

нем 85 тыс. т в год, при этом стоимость его импорта от 19 до 32 млн долл. США или 1,3–2,1 млрд рублей в год [1].

При активизации работ по поиску, оценке и освоению баритовых месторождений гипергенного типа в стране может быть создана отсутствующая ныне сырьевая база высококачественного барита, позволяющая снизить зависимость от импорта.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ахманов, Г.Г. Состояние и перспективы развития минерально-сырьевой базы барита / Г.Г. Ахманов, И.П. Егорова, Т.А. Булаткина // Минеральные ресурсы России. — 2017. — № 6. — С. 4–14.
2. Ахманов, Г.Г. Баритовые месторождения выветривания — перспективный источник высококачественного сырья / Г.Г. Ахманов, И.П. Егорова, Т.А. Булаткина // Отечественная геология. — 2016. — № 2. — С. 23–31.
3. Ахманов, Г.Г. Элювиально-карстовые россыпи барита Хакасии / Г.Г. Ахманов, И.П. Егорова, Т.А. Булаткина, Н.Г. Васильев // Матер. Всероссийской научной конф.: Рудообразующие процессы: от генетических концепций к прогнозу и открытию новых рудных провинций и месторождений. — М.: ИГЕМ РАН, 2013. — С. 180.
4. Ахманов, Г.Г. Новый тип месторождений барита в Хакасии / Г.Г. Ахманов, Н.Г. Васильев, И.П. Егорова, Ф.Н. Ходаковский, Е.С. Единцев // Отечественная геология. — 2007. — № 3. — С. 65–70.
5. Геология и полезные ископаемые России. В шести томах. Т.1. Запад России и Урал. Кн. 2. Урал / Ред. О.А. Кондяйн. — СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2011. — С. 469–470.
6. Казаков, Р.С. Баритовые месторождения Башкирского мегантиклинория / Р.С. Казаков / Барит. — М.: Наука, 1986. — С. 157–164.

© Ахманов Г.Г., Егорова И.П., Булаткина Т.А., 2021

Ахманов Георгий Григорьевич // geoakhmanov@gmail.com  
Егорова Ирина Петровна // irna65@yandex.ru  
Булаткина Татьяна Анатольевна // bulatkina\_geol@mail.ru

УДК 553.3.041:553.94 (575.1)

Омонов Х.А. (АО «Узбекистон темир йуллари»)

#### ЦЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В УГЛЯХ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН

Приведен обзор металлоносности углей Республики Узбекистан. Угли региона характеризуются высоким редкометалльным потенциалом. Выявлены многочисленные различные по составу и природе редкометалльно-угольные месторождения и проявления. Экономическое значение имеют германиеносные и скандиеносные угли. В углях и золах углей, обогащенных германием и скандием, отмечаются аномальные концентрации золота. Это позволяет сделать прогноз на использование зол углей в качестве кондиционных комплексных руд. Угли характеризуются повышенными содержаниями РЗЭ по сравнению с угольным кларком. Изучены основные закономерности распределения и условия накопления РЗЭ в угольных месторождениях. **Ключевые слова:** уголь, редкие и редкоземельные элементы, закономерности распределения, условия накопления, формы нахождения, металлоносность, комплексные месторождения, Узбекистан.

Omonov Kh.A. (Uzbekistan temir yullari)

#### VALUABLE ELEMENTS IN COAL OF THE REPUBLIC OF UZBEKISTAN

*An overview of the metallicity of coals of the Republic of Uzbekistan is given. The coals of the region are characterized by high rare metal potential. Numerous rare metal-coal deposits and manifestations different in composition and nature have been identified. Germanic and scandinous coals are of economic importance. Potentially promising are germanium and scandium containing, gold-bearing and complex rare metal-coal deposits. Coals are characterized by increased REE content compared to carbon clark. The main regularities of distribution and conditions of REM accumulation in coal deposits have been studied. **Keywords:** coal, rare and rare-earth elements, patterns of distribution, storage conditions, forms of location, metallicity, complex deposits, Uzbekistan.*

**Введение.** Общемировая тенденция рационального использования природных ресурсов обусловила стремление к комплексному использованию не только руд, но и органического топлива. Помимо традиционных сырьевых источников лантаноидов в качестве потенциально перспективных рассматриваются и металлоносные угли. 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 в. возрос спрос на германий, основным источником которого являлись германиеносные угли.

Уголь все чаще изучается как источник получения большой группы благородных и редких металлов (Ge, Au, Sc, REE и др.). Основным источником германия на мировом рынке сырья по-прежнему остаются германиеносные угли, в которых помимо Ge аномально высокие содержания REE, Sb, W, Mo, Rb, Cs и других элементов-примесей [1].

Из литературных данных в настоящее время известно, что бурые и каменные угли отдельных месторождений мира содержат в повышенных и промышленных количествах благородные металлы — золото, серебро, платину и элементы платиновой группы — палладий, осмий, иридий; редкие элементы — германий, галлий, иттрий, иттербий, литий, бериллий, скандий, стронций, цирконий, ниобий, рубидий, индий, селен, лантан, торий, гафний [1–3, 6–8].

В настоящее время выполнена оценка содержания лантаноидов в углях США, Китая и ряде других стран, рассчитано среднее содержание всех индивидуальных редкоземельных элементов в углях мира [10]. На ряде месторождений проведены всесторонние геохимические исследования.

В углях сконцентрированы значительные ресурсы урана и других ценных металлов. Угольные месторождения Азии с начала XX в. рассматриваются как потенциальный источник благородных и редких ме-

таллов [4, 9]. Угли Азии характеризуются повышенными содержаниями РЗЭ по сравнению с угольным кларком. Изучены основные закономерности распределения и условия накопления РЗЭ в угольных месторождениях и бассейнах. Накопление РЗЭ в угольных пластах обусловлено особенностями состава области питания древнего бассейна торфонакопления, проявлением субсинхронного торфонакопления вулканизма, проявлением эпигенетических процессов и особенностями гидрогеохимии региона.

Формирование аномалий и комплексных редкометалльных руд обусловлено наличием среди пород фундамента и складчатого обрамления угленосных впадин, специализированных массивов горных пород, обогащенных РЗЭ, или проявлением субсинхронного угленакопления вулканизма щелочного или кислого состава.

Преобразование пеплов в условиях агрессивной среды торфяника приводит к выносу и переотложению РЗЭ вблизи тонштейнов с формированием в угольных пластах контрастных аномалий. В ряде случаев эти комплексные аномалии могут представлять промышленный интерес. Формы нахождения РЗЭ изменяются в процессе углефикации.

В бурых углях низкой степени углефикации преобладают органические формы нахождения РЗЭ, а в каменных углях и антрацитах — аутигенные минеральные формы.

Колоссальные ресурсы и огромные объемы потребления угля наряду с наличием в ряде угольных месторождений аномальных концентраций РЗЭ позволяют рассмотреть этот потенциальный сырьевой источник редких металлов более детально, требуют проведения масштабных поисковых работ с целью выявления металлоносных углей.

В Китае, России, Монголии, Казахстане и в Киргизии открыты месторождения угля с аномально высокими, а в ряде случаев и с промышленно значимыми содержаниями Ge, Sc, Au, REE, Nb, Ta, Mo и других ценных металлов. Природа этих аномалий различна. По предложенной В.В. Серединым классификации редкометалльных углей [12] выделяются четыре генетических типа: терригенный, туфовый, инфильтрационный и эксфильтрационный. Терригенный тип обусловлен поступлением металлов в торфяную залежь из поверхностных вод в ионной и коллоидной форме. Вулканогенный тип формируется за счет выпадения на поверхность палеоторфяника пеплового материала кислого или щелочного состава с последующим его захоронением. Пепел, обогащенный группой редких элементов, формирует аномалии соответствующего состава в углях. С ним связывают проявления Nb, Ta, REE, Zr, Hf и других литофильных металлов. Инфильтрационный тип связан с поступлением в палеоторфяник или угольный пласт вод зоны гипергенеза, обогащенных ценными элементами. Такой процесс весьма характерен для уран-угольных месторождений. Эксфильтрационный тип обусловлен поступлением и разгрузкой глубинных, в том числе термальных вод,

обогащенных ценными элементами, в торфяную залежь или угольный пласт. Этот тип рудообразования типичен для формирования богатых германий-угольных месторождений с сопутствующими REE, Au, Pt, Sb, As, Hg, W и другими элементами в зависимости от состава рудообразующих растворов.

Выявление угольных бассейнов, месторождений и отдельных пластов с промышленно значимыми и экологически опасными содержаниями элементов примесей — одна из главных задач угольной геохимии и минерации. По сути — это поисковая задача. В современных прогнозно-металлогенетических и поисковых геохимических исследованиях для оценки потенциальной рудоносности геологических блоков, структур и горных пород используется понятие геохимическая специализация.

Принято выделять геохимическую специализацию 1 и 2 рода [5]. Специализация первого рода оценивается по коэффициенту концентрации элемента в исследуемом геологическом блоке (горной породе) по отношению к кларку в земной коре. Ее цель — выявление геологических образований с повышенными уровнями накопления ценных элементов. Для оценки специализации второго рода используются параметры, характеризующие геохимическую неоднородность, т.е. те характеристики, которые свидетельствуют о способности металлов вовлекаться в последующее перераспределение и концентрирование.

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.

#### **Методика исследований**

Рост добычи и уровня потребления углей в Республике Узбекистан обусловил необходимость проведения исследований для изучения металлоносного потенциала и оценки экологической опасности углепродукции.

На территории Узбекистана выделены:

— **бурые угли:** Приаральский, Кызылкумский, Ташкент-Ангренский бассейн;

— **каменные угли:** Бухарский, Каршинский, Сурхандарьинский и Ферганский угольные бассейны (рис. 1).

Общие предварительные ресурсы углей в стране составляют более 3,8 млрд т. Формирование угольных бассейнов и угленосных районов республики происходило в различных геодинамических обстановках. Отличительной особенностью углей Узбекистана по сравнению со многими другими регионами мира являются нестабильные тектонические условия формирования, в результате чего были образованы пласты малой мощности и, зачастую, с углями средней зольности. В области питания угольных месторождений преобладают породы кислого состава, ультрабазиты и в редких случаях отмечаются комплексы пород андезит-базитового состава, что позволяет прогнозировать



накопление в углях широкого спектра элементов-примесей. До настоящего момента металлоносность углей Узбекистана не изучалась.

Эпизодические данные по геохимии и металлоносности углей приводятся в отдельных геологических отчетах в виде результатов анализов единичных проб из некоторых угольных месторождений республики.

Основой для написания статьи являются результаты количественного анализа редкоземельных элементов, проб, отобранных в различных угольных месторождениях республики. Опробование угольных пластов выполнялось бороздовым методом с дифференцированным отбором проб на угледобывающих предприятиях в разрезах и штольнях, а также естественных обнажениях. Длина интервала опробования выбиралась в зависимости от мощности и сложности строения пласта и изменялась в среднем от 0,30 до 4,0 м.

Для углей Узбекистана 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 средними и вплоть до промышленно значимых содержаниями Ge, Cu, Sc, Au, Ag, V, 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 отдельных месторождений). Среднее содержание элементов-примесей в углях в целом по республике рассчитывалось как средневзвешенное по ресурсам угля в бассейнах и угленосных районах. Преобладающая часть геологических ресурсов бурового угля страны сосредоточена в Ангренском угольном бассейне, а каменных углей — в Сурхандарьинском бассейне.

В связи с этим, полученные средние оценки содержания элементов-примесей в углях республики (рис. 2) близки к их содержаниям в углях Сурхандарьинского бассейна.

Угли Республики Узбекистан по сравнению с угольным кларком (no Ketris, Yudovich, 2009) обогащены литофильными (Li, Sc, V, Mn, Br, Rb, Cs, Ba, Sm,

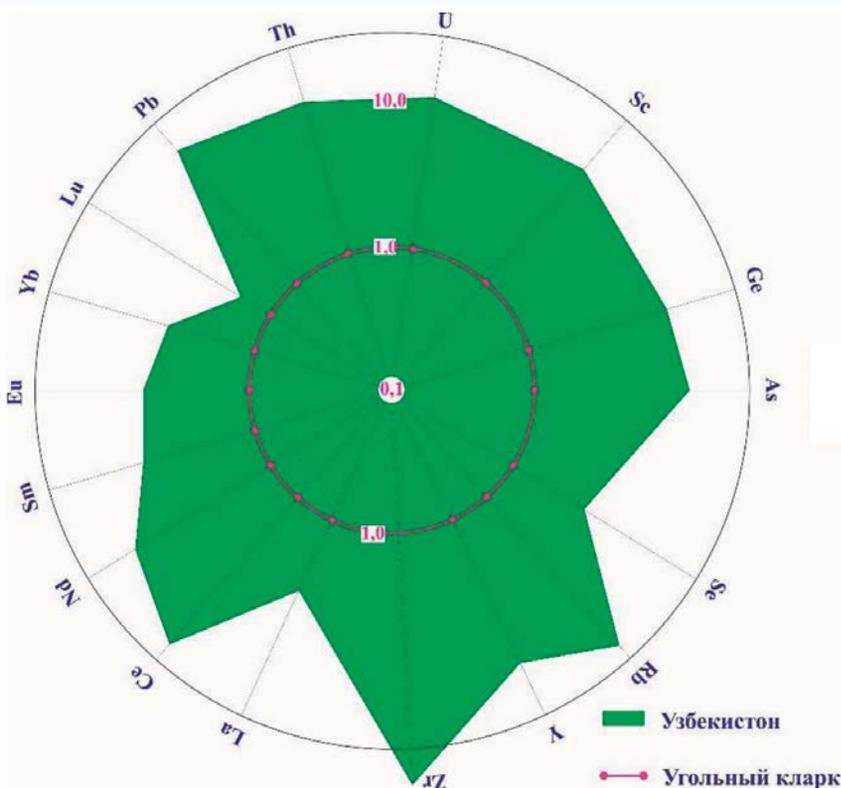


Рис. 2. Диаграмма средних содержаний элементов-примесей в углях Узбекистана, нормированных к угольному кларку (по Ketris, Yudovich, 2009)

Eu, Tb, Yb, Th), халькофильными (Cu, Zn, As, Se, Cd, Pb) и сидерофильными (Cr, Co, Ni, Mo) элементами (рис. 2). По сравнению с зольным кларком (no Ketris, Yudovich, 2009) зола углей Узбекистана в целом обогащена Sc, Ge, Rb, Zr, Ce, Pb.

В свою очередь отдельные угольные бассейны и угленосные районы отличаются между собой по уровням накопления и имеют свои особенности (табл. 1). 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, Br, Se, Mo. Угли Узбекистана на фоне остальных углей отмечаются специализацией на Sc, Ge, Rb, Zr, Ce, Pb.

Поскольку средние содержания элементов примесей в углях Узбекистана близки к средним содержаниям в углях Сурхандарьинского бассейна, целесообразно производить оценку геохимической специализации отдельно по бассейнам и угленосным районам. Для всех изученных угольных бассейнов и угленосных районов республики характерна однотипная специализация на Sc, Ge, Rb, Zr, Ce, Pb.

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

Таблица 1

Средние содержания элементов-примесей в углях Сурхандарьинского бассейна, (г/т) (по данным автора)

№	Элемент	Месторождения					Сурхандарьинский угольный бассейн в целом	Среднее для углей мира**
		Шаргунь	Бойсун	Кугитанг	Санжар	Хауз		
1	Sc Скандий	25,4	24,8	2,3	15,8	19,1	12,09	3,7
2	Ge Германий	21,0	8,9	5,2	10,6	15,8	10,0	2,4
3	As Мышьяк	42,8	14,4	12,7	19,3	32,6	20,58	9,0
4	Se Селен	6,7	12,7	17,4	2,0	4,9	3,12	1,6
5	Rb Рубидий	164,3	39,8	78,5	120,0	124,6	78,73	18,0
6	Y Иттрий	54,5	5,2	0,8	27,8	49,7	30,3	8,2
7	Zr Цирконий	367,9	17,3	15,1	164,3	294,0	183,79	36,0
8	La Лантан	69,9	26,2	17,2	15,0	6,5	10,24	11,0
9	Yb Иттербий	5,9	0,7	0,1	4,4	5,0	3,09	1,0
10	Lu Лютеций	0,6	0,1	0,3	0,2	0,4	0,52	0,2
11	Ce Церий	190,7	21,4	5,0	70,4	119,5	78,82	23,0
12	Nd Неодим	52,0	4,2	3,8	22,9	47,6	29,0	12,0
13	Sm Самарий	12,8	3,6	5,3	5,6	9,5	6,03	2,2
14	Eu Европий	3,2	0,4	0,1	1,2	2,6	5,42	0,4
15	Pb Свинец	61,1	3,7	3,1	41,4	39,4	49,91	9,0
16	Th Торий	32,0	26,0	17,1	23,7	27,2	52,12	3,2
17	U Уран	24,0	1,2	6,0	13,5	22,4	24,59	1,9

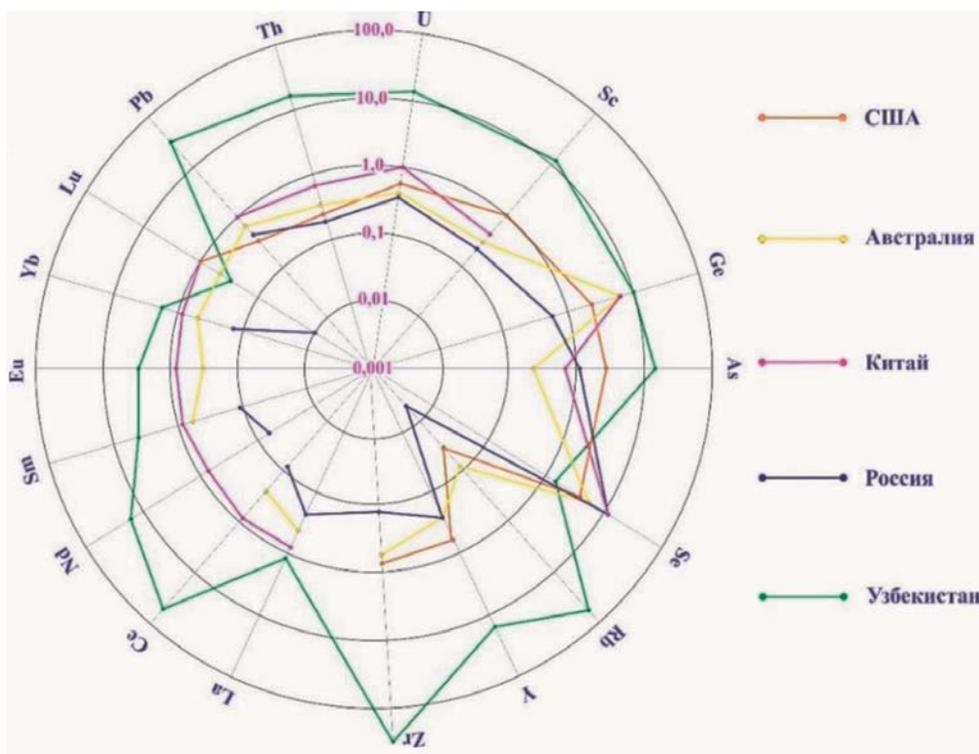


Рис. 3. Нормированные (к среднему в земной коре) кривые распределения элементов в углях США (Finkelman, 1993), Австралии (Sweine, 1979), Китая (Day et., 2012), России (Арбузов, 2007) и Узбекистана

большой 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 республики наиболее контрастные аномалии образуют Sc, Ge, Rb, Zr, Ce, Se, Pb. Среди широкого спектра элементов-примесей в углях республики экономический интерес для промышленности могут представлять Ge, Sc, 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 Узбекистана является германий и скандий. Содержания Ge и Sc в углях, определяющие минимальную возможную промышленную значимость, у различных авторов разные. В ряде угольных месторождений республики отмечаются пласты, пригодные для извлечения германия и скандия. Наиболее перспективными являются пласты месторождения Шаргунь, Бойсун, Кугитанг, Санжар, Хауз и другие Сурхандарьинского угольного бассейна (табл. 2).

Угли этих месторождений являются наименее метаморфизованными среди всех углей республики и относятся к маркам СС, ССКОМ, ОС, Т, К, ПА и А.

Обнаруженные германий-скандиевые промышленно значимые концентрации позволяют сделать оптимистичный прогноз на

Таблица 2

Содержание германия и скандия в углях и золах углей различных месторождений в Сурхандарьинском угольном бассейне (по данным автора)

Место-рождения	Марка угля	Зольность, %	Содержание, г/т			
			Ge		Sc	
			уголь	зола	уголь	зола
Шаргунь	СС, ССКОМ	28,0	16,5	21,0	14,2	25,4
Бойсун	Т	18,8	5,7	8,9	8,5	24,8
Кугитанг	ПА, А, Т	5,0	4,2	5,2	1,0	2,3
Санжар	Т	17,5	8,3	10,6	15,0	19,1
Хауз	Т, К	22,3	11,2	15,8	22,3	24,8
<b>Среднее</b>		<b>18,3</b>	<b>9,3</b>	<b>12,3</b>	<b>12,2</b>	<b>19,28</b>

выявление здесь комплексных редкометалльных руд в углях.

Зачастую аномальные концентрации золота отмечаются в углях и золах углей обогащенных германием и скандием, что позволяет сделать оптимистичный прогноз на использование зол углей отдельных месторождений в качестве кондиционных комплексных руд.

#### Выводы

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.

Распределение элементов-примесей в колонках угольных пластов, вертикальном угленосном разрезе и по латерали в пределах угольных бассейнов и месторождений Республики Узбекистан неравномерно. Вариации содержания весьма значительны и изменяются от ниже кларковых до возможно промышленно значимых.

Анализ проведенных исследований позволяет сделать вывод о том, что угли Республики Узбекистан, 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.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Крапивенцева, В.В. Металлоносность углей Приамурья / В.В. Крапивенцева // Тихоокеанская геология. — 2005. — Т. 24. — № 1. — С. 73–84.

2. Крапивенцева, В.В. Благородные металлы и редкие элементы в углях Хабаровского края / В.В. Крапивенцева // Материалы междунар. конф., г. Биробиджан. — 2005. — С. 185–189.

3. Кузьминых, В.М. Миграция и накопление золота при гипергенных процессах / В.М. Кузьминых, А.П. Сорокин // Вестник ДВО РАН — 2004. — № 2.

4. Кулибин, К.А. Драгоценные металлы в каменном угле / К.А. Кулибин // Золото и платина. — 1908. — № 24. — С. 510–511.

5. Принципы и методика геохимических исследований при прогнозировании и поисках рудных месторождений. (Методические рекомендации) / Под ред.

А.А. Смыслова, В.А. Рудника, Н.М. Динкова, А.И. Понайотова. — Л.: Недра, 1979. — 247 с..

6. Седых, А.К. Металлоносные угли Приморья / А.К. Седых // Проблема освоения георесурсов Российского Дальнего Востока и стран АТР: Материалы первой междунар. конф. — Владивосток, 2001.

7. Середин, В.В. Генетические типы благороднометалльного оруднения в угленосных впадинах / В.В. Середин // Материалы междунар. конф., г. Биробиджан, 2005. — С. 181–185.

8. Ценные и токсичные элементы в товарных углях России: Справочник. — М.: Недра, 1996.

9. Шахов, Ф.Н. К геохимии углей Кузнецкого бассейна / Ф.Н. Шахов, М.Э. Эффенди // Докл. АН СССР. — 1946. — Т. LI. — № 2. — С. 135–136.

10. Ketris, M.P. Estimations of Clarkes for carbonaceous biolithes: world average for trace element contents in black shales and coals / M.P. Ketris, Ya.E. Yudovich // International Journal of Coal Geology. — 2009. — V.78. — P. 135–148.

11. Seredin, V.V. Metalliferous coals: A review of the main genetic and geochemical types / V.V. Seredin, R.B. Finkelman // Int. J. of Coal Geol. — 2008. — V. 76. I. 4. — P. 253–289. doi: 10.1016/j.coal.2008.07.016

12. Seredin, V.V. Chekryzhov Coal deposits as promising sources of rare metals for alternative power and energy-efficient technologies / V.V. Seredin, S. Dai, Y. Sun, I. Yu // Applied Geochemistry. — 2013. — V. 31. — P. 1–11. doi: 10.1016/j.apgeochem.2013.01.009

© Омонов Х.А., 2021

Омонов Хайитбай Ахмадалиевич // omonov.1979@list.ru

УДК 553.98:550.84

Гресов А.И., Яцук А.В., Окулов А.К. (ТОИ ДВО РАН)

### ГАЗМАТЕРИНСКИЕ ИСТОЧНИКИ УГЛЕВОДОРОДНЫХ ГАЗОВ ДОННЫХ ОТЛОЖЕНИЙ ВНЕШНЕГО ШЕЛЬФА ВОСТОЧНО-СИБИРСКОГО МОРЯ И КОТЛОВИНЫ ПОДВОДНИКОВ СЕВЕРНОГО ЛЕДОВИТОГО ОКЕАНА

В настоящей работе представлены данные о составе, генезисе углеводородных газов и углеводородонасыщенности донных отложений внешнего шельфа Восточно-Сибирского моря и котловины Подводников Северного Ледовитого океана. В процессе исследований опреде-