

РЕДКОЗЕМЕЛЬНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ И УРАН В УГЛЯХ РАКОВСКОЙ ВПАДИНЫ, ЮЖНОЕ ПРИМОРЬЕ

И.Ю. Чекрыжов¹, В.В. Середин², С.И. Арбузов³

¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии РАН, Москва, Россия

³Томский политехнический университет, Томск, Россия

RARE-EARTH ELEMENTS AND URANIUM IN COALS OF RAKOVSKAYA DEPRESSION, SOUTHERN PRIMORYE

I.Yu. Chekryzhov¹, V.V. Seredin², S.I. Arbuziov³

¹Far East Geological Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

²Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry RAS, Moscow, Russia

³Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russia

Раковская угленосная впадина, расположенная вблизи г. Уссурийска представляет собой одну из нескольких десятков кайнозойских отрицательных структур Приморья, сформировавшихся в этап рифтогенного развития этого региона. Несмотря на относительно небольшие размеры (12X8 км), эта впадина вмещает значительные (220 млн т) ресурсы бурого угля. Наряду с твердым топливом в Раковской впадине обнаружены месторождения и рудопроявления урана, германия и редкоземельных элементов (РЗЭ), залегающие как в угольных пластах, так и вмещающих их слаболитифицированных кайнозойских отложениях, а также в кристаллических породах фундамента и обрамления впадины.

Изучение ураноносности Раковской впадины началось еще в конце 1950-х (А.К. Мигута, 1966) и затем было продолжено партией № 97 ПГО "Таежгеология" под руководством А.А. Коковкина в конце 1970-х – начале 1980-х гг., параллельно с детальной разведкой запасов угля (В.Е. Осыка и др., 1983). В результате этих работ во впадине была выявлена целая серия урановых рудных тел, которые в совокупности рассматриваются как Раковское месторождение урана. Краткие сведения об урановой минерализации появились в печати только в последние годы [2, 3]. Данные о германиеносных углях изложены в работах [1, 4]. Сжатая информация о РЗЭ-минерализации в углях этой впадины ранее приводилась в публикациях [5, 7].

Нами было изучено распределение РЗЭ и U в 16 пробах, отобранных в двух сечениях пласта III (мощность 3,5), на Раковском месторождении. Определение РЗЭ в золах углей и углевмещающих породах выполнено в Ядерно-геохимической лаборатории кафедры геоэкологии и геохимии Национального исследовательского Томского политехнического университета (ЯГЛ ТПУ) (исполнитель А.Ф. Судыко). Облучение проб нейтронами производилось на исследовательском ядерном реакторе ИРТ-Т научно-исследовательского института ядерной физики ТПУ. Для определения содержания использовался метод инструментального нейтронно-активационного анализа (ИНАА) из навески 100 мг для золы угля и углевмещающих пород. Результаты определения зольности и содержания семи РЗЭ и ряда других элементов-примесей приведены в таблице 1. Для девяти проб вы-

полнено параллельное определение полного комплекса РЗЭ в золе угля масс-спектрометрическим методом с индуктивно связанной плазмой (ICP MS) в Институте проблем технологии микроэлектроники и особо чистых материалов РАН, г. Черноголовка (исполнитель В.К. Карандашев)

Анализ полученных данных позволил сделать следующие выводы.

1. Концентрации РЗЭ почти во всех изученных пробах пласта III Раковского месторождения превышают их обычные содержания в подобных породах. Средние содержания РЗЭ в золах углей пласта III, рассчитанные с учетом неопределенных лантаноидов и иттрия, составляют: 0,14% (сечение 1) и 0,22% (сечение 2), что позволяет рассматривать отходы сжигания таких углей как потенциальное сырье для попутного получения этих ценных и дефицитных металлов. Кроме того, угли Раковского месторождения аномально обогащены ураном, средние содержания которого в золе угля составляют: 540 (сечение 1) и 62 г/т (сечение 2). Это очевидно связано с развитием урановой минерализации в подстилающих угольные пласты кайнозойских терригенных отложениях и породах палеозойского фундамента Раковской впадины [3].
2. Распределение РЗЭ в профиле изученных сечений металлоносного пласта Раковского месторождения неодинаково (рис. 1). В сечении 1 отмечается аномальное накопление тяжелых РЗЭ в прикровельной части пласта, в то время как для легких лантаноидов и урана это не характерно. Более того, для урана характерно обратное иттербиевое распределение с уменьшением содержания от подошвы к кровле пласта. Это может указывать на отсутствие связи между накоплением в углях радиоактивных и редкоземельных металлов. Такая закономерность была отмечена нами ранее на примере металлоносных углей Ванчинской впадины [6]. Вариации содержания РЗЭ-элементов в данном сечении не коррелируют с изменениями зольности опробованных интервалов. В сечении 2, напротив, наблюдается хорошая корреляция содержания с зольностью проб. Это может свидетельствовать о функционировании разных механизмов поступления этих металлов в угли Раковс-

Таблица 1. Содержание РЗЭ и других элементов-примесей в золах углей и вмещающих породах Раковского месторождения, г/т

№ Пробы	1										2						
	песчаник	949/1	949/2	949/3	949/4	949/5	949/6	949/7	949/8	949/9	949/10	алевролит	рп-505	рп-506	рп-507	рп-508	рп-509
Порода	уголь	уголь	уголь	уголь	уголь	уголь	уголь	уголь	уголь	уголь	алевролит	уголь	уголь	уголь	уголь	уголь	уголь
La	20,5	544,7	425,0	378,6	69,8	338,1	379,2	380,8	177,8	249,1	71,3	399,0	405,0	510,0	543,0	173,0	
Ce	37,1	609,7	230,6	497,0	94,3	501,5	529,7	525,8	301,9	412,3	135,6	745,0	756,0	886,0	912,0	328,0	
Nd	10,9	222,2	54,0	197,5	33,6	178,2	193,5	236,3	105,3	182,4	45,4	382,0	388,0	419,0	415,0	171,0	
Sm	2,4	45,0	12,0	40,0	6,5	34,6	30,0	35,1	26,4	41,5	9,3	92,3	93,8	95,0	91,0	42,0	
Eu	0,3	5,3	3,9	4,3	1,1	4,6	5,6	7,7	5,8	12,7	1,6	11,2	11,8	10,8	8,6	4,9	
Tb	0,3	14,9	6,3	12,0	1,9	9,6	12,4	14,1	9,2	21,5	1,3	12,3	11,2	12,9	10,6	7,7	
Yb	2,3	46,9	27,6	39,5	11,0	40,4	36,9	46,8	35,2	101,9	6,4	31,5	26,1	29,5	26,2	21,6	
Lu	0,2	4,6	<0,1	3,3	1,0	3,8	3,2	4,4	3,9	11,4	0,7	4,4	3,6	4,0	3,6	3,1	
Sc	4,2	31,7	23,6	40,4	12,4	50,8	32,9	33,9	15,5	49,1	13,8	32,6	28,0	34,5	32,4	32,2	
Cr	19,5	121,9	122,0	166,0	36,4	128,0	120,7	104,2	58,0	131,6	42,6	78,0	62,0	90,0	82,0	97,0	
Co	1,5	21,6	55,9	33,0	13,2	29,0	93,0	86,8	40,3	86,8	15,1	21,0	13,0	21,0	18,0	11,0	
Sr	108	1538	1388	629	<150	721	815	660	346	547	<150	500	300	350	500	350	
Cs	3,3	1,2	3,4	5,5	18,2	8,2	7,5	10,1	15,7	12,8	17,1	16,0	17,0	12,0	8,0	15,0	
Ba	267	4152	1699	2491	375	1825	2159	1993	831	1359	374,2	2000	1000	2000	2000	2000	
Hf	8,5	7,9	6,2	34,6	6,1	49,6	7,0	8,4	4,7	6,6	6,4	7,6	6,5	7,1	9,5	9,3	
Ta	6,5	3,9	<0,1	8,6	7,0	13,1	1,5	3,8	2,3	3,9	2,3	1,9	1,7	2,0	2,0	2,5	
Th	7,9	54,7	20,8	45,4	34,5	48,4	77,1	150,8	33,9	73,1	2,3	117,0	96,0	135,0	139,0	90,0	
U	10,9	697,0	2525,5	795,2	242,7	443,2	809,9	584,1	117,2	382,3	8,3	70,0	39,0	74,0	80,0	60,0	
A ^d , %	87,9	4,5	5,7	4,9	26,2	10,5	6,9	8,1	13,9	7,2	92,7	24,3	31,7	20,0	16,5	22,8	
Th/U	0,7	0,1	0,01	0,1	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,2	0,3	1,7	2,5	1,8	1,7	1,5	
La/Yb	8,9	11,6	15,4	9,6	6,3	8,4	10,3	8,1	5,1	2,4	11,1	12,7	15,5	17,3	20,7	8,0	

Примечание: A^d – зольность угля на сухую массу, %.

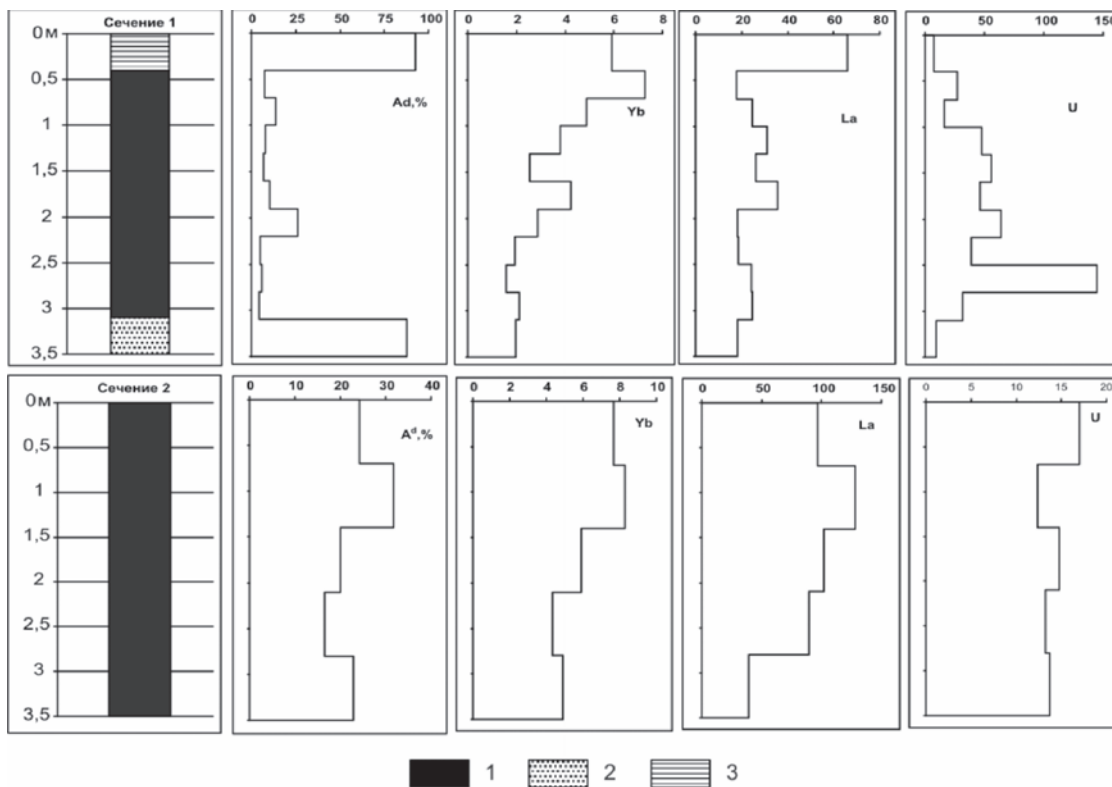


Рис 1. Распределение зольности и содержания La, Yb и U (г/т) в изученных сечениях Раковского месторождения: 1 – уголь, 2 – песчаник, 3 – алевролит

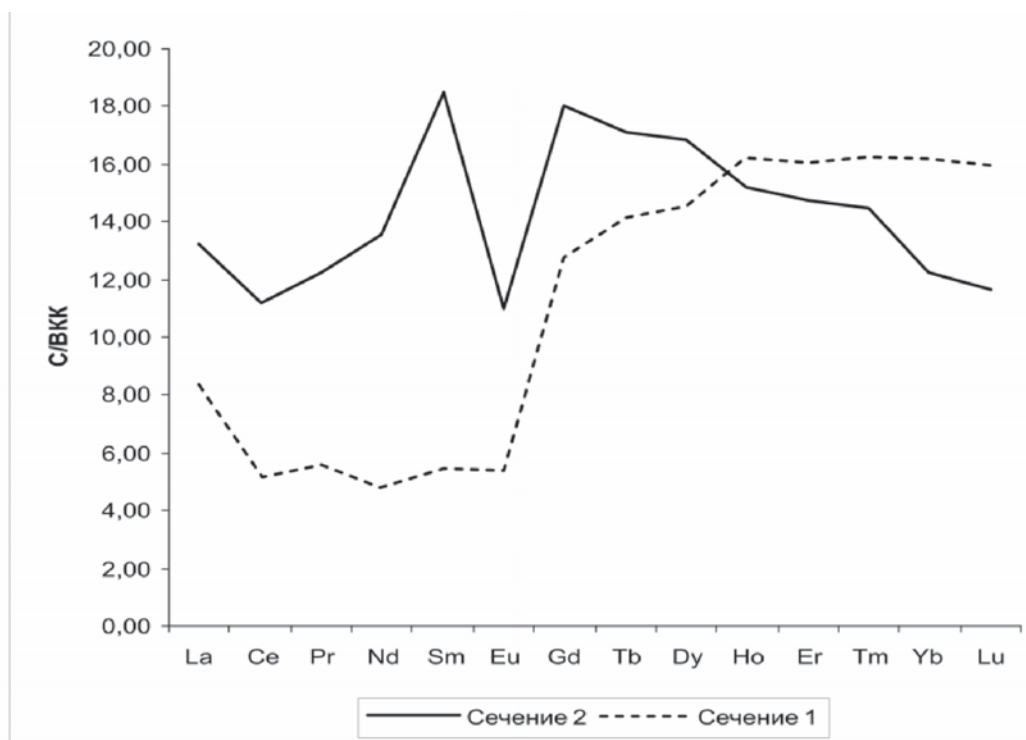


Рис. 2. РЗЭ-спектры зол углей Раковского месторождения. Нормировано на среднее содержание РЗЭ в верхней континентальной коре

кого месторождения: в растворенной форме с минерализованными водами – гидрогенный тип (сечение 1) и при твердофазном привносе с терригенной взвесью – терригенный тип (сечение 2). На разную природу накопления РЗЭ в изученных сечениях указывает и торий-урановое отношение. В первом сечении оно аномально низкое, типичное для гидрогенного или средне-низкотемпературного гидротермального оруденения, а во втором – высокое, нормальное для большинства терригенных осадочных пород. На терригенный характер накопления РЗЭ в углях сечения 2 указывают и другие факты; аномально высокое содержание тория и высокое лантан-иттербиевое отношение.

3. РЗЭ-спектры зол углей, отнесенных к разным типам по характеру привноса этих металлов, сильно отличаются (рис. 2). Золы углей из сечения 1 резко обогащены тяжелыми лантаноидами, в то время как золы углей сечения 2 характеризуются аномальным накоплением элементов середины лантаноидного ряда и глубоким европиевым минимумом. Последнее указывает на то, что источником РЗЭ, в случае сечения 2 являлись граниты, слагающие северный фланг и фундамент месторождения.
4. На Раковском месторождении установлены четыре угольных пласта рабочей мощности. Группа верхних пластов (III и IV) отрабатывается как энергетическое сырье. В связи с наличием в составе пласта III аномалий РЗЭ необходимо изучение вопроса по возможности промышленной утилизации золы угля, содержащей аномальные концентрации группы высоко-

коликвидных ценных металлов. На первом этапе необходимо проведение комплекса работ по изучению закономерностей распределения и оценке ресурсов ценных металлов в пластах III и IV.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке ДВО РАН (проект 15-1-2-070) и РФФИ (проект РФФИ-ГФЕН 16-55-53122).

Литература

1. Редкометалльно-угольные месторождения Приморья / В.И. Вялов, Е.В. Кузеванова, П.А. Нелюбов и др. // *Разведка и охрана недр*. – 2010. – № 12. – С. 53–57.
2. Горошко М.В., Малышев Ю.Ф., Кириллов В.Е. *Металлогения урана Дальнего Востока России*. – М.: Наука, 2006. – 372 с.
3. Коковкин А.А. *Эндогенные уран-полиэлементные рудообразующие системы в рифтогенных структурах юга Дальнего Востока России // Отечественная геология*. – 2006. – № 2. – С. 5–12.
4. Седых А.К. *Кайнозойские рифтогенные впадины Приморья*. – Владивосток: Дальнаука, 2008. – 248 с.
5. Середин В.В. *Металлоносность углей: условия формирования и перспективы освоения // Угольная база России*. – М.: Геоинформмарк, 2004. – Т. 4. – С. 453–519.
6. Середин В.В., Чекрыжов И.Ю. *Рудоносность Ванчинского грабена (Приморье) // Геология рудных месторождений*. – 2011. – Т. 53, № 3. – С. 230–249.
7. Seredin, V.V., Finkelman R.B. *Metaliferous coals: A review of the main genetic and geochemical types // Int. J. Coal Geol.* – 2008. – Vol. 76 (4). – P. 253–289.

РАДОН В ГАЗАХ НЕРОБИНСКОГО ИСТОЧНИКА УГЛЕКИСЛЫХ МИНЕРАЛЬНЫХ ВОД (ПРИМОРЬЕ)

Г.А. Челноков¹, И.В. Брагин¹, Харитонов Н.А.²

¹Дальневосточный геологический институт ДВО РАН, Владивосток, Россия, geowater@mail.ru

²Московский государственный университет им. Ломоносова, Ленинские горы 1, Москва, Россия, tchenat@mail.ru

RADON IN GASES OF THE NEROBINSKY SPRING OF MINERAL WATERS (PRIMORYE)

G.A. Chelnokov¹, I.V. Bragin¹, N.A. Kharitonova²

¹Far East Geological Institute, Far East Branch RAS, geowater@mail.ru

²Moscow State University, Moscow, Russia, tchenat@mail.ru

The results of measurement of subsoil radon and radon in associated gases of the Nerobinsky high pCO₂ mineral water spring have shown abnormally high concentration of Rn-222 and Th. The most probable source of radon is granite intrusion within the limits Nerobinsky spring is located.

Условия формирования углекислых минеральных вод Приморского края на протяжении многих лет привлекают большое внимание медицинских работников, гидрогеологов и геохимиков (Вартанян, 1977; Лучанинова, 1992; Челноков, 1997; Чудаева, 1999, Чудаев 2003, Харитонов 2012; Челноков, 2015 и др.), однако и в настоящее время до конца не изучены и оставляют исследователям много вопросов. Одним из таких “белых пятен”

остается радиоактивность подземных вод и газов. В настоящем исследовании приведены результаты измерения эксгаляций подпочвенного радона, а также радона в составе сопутствующих газов на источнике углекислых минеральных вод Неробинский, которые показали, что совместно с углекислым газом к поверхности поступает радон и торон в аномально высоких концентрациях.

Источник углекислых минеральных вод Неробинский