

**В. И. Рыбалко**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет,  
г. Томск  
rybalko14@yandex.ru*

**Редкие элементы в углях Эльбурского бассейна,  
Исламская Республика Иран  
(научный руководитель С. И. Арбузов)**

**Введение.** В последние десятилетия уголь активно изучается как источник попутных элементов, главным образом, благородных и редких металлов. Работы по изучению геохимии и металлоносности углей активно ведутся в различных странах (Китай, США, Россия и др.). По причине роста добычи и потребления угля в настоящее время возникла необходимость таких исследований в Исламской Республике Иран. Ранее изучение геохимии и металлоносности углей Ирана не проводилось.

**Методика исследований.** Для определения средних содержаний редких элементов в углях Эльбурского бассейна, изучения неоднородности распределения элементов в стратиграфическом разрезе и по латерали, определения источников поступления элементов-примесей в угольный пласт было проведено геохимическое опробование десяти угольных месторождений и отобрано 132 пробы углей и углевмещающих пород. Опробование выполнялось по сечениям вкрест простирания угольного пласта по направлению от кровли к почве. При изучении угольных пластов избирательно опробовались кровля и почва пласта, прослой неугольных пород, прикровельные и припочвенные части угольных пластов. Пробы углей отбирались в зависимости от мощности пласта методом сплошной борозды. Длина бороздовой пробы колебалась от 0.1 до 1.0 м, ширина борозды – 0.05 м. В отдельных сечениях выполнялась детализация разреза с интервалом отбора проб 2–10 см. При этом длина борозды определялась в соответствии с наличием прослоев неугольных пород, наличием зон повышенной трещиноватости и зон окисления, т.е. зон возможных геохимических барьеров.

Во всех пробах определялась зольность (аналитики С. Г. Маслов, В. С. Архипов). Методы количественного определения редких элементов в углях – ИНАА (ядерно-геохимическая лаборатория кафедры геоэкологии и геохимии НИТПУ, аналитики А. Ф. Судыко, Л. В. Богутская), ИСП-МС (центр коллективного пользования «Аналитический центр геохимии природных систем» НИТГУ, аналитик Ю. В. Аношкина) и РФА (лаборатория рентгеноспектральных методов анализа ИГМ СО РАН, г. Новосибирск, аналитик Н. Г. Карманова). Расчет среднего выполнен методом средневзвешенного [Ткачев, Юдович, 1975]. Средние содержания в угольных месторождениях рассчитаны как средневзвешенная величина по мощности пластов, в угольных пластах – по мощности интервалов опробования. Среднее содержание элементов-примесей в угольном бассейне рассчитывалось как среднее арифметическое по месторождениям (по причине отсутствия точных данных по запасам и ресурсам угля в отдельных месторождениях).

**Характеристика объектов.** Эльбурский угольный бассейн расположен в северной части Ирана (рис.). Бассейн охватывает площадь распространения угленосных отложений в пределах гор Эльбурса. Запасы и прогнозные ресурсы углей по состоянию на 1984 г. составляют 2.6 млрд тонн [Геология..., 1993]. Основная угленос-

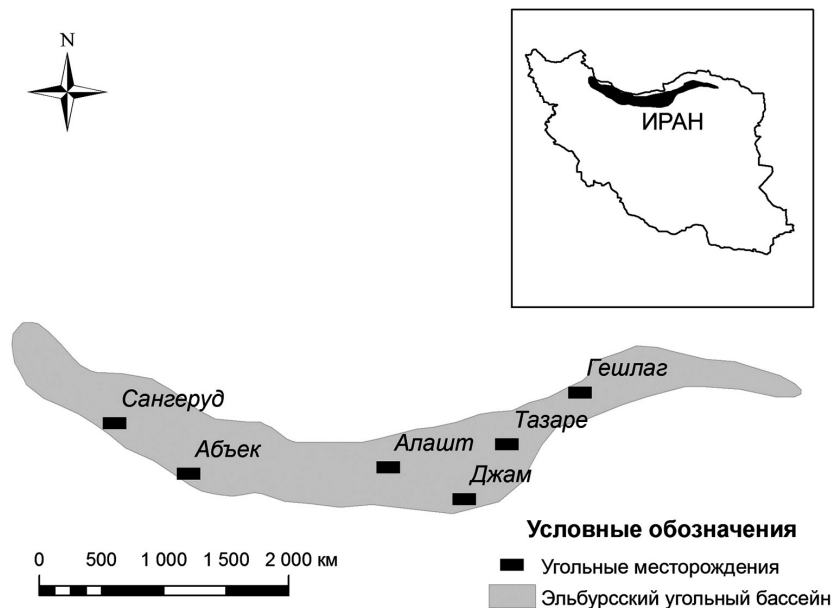


Рис. Схема расположения основных угольных месторождений на территории Эльбурского угольного бассейна.

носность связана с серией Шемшак поздне триасового-среднеюрского возраста. Угли – каменные, встречаются марки Г, ГЖ, КЖ, К. Угольные пласты маломощные, в среднем, 1–2 м. В ходе исследований были изучены месторождения и углепроявления Гешлаг, Тазаре, Джам, Абъек, Алашт, Сангеруд (см. рис.).

**Результаты исследований.** В углях Эльбурского угольного бассейна, наряду с рядовыми содержаниями редких элементов, отмечаются их аномальные концентрации, нередко превышающие «минимальные промышленно значимые содержания» по [Ценные..., 1996]. Среди изученных элементов промышленный интерес могут представлять Sc, Zr, Hf, Au, Ge и PЗЭ.

Среднее содержание скандия в углях Эльбурского бассейна составляет 10.9 г/т, в золе – 49.3 г/т и во вмещающих породах – 20.4 г/т при средней зольности 22.1 % (табл.). Среднее содержание Sc в каменных углях мира составляет 3.7 г/т, в золах углей – 24 г/т [Ketris, Yudovich, 2009], кларк для осадочных пород – 9.6 г/т [Григорьев, 2003]. Сопоставление этих данных свидетельствует о значительном обогащении скандием вмещающую угленосную формацию пород и углей Ирана. Наиболее вероятным источником повышенных концентраций скандия в углях Эльбурского бассейна являются палеозойские комплексы, среди которых значительная роль принадлежит вулканитам основного состава [Berberian, King, 1981]. По предварительным оценкам ресурсы Sc в углях месторождения Тазаре могут составлять 400 т. Оценка ресурсов производилась согласно [Инструкция..., 1987].

Содержания германия в углях определялись методом ИСП-МС и в золе углей – методом РФА. Данные методики предполагают нагревание проб до температур 500 и 960 °С, соответственно. В последнем случае значительная часть Ge может переходить в летучие соединения и не фиксироваться методом РФА. Единичные аномально высокие

Таблица

**Средние содержания отдельных редких элементов  
в углях Эльбурсского угольного бассейна**

Месторождение	Число проб	A <sup>d</sup> , %*	Содержание элемента, г/т												
			Sc	Ge	Zr	La	Ce	Nd	Sm	Eu	Tb	Yb	Lu	Hf	Au**
Гешлаг	37	26.4	11.0	0.9	62.4	20.4	38.8	14.8	3.2	0.8	0.6	1.7	0.2	2.1	0.4
Тазаре	38	21.8	13.8	1.4	66.2	18.6	34.0	11.4	3.2	0.8	0.6	1.6	0.3	2.2	7.7
Джам	21	19.6	10.5	–	–	8.4	17.8	6.5	2.6	0.9	0.9	1.5	0.2	0.8	0.4
Абъек	7	37.7	15.3	1.2	91.0	19.0	34.0	9.7	2.9	0.8	0.6	1.9	0.3	2.4	2.0
Алашт	11	18.9	9.2	3.4	60.4	13.4	26.6	10.5	2.4	0.4	0.4	1.4	0.2	2.4	3.7
Сангеруд	18	7.9	5.5	1.9	19.2	5.6	14.5	6.5	1.8	0.5	0.3	0.8	0.1	0.8	0.7
Среднее для бассейна	132	22.1	10.9	1.8	59.8	14.2	27.6	9.9	2.7	0.7	0.6	1.5	0.2	1.8	2.5
Среднее для углей мира [Ketris, Yudovich, 2009]			3.7	2.4	36.0	11.0	23.0	12	2.2	0.4	0.3	1.0	0.2	1.2	4.4

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

содержания Ge отмечены в пробах золы из низкозольных углей Сангеруд (326 и 323 г/т), Гешлаг (254 и 219 г/т), а также в пробах месторождения Алашт с зольностью угля 4.7 % (155 г/т). Т.к. концентрации Ge, зафиксированные этими методами, являются заниженными по отношению к реальным данным, выявленные аномальные значения содержания германия позволяют сделать вывод о перспективности отдельных угольных объектов на Ge.

*Цирконий и гафний* являются геохимическими аналогами. В углях и углевещающих породах Эльбурского бассейна отношение Zr/Hf изменяется от 33.2 до 54.4 (среднее – 39.2). В верхней части континентальной земной коры это отношение составляет 35.5, а в осадочных породах – 43.6 [Григорьев, 2003], в каменных углях мира – 30 [Ketris, Yudovich, 2009]. В целом, угли Эльбурского бассейна обогащены Zr и Hf по сравнению с кларком для каменных углей мира (см. табл.). В отдельных пробах отмечаются аномальные концентрации элементов, например, в золе в единичной пробе из месторождения Алашт содержание Zr достигает 0.14 %, в пробе из месторождения Тазаре – 0.11 %. Отдельно взятые пробы из этих месторождений характеризуются также аномальными содержаниями Hf в золе угля (Алашт – 58.4 г/т, Тазаре – 43.4 г/т). Источником Zr и Hf в углях Эльбурского бассейна могли являться субщелочные гранитоиды палеозойского возраста, распространенные в пределах бассейна. Особенность углей Ирана – формирование их в нестабильной тектонической обстановке, обусловившей образование маломощных пластов с высокой зольностью. Повышенное Zr/Hf отношение в углях Ирана свидетельствует о значительном вкладе терригенной составляющей в общий баланс этих элементов.

Среднее содержание суммы РЗЭ (La, Ce, Nd, Sm, Eu, Tb, Yb, Lu) в углях Эльбурского бассейна составляет 57.4 г/т, что несколько выше среднемировых данных для каменных углей (50.1 г/т) [Ketris, Yudovich, 2009]. Наиболее высокие концентрации суммы РЗЭ отмечаются в углях восточной части бассейна: в месторождениях Гешлаг и Тазаре (средние содержания – 80.5 г/т и 70.5 г/т, соответственно), что связано с высокой зольностью углей этих месторождений. Среднее содержание суммы РЗЭ в золе углей по месторождениям бассейна изменяется от 228 до 531 г/т (среднее – 324 г/т). Отчетливо проявлено обогащение золы углей юрского возраста суммой РЗЭ (396 г/т) по отношению к углям триасового возраста (271 г/т). Это может объясняться тем, что 1) более древние триасовые угли интенсивнее метаморфизованы по сравнению с юрскими и, соответственно, частично РЗЭ в процессе метаморфизма могли выноситься и 2) рост содержаний РЗЭ вверх по разрезу может быть связан с проявлениями магматизма и выпадением пирокластического материала.

Угли Эльбурского бассейна обеднены золотом на фоне среднего содержания для каменных углей мира (см. табл.). Аномальные концентрации золота в углях Эльбурского бассейна, достигающие 120 мг/т, отмечены в нескольких пробах из месторождения Тазаре. Наиболее вероятным источником аномальных содержаний Au в углях являются растворы, формирующиеся в процессе выветривания золоторудных месторождений и рудопроявлений, располагающихся в районе угольного месторождения [Веселов и др., 1977].

В золах углей Эльбурского бассейна отмечаются также аномальные концентрации Ag, Ta, Nb, Ga и др. Так, содержание серебра в золе углей месторождения Абьек составляет 24 г/т, максимальные содержания Ta и Nb – 14 г/т и 137 г/т. В золе углей месторождения Сангеруд содержание Ga достигает 229 г/т.

**Выводы.** Таким образом, в углях Эльбурского бассейна возможно обнаружение промышленно значимых концентраций Sc, Ge, Au и РЗЭ. На формирование

геохимического спектра углей бассейна оказывают влияние различные факторы. В большинстве случаев основную роль играет состав пород обрамления бассейна угленакопления. Возможно влияние синхронного вулканизма и эпигенетических процессов, таких как метаморфизм, гидротермальные процессы и т.д. Повышенные концентрации отдельных элементов могут формироваться в результате аквагенного поступления (например, золота). Полученные данные позволяют определить геохимическую специализацию областей сноса древнего бассейна угленакопления и прогнозировать оруденение в структурах обрамления. Дальнейшие исследования могут быть направлены на расширение спектра изучаемых элементов с применением специальных аналитических методов. Одной из задач дальнейших исследований является оценка ресурсов отдельных элементов-примесей.

### Литература

- Веселов В. В., Перфильев Ю. С., Чальян М. А. и др.* Твердые полезные ископаемые Ирана // Экономика минерального сырья и геологоразведочных работ. М.: ВИЭМС, 1977. 83 с.
- Геология и полезные ископаемые зарубежных стран. Вып. 1. Минерально-сырьевая база Ирана (твердые полезные ископаемые) / Под ред. В. П. Орлова. М.-СПб.: ВНИИзарубежгеология, 1993. 300 с.
- Григорьев Н. А.* Среднее содержание химических элементов в горных породах, слагающих верхнюю часть континентальной земной коры // Геохимия. 2003. № 7. С. 785–792.
- Инструкция по изучению и оценке попутных твердых полезных ископаемых и компонентов при разведке месторождений угля и горючих сланцев. М.: Наука, 1987. 136 с.
- Ткачев Ю. А., Юдович Я. Э.* Статистическая обработка геохимических данных. Методы и проблемы. Л.: Наука, 1975. 233 с.
- Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник / Под ред. В. Ф. Череповского, В. М. Рогового, В. Р. Клера. М.: Недра, 1996. 238 с.
- Berberian M., King G. C. P.* Towards a paleogeography and tectonic evolution of Iran // Canadian Journal of Earth Sciences. 1981. Vol. 18. P. 210–265.
- Ketris M. P., Yudovich Ya. E.* Estimations of clarkes for carbonaceous biolithes: world averages for trace element contents in black shales and coals // International Journal of Coal Geology. 2009. Vol. 78. P. 135–148.