

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ УГЛЕЙ ИРАНА

В.И. Рыбалко, С.И. Арбузов, А.В. Волостнов

Томский политехнический университет

E-mail: rybalko14@yandex.ru

Оценены средние содержания элементов-примесей в углях Исламской Республики Иран. Выявлены металлоносные угли, и определена геохимическая специализация угольных бассейнов и месторождений. Установлено, что для углей Ирана характерен смешанный халькофильно-литофильно-сидерофильный тип геохимической специализации.

Ключевые слова:

Уголь, Иран, металлоносность углей, редкие элементы.

Key words:

Coal, Iran, metal-bearing of coal, rare elements.

Исламская Республика Иран обладает значительными ресурсами угля, превышающими по современному оценкам 36 млрд т [1]. Геологические работы на уголь в Иране начались в середине XX в. и осуществлялись европейскими, главным образом немецкими, специалистами. С 60-х гг. XX в. геологоразведочные и поисково-съёмочные работы в полном объеме производились советскими геологами. За этот период было открыто и детально исследовано большое количество угольных месторождений, изучено их геологическое и тектоническое строение, угленосность, гидрогеологические условия, подсчитаны запасы углей [1–3]. В связи с осложнившейся политической ситуацией в стране в 80-х гг. XX в. геологоразведочные работы, выполняемые иностранными специалистами, были временно прекращены. Принятые тогда стандарты по оценке качества углей не предусматривали геохимического исследования попутных элементов-примесей в углях. По этой причине, а также в связи с незначительными масштабами угледобычи, металлоносность углей в Иране до настоящего времени практически не изучена. Наметившийся рост добычи и потребления угля в стране обусловил необходимость проведения работ по оценке экологической безопасности и потенциальной металлоносности углей. Для организации таких исследований необходимо проведение опережающих прогнозно-металлогенических работ, позволяющих на предварительной стадии выделить потенциально металлоносные угли, требующие специализированного изучения.

К настоящему времени иранскими специалистами и зарубежными авторами было опубликовано несколько работ, в которых на основе единичных проб из отдельных месторождений оценены содержания некоторых металлов, в том числе редких и благородных [4–7]. Настоящая работа является первой попыткой оценить геохимическую специализацию и металлоносность углей Ирана.

Характеристика объекта исследования

На территории Ирана выделено два угольных бассейна (Табасский и Эльбурсский), несколько

угленосных районов, а также ряд отдельных месторождений (рис. 1). Основная угленосность связана с формацией Шемшак триас-юрского возраста. Кроме того, встречаются каменноугольные и кайнозойские угленосные отложения, не представляющие промышленного интереса. Общие прогнозные ресурсы углей в Иране составляют 36,1 млрд тонн, из них 33,4 млрд тонн сосредоточено в Табасском бассейне и 2,6 млрд тонн – в Эльбурсском бассейне. Угли каменные, марочный состав углей разнообразен, изменяется от Д до А. Пласты в основном маломощные: средняя мощность рабочих пластов составляет 1...2 м [1].

Методика исследований

Для оценки металлоносности углей Ирана было проведено опробование 34 угольных месторождений и углепроявлений, и отобрано 610 проб углей и углевмещающих пород. Отбор проб производился бороздовым способом вкrest простирания угольного пласта по направлению от кровли к почве (рис. 2). Длина интервала опробования составляла от первых сантиметров до метра в зависимости от сложности строения угольного пласта, наличия внутренних породных прослоев, зон трещиноватости, зон окисления. Затем пробы высушивались в естественных условиях, дробились и истирались до пудры (0,074 мм).

Во всех углях и углистых породах определена зольность. Работы выполнены в ПНИЛ по комплексному использованию горючих полезных ископаемых Западной Сибири кафедры химической технологии топлива и химической кибернетики Национального исследовательского Томского политехнического университета (ТПУ) по ГОСТ 11022-95 (аналитики Маслов С.Г., Архипов В.С.). Для количественного определения элементов-примесей использовались современные аналитические методы. Основным методом является многоэлементный инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА), выполненный в ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии ТПУ (аналитик А.Ф. Судыко). Методом ИНАА проанализировано 1094 пробы угля, зо-

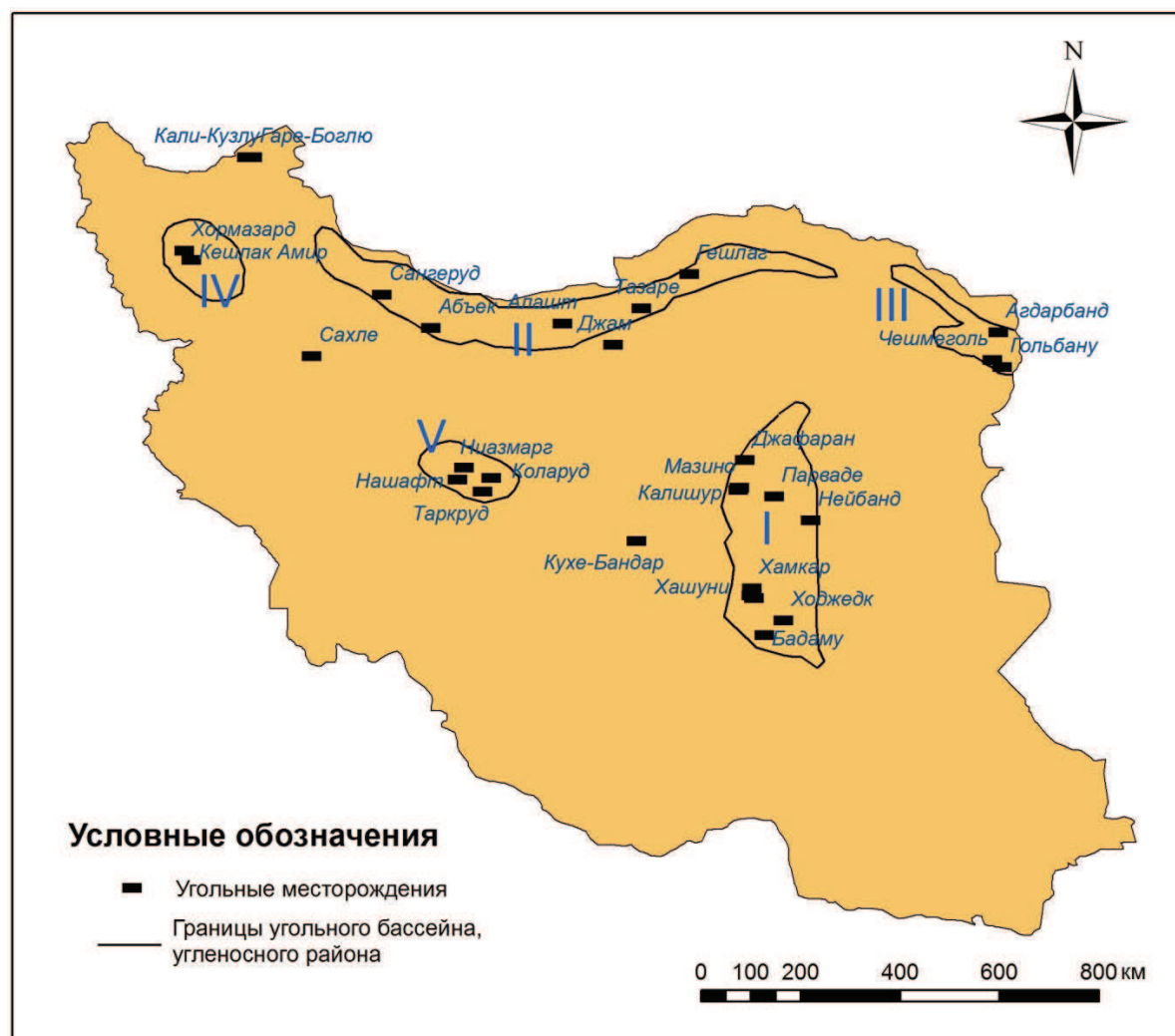


Рис. 1. Схема расположения основных угольных бассейнов и месторождений на территории Исламской Республики Иран: I – Табасский угольный бассейн; II – Эльбурсский угольный бассейн; III – Северо-Хорасанский угленосный район; IV – Мервагинский угленосный район; V – Кашан-Эсфаханский угленосный район

лы угля и углевмещающих пород, и определено содержание 29 химических элементов. Широкий спектр элементов определялся масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (ICP-MS), который выполнялся в центре коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» Национального исследовательского Томского государственного университета (аналитик Аношкина Ю.В.). Методом ICP-MS проанализировано 106 проб. Для оценки содержания в золах углей основных золообразующих элементов и отдельных микроэлементов в лаборатории рентгеноспектральных методов анализа института Геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск) выполнен рентгено-флуоресцентный анализ (аналитик Карманова Н.Г.).

Оценка средних содержаний в угольных пластах выполнена как средневзвешенная величина по мощности интервалов опробования; в месторождениях – как средневзвешенное по мощности пластов, в бассейнах и угленосных районах – как

среднеарифметическое по угольным месторождениям (по причине отсутствия точных данных по запасам и ресурсам угля в отдельных месторождениях). Среднее содержание элементов-примесей в углях Ирана в целом по стране рассчитывалось как средневзвешенное по ресурсам угля в бассейнах и угленосных районах.

Результаты исследований и их обсуждение

Преобладающая часть геологических ресурсов угля в Иране сосредоточена в Табасском угольном бассейне. В связи с этим, полученные средневзвешенные оценки содержания элементов-примесей в углях Ирана близки к их содержаниям в углях Табасского бассейна (табл. 1).

Известно, что ископаемые угли способны накапливать значительные количества элементов-примесей, нередко достигающих промышленно значимых концентраций. Накопление элементов-примесей в промышленных концентрациях отмечается в целом ряде угольных месторождений мира [8, 9].



Рис. 2. Схема опробования месторождения Джафаран (Табасский угольный бассейн): 1) уголь; 2) аргиллит

С целью оценки потенциальной металлоносности углей используется понятие геохимической специализации. По А.А. Смыслову [10] выделяется геохимическая специализация первого и второго рода. Специализация первого рода для углей Ирана оценивалась как отношение средних содержаний элементов в углях к кларку для верхней части континентальной земной коры [11].

Сопоставление геохимической специализации углей из разных регионов мира (рис. 3) показывает, что все они имеют близкую геохимическую специализацию. Большинство углей специализировано на Be, B, Ge, Mo. Отличия заключаются в специализации углей Китая также на Li, Y, Ta, Hf, U, REE, углей Сибири – на Au, Sc, Co, Sb, REE, Ирана – на Li, Rb, Cs, Cd, Pb.

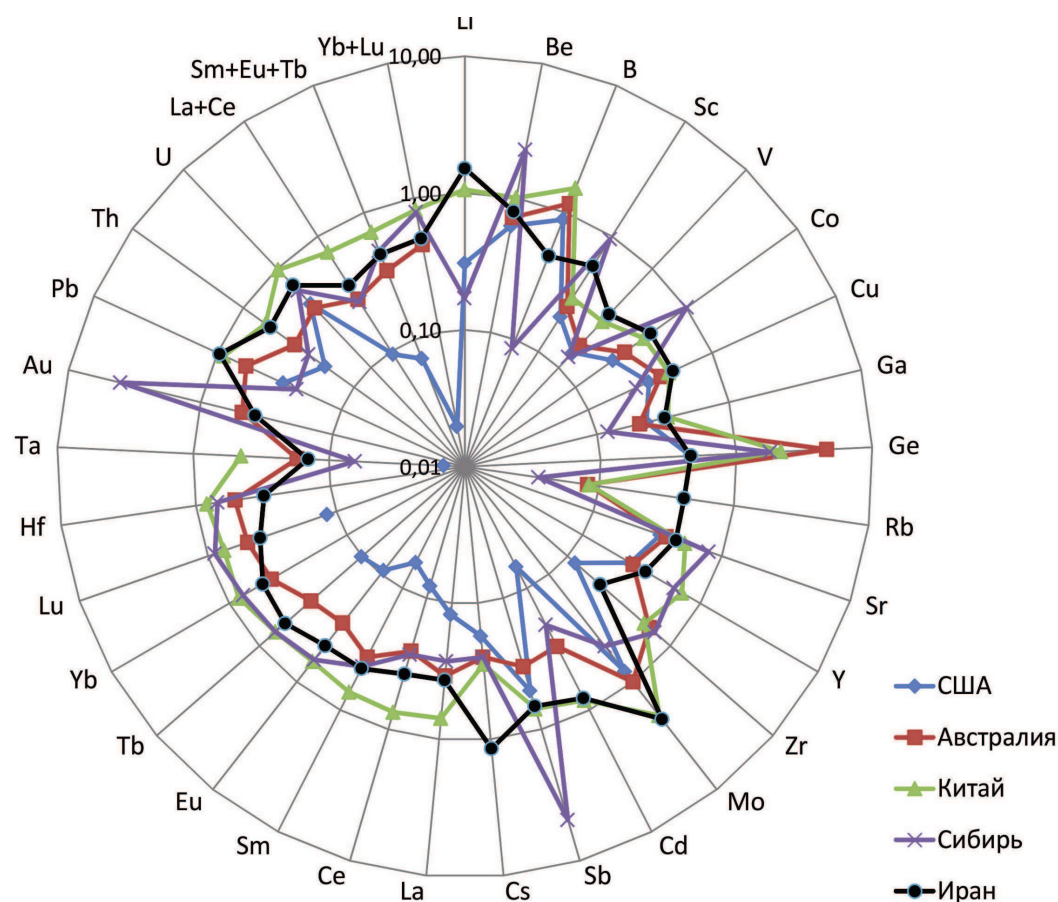


Рис. 3. Нормированные (к среднему в земной коре) кривые распределения элементов в углях США [12], Австралии [13], Китая [14], Сибири [15] и Ирана

Таблица 1. Среднее содержание некоторых редких элементов-примесей в углях Ирана

Месторождение, бас- сейн	Число проб	A ^d , %*	Содержание элемента, г/т																	
			Sc	Co	Rb	Sb	Cs	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Ta	Au**	Th	U
Эльбурсский угольный бассейн																				
Гешлаг	37	26,4	11,0	10,9	44,8	0,7	4,2	20,4	38,8	14,8	3,2	0,8	0,6	1,7	0,2	2,1	0,6	0,4	8,2	1,6
Тазаре	38	21,8	13,8	13,0	32,2	0,4	3,4	18,6	34,0	11,4	3,2	0,8	0,6	1,6	0,3	2,2	0,4	7,7	6,5	2,3
Джам	21	19,6	10,5	4,1	21,0	0,4	1,9	8,4	17,8	6,5	2,6	0,9	0,9	1,5	0,2	0,8	0,2	0,4	4,0	1,4
Абъек	7	37,7	15,3	10,5	43,0	0,7	4,9	19,0	34,0	9,7	2,9	0,8	0,6	1,9	0,3	2,4	0,7	2,0	6,4	2,8
Алашт	11	18,9	9,2	8,9	25,0	0,8	2,9	13,4	26,6	10,5	2,4	0,4	0,4	1,4	0,2	2,4	0,8	3,7	5,2	2,5
Сангеруд	18	7,9	5,5	8,3	10,7	2,1	1,3	5,6	14,5	6,5	1,8	0,5	0,3	0,8	0,1	0,8	0,3	0,7	2,5	0,9
Среднее для бассейна	132	22,1	10,9	9,3	29,4	0,9	3,1	14,2	27,6	9,9	2,7	0,7	0,6	1,5	0,2	1,8	0,5	2,5	5,5	1,9
Табасский угольный бассейн																				
Бадаму	33	24,5	8,5	9,6	49,1	1,5	5,9	10,8	15,1	6,6	2,1	0,6	0,4	1,2	0,2	1,4	0,2	0,3	4,8	1,4
Хамкар	40	19,9	8,2	10,6	41,8	1,0	4,5	13,6	26,7	10,6	3,0	0,7	0,6	1,3	0,2	1,4	0,3	1,8	5,5	1,6
Хашуни	31	16	7,6	5,5	35,7	1,2	3,8	9,3	20,4	9,9	2,5	0,6	0,5	1,0	0,1	1,3	0,1	0,5	5,1	1,3
Ходжедк	24	14,9	4,5	5,1	16,9	0,5	2,1	4,9	11,3	4,1	1,2	0,3	0,2	0,6	0,1	0,7	0,1	0,0	1,9	1,2
Джафаран	19	27	8,2	11,7	55,8	0,6	8,0	13,5	28,6	10,7	2,8	0,6	0,4	2,0	0,2	1,6	0,3	1,0	7,0	1,8
Калишур	30	36,7	11,8	10,8	76,4	0,6	6,7	22,5	44,3	18,4	3,9	1,0	0,6	1,8	0,3	2,2	0,3	0,0	9,4	2,0
Мазино	38	24,9	8,6	7,5	52,4	0,4	4,2	11,6	25,0	10,5	2,3	0,6	0,4	1,3	0,2	1,5	0,3	19,0	5,8	1,0
Нейбанд	38	28,1	7,3	8,6	44,6	0,6	3,7	9,2	20,5	8,7	3,6	0,9	0,7	1,2	0,2	1,0	0,2	0,2	3,8	2,4
Пабдана	26	25	11,2	4,8	65,7	0,8	6,5	11,3	24,0	10,7	2,4	0,6	0,3	1,3	0,2	1,7	0,2	0,0	6,1	2,6
Парваде	35	24,4	5,0	5,7	43,4	0,4	2,9	8,9	19,0	7,1	1,9	0,4	0,4	1,0	0,1	1,0	0,1	0,8	3,8	1,3
Среднее для бассейна	314	24,1	8,1	8,0	48,2	0,8	4,8	11,6	23,5	9,7	2,6	0,6	0,5	1,3	0,2	1,4	0,2	2,4	5,3	1,7
Северо-Хорасанский угленосный район																				
Агдарбанд	23	38,5	14,9	8,0	15,5	0,4	1,9	16,7	30,6	8,9	2,4	0,6	0,4	1,7	0,3	1,7	0,4	2,0	3,6	1,2
Чешмеголь	7	20,8	7,8	4,8	59,1	0,6	6,4	54,6	97,4	30,8	5,0	0,9	0,8	2,6	0,4	1,3	1,1	0,0	18,9	8,7
Гольбану	30	17,4	7,9	7,2	30,1	1,7	3,0	10,2	22,2	9,2	2,4	0,5	0,5	1,4	0,2	1,0	0,1	1,1	4,3	1,7
Среднее для района	60	25,6	10,2	6,7	34,9	0,9	3,7	27,2	50,1	16,3	3,3	0,7	0,5	1,9	0,3	1,3	0,5	1,0	8,9	3,9
Мерагинский угленосный район																				
Хормазард	7	18,5	15,6	0,9	3,3	0,2	0,5	41,7	69,0	31,8	10,3	2,4	1,0	1,7	0,2	1,8	0,8	1,0	4,6	5,2
Санг-Хотаб	3	24,0	16,5	11,8	43,6	1,1	4,2	9,7	22,2	8,7	2,0	0,5	0,5	1,2	0,2	1,0	0,4	0,0	3,8	2,4
Кали-Кузлу	5	21,1	3,4	28,6	11,6	0,1	0,8	8,9	24,1	13,5	3,6	0,8	0,6	2,2	0,3	0,8	0,2	2,6	1,7	1,0
Сахле	13	28,8	22,2	5,9	27,7	1,1	2,4	17,9	31,7	8,7	2,6	0,8	0,7	1,9	0,3	2,9	0,7	2,1	5,0	2,3
Среднее для района	28	26,3	14,0	10,7	32,0	0,7	2,9	19,1	36,4	16,2	4,3	1,0	0,6	1,7	0,2	1,8	0,5	1,1	4,4	2,5
Среднее для Ирана	534	24,0	8,3	8,1	46,8	0,8	4,7	11,8	23,9	9,8	2,6	0,6	0,5	1,3	0,2	1,4	0,2	2,4	5,3	1,7
Среднее для углей мира [17]			3,7	6,0	18,0	1,0	1,1	11,0	23,0	12	2,2	0,4	0,3	1,0	0,2	1,2	0,3	4,4	3,2	1,9

Примечание: * – зольность угля; ** – в мг/т.

Поскольку средние содержания элементов-примесей в углях Ирана практически совпадают со средними содержаниями в углях Табасского бассейна, целесообразно производить оценку геохимической специализации отдельно по бассейнам и угленосным районам. Для изученных угольных бассейнов и угленосных районов Ирана характерна однотипная специализация на Li, Cs, Mo. Угли Эльбурсского угольного бассейна специализированы на Be, Ge, Nb, Pb, угли Табасского – на Pb, для углей Северо-Хорасанского бассейна характерна литофильная специализация U, Th, LREE (рис. 4).

Информация о металлоносности углей Ирана, полученная в процессе выполнения настоящей работы, хорошо согласуется с прогнозами, данными авторами ранее [16].

В углях исследуемых угольных месторождений Ирана наряду с содержаниями отдельных элементов ниже предела обнаружения аналитического ме-

тода и рядовыми содержаниями отмечаются также и возможно промышленно-значимые концентрации элементов-примесей. Из большой группы исследуемых элементов практический интерес в настоящее время могут представлять Sc, Ge, Au, Cu, V, REE (табл. 2). Коэффициенты перед элементами в формуле характеризуют контрастность аномалий и рассчитаны по отношению к кларку для верхней части континентальной земной коры по [11].

Скандий. Среднее содержание скандия в углях Ирана составляет 8,3 г/т, а в золе – 39,4 г/т, при средней зольности 24 %. По сравнению с мировыми данными для каменных углей [17] угли Ирана значительно обогащены скандием. По отдельным угольным месторождениям средние его содержания изменяются от 3,4 до 22,2 г/т. В некоторых пробах угля из месторождений Эльбурсского угольного бассейна концентрация скандия в золе достигает 250 г/т.

Сравнение средних данных по отдельным угольным бассейнам и угленосным районам показывает, что угли центральной части Ирана (Табасский угольный бассейн) обеднены скандием по сравнению с углями северных районов. Вероятно, это связано с геохимическими особенностями областей питания угольных бассейнов. Скандий относится к группе сидерофильных элементов, повышенным кларком Sc обладают богатые железом и магнием изверженные породы основного состава [9]. Основной областью питания в период формирования Табасского бассейна были преимущественно салические породы верхнепротерозойского метаморфического комплекса, в пределах которого значительную роль играли докембрийские интрузии гранитоидов. В то же время в петрофонде области питания Эльбурсского бассейна, особенно в центральной и западной его части, распространены формации базитового ряда.

На фоне в целом повышенного содержания скандия в углях Ирана здесь можно выделить несколько угольных месторождений с аномальными концентрациями и значительными его ресурсами, перспективных для его промышленного извлечения. По предварительным оценкам на месторождении Тазаре ресурсы скандия в углях могут соста-

влять около 400 т, а на месторождении Хашуни – около 100 т.

Германий. Определение Ge производилось в углях методом ICP-MS и в золе углей Ирана – методом РФА. Данные методики предполагают нагревание проб до температур 500 и 960 °С соответственно. В последнем случае значительная часть германия может переходить в летучие соединения и не фиксироваться методом РФА. Предел обнаружения Ge методом РФА составляет 20 г/т, при среднем содержании Ge в золах каменных углей мира 18 г/т [17]. Аномально высокие содержания Ge в золе углей отмечены в трех месторождениях Эльбурсского угольного бассейна: Сангеруд, Гешлаг и Алашт. В месторождении Сангеруд в двух пробах золы из низкозольных углей установлены содержания 326 и 323 г/т. В месторождении Гешлаг также в двух пробах золы из низкозольных углей содержание Ge в составляет 254 и 219 г/т. Единичная проба из месторождения Алашт с зольностью угля 4,7 % содержит 155 г/т Ge в золе. Полученные данные не позволяют сделать объективные выводы о германиеносном потенциале углей Ирана, однако они позволяют сделать оптимистичный прогноз на выявление здесь германий-угольных месторождений.

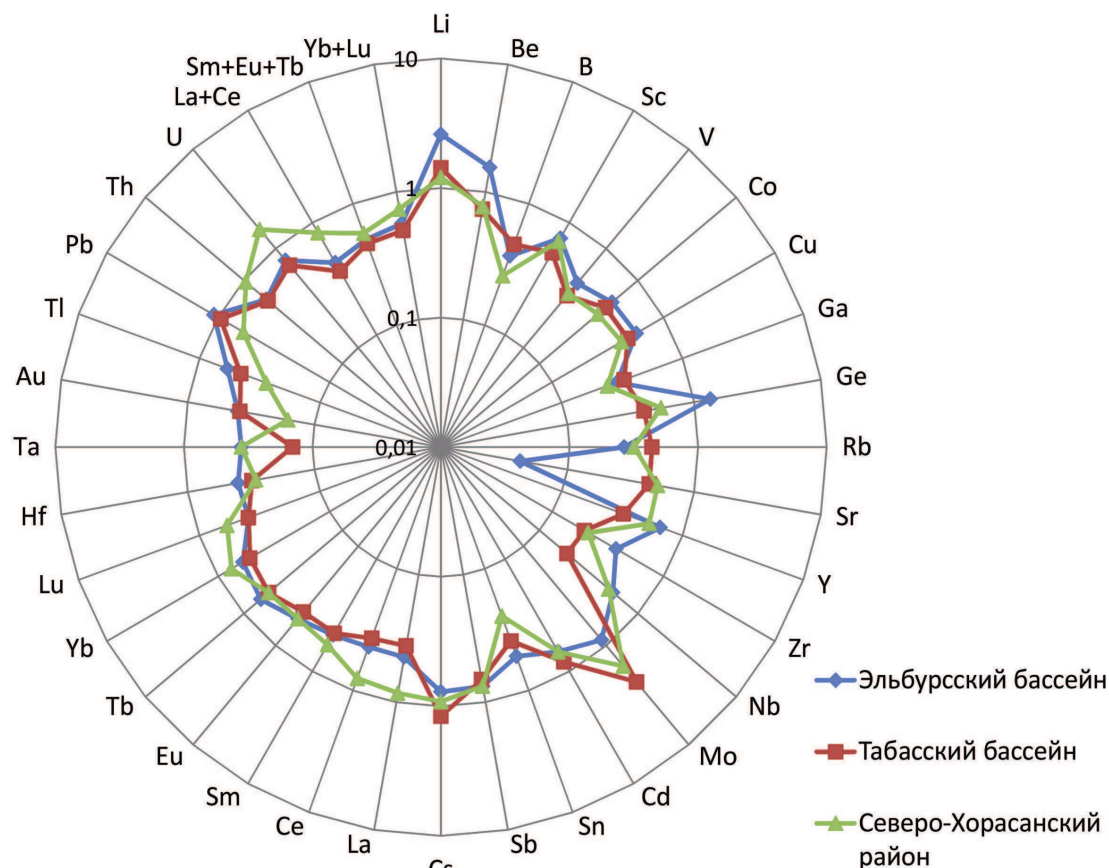


Рис. 4. Нормированные (к среднему в земной коре) кривые распределения элементов в углях Эльбурсского, Табасского угольных бассейнов и Северо-Хорасанского угленосного района

Таблица 2. Формулы геохимической специализации угольных месторождений, угленосных районов и бассейнов Ирана

Бассейн, район, месторождение	Ассоциация элементов
Эльбурсский угольный бассейн	
Абъек	9Se 3As 3Cs 2Be 2Pb
Алашт	7Se 5As 2Au 2Sb 2Nb 2Ti
Гешлаг	32Se 4Li 2Cs 2As
Джам	44Se
Сангеруд	4Sb 3Ge 3Cd 2Li 2Be 2Se
Тазаре	33Se 6Li 3Cs 2Be 2Pb 2Zn
Табасский угольный бассейн	
Бадаму	49As 16Se 10Mo 9Pb 4Be 4Sb 3Li 3Cs 3Zn 2Sc 2Co 2Mn 2Y 2Gd 2Tb 2Dy 2Er 2Bi
Джафаран	38Se 4As 4Cs 3Yb
Калишур	196Se 3As 2Cs
Мазино	38Au 26Se 7Li 3B 2Cs 2Pb
Нейбанд	72Se 10As 4U 3Cs 3Tb 2Sm 2Zn 2Eu
Парваде	29Se 9As 6Mo 5Li
Пабдана	16Se 5As 4Cs 3U 3Mo
Хамкар	130As 7Se 5Pb 4Cs 4Sb 3Li 3Zn 3Mo 2Co
Хашуни	7Sr 7Se 3As 3Cs 3Sb 2Li 2Be 2Zn 2Mo 2Ba 2Pb
Ходжедк	20Se 14Au 14As 2Cs
Северо-Хорасанский угленосный район	
Агдарбанд	255Au 17Se 4As 2Li
Гольбану	25Au 21Se 14As 8Sb 4Zn 3Cs 2Tb 2Eu
Чешмеголь	25Se 10W 8U 5Th 4 La 4Ce 4Cs 3As 2Sm 2Yb 2Nd 2Tb 2Ta 2Be
Мерагинский угленосный район	
Хормазард	12 Sr 5Eu 4Sm 3U 3La 3Nd 2Ce 2Zn
Кали-Кузлу	26Se 4Co 2Zn
Гаредагло	4Cs 2U
Сахле	21Se 2Ba 2Sb

Золото. Среднее содержание золота в углях Ирана составляет 2,4 мг/т, при кларке для каменных углей мира 4,4 мг/т [17]. Аномальные концентрации Au в углях отмечаются в Табасском и Эльбурсском угольных бассейнах, а также в Северо-Хорасанском угленосном районе. Они установлены в пробах угля из месторождения Мазино (241 мг/т), Тазаре (122 мг/т), Ходжедк (87 мг/т). Наиболее высокие концентрации отмечаются в Северо-Хорасанском угленосном районе. В месторождении Гольбану в золе углей установлены аномалии с содержаниями золота 2 и 5 г/т, а в месторождении Агдарбанд в одной пробе содержание золота достигает 5,2 г/т. Природа этих аномалий не ясна, однако наиболее вероятным источником аномальных концентраций золота в углях района являются продукты размыва золоторудных месторождений, распространенных в непосредственной близости от угольных объектов [18].

Аномальная золотоносность углей из угольной шахты Шахруд (месторождение Тазаре Эльбурсского бассейна) была ранее отмечена Язди [5]. Приведенные автором данные уникальны для углей и в процессе настоящей работы не нашли подтверждения.

Ванадий. Среднее содержание V в углях составляет 44 г/т, при кларке для каменных углей 28 г/т. Угли Эльбурсского бассейна в большей степени обогащены V, в них среднее содержание достигает 88 г/т.

Обогащение углей Ирана V по сравнению с кларком для углей, вероятно, связано с широким распространением на территории Ирана вулканогенных образований основного состава, которые также можно рассматривать в качестве источника Sc в углях, содержания которого в углях Ирана также превышают среднемировые оценки. С магматизмом базитового состава связано накопление в углях прочих элементов-сидерофилов, в том числе элементов группы платины, однако в рамках настоящей работы содержание платиноидов не определялось.

Наиболее контрастные аномалии V в углях отмечаются в месторождении Абъек (195 г/т), Хашуни (144 г/т), Бадаму (144 г/т), Сангеруд (112 г/т).

Среднее содержание ванадия в золе углей Ирана составило 201 г/т. Кларк для золы каменных углей составляет 170 г/т [17]. Наиболее высокие средние содержания V золе углей отдельного месторождения отмечаются в месторождениях Алашт и Тазаре и составляют 371 и 307 г/т соответственно.

Медь. По результатам анализов ICP-MS среднее содержание Cu в углях Ирана составляет 18,8 г/т. При этом угли Эльбурсского угольного бассейна несколько обогащены Cu на фоне углей Табасского угольного бассейна и Северо-Хорасанского угленосного района, и среднее содержание в них составляет 22 г/т. Максимальные концентрации меди в углях зафиксированы в месторождении Сангеруд (75 г/т), Хашуни (68 г/т), Бадаму (61 г/т).

Среднее содержание в золе углей Ирана составляет 142 г/т при кларке для золы углей мира 110 г/т [17]. Наиболее высокие концентрации меди (до 0,15 %) отмечаются в месторождении Джам, содержание Cu в золе в среднем по месторождению составляет 628 г/т. Вероятно, повышенные концентрации Cu в углях отдельных месторождений связаны с широким распространением рудных месторождений Cu на территории Ирана, расположенных в непосредственной близости от угольных объектов. По мнению Я.Э. Юдовича [9], одним из условий накопления Cu в углях является наличие ореольных меденосных вод рудных месторождений. Так, вблизи от месторождения Джам локализируются два медных месторождения жильного типа: Чах-Месси и Чах-Ширин [18], оказавших свое влияние на геохимический спектр углей месторождения Джам. В целом угли Ирана обогащены Cu на фоне углей мира, однако даже самые обогащенные угли нельзя рассматривать в качестве возможного сырьевого источника Cu, поскольку концентрации в золах этих углей на порядок ниже бедных руд собственно медных месторождений.

Редкоземельные элементы (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu). Средние содержания этих элементов

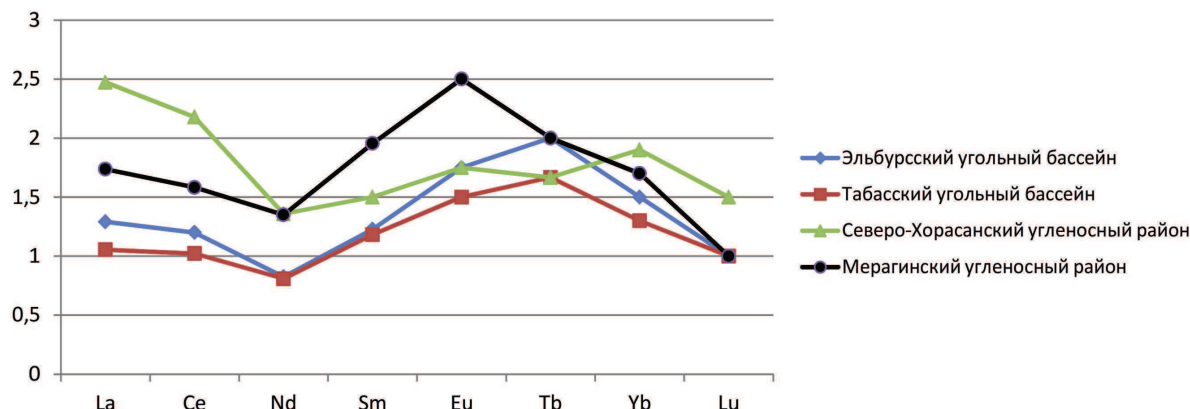


Рис. 5. Нормированные кларку для каменных углей [17]) распределения REE в углях различных бассейнов и угленосных районах Ирана

в углях Ирана близки к среднемировым значениям. Так, сумма этих редких земель в углях Ирана составляет 50,6 г/т при среднемировых значениях 50,1 г/т [17]. Наименьшие значения суммы REE в углях отмечаются в Табасском угольном бассейне, немногим выше значение суммы REE в углях Эльбурсского угольного бассейна (рис. 5). Угли Северо-Хорасанского и Мерагинского угленосных районов обогащены на фоне остальных углей.

Наиболее высокими уровнями накопления характеризуются угли месторождений Чешмеголь Северо-Хорасанского угленосного района на северо-востоке и Хормазард Мерагинского района на северо-западе страны. На месторождении Чешмеголь среднее содержание суммы REE в углях составляет 192,5 г/т, в золе углей — 848 г/т, а на месторождении Хормазард — 158,3 г/т в углях и 922 г/т в золе углей.

В золах углей Ирана нередко фиксируются аномальные концентрации таких элементов-примесей, как Zr (до 0,14 %), Hf (до 174 г/т), Ag (до 24 г/т), Ta (до 14,2 г/т), Co (до 722 г/т) и др. Так, максимальное содержание Zr, Hf и Nb зафиксировано в золе угля угольного месторождения Алашт и составляет 1357, 58 и 137 г/т соответственно. Максимальная концентрация серебра отмечена в пробе зола углей из месторождения Абъек и составляет 24,1 г/т, что в 240 раз больше, чем кларк для зола каменных углей [17]. Аномальные значения содержания Ta отмечаются в углях Эльбурсского бассейна. На месторождении Алашт в двух пробах содержание Ta составляет 14,2 и 7,6 г/т, а в месторождении Сангеруд — 8 и 7,6 г/т в золе угля.

Максимумы Co и Mo в золе угля отмечены на месторождении Хамкар Табасского бассейна и составляют 722 и 77 г/т соответственно. На месторождении Ходжек в золе углей содержание Pb достигает 0,3 %. Аномальное содержание Y отмечаются в золе углей месторождения Тазаре и составляет 257 г/т. Содержание Ga в золе углей месторождения Сангеруд достигает 229 г/т.

Выводы

1. Угли Ирана характеризуются смешанной халькофильно-сидерофильно-литофильной геохимической специализацией.
2. Угли Табасского бассейна геохимически специализированы на Au, Cs, Sc, Sb и REE. Для Эльбурсского угольного бассейна характерна геохимическая специализация на Sc, Sb, Ge и V. Геохимическая специализация углей Северо-Хорасанского угленосного района хорошо согласуется с особенностями геологического строения и металлогении района. Здесь отмечаются контрастные аномалии Au, Ta, Sc и REE. Широкое распространение магматических пород различного возраста и состава в области питания Мерагинского угленосного района оказало свое влияние на геохимический спектр углей. Здесь отмечаются угли, специализированные на Sc, Co, Sb, REE.
3. Наличие контрастных аномалий редких элементов в углях Ирана позволяет прогнозировать обнаружение здесь промышленно значимых концентрации и ресурсов таких элементов, как Ge, Sc, Se, As, Sb, Mo, Au, REE.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Геология и полезные ископаемые зарубежных стран. Вып. I. Минерально-сырьевая база Ирана (твердые полезные ископаемые) / под ред. В.П. Орлова. — М.-СПб.: ВНИИЗарубежгеологии, 1993. — 300 с.
2. Брагин Ю.Н., Голубев С.А., Полянский Б.Н. Палеогеография основных этапов накопления нижнемезозойских угленосных отложений в Иране // Литология и полезные ископаемые. — 1981. — № 1. — С. 69–81.
3. Брагин Ю.Н., Голубев С.А., Полянский Б.Н. Стратиграфия нижнемезозойской угленосной формации Ирана // Изв. АН СССР. Сер. геол. — 1981. — № 8. — С. 64–71.
4. Goodarzy F., Sanei H., Stasiuk L.D., Bagheri-Sadeghi H., Reyes J. A preliminary study of mineralogy and geochemistry of four coal samples from northern Iran // Int. J. Coal Geol. — 2006. — V. 65. — P. 35–50.
5. Yazdi M., Esmailnia S.A. Dual-energy gamma-ray technique for quantitative measurement of coal ash in the Shahroud mine, Iran // Int. J. Coal Geol. — 2003. — V. 55. — P. 151–155.
6. Yazdi M., Esmailnia S.A. Geochemical properties of coals in the Lushan coal field of Iran // Int. J. Coal Geol. — 2004. — V. 60. — P. 73–79.
7. Babazadeh V.M., Ardebili L.S., Navi P., Xasayev A.I., Kerimli U.I. Geochemistry of trace elements in Galandrud coals of Central Alborz, Iran // The Caspian Sea. International Journal. Natural resources. — 2010. — № 4. — P. 18–29.
8. Угольная база России. Том VI. Основные закономерности углеобразования и размещения угленосности на территории России. — М.: ООО «Геоинформмарк», 2004. — 779 с.
9. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Ценные элементы-примеси в углях. — Екатеринбург: УрО РАН, 2006. — 538 с.
10. Принципы и методика геохимических исследований при прогнозировании и поисках рудных месторождений / под ред. А.А. Смылова, В.А. Рудника, Н.М. Динкова, А.И. Понойтова. — Л.: Недра, 1979. — 247 с.
11. Григорьев Н.А. Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной земной коры // Геохимия. — 2003. — № 7. — С. 785–792.
12. Finkelman R.B. Trace and minor elements in coal // Organic geochemistry. Chapter 28 / Eds. M.H. Engel, S.A. Masco. — N.Y.: Plenum Press, 1993. — P. 593–607.
13. Sweine D.J. Trace elements in Australian bituminous coal and fly ashes // Colloq. Combustion of Pulverised Coal: The Effects of Mineral Matter. — Newcastle, NSW: Univ. Newcastle, 1979. — P. 14–18.
14. Dai Sh., Ren D., Chou Ch, Finkelman R.B., Seredin V.V., Zhou Y. Geochemistry of trace elements in Chinese coals: A review of abundances, genetic types, impacts on human health, and industrial utilization // Int. J. Coal Geol. — 2012. — V. 94. — P. 3–21.
15. Арбузов С.И., Ершов В.В. Геохимия редких элементов в углях Сибири. — Томск: Изд. Дом «Д-Принт», 2007. — 468 с.
16. Рыбалко В.И., Арбузов С.И. Прогнозно-геохимическая оценка металлоносности углей Ирана // Вестник науки Сибири. — 2011. — № 1 (1). — С. 19–22. URL: <http://sjs.tpu.ru/journal/article/view/18/83> (дата обращения: 20.10.2012).
17. Ketris M.P., Yudovich Ya.E. Estimations of Clarkes for Carbonaceous biolithes: World averages for trace element contents in black shales and coals // Int. J. Coal Geol. — 2009. — V. 78. — P. 135–148.
18. Веселов В.В., Перфильев Ю.С., Чальян М.А., Сафронов Д.С., Тареева С.К., Ионкина Т.В. Твердые полезные ископаемые Ирана // Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ. — М.: ВИЭМС, 1977. — 83 с.

Поступила 23.10.2012 г.