных вод, при смене процессов растворения и осаждения в процессах углефикации и в меньшей степени, возможно, благодаря тектоническим, магматогенным, метасоматическим процессам происходило "закрепление" в угольной массе именно ассоциаций с Cl, Zn, Ge, As, Mo, Au, Sb; Al, S, Bi. Ассоциации, включающие Al, Si, P, Zn, Rb, Ag, Ta, Bi, Tb; Ge; Na, Ca, Fe в своем становлении в значительной мере испытали и отражают процессы раннего и позднего диагенеза, связанные с формированием карбонатов, фосфатов, сульфидов, силикатов. Последние, безусловно, поступали в область накопления в виде глинистого и обло-

мочного материала, способствуя росту зольности с накоплением главных компонентов золы.

Происхождение минерального неорганического материала в маломощных угольных пластах, существенно, механически привнесенное глинистое и обломочное. В таких пластах следует искаать в карбонатах, фосфатах, хлоридах, сульфидах, окислах наиболее высокие концентрации Se, Sr, Sb, Au, Hg, As, Nb, Ta и геохимически тесно связанные с ними РЗЭ [2]. Нами по максимумам содержаний выявлены 28 - 30 химических элементов в кузнецких углях, которые могут быть оценены как металлоносные по Al, Sc, Ti, Fe, Y, Nb, сумме РЗЭ, Ta, Au (рис. 5) и другим. Общая сумма стоимости объектов металлопромышленных содержаний в углях выше стоимости самих углей в 150 раз. Поэтому перспективы глубокой переработки кузнецких углей, их отходов добычи переработки и потребления являются экономически благоприятными. Освоение минеральных ресурс-

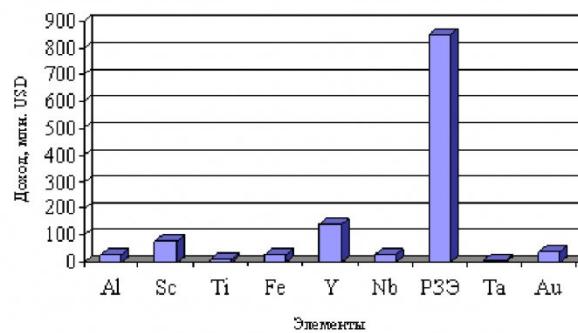


Рис. 4. Вероятные уровни доходов от извлечения металлов из кузнецких углей, промышленных отходов их потребления

сов, сопутствующих угленосными отложениям Кузнецкого бассейна, будет целесообразным при условиях выбора и разведки наиболее металлонасыщенных объектов добычи горной массы на предприятиях подземной или открытой разработки угольных месторождений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Угольная база России. Том 2. Угольные бассейны и месторождения Западной Сибири (Кузнецкий, Горловский, Западно-Сибирский бассейны; месторождения Алтайского края и Республики Алтай). - М.: ООО "Геоинформцентр", 2003. - 604 с, ил.
2. Нифантов Б.Ф., Потапов В.П., Митина Н.В. Геохимия и оценка ресурсов редкоземельных и радиоактивных элементов в кузнецких углях. Перспективы переработки. - Кемерово: Институт угля и углехимии СО РАН, 2003. 104 с, ил.

□ Авторы статьи:

Нифантов
Борис Федорович
- канд. геолого-минералогических
наук, ст. науч. сотр. Института угля и
углехимии СО РАН (ИУУ СО РАН)

Заостровский
Анатолий Николаевич
- канд. техн. наук, доц. каф. химической
технологии твёрдого топлива и эколо-
гии, ст. науч. сотр. ИУУ СО РАН

Занина
Ольга Павловна
- аспирант ИУУ СО РАН