

На правах рукописи

Рыбалко Владимир Игоревич

МЕТАЛЛОНОСНОСТЬ УГЛЕЙ ИРАНА

Специальность 25.00.11 — Геология, поиски и разведка твердых полезных ископаемых, минерагения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата геолого-минералогических наук

Томск – 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»

Научный руководитель: доктор геолого-минералогических наук,
Арбузов Сергей Иванович

Официальные оппоненты: **Поцелуев Анатолий Алексеевич**, д. г.-м.н., профессор, Томский политехнический университет, заведующий кафедрой общей геологии и землеустройства

Шалдыбин Михаил Викторович, к.г.-м.н., ОАО «ТомскНИПИнефть», заведующий сектором лаборатории седиментологии

Ведущая организация: Всероссийский научно-исследовательский геологический институт им. А.П. Карпинского (ВСЕГЕИ) (г. Санкт-Петербург)

Защита диссертации состоится: «11» декабря 2013 года в 14⁰⁰ часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.07 при ФГБОУ ВПО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет» по адресу: 634034, г. Томск, пр. Ленина, 2а, строение 5, 20 корпус, 504 аудитория.

С диссертацией можно ознакомиться в научно-технической библиотеке ФГБОУ ВПО Национального исследовательского Томского политехнического университета (634050, г. Томск, ул. Белинского, 55)

Автореферат разослан «8» ноября 2013 года

Ученый секретарь
диссертационного совета Д 212.269.07,
доктор геолого-минералогических наук,

Арбузов С.И.

Общая характеристика работы

Актуальность работы. Металлоносность углей – актуальная проблема, исследованиями которой занимаются ученые и специалисты различных стран мира (Арбузов и др., 2000, 2003, 2007, 2008; Вялов и др., 2010, 2012; Кизильштейн и др., 1995, 2002; Металлогения..., 1988; Середин, 1991, 2005, 2011; Сорокин и др., 2007, 2008, 2009, 2013; Шпирт и др., 1986, 1999; Юдович, Кетрис, 2002, 2006 и библиография; Dai et al., 2012; Eskenazy, 1992, 1999, 2009, 2013; Seredin, Dai, 2012; Ren et al., 2006; Seredin, Finkelman, 2008; Swaine, 1979 и др.).

Широкий интерес к металлоносным углям появился в начале «ядерной эры», когда возник высокий спрос на радиоактивное сырье. Были необходимы новые источники урана, среди которых не последнюю роль играли угольные месторождения. Впоследствии во второй половине XX века возрос спрос на германий, основным источником которого являлись германиеносные угли. В последние десятилетия работы по изучению металлоносности углей активизировались и в настоящее время ведутся в различных странах мира. Делаются успешные попытки извлечения золота, скандия, редкоземельных элементов из углей и золошлаковых отходов. Рост добычи и уровня потребления углей в Иране обусловил необходимость проведения исследований для изучения металлоносного потенциала и оценки экологической опасности углепродукции.

На территории Ирана выделены Табасский и Эльбурский угольный бассейн, а также несколько угленосных районов (рис. 1) (Геология..., 1993). Общие ресурсы углей в стране составляют около 36 млрд. тонн. Формирование угольных бассейнов и угленосных районов происходило в различных геодинамических обстановках. Отличительной особенностью углей Ирана по сравнению со многими другими регионами мира являются нестабильные тектонические условия формирования, в результате чего были образованы пласты малой мощности и, зачастую, с углями высокой зольности. В области питания угольных бассейнов преобладают породы андезит-базитового состава, в редких случаях отмечаются комплексы пород кислого состава и ультрабазиты, что позволяет прогнозировать накопление в углях широкого спектра элементов-примесей.

До настоящего момента металлоносность углей Ирана не изучалась. Эпизодические данные по геохимии и металлоносности углей приводятся в отдельных статьях в виде результатов анализов единичных проб из некоторых угольных месторождений Ирана (Goodarzy et al., 2006; Yazdi, Esmaeilnia, 2003, 2004; Babazadeh et al., 2010; Moore, Esmaeili, 2012; Ardebili et al., 2012).

Цель работы. Оценить металлоносность углей Ирана на комплекс ценных элементов-примесей на основе анализа уровней их накопления, закономерностей распределения и факторов, контролирующих поведение элементов-примесей в углеобразовательном процессе.

Задачи исследований:

- 1) Оценить содержания ценных элементов-примесей в угольных месторождениях Ирана
- 2) Выявить закономерности распределения ценных элементов в вертикальном разрезе и по латерали
- 3) Оценить роль различных факторов в накоплении элементов-примесей в углях и выявить факторы, ответственные за формирование металлоносных углей
- 4) Оценить влияние эпигенетических факторов на перераспределение и накопление ценных элементов-примесей в углях
- 5) Выявить угольные пласты и угольные месторождения с возможно промышленно значимыми концентрациями ценных элементов
- 6) Дать прогнозную оценку ресурсов ценных металлов в углях отдельных месторождений

Фактический материал и методы исследований.

В основе работы лежат данные геолого-геохимических исследований углей и углевмещающих пород Исламской Республики Иран, полученные в процессе полевых работ из практически всех доступных для опробования угольных месторождений и проявлений страны в период 2010-2011 гг. при непосредственном участии автора. В результате было опробовано 34 месторождения и углепроявления и отобрано 610 проб углей и вмещающих пород.

Для количественного определения элементов-примесей использовались современные аналитические методы. Анализы выполнены в ведущих аккредитованных лабораториях Национального исследовательского Томского политехнического университета, Национального исследовательского Томского государственного университета и института Геологии и минералогии СО РАН (г. Новосибирск). В качестве основного метода использован инструментальный нейтронно-активационный анализ (ИНАА), которым было изучено 1093 пробы угля, золы углей и углевмещающих пород (аналитик А.Ф. Судыко). Рентгено-флуоресцентным анализом (РФА) определялось содержание основных золообразующих оксидов (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , K_2O , Na_2O , MgO , SO_3 , TiO_2 , CaO , P_2O_5 , BaO , MnO) и некоторых редких элементов, всего 610 проб (аналитик Н.Г. Карманова). Масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (ICP MS) определялось содержание 47 элементов (аналитик Аношкина Ю.В.). Этим методом изучено 106 проб угля. Атомно-абсорбционным анализом с электрохимической атомизацией производилось определение Hg (165 проб) (аналитик Осипова Н.А.). С целью определения зольности и влажности угля было проведено лабораторное озоление проб (483 пробы) (аналитик С.Г. Маслов).

Защищаемые положения.

1. Для углей Исламской Республики Иран характерна комплексная геохимическая специализация. По сравнению со средними данными для углей мира они обогащены литофильными (Li, Sc, V, Mn, Br, Rb, Cs, Ba, Sm,

Eu, Tb, Yb, Th), халькофильными (Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb) и сидерофильными (Cr, Co, Ni, Mo) элементами. Отдельные угольные пласты и месторождения, характеризующиеся высокими, вплоть до промышленно значимых, содержаниями Sc, Au, Ge, V, Cu, Co и лантаноидов, могут рассматриваться в качестве сырьевого источника этих металлов.

2. В углях Ирана проявлена латеральная и вертикальная изменчивость распределения элементов-примесей, обусловленная особенностями формирования углей. Латеральная неоднородность проявлена в снижении содержаний элементов-примесей по мере удаления от области питания. Для разреза угленосной толщи характерен преимущественно рост концентраций снизу вверх. В колонке угольного пласта отмечается неравномерное распределение элементов-примесей с формированием припочвенных и прикровельных зон обогащения с преобладанием последних.

3. Уровни накопления и распределение элементов-примесей в углях Ирана контролируются рядом факторов: геодинамическим, петрофонда, фаціальными условиями, угольным метаморфизмом и гипергенным окислением углей. Определяющее значение для формирования металлоносных углей имеет фактор петрофонда.

Научная новизна.

Впервые на основе представительного геохимического материала дана оценка содержаний элементов-примесей в угольных месторождениях, бассейнах и угленосных районах Ирана. Оценено среднее содержание широкого спектра элементов-примесей в углях триас-юрского возраста, которое может быть принято за региональные кларки этих элементов.

Впервые оценена геохимическая специализация углей Ирана и сопоставлена со специализацией других регионов мира и угольным кларком.

На территории Ирана выявлены месторождения металлоносных углей с возможно промышленно значимыми содержаниями и ресурсами Ge, Sc, REE, Au и Cu.

Исследованы закономерности распределения и факторы концентрирования ценных элементов в углях, сформировавшихся в разных геотектонических обстановках: в орогенном Эльбурском и рифтогенном Табасском бассейнах, орогенных Северо-Хорасанском и Мерагинском угленосных районах. Установлено, что угольные месторождения, сформировавшиеся в условиях орогенных бассейнов более перспективны для формирования металлоносных углей (обогащены ценными элементами-примесями) по сравнению с месторождениями, сформировавшимися в условиях рифтогенного бассейна.

Изучены закономерности поведения элементов-примесей в процессе угольного метаморфизма. Показано, что при региональном метаморфизме углей от марки КЖ до антрацитов уменьшается содержание Sc, Zn, U, Sb и увеличивается концентрация Cr, Co, Rb, Cs, La, Ce, Yb, Au, Th.

Установлено, что при контактовом метаморфизме углей на контакте угля и интрузии отмечается зона выноса, которая обеднена большинством элементов-примесей за исключением отдельных золообразующих элементов

(Ca, Fe) и некоторых малых элементов (As, Sb, Mn). В интрузии за счет контактово-метасоматических процессов накапливаются элементы-примеси, характерные для углей, а в угольном пласте – характерные для интрузии.

Выявлено, что процессы окисления углей при отсутствии благоприятных геологических и гидрогеологических условий могут приводить к выносу урана, хотя, как правило, с гипергенным окислением связано накопление урана в углях.

Практическая значимость.

Определены региональные угольные кларки широкого спектра элементов-примесей, которые могут служить исходными данными при оценке углей на ценные и токсичные элементы.

Выявленные геохимические аномалии в углях являются признаком редкометалльной геохимической специализации структур обрамления угольных бассейнов и месторождений и могут указывать на редкометалльное оруденение в структурах обрамления.

В золах углей установлены промышленно значимые концентрации комплекса металлов, среди которых ведущее значение имеет скандий, а наряду с ним такие металлы, как золото, германий, редкоземельные элементы, ванадий, медь, кобальт. Установленные в процессе исследований месторождения с возможно промышленно значимыми концентрациями этих металлов уже сейчас могут рассматриваться в качестве их сырьевого источника. Оценены прогнозные ресурсы отдельных металлов в углях Ирана.

Материалы, полученные в процессе настоящих исследований, могут быть использованы при экологическом контроле качества углепродукции.

Апробация работы и публикации. Материалы по теме диссертации докладывались на Международных симпозиумах студентов и молодых ученых «Проблемы геологии и освоения недр» (Томск, 2011, 2012, 2013 гг.), Всероссийской конференции с международным участием «Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах» (Сыктывкар, 2012), XIX научной молодежной школе «Металлогения древних и современных океанов – 2013. Рудоносность осадочных и вулканогенных комплексов» (Миасс, 2013), IV Международной конференции «Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека» (Томск, 2013), Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых «Трофимуковские чтения – 2013» (Новосибирск, 2013), XII Международной конференции «Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр» (г. Занджан, Иран, 2013). Отдельные разделы работы использовались при выполнении международного контракта с ОАО «Зарубежгеология» по оценке металлоносности углей Ирана.

Автором опубликовано 13 работ, из них 3 статьи в журналах, включенных в перечень ВАК РФ.

Структура и объем работы.

Диссертация объемом 148 страниц состоит из введения, 7 глав, заключения и списка литературных источников в количестве 164 наименований. Работа содержит 50 рисунков и 29 таблиц.

Личный вклад автора.

Автор в составе группы российских геологов принимал непосредственное участие в изучении угольных месторождений Ирана, в отборе проб углей и углевмещающих пород, подготовке проб для аналитических исследований, в статистической обработке данных, интерпретации полученных результатов. Автором выполнены библиографические исследования по теме диссертации, в том числе была изучена фондовая литература на языке фарси с помощью переводчика.

Благодарности.

Автор выражает глубокую признательность научному руководителю профессору, доктору геолого-минералогических наук Сергею Ивановичу Арбузову за чуткое руководство и оказание различного рода помощи и поддержки в период полевых работ, сбора теоретического фактического материала и при написании диссертации. За ценные советы и рекомендации автор благодарен Волостнову А.В., Соболеву И.С., Волостнову В.Д. Автор выражает благодарность сотрудникам аналитических лабораторий Судыко А.Ф., Богутской Л.В., Кармановой Н.Г., Аношкиной Ю.В., Осиповой Н.А. за проведение большого объема аналитических исследований, Маслову С.Г., Архипову В.С. за проведение работ по озолению углей и определению зольности. За помощь в подготовке проб и проведении атомно-абсорбционного анализа автор благодарен Козыревой О.С., Кажумухановой М.З., Гуляеву Е.И., Вильгельму Е.А. Особую благодарность автор выражает ОАО «Зарубежгеология» за предоставление возможности принять участие в геологических работах в рамках международного договора, в ходе которых был собран материал для написания настоящей работы.

Автор выражает благодарность профессору, доктору геолого-минералогических наук Рихванову Л.П. за поддержку, ценные замечания и советы, данные в период обучения в магистратуре и аспирантуре, за высказывания и рекомендации по работе.

Автор признателен иранским коллегам за предоставление фондовой литературы и помощь в ее переводе, за возможность проведения опробования угольных месторождений.

Основное содержание работы

Во введении обоснована актуальность выбранной тематики, поставлены цели и задачи исследований, представлена научная новизна и практическая значимость работы, отражен личный вклад автора.

В первой главе «История изучения элементов-примесей в углях Ирана» представлен обзор работ, посвященных исследованиям элементов-примесей в углях Ирана.

Во второй главе «Основные черты геологического строения и металлогении Ирана» приведены данные по общим ресурсам углей Ирана, даны краткие сведения об условиях угленакопления и стратиграфии угленосных отложений на территории Ирана, описаны основные черты геологического строения угольных бассейнов и угленосных районов,

рассмотрены особенности металлогении пород областей питания бассейнов угленакопления.

В третьей главе «Методика исследований» дана общая характеристика методики опробования угольных месторождений, приведены список и схема расположения опробованных угольных объектов (рис. 1), представлены аналитические методы количественного определения элементов-примесей в углях, золах углей, углевмещающих породах, а также способы обработки и анализа результатов.

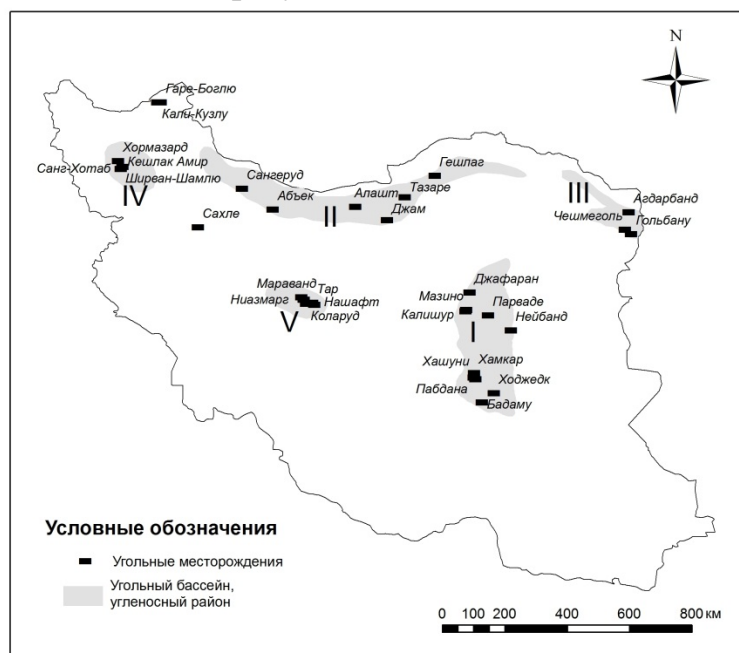


Рис. 1. Схема расположения изученных угольных месторождений на территории Ирана. I – Табасский угольный бассейн; II – Эльбурсский угольный бассейн; III – Северо-Хорасанский угленосный район; IV – Мерагинский угленосный район; V – Кашан-Исфаханский угленосный район

В четвертой главе «Элементы-примеси в углях Ирана» дана оценка содержания элементов-примесей в углях Ирана, а также в отдельных угольных бассейнах и угленосных районах, приведены данные по геохимической и металлогенической специализации углей Ирана, полученные данные сопоставлены с данными по углям других регионов мира.

В пятой главе «Основные закономерности распределения редких элементов в углях Ирана» охарактеризована латеральная и вертикальная изменчивость в распределении редких элементов в углях Ирана.

В шестой главе «Факторы, контролирующие накопление элементов-примесей в углях Ирана» рассматриваются основные факторы, отвечающие за формирование металлоносных углей в Иране.

В седьмой главе «Металлоносный потенциал углей Ирана» приводится информация об угольных месторождениях, обогащенных ценными металлами и перспективных для комплексного освоения.

В Заключении представлены основные результаты проведенных исследований.

Защищаемые положения

Первое защищаемое положение. Для углей Исламской Республики Иран характерна комплексная геохимическая специализация. По сравнению со средними данными для углей мира они обогащены литофильными (Li, Sc, V, Mn, Br, Rb, Cs, Ba, Sm, Eu, Tb, Yb, Th), халькофильными (Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb) и сидерофильными (Cr, Co, Ni, Mo) элементами. Отдельные угольные пласты и месторождения, характеризующиеся высокими, вплоть до промышленно значимых, содержаниями Sc, Au, Ge, V, Cu, Co и лантаноидов, могут рассматриваться в качестве сырьевого источника этих металлов.

Среднее содержание элементов-примесей в угольных пластах рассчитывалось как средневзвешенная величина по мощности интервалов опробования; в месторождениях – как средневзвешенное по мощности пластов, в бассейнах и угленосных районах – как среднее арифметическое 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.

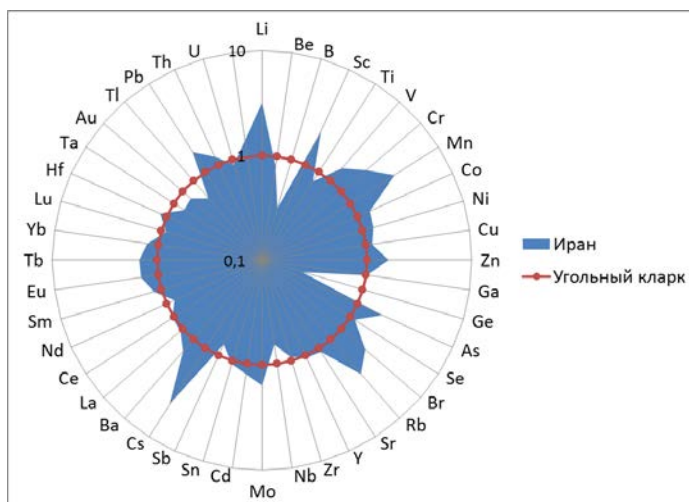


Рис. 2. Диаграмма средних содержаний элементов-примесей в углях Ирана, нормированных к угольному кларку (по Ketris, Yudovich, 2009)

Преобладающая часть геологических ресурсов угля в Иране сосредоточена в Табасском угольном бассейне. В связи с этим, полученные средние оценки содержания элементов-примесей в углях Ирана (рис. 2) близки к их содержаниям в углях Табасского бассейна.

Угли Исламской Республики Иран по сравнению с угольным кларком (Ketris, Yudovich, 2009) обогащены литофильными (Li, Sc, V, Mn, Br, Rb, Cs, Ba, Sm, Eu, Tb, Yb, Th), халькофильными (Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb) и сидерофильными (Cr, Co, Ni, Mo) элементами (рис. 2). В то же время они отличаются пониженными содержаниями Be, B, Ge, Zr, Hf, Nb, Ta, U, Au, Sb, Tl и легких лантаноидов (La, Ce, Nd).

По сравнению с зольным кларком (Ketris, Yudovich, 2009) золы углей Ирана в целом обогащены Li, Sc, Mn, Br, Rb, Cs, Zn, As, Pb Cr. Также они отличаются пониженными средними содержаниями Be, B, Ti, Co, Ni, Cu, Ga, Ge, Se, Sr, Y, Zr, Nb, Mo, Cd, Sn, Sb, REE, Ba, Hf, Nb, Ta, Au, Sb, Tl, Th, U.

В свою очередь отдельные угольные бассейны и угленосные районы отличаются между собой по уровням накопления и имеют свои особенности (табл. 1).

Таблица 1. Средние содержания элементов-примесей в углях Ирана, г/т

Элемент	Угольный бассейн, угленосный район				Иран в целом	Среднее для углей мира**
	Табасский	Эльбурский	Северо- Хорасанский	Мерагинский		
Li	42,3	77,2	36,2	–	44,7	14
Be	1,5	3,3	1,6	–	1,6	2
B	15,6	12,6	8,7	–	15,4	47
Sc	8,1	10,9	10,2	14,0	8,3	3,7
Ti	631	1581	1074	–	698	890
V	39,6	53,7	42,3	–	40,5	28
Cr	34,3	42,2	19,5	42,5	34,9	17
Mn	240	19,7	79,4	–	225	71
Co	8,0	6,3	6,7	10,7	8,1	6
Ni	21,5	23,7	27,0	–	21,7	17
Cu	18,2	21,9	16,4	–	18,4	16
Zn	45,8	32,7	52,5	55,2	45	28
Ga	6,2	5,3	4,6	–	6,1	6
Ge	0,5	1,9	0,7	–	0,6	2,4
As	17,4	4,3	8,2	11,7	16,4	9
Se	1,8	1,7	0,9	1,4	1,8	1,6
Br	8,1	61,9	9,8	53,6	12	6
Rb	48,3	29,4	34,9	32,0	49,3	18
Y	8,2	15,0	13,8	–	8,6	8,2
Zr	30,7	59,8	33,7	–	32,8	36
Nb	2,2	6,7	6,1	–	2,6	4
Mo	3,4	1,3	2,4	–	3,3	2,1
Sn	1,5	2,0	0,9	–	1,5	1,4
Sb	0,7	0,9	0,9	0,7	0,76	1
Cs	4,9	3,1	3,7	2,9	4,7	1,1
Ba	219	129	126	183	212	150
La	11,6	14,2	27,2	19,1	11,8	11
Ce	23,5	27,6	50,1	36,4	23,9	23
Nd	9,9	9,9	16,3	16,2	10,0	12
Sm	2,6	2,7	3,3	4,3	2,6	2,2
Eu	0,6	0,7	0,7	1,0	0,63	0,43
Tb	0,5	0,6	0,5	0,6	0,46	0,31
Yb	1,3	1,5	1,9	1,7	1,3	1
Lu	0,2	0,2	0,3	0,2	0,2	0,2
Hf	1,4	1,8	1,3	1,8	1,4	1,2
Ta	0,2	0,5	0,5	0,5	0,2	0,3
Au*	3,6	2,5	100	1,1	3,5	4,4
Tl	0,3	0,5	0,2	–	0,3	0,58
Pb	14,9	18,6	10,1	–	15,2	9
Th	5,3	5,5	8,9	4,4	5,3	3,2
U	1,7	1,9	3,9	2,5	1,7	1,9

Примечание: * – в мг/т; ** - по Ketris, Yudovich, 2009; – - нет данных

В связи с тем, что средняя зольность углей в отдельных угольных бассейнах и угленосных районах изменяется незначительно (22,1 % в Эльбурском бассейне, 24,1 % в Табасском бассейне, 25,6 % в Северо-

Хорасанском районе), распределение элементов-примесей по отдельным районам в углях и золах углей однотипно.

Для выявления металлоносных углей используется понятие геохимической специализации. По А.А. Смыслову (Принципы и методика..., 1979) выделяется геохимическая специализация первого и второго рода.

Специализация первого рода для углей Ирана оценивалась как отношение средних содержаний химических элементов в углях к кларку этих элементов для верхней части континентальной земной коры (Григорьев, 2003).

Сопоставление геохимической специализации углей из разных регионов мира (рис. 3) показывает, что все они имеют близкую геохимическую специализацию. Большинство углей мира специализировано на Be, B, Ge, Se, Br, Mo. Угли Ирана на фоне остальных углей отмечаются специализацией на Li, Rb, Cs, As, Cd, Pb.

Поскольку средние содержания элементов-примесей в углях Ирана близки к средним содержаниям в углях Табасского бассейна, целесообразно производить оценку геохимической специализации отдельно по бассейнам и угленосным районам. Для всех изученных угольных бассейнов и угленосных районов Ирана характерна однотипная специализация на Li, Rb, Cs, Se, As, Mo. Кроме того, угли Эльбурсского угольного бассейна специализированы на Be, Ge, Br, Pb, Табасского – на Pb, для углей Северо-Хорасанского бассейна характерна специализация на Au, U, Th, LREE.

Геохимическая специализация первого рода не всегда позволяет выявить металлоносные угли, поэтому целесообразно оценить геохимическую специализацию второго рода, которая устанавливается путем сравнения максимальных концентраций элементов в отдельно взятой пробе угля и кларков этих элементов в земной коре. Этот тип специализации в большей степени зависит от наличия источников, способных образовывать аномальные концентрации. Такими источниками могут являться продукты гидротермальной деятельности, ореольные воды рудных месторождений, попадающие в угольный пласт, пирокластический материал и т.д. В углях Ирана наиболее контрастные аномалии образуют Au, Se, Sb, As, Sr, W, Mo, Li.

Среди широкого спектра элементов-примесей в углях Ирана экономический интерес для промышленности могут представлять Sc, Ge, Au,

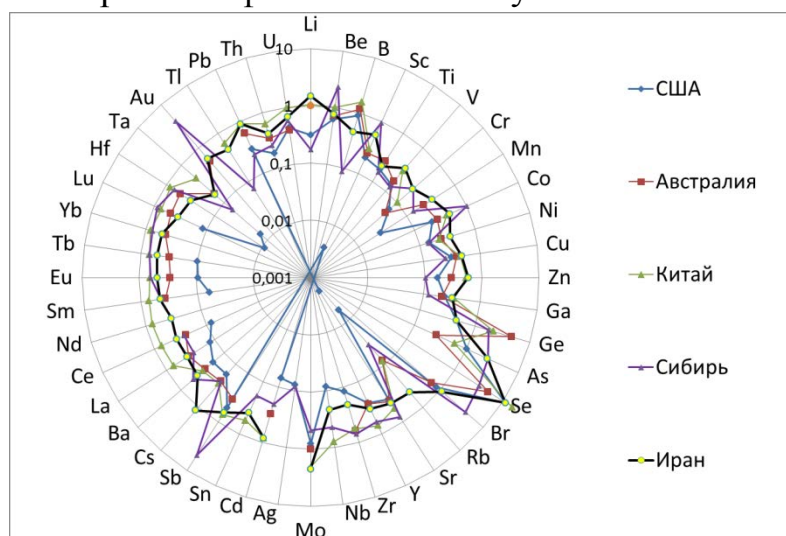


Рис. 3. Нормированные (к среднему в земной коре) кривые распределения элементов в углях США (Finkelman, 1993), Австралии (Sweine, 1979), Китая (Dai et al., 2012), Сибири (Арбузов, 2007) и Ирана

REE, что позволяет рассматривать уголь и продукты его переработки в качестве самостоятельного сырьевого источника некоторых металлов.

Одним из наиболее перспективных металлов для извлечения из углей Ирана является *скандий*. Содержания Sc в углях, определяющие минимальную возможную промышленную значимость, у различных авторов разные. Даже приняв наибольшее из предложенных значений равное 100 г/т в золе углей (Угольная база..., 2004), в ряде угольных месторождениях Ирана отмечаются пласты, пригодные для извлечения скандия. Наиболее перспективными являются пласты k₁₇ и p₁₀ месторождения Тазаре Эльбурсского угольного бассейна (табл. 2). В Эльбурсском угольном бассейне наряду с Тазаре перспективными на скандий могут являться месторождения Гешлаг, Сангеруд, Алашт. Обогащенные скандием угли отмечаются и в других бассейнах и угленосных районах Ирана. В Табасском бассейне единичные аномалии в золе отмечаются в месторождении Ходжедж (140 г/т), Хамкар (177 г/т), Мазино (141 г/т), Бадаму (112 г/т), Нейбанд (106 г/т). В Северо-Хорасанском угленосном районе скандием обогащены угли месторождения Гольбану (до 198 г/т в золе). Для углей Мерагинского угленосного района в целом характерно повышенное содержание Sc, в среднем для района составляющее 53 г/т в золе, а по отдельным месторождений достигающее 84 г/т.

Таблица 2. Содержание скандия в углях и золах углей различных пластов месторождения Тазаре

Угольный пласт	Зольность, %	Содержание Sc, г/т	
		уголь	зола
k ₅	4,4	3,3	75,0
k ₁₀	32,3	15,4	47,7
k ₁₂	37,5	17,8	47,5
k ₁₇	7,0	19,1	273
k ₂₅	41,1	18,9	46,0
p ₇	16,7	13,6	81,4
p ₁₀	4,9	5,6	114
Тазаре, среднее	21,8	13,8	63,3

Повышенные содержания *германия* установлены в золах углей месторождений Эльбурсского угольного бассейна. В месторождении Сангеруд в пробах золы углей установлены содержания, превышающие 320 г/т. В месторождении Гешлаг в двух пробах золы из низкозольных углей содержание Ge составляет 254 и 219 г/т. Единичная проба из месторождения Алашт с зольностью угля 4,7 % содержит 155 г/т Ge в золе. Те же пробы углей характеризуются содержаниями скандия более 100 г/т. Угли этих месторождений являются наименее метаморфизованными среди всех углей Ирана и относятся к маркам Г, ГЖ, КЖ.

Обнаруженные германий-скандиевые промышленно значимые концентрации позволяют сделать оптимистичный прогноз на выявление здесь комплексных редкометалльных руд в углях.

Аномальные содержания *золота* в процессе настоящих исследований были установлены в нескольких угольных объектах Ирана. Самые высокие концентрации золота были выявлены в золах углей Северо-Хорасанского угленосного района. В отдельных пробах золы угля концентрация золота достигает 5 г/т. Высокие содержания золота установлены в углях месторождения Тазаре Эльбурсского бассейна (до 122 мг/т), также в некоторых угольных месторождениях Табасского бассейна (Мазино, Ходжедж). Зачастую аномальные концентрации золота отмечаются в углях и золах углей обогащенных скандием, что позволяет сделать оптимистичный прогноз на использование зол углей отдельных месторождений в качестве кондиционных комплексных руд.

Аномальные концентрации *лантаноидов* выявлены в золах углей некоторых месторождений Ирана. Наиболее высокое локальное значение суммы редких земель (La, Ce, Sm, Nd, Eu, Tb, Yb, Lu) в золе углей составляет 0,16% и отмечено в месторождении Хормазард Мерагинского угленосного района. Высокими содержаниями характеризуются золы углей месторождений Гешлаг, Тазаре, Алашт Эльбурсского бассейна, Гольбану, Чешмеголь Северо-Хорасанского угленосного района и месторождения Хамкар Табасского бассейна. Угли перечисленных месторождений помимо лантаноидов обогащены Sc, в отдельных случаях Ge, Au (табл. 3). Помимо Sc, Ge, Au, REE в золах углей некоторых месторождений выявлены аномально высокие содержания Co, Cu, V, которые можно рассматривать в качестве перспективных на извлечение металлов в случае комплексного использования углей.

Для угольных месторождений, в которых отмечаются аномальные концентрации ценных металлов, нередко превышающие минимальные возможно промышленно-значимые содержания, был произведен подсчет ресурсов отдельных металлов по категории P₁ на основании «Инструкция ..., 1987» (табл. 3). Государственной экспертизе материалы не представлялись, поэтому приведены в авторской оценке.

Таблица 3. Ресурсы ценных элементов-примесей в отдельных угольных месторождениях Ирана

Угольное месторождение	Запасы угля, млн.т	Ресурсы, т					
		Sc	V	Ge	Co	Au	REE
Гольбану	50	395	775	28	360	3,65	2655
Алашт	365	3360	9706	1242	3248	1,28	22009
Сангеруд	8,0	44	156	15	66	0,03	276
Тазаре	116,7	1610	10387	163	1517	0,16	10083

Второе защищаемое положение. В углях Ирана проявлена латеральная и вертикальная изменчивость распределения элементов-примесей, обусловленная особенностями формирования углей. Латеральная неоднородность проявлена в снижении содержаний элементов-примесей по мере удаления от области питания. Для

вертикального разреза угленосной толщи характерен преимущественно рост концентраций снизу вверх. В колонке угольного пласта отмечается неравномерное распределение элементов-примесей с формированием припочвенных и прикровельных зон обогащения с преобладанием последних.

Содержания элементов-примесей в пределах отдельно взятых угольных пластов, месторождений, а также бассейнов и угленосных районов могут изменяться в широком диапазоне, нередко даже на порядок. Так, например, содержания Та в Северо-Хорасанском угленосном районе варьируют от 0,08 г/т в месторождении Гольбану до 1,13 г/т в месторождении Чешмеголь. Как правило, в пределах бассейнов и районов содержания элементов-примесей снижаются от периферических частей к центральным, т.е. по мере удаления от области сноса терригенного материала. Такую особенность можно отчетливо проследить на примере угольного пласта d_2 в Керманском районе Табасского угольного бассейна, где в месторождениях, расположенных по мере удаления от источника сноса в порядке Хамкар – Хашуни – Пабдана – Ходжедк, концентрации элементов-примесей отчетливо снижаются (рис. 5).

Наряду с латеральной изменчивостью в углях Ирана проявлена и вертикальная неоднородность в распределении элементов-примесей. Для вертикального профиля угленосной толщи в целом характерен преимущественно рост концентраций снизу вверх по разрезу. В пределах угольных бассейнов и месторождений распределение элементов-примесей в стратиграфическом разрезе более неравномерно и для разных элементов проявляется по-разному. В некоторых случаях это может быть монотонное или скачкообразное увеличение содержаний вверх по разрезу в отдельно взятом стратиграфическом горизонте или свите (свита Калариз месторождения Тазаре в Эльбурсском бассейне; угольный горизонт D в месторождениях Табасского бассейна).

В отдельных случаях может проявляться обеднение элементами-примесями углей нижней и верхней частей разреза и обогащение элементами-примесями внутренней части разреза (свита Калариз месторождения Гешлаг в Эльбурсском бассейне; угольный горизонт E в Табасском бассейне).

Распределение редких элементов-примесей в вертикальном профиле угольных пластов в Иране в целом однообразно. Углефильные элементы, такие как Ge, Sb, Sc, Co, образуют в углях зоны контактового обогащения, причем такие зоны преимущественно отмечаются в верхней приконтактной

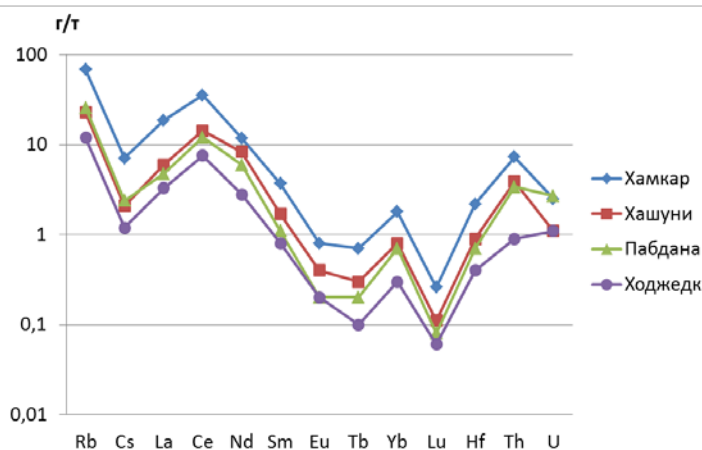


Рис. 4. Уровни накопления элементов-примесей в углях пласта d_2 в месторождениях Керманского угленосного района

части, т.е. на контакте с кровлей угольного пласта или породным прослоем в средней части угольного пласта (месторождение Бадаму). Припочвенные зоны обогащения угольных пластов малыми элементами отмечаются крайне редко.

В углях приконтактные зоны формируются на различных стадиях углеобразования, начиная с процессов торфонакопления и заканчивая процессами углефикации (Арбузов, 2007). Для углей исследуемого региона ключевой особенностью являются нестабильные тектонические условия углеобразования и, соответственно, высокие стадии метаморфизма, которые оказали влияние на распределение элементов-примесей в колонке угольного пласта.

Отсутствие в антрацитах припочвенной зоны и образование широко распространенных контрастных прикровельных зон обогащения можно объяснить механизмом, предложенным П.Ф. Иванкиным (Иванкин, Труфанов, 1987), согласно которому процессы углефикации органического вещества с образованием углей высоких стадий метаморфизма приводят к выносу металлов из нижней зоны и переотложению их в верхней части пласта.

Полученные результаты могут свидетельствовать о том, что высокие концентрации ценных металлов следует ожидать в периферических частях бассейна, а также в верхних частях вертикального разреза угленосных отложений.

Латеральная и вертикальная неоднородность в распределении элементов-примесей, как и уровни их накопления, определяются геолого-геохимическими условиями формирования угольных пластов и месторождений и обуславливаются различными факторами.

Третье защищаемое положение. Уровни накопления и распределение элементов-примесей в углях Ирана контролируются рядом факторов: геодинамическим, петрофонда, фациальными условиями, угольным метаморфизмом и гипергенным окислением углей. Определяющее значение для формирования металлоносных углей имеет фактор петрофонда.

Роль *геотектонического фактора* в формировании геохимического фона угольных бассейнов Ирана можно оценить, сравнив содержания элементов-примесей в бассейнах, сформировавшихся в различных геодинамических обстановках углеобразования. Сравнительный анализ средних содержаний элементов-примесей в углях бассейнов различных геодинамических типов показал, что угли бассейнов орогенного типа по сравнению с бассейнами рифтогенного типа характеризуются более высокими содержаниями таких элементов, как Be, Sc, Ti, V, Ni, Ge, Br, Y, Zr, Nb, Sb, La, Ce, Sm, Eu, Tb, Yb, Ta, Th, U и пониженными концентрациями B, Mn, Co, Ga, As, Se, Rb, Sr, Mo, Cs, Ba. Влияние тектонического фактора прослеживается и на особенностях углеобразовательных процессов. В результате нестабильных тектонических условий в Иране формируются преимущественно маломощные угольные пласты. Обогащение некоторыми

элементами-примесями приконтактных зон угольного пласта характерно для многих элементов. Поскольку мощность таких зон не зависит от мощности угольного пласта, маломощные пласты нередко обогащены элементами-примесями по сравнению с более мощными. Такие особенности установлены для германия (Ломашев, Лосев, 1962, Юдович, 1978; Hower, 2002; Yudovich, 2003), а также скандия (Арбузов, 2013).

Роль фактора петрофонда в формировании геохимического спектра углей самая непосредственная и, в основном, рассматривается в двух аспектах: связь геохимического спектра углей с металлогенией обрамления и зависимость уровней накопления элементов-примесей в углях от расстояния до области сноса терригенного материала.

В Эльбурском угольном бассейне отчетливо проявлена взаимосвязь металлогенической специализации области питания на халькофильно-сидерофильные металлы с геохимическими особенностями углей бассейна. В углях Эльбурского бассейна отмечаются аномально высокие, а в отдельных случаях минимальные возможно промышленно значимые содержания таких элементов как Sc, Co, Ni, Cu, Cr, Zn, Sb. Рудные месторождения золота, полиметаллов, меди, расположенные в пределах бассейна, оказали свое влияние на металлоносность углей (рис. 5).

Литофильная металлогеническая специализация пород в области питания Табасского бассейна нашла свое отражение в геохимическом спектре углей. В отдельных пробах углей установлены аномальные концентрации таких металлов, как Rb, Cs, Li, Ba, нередко превышающие угольный кларк на порядок. В целом для комплекса пород этого района отмечается полигенность и полихронность оруденения (Венков, 1983), что также отражается на типе специализации углей. В областях локализации месторождений полиметаллов в пределах бассейна угли обогащены такими элементами как Cu, Pb, Zn, As.

Источником терригенного материала для углей и углевмещающих пород Северо-Хорасанского района служил верхнепротерозойский комплекс пород с широким распространением различных магматических образований, для которого характерна смешанная халькофильно-литофильная металлогеническая специализация. В районе локализуются месторождения и рудопроявления золота, мышьяка, сурьмы, тория, бария. В районе угольных месторождений Чешмеголь и Гольбану локализуется массив ториеносных гранитоидов, с которым связано обогащение углей этих месторождений торием. С распространением рудных месторождений и проявлений золота связана аномальная золотоносность углей района. В отдельных пробах золы углей содержание Au достигает 5 г/т. Значительная роль петрофонда прослеживается в заметном снижении содержаний элементов-примесей по мере удаления от области питания угленосной впадины.

Под *фаціальным фактором* понимается зависимость содержаний элементов-примесей в углях от условий их образования еще на стадии торфонакопления. Угли Ирана преимущественно сформировались в условиях низинных болот и характеризуются высокой зольностью. Но в отдельных

районах на севере страны отмечаются низкочольные угли, для которых характерны низкие содержания элементов-примесей в углях и высокие содержания в золе углей. Примером таких углей служат отдельные пласты месторождений Сангеруд и Тазаре, которые перспективны на выявление в них редкометалльных концентраций.

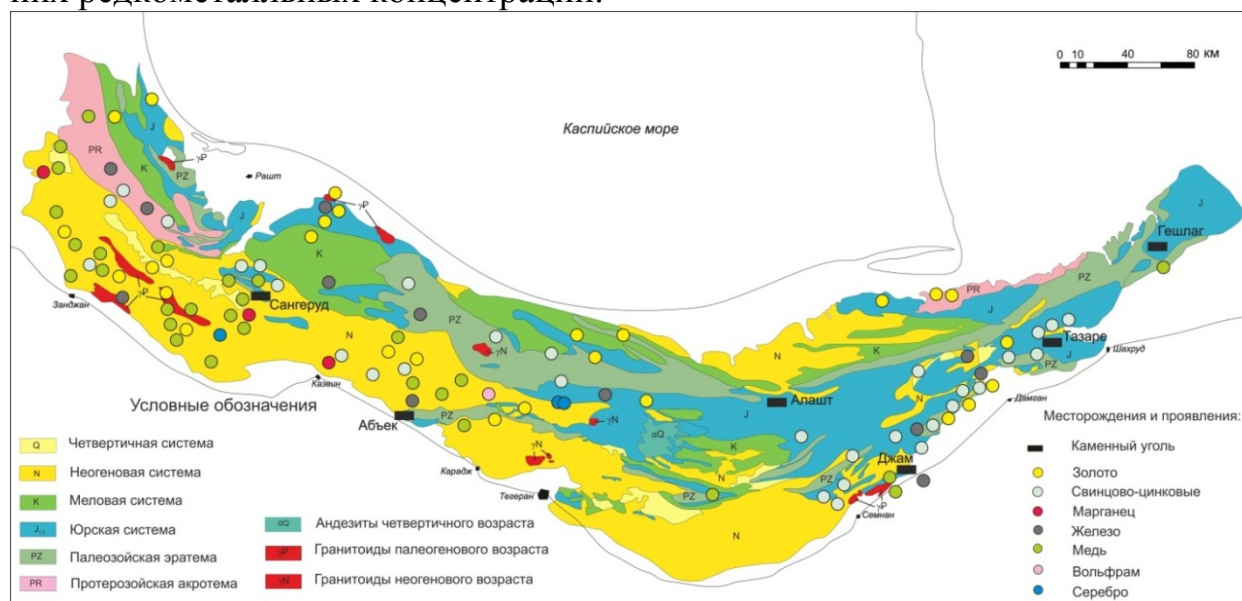


Рис. 5. Обзорная геологическая карта Эльбурсского бассейна (по данным V.Vabkov, 1970 с дополнениями)

Фактор угольного метаморфизма и его влияние на угли Ирана изучены на примере регионального угольного метаморфизма в Табасском бассейне и на примере контактового метаморфизма при внедрении интрузии в угли месторождения Сангеруд (Эльбурский бассейн).

Нестабильная тектоническая обстановка территории Ирана сказалась на мощности угленосных отложений и марочном составе углей. В связи с этим в Иране распространены угли марок ГЖ, КЖ, К, Т, А. Путем сопоставления содержаний элементов-примесей в углях марки КЖ-ГЖ в ряде угольных месторождений (Хамкар, Хашуни, Пабдана, Ходжедж) и содержаний элементов-примесей в месторождениях антрацитов (Джафаран, Бадаму, Мазино) было установлено, что региональный метаморфизм приводит к увеличению содержания большинства элементов-примесей в углях Ирана. Вероятно, это связано с потерей органической массы в процессе угольного метаморфизма и возрастанием зольности. При сравнении содержаний элементов-примесей в золе угля для многих из них наблюдается снижение концентраций при увеличении степени углефикации. Отмечено относительное увеличение доли некоторых элементов-гидролизатов в угле, обусловленное более интенсивным выносом из угля при метаморфизме такого золообразующего элемента как Са и его спутников Ва и Sr, а также ряда микроэлементов (Sc, U, Zn, Sb).

Процессы контактового метаморфизма и их влияние на содержание элементов-примесей в углях были рассмотрено на примере угольного пласта месторождения Сангеруд, прорванного дайкой андезибазальтового состава.

Было отобрано несколько проб из тела интрузии, а также из измененных и неизмененных углей (рис. 6).

При внедрении дайки в угольный пласт происходит перераспределение элементов за счет встречных флюидопотоков от интрузивных тел, углей и вмещающих пород. При этом угли обогащаются типичными для интрузии элементами, а интрузивное тело обогащается элементами-примесями, характерными для углей. При внедрении в угольный пласт интрузивного тела на непосредственном контакте отмечается зона выноса, которая обеднена большинством элементов-примесей за исключением некоторых золообразующих элементов (Ca, Fe) и отдельных малых элементов (As, Sb, Mn) (рис. 7).

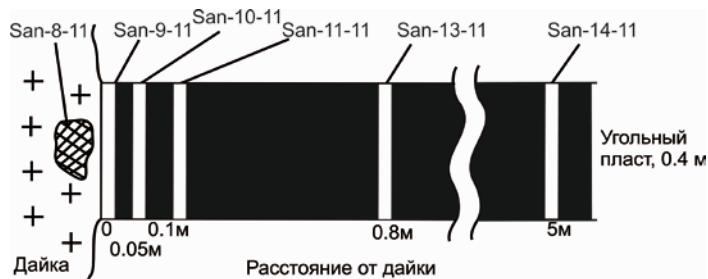


Рис. 6. Схема опробования месторождения Сангеруд на контакте с дайкой

Сопоставление данных по содержанию элементов-примесей в исследуемой дайке андезибазальтов со средними концентрациями элементов-примесей для пород подобного состава верхней части континентальной земной коры (Григорьев, 2003) показало, что исследуемая дайка обогащена всеми изученными элементами-примесями за исключением Mn.

Процессы гипергенного окисления углей изучены на примере угольных месторождений Агдарбанд, Ходжедж, Парваде путем сравнения содержаний элементов-примесей в окисленных и неокисленных углях в пределах одного угольного пласта. Процессы окисления приводят, прежде всего, к потере

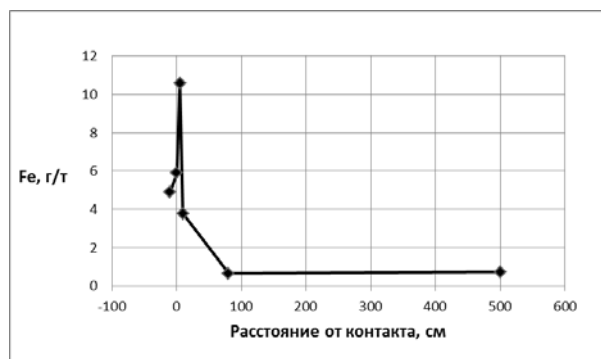


Рис. 7. Распределение Sc и Fe в угле вблизи контакта угольного пласта и дайки

органической массы, которая отчетливо сопровождается ростом зольности. Сопоставление содержаний элементов-примесей в окисленных и неокисленных углях показало, что процессы гипергенного окисления приводят как к накоплению, так и выносу элементов-примесей. Во всех изученных углях в процессе окисления происходит относительное накопление Ta и вынос Ca, Co, Br. Остальные элементы-примеси в различных угольных месторождениях ведут себя по-разному. Необычно поведение U в исследуемых углях в процессе окисления. В месторождениях Агдарбанд и Парваде происходит вынос U из окисленных углей, а в

месторождении Ходжедк процессы окисления не приводят к существенному изменению содержаний. Широко известен тот факт, что с процессами окисления связано формирование высоких концентраций урана и образование месторождений уран-угольного типа (Вайн, 1955; Кисляков, Щеточкин, 1994). Для накопления урана необходимо наличие пород, которые могли быть источником урана, и гидрогеологических и гидрогеохимических условий, благоприятных для его транспортировки в угольный пласт. По-видимому, такие породы в районах изученных месторождений отсутствуют. При выносе элементов ключевая роль, вероятно, отводится атмосферным осадкам с низкой минерализацией, которые способны извлекать различные элементы-примеси из угля в процессе его окисления.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрение углей не только в качестве энергетического сырья, но и как источника ценных элементов-примесей может позволить существенно повысить рентабельность производства энергии, частично решить проблему утилизации золошлаковых отходов. Отходы добычи и переработки углей, представляющие экологическую опасность, нередко наряду с комплексом токсичных веществ могут содержать в себе и ценные элементы-примеси. Объектом комплексного освоения могут являться угли и отходы их переработки, которые характеризуются высокими содержаниями элементов-примесей, достигающими возможно промышленно значимых концентраций. Проведенные исследования показали, что такие угли имеются в Исламской Республике Иран.

На фоне средних содержаний в углях мира угли Ирана обогащены широким спектром элементов-примесей: литофильными (Li, Sc, V, Mn, Br, Rb, Cs, Ba, Sm, Eu, Tb, Yb, Th), халькофильными (Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb) и сидерофильными (Cr, Co, Ni, Mo) элементами. В то же время они отличаются пониженными содержаниями Be, B, Ge, Zr, Hf, Nb, Ta, U, Au, Sb, Tl и легких лантаноидов (La, Ce, Nd).

Распределение элементов-примесей в колонках угольных пластов, вертикальном угленосном разрезе и по латерали в пределах угольных бассейнов и месторождений Ирана неравномерно. Вариации содержаний весьма значительны и изменяются от нижекларковых до возможно промышленно значимых.

В процессе исследований было установлено, что в вертикальном разрезе угольных пластов элементы-примеси образуют приконтактные зоны обогащения (прикровельные и припочвенные), доля которых в пластах малой мощности достаточно высока, и, соответственно, для таких углей характерны повышенные концентрации элементов-примесей. Неоднородно распределение элементов-примесей и в разрезе угленосной толщи. В отдельных случаях установлено возрастание содержаний снизу вверх по разрезу (свита Калариз месторождения Тазаре в Эльбурсском бассейне; угольный горизонт D в месторождениях Табасского бассейна). Для некоторых угленосных толщ характерно обогащение центральной части

разреза по сравнению с верхней и нижней частями (свита Калариз месторождения Гешлаг в Эльбурсском бассейне; угольный горизонт Е в Табасском бассейне). Наряду с вертикальной неоднородностью в пределах отдельного бассейна или района содержания элементов-примесей в углях варьируют и по латерали. Латеральная изменчивость проявляется в снижении концентрации элементов-примесей от периферии угольных бассейнов к центру, т.е. по мере удаления от области питания.

Геохимический фон отдельных угольных бассейнов, угленосных районов и месторождений сформировался под влиянием различных факторов. Основным фактором, отвечающим за общий уровень накопления элементов-примесей в бассейнах, является геотектонический фактор. В Иране металлоносные угли чаще отмечаются в Эльбурсском бассейне и угленосных районах орогенного типа, по сравнению с Табасским бассейном, сформировавшимся в условиях рифтогенного осадконакопления. Одной из основных особенностей геологического развития территории Ирана являются нестабильные тектонические условия, оказавшие свое влияние на мощность угольных пластов, и, следовательно, на содержание элементов-примесей в углях.

Состав пород области питания играет ведущую роль в формировании геохимического фона угольных месторождений и отвечает за формирование металлоносных углей. Металлогенические особенности петрофона находят свое отражение в геохимической специализации углей. Для углей Ирана в процессе настоящих исследований была установлена комплексная специализация. При этом для углей Табасского бассейна характерна в большей степени литофильная специализация, для Эльбурсского бассейна – халькофильно-сидерофильная, а для углей Северо-Хорасанского угленосного района – литофильно-халькофильная.

Среди факторов, оказавших влияние на уровни накопления элементов-примесей в углях, важную роль играет также и фациальный фактор. Анализ показал, что угли, сформировавшиеся в условиях верхового болота, чаще перспективны на выявление в них редкометалльных концентраций.

Эпигенетические процессы в различных случаях приводят к выносу, накоплению и перераспределению элементов-примесей в углях. Региональный метаморфизм сопровождается потерей органической массы и относительным накоплением большинства элементов-примесей. Исключение составляют Sc, U, Zn, Sb, содержание которых в процессе метаморфизма отчетливо снижается от углей марки КЖ к антрацитам. При контактовом метаморфизме ведущими являются контактово-метасоматические процессы. В результате внедрения в угольный пласт интрузивного тела уголь обогащается элементами-примесями, характерными для интрузии, а магматическое тело – элементами-примесями, типичными для углей. На контакте угля и интрузии образуется зона выноса, обедненная элементами-примесями.

Процессы гипергенного окисления приводят как к выносу, так и к накоплению элементов-примесей. В отдельных месторождениях отмечается

вынос урана, однако, как правило, с гипергенным окислением связано накопление урана в углях.

Проведенные исследования позволяют сделать прогноз на обнаружение в угольных месторождениях Исламской республики Иран нескольких типов редкометалльных концентраций. Промышленно значимыми могут являться концентрации, в которых наряду с основным компонентом – скандием, выделяются такие металлы как золото, германий, ванадий, медь, кобальт, редкоземельные элементы. Такие угли с повышенными содержаниями комплекса ценных, в том числе редких, металлов отмечаются в различных районах Ирана. В Эльбурсском бассейне обогащенные ценными металлами угольные пласты выявлены в месторождениях Тазаре, Гешлаг, Алашт, Сангеруд. В Табасском бассейне – в месторождении Ходжеджк, в Северо-Хорасанском угленосном районе – Гольбану. Для этих месторождений произведен подсчет ресурсов ценных металлов.

Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод о том, что угли Ирана, сформировавшиеся в нестабильных тектонических условиях, характеризующиеся преимущественно малой мощностью угольных пластов и, часто, высокой степенью углефикации, содержат в себе ценные, в том числе редкие металлы, нередко достигающие промышленно значимых концентраций, и могут рассматриваться в качестве объектов комплексного освоения.

Список публикаций по теме диссертации

Статьи в рецензируемых журналах, рекомендуемых ВАК:

Рыбалко, В.И. Природа тонштейнов Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна / Арбузов С.И., Волостнов А.В., Ильенок С.С., Рыбалко В.И. // Известия Томского политехнического университета. – 2012. – Т. 321. – № 1. – С. 89–97.

Рыбалко, В.И. Металлоносность углей Ирана / Рыбалко В.И. Арбузов С.И., Волостнов А.В // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 322. – № 1. – С. 83–90.

Рыбалко, В.И. Угольный метаморфизм и его влияние на распределение элементов-примесей (на примере углей Ирана) / Рыбалко В.И. // Известия Томского политехнического университета. – 2013. – Т. 323. – № 1. – С. 72–77.

Публикации в российских рецензируемых изданиях: Рыбалко, В.И. Прогнозно-геохимическая оценка металлоносности углей Ирана / Рыбалко В.И., Арбузов С.И. / Вестник науки Сибири. – №1. – 2011. – С. 19–22.

Рыбалко, В.И. О природе тонштейнов Азейского месторождения Иркутского угольного бассейна / Арбузов С.И., Ильенок С.С., Волостнов А.В., Рыбалко В.И. // Диагностика вулканогенных продуктов в осадочных толщах: Материалы Российского совещания с международным участием. Сыктывкар: ИГ Коми УрО РАН, 2012. – С.119–121.

Рыбалко, В.И. Влияние контактового преобразования угля под воздействием дайки андезитобазальтового состава на распределение элементов-примесей в месторождении «Сангеруд» / Рыбалко В.И. //

Проблемы геологии и освоения недр: Труды XVI Международного научного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых. Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – С.147–149.

Рыбалко, В.И. Токсичные элементы-примеси в углях Арктической части Сибири и Дальнего Востока / Рыбалко В.И. // Материалы I Всероссийской молодежной конференции «Россия в Арктике XXI век: среда обитания, общество, освоение». – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – С. 115–118.

Рыбалко, В.И. Геохимия скандия в углях Северной Азии (Сибирь, Российский Дальний Восток, Монголия, Казахстан) / Арбузов С.И., Машенькин В.С., Рыбалко В.И. // Материалы Всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – С.191–194.

Рыбалко, В.И. Распределение U, Th и REE в зоне влияния дайки андезибазальтового состава в углях месторождения Сангеруд / Рыбалко В.И. // Материалы Всероссийской конференции с участием иностранных ученых «Геологическая эволюция взаимодействия воды с горными породами». – Томск: Изд-во НТЛ, 2012. – С.271–274.

Рыбалко, В.И. Редкие элементы в углях Эльбурского бассейна, Исламская Республика Иран / Рыбалко В.И. // Металлогения древних и современных океанов–2013. Рудоносность осадочных и вулканогенных комплексов: материалы Девятнадцатой научной молодежной школы. – Миасс, 22–26 Апреля 2013. – Миасс: ИМин УрО РАН, 2013. – С. 269–273.

Рыбалко, В.И. Геохимия урана и тория в углях Табасского бассейна (Центральный Иран) / Рыбалко В.И., Арбузов С.И., Волостнов А.В. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Международной конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 465–469.

Рыбалко, В.И. Радиоактивные элементы (U, Th) в углях /Арбузов С.И., Волостнов А.В., Машенькин В.С., Рыбалко В.И. // Радиоактивность и радиоактивные элементы в среде обитания человека: Материалы IV Международной конференции. – Томск: Изд-во ТПУ, 2013. – С. 56–62.

Рыбалко, В.И. Скандий в углях Ирана / Рыбалко В.И. // Трофимуковские чтения – 2013: Материалы Всероссийской молодежной научной конференции с участием иностранных ученых. – Новосибирск, 2013. – С. 476–479.