

В настоящее время данная методика используется для оценки прогнозных ресурсов иных видов полезных ископаемых.

Работа выполнялась в рамках Госконтракта №11-ЭА от 25.07.2013 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 8736–93. Песок для строительных работ. Технические условия. — М.: Стандартинформ, 2006.
2. Каневский М.Ф., Демьянов В.В., Савельева Е.А. и др. Элементарное введение в диагностику // Проблемы окружающей среды и природных ресурсов. — 1999. — № 11 (Тр. ВИНТИ).
3. Методическое руководство по поискам, оценке и разведке месторождений твердых нерудных полезных ископаемых Республики Татарстан. Ч. 2: Методика поисков и оценки / Под ред. Ф.М. Хайретдинова, Р.М. Файзулина. — Казань: Изд-во КГУ, 2000.
4. Минерально-производственный комплекс строительных материалов Республики Марий Эл. — Казань: Изд-во КГУ, 1995.
5. Минерально-сырьевая база строительной индустрии Российской Федерации. Т. 29. Республика Марий Эл. — М.: Росгеолфонд, 1993.
6. Силкин К.Ю. Геоинформационная система Golden Software Surfer 8: Учеб.-метод. пособие для вузов. — Воронеж: Изд.-полиграф. центр ВГУ, 2008.

© Поклонов В.И., Семенов Ф.В., Иванов С.К., 2015

Поклонов Валерий Иванович // vpoklonov@gmail.com
Семенов Федор Владимирович // kuingi@rambler.ru
Иванов Сергей Константинович // mftfgi@gmail.com

УДК 551.263 + 553.41 + 54.02

Силаев В.И.¹, Цой В.Д.², Васильев Е.А.³, Котова О.Б.¹, Алимов Ш.П.², Симакова Ю.С.¹ (1 — ИГ Коми НЦ УрО РАН, 2 — НИИ минресурсов, Ташкент, 3 — Горный университет, Санкт-Петербург)

НОВЫЕ ДАННЫЕ О ЦЕНТРАЛЬНО-КЫЗЫЛКУМСКОЙ ГРУППЕ УГЛЕРОДИСТЫХ РУДНЫХ ФОРМАЦИЙ

*Рассмотрены результаты минералого-геохимических исследований углеродистых пород и руд Центрально-Кызылкумского района (Узбекистан). Определены фазовое состояние, степень карбонизации и изотопный состав металл-концентрирующего углеродистого вещества. Обсуждаются вопросы генезиса оруденения и роли углеродистого вещества в рудообразовании. **Ключевые слова:** Центральные Кызылкумы, углеродистые рудные формации, углеродистое вещество, изотопный состав углерода.*

Silaev V.I.¹, Choi V.D.², Vasilev E.A.³, Kotova O.B.¹, Alimov Sh.P.², Simakova Yu.S.¹ (1 — Institute of Geology, Komi scientific center UB RAS, 2 — Research institute of mineral resources, Tashkent, 3 — Mining University, St. Petersburg)

NEW DATA ON CENTRAL-KYZYLKUM GROUP CARBON-GRAINED ORE FORMATION MINERAL RESOURCES

*The results of mineralogical and geochemical studies of carboniferous rocks and ores from the Central Kyzylkum region (Uzbekistan) have been reviewed. The phase state, carbonization degree and isotope composition of metal-concentrating carboniferous substance were determined. The genesis of mineralization and role of carboniferous substance in ore formation were discussed. **Key words:** Central Kyzylkum, carboniferous ore formations, carboniferous substance, isotope composition of carbon*

В настоящее время весьма актуальными, если судить по многочисленности публикаций (Ю.С. Ананьев, Б.А. Баскаков, Б.А. Блюман, В.А. Буряк, Н.В. Вилор, Г.Б. Ганжа, В.Г. Гарьковец, П.Ф. Иванкин, Ф.А. Летников, Л.Г. Марченко, В.Ф. Проценко, М.С. Рафаилович, И.И. Томсон, С.Д. Шер, В.Н. Яновский), являются вопросы рудообразования в углеродистых (черносланцевых) осадочных и вулканогенно-осадочных толщах. Считается, что уже в XXI в. именно «оруденение черносланцевого типа» станет преобладающим источником благородных и редких металлов, особенно золота и элементов платиновой группы [4, 5]. На основе результатов исследований крупнейших месторождений такого типа, в частности в Центрально-Кызылкумском, Западно-Калбинском, Срединно-Тяньшанском (Кумторском), Северо-Казахстанском, Ленско-Бодайбинском (Сухоложском), Центрально-Колымском районах уже сформулированы основные генетические принципы формирования месторождений черносланцевого типа. К таким принципам можно отнести следующие:

1. Черносланцевые месторождения образуют отдельную, специфичную по генетическим свойствам группу углеродистых рудных формаций.

2. Определяющим фактором рудоносности углеродистых пород является геодинамическая обстановка их формирования, а именно приуроченность к стыкам океанических и континентальных плит, где, по Ю.С. Савчуку, реализуется «субдукционно-гидротермальная модель рудообразования».

3. Формирование масштабных месторождений черносланцевого типа происходит в два этапа: на раннем возникает рассеянное и незначительное по интенсивности обогащение горных пород продуктивными металлами, а на позднем вследствие перегруппировки появляются локальные концентрации (концепция сингенетично-эпигенетических месторождений В.Г. Гарьковца). По другой версии (концепция А.А. Маракушева) такого рода оруденение образуется в один этап в результате особого металл-углеродного метасоматоза, осуществляющегося за счет мантийных источников энергии и вещества.

4. Важнейшую, хотя и пока довольно загадочную роль в рассматриваемом образовании играет углеродистое вещество (УВ), варьирующееся по степени метаморфизации в широком диапазоне — от гумусово-сапропелевого органического вещества до антраксолита.

Как ни странно, но к настоящему времени наименее изученным компонентом углеродистых руд остается именно УВ, в отношении которого сохраняются не только взаимоисключающие суждения о его прото- или сингенетичности, но и имеются большие неопределенности в части фазового, химического и изотопного состава, характера и интенсивности вторичных изменений, первоисточников и генетических взаимоотношений с рудными минералами.

Объекты и методы исследований. Нами была исследована коллекция из 20 образцов наиболее типичных углеродисто-кремнистых пород и углеродисто-золото-сульфидных руд, отобранных в Центрально-Кызылкумском районе Узбекистана — на западном фланге Южно-Тяньшанской горной системы. Этот район

представляет собой коллаж блоков с древней сиалической корой, выступающих в современном рельефе как система невысоких горных гряд Букантау, Тамдытау, Аристантау, Ауминзатау, Бельтау, Кульджуктау. В пределах блоков к настоящему времени выявлено множество промышленно перспективных проявлений целого ряда углеродистых рудных формаций, включая и очень крупное по запасам и ресурсам золоторудное месторождение Мурунтау [1, 3, 9].

В современном геологическом плане эта территория располагается в области разворота субширотных тянших в субмеридиональные уралиты, а в палеогеодинамическом смысле отражает процессы докембрийской субдукции океанической плиты южной части Прототетиса под Казахско-Киргизский микроконтинент и раннепалеозойской субдукционной аккреции. В соответствии с этим большую часть углеродистых горных пород и руд, по крайней мере, в диапазоне поздний протерозой — ранний палеозой, относят [6] к образованиям аккреционной призмы и энзиматической островной дуги (позднепротерозойский и кембрий-силурийский аккреционные комплексы).

Изученная нами коллекция представлена темновыми, часто с зеленоватым оттенком породами, массивными и сланцеватыми, большей частью с неясной слоистостью. Для них характерны пластические и хрупкие деформации, проявляющиеся пльчатостью, субсогласными и секущими прожилками кварцевого и карбонат-кварцевого состава. Во многих образцах наблюдается рассеянная и незначительная по объему сульфидная минерализация, почти нацело сложенная пиритом. Руды представлены серий образцов, отобранных на трех месторождениях углеродисто-золото-сульфидной формации — Кокпатас, Айтым, Даугызтау (по И.М. Голованову с соавторами — золото-сульфидный геолого-промышленный тип), на золото-серебряном месторождении Окжетпес и на графитовом золотосодержащем (по данным К.М. Крамской) месторождении Тасказган. По внешнему виду и текстурным свойствам руды похожи на окружающие горные породы, но несколько обогащены сульфидами. Содержание важнейших продуктивных металлов в рудах широко варьирует (г/т): Au 0,03–60, Ag 4,5–42, Pt 0,001–0,005, Re 0,004–0,031, U 1–3,5. Руды многих кызылкумских месторождений, например, месторождений Кокпатас и Даугызтау, считаются труднообогатимыми из-за так называемого упорного золота, сконцентрированного в пирите и арсенипирите.

Кроме горных пород и руд нами были исследованы три гравитационных концентрата углеродистого вещества (УВ-концентрата), полученные из руд месторождений Кокпатас, Айтым и Тасказган.

В ходе исследований был использован сравнительно широкий комплекс методов: оптическая микроскопия (Полам Р-312 в комплексе с компьютеризированным комплексом OLYMPUS BX51); аналитическая сканирующая растровая электронная микроскопия (JSM-6400 с энергодисперсионным и волновым спектрометрами); рентгенофлуоресцентный анализ (спектрометр XRD-1800 Shimadzy); ИСП-МС (квадрупольный масс-спектрометр Perkin Elmer ELAN 9000); химиче-

ский анализ (метод кулонометрического титрования по величине pH) содержания углерода в горных породах и рудах (экспресс-анализатор АН-7529М); изотопная масс-спектрометрия (Delta V Advantage); рамановская спектроскопия (Renishaw InVia, лазер 785 нм); рентгенофазовый анализ (дифрактометр Shimadzy XRD-6000); термический анализ (DTG-60A/60AH Shimadzy). Аналитические определения осуществлялись в Институте геологии Коми НЦ УрО РАН, Санкт-Петербургском Горном университете и Аналитическом центре ВСЕГЕИ.

Состав, геодинамическая природа, степень регионального метаморфизма. По химическому составу исследуемые породы (табл. 1), руды (табл. 2) и УВ-концентраты (табл. 3) варьируют от кремнистых до алюмосиликатно-кремнистых и кремнисто-карбонатных. По результатам рентгенофазового анализа в них в качестве порообразующих установлены кварц, мелкочешуйчатый мусковит (иллит), хлориты, смешанослойные фазы иллит/хлорит, полевые шпаты (альбит), кальцит и доломит. В одном образце выявлен андалузит. В качестве важной примеси диагностированы сульфиды (пирит, изредка арсенипирит и антимонит), гематит, гётит, а также некристаллическое и кристаллическое углеродистое вещество. По своим литохимическим свойствам [13] кремнистые породы и руды отвечают гипо-норможелезистым и супержелезистым силитам, а алюмосиликатно-кремнистые — гипо-норможелезистым сиаллитам.

Результаты расчета нормативно-минерального состава (табл. 4) позволяют подразделить проанализированную коллекцию горных пород и руд следующим образом: 1) кварциты; 2) кварциты слюдистые, хлорит-слюдистые, хлорит-альбит-слюдистые и слюдиристо-хлорит-альбитовые; 3) кремнистые породы слюдистые, хлорит-слюдистые, хлорит-альбит-слюдистые, альбит-хлорит-слюдистые, слюдиристо-хлоритовые; 4) кремнистые мергели и карбонатсодержащие джаспероиды. При этом обнаруживается, что вопреки значительному сходству по внешнему виду и текстурным свойствам кызылкумские горные породы и руды по нормативно-минеральному составу не совпадают. Так, среди горных пород резко преобладают кремнистые (70,5 %), дополнением к которым выступают кварциты со значительной альбит-хлорит-слюдистой примесью (23,5 %) и кремнистые мергели (6 %). Руды же преимущественно представлены почти мономинеральными кварцитами (67 %), а сильно уступающие им по распространенности кремнистые породы характеризуются в 2–3 раза меньшим минералогическим разнообразием.

Выявленное расхождение по химическому и нормативно-минеральному составу кызылкумских горных пород и руд можно объяснить тем, что оруденению подвергались преимущественно карбонатные породы (известняки, доломиты, мергели) в ходе сильного воздействия на них кремнеземистого флюида. В результате метасоматического замещения возникали жильные и пластообразные тела апокарбонатных кварцитов [11].

Содержание углерода в исследуемых породах и рудах варьирует от 0,11 до 6 % (по массе), что соответствует диапазону от неуглеродистых до умеренно углеродистых черных сланцев [13]. Эти данные вполне согласо-

ются с полученными ранее данными для золоторудного месторождения Мурунтау [3]. Однако следует учесть, что углеродистость руд в Центральных Кызылкумах не всегда может считаться унаследованной от исходных пород. В частности, месторождение Кокпатас, в рудах

которого выявлено до 2–2,5 % углерода, залегает в карашахской свите неуглеродистых осадочно-вулканогенных пород. Это может свидетельствовать о привнесенности, т.е. эпигенетичности, если и не всего, то значительной части сопряженного с оруденением УВ.

Таблица 1

Химический состав углеродистых пород, мас. %

№ п/п	Номер обр.	SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MnO	ZnO	MgO	CaO	SrO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	CO ₂	S	As	C
Микрокварциты																			
1	Тех-12/1	76,12	0,59	0,03	11,55	2,57	Н.о.	0,13	Н.о.	3,32	2,84	0,02	Н.о.	2,98	0,29	1,41	0,75	0,10	1,94
2	Тех-18/1	77,66	0,98	0,08	12,16	4,40	Н.о.	Н.о.	Н.о.	3,01	0,71	0,03	Н.о.	0,97	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,23
3	Тех-18/2	70,32	0,67	0,05	15,44	3,13	0,03	0,02	Н.о.	4,10	1,06	0,02	3,39	1,24	0,51	Н.о.	0,02	Н.о.	
4	Тех-19/1	70,24	1,30	0,03	18,51	5,28	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,64	0,09	Н.о.	3,28	0,46	Н.о.	0,17	Н.о.	0,47
Среднее		73,58	0,89	0,05	14,42	3,85	0,01	0,04	0	2,61	1,31	0,04	0,85	2,12	0,32	0,35	0,24	0,03	0,88
СКО		3,87	0,32	0,02	3,22	1,23	0,02	0,06		1,80	1,03	0,03	1,69	1,18	0,23	0,71	0,35	0,05	0,92
Породы алюмосиликатно-кремнистые																			
5	Тех-12/2	59,58	0,74	0,03	19,97	3,27	0,03	0,10	0,01	3,15	2,89	0,02	1,09	6,51	0,26	1,45	0,76	0,14	1,94
6	Тех-14а/1	67,44	0,61	0,03	16,96	6,30	Н.о.	0,05	Н.о.	4,27	0,38	Н.о.	Н.о.	3,68	0,28	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,27
7	Тех-14а/2	64,52	0,48	Н.о.	19,72	4,97	0,04	0,06	0,01	4,13	0,51	Н.о.	0,59	4,73	0,18	Н.о.	0,03	Н.о.	
8	Тех-14б/1	67,64	0,61	0,02	17,58	6,91	Н.о.	0,11	Н.о.	2,90	0,37	Н.о.	Н.о.	3,46	0,40	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,18
9	Тех-14б/2	62,42	0,55	0,03	21,03	5,20	0,23	0,10	0,01	3,65	0,79	0,01	0,73	4,95	0,19	Н.о.	0,10	Н.о.	
10	Тех-16/1	69,47	0,74	0,03	15,84	6,97	Н.о.	0,06	Н.о.	2,27	1,13	Н.о.	Н.о.	2,73	0,45	0,31	Н.о.	Н.о.	Н.оп.
11	Тех-16/2	64,91	0,59	0,02	18,66	4,93	0,05	0,04	0,01	3,43	1,56	0,01	1,15	3,66	0,22	0,73	0,02	Н.о.	
12	Тех-19/1	63,78	0,82	0,03	20,66	3,58	0,04	0,03	Н.о.	3,24	0,87	0,06	2,11	4,24	0,35	Н.о.	0,09	Н.о.	0,47
13	Тех-20/1	58,33	1,09	Н.о.	24,12	5,15	Н.о.	0,03	Н.о.	2,41	0,95	0,10	Н.о.	4,51	0,16	Н.о.	2,88	0,23	0,36
14	Тех-20/2	56,46	0,84	0,02	26,27	3,75	0,04	0,02	0,01	2,29	1,68	0,02	0,55	5,78	0,13	Н.о.	1,99	0,15	
15	Тех-21/1	52,16	0,91	Н.о.	17,42	6,22	Н.о.	0,17	Н.о.	6,94	8,30	Н.о.	Н.о.	2,56	Н.о.	4,75	0,57	Н.о.	4,31
16	Тех-21/2	46,51	0,62	0,03	18,57	4,36	0,20	0,14	0,02	6,57	11,55	0,06	0,88	3,26	0,12	6,53	0,58	Н.о.	
Среднее		61,11	0,72	0,02	19,73	5,13	0,05	0,08	0,01	3,77	2,58	0,02	0,59	4,17	0,23	1,15	0,59	0,04	1,26
СКО		6,83	0,17	0,01	3,01	1,26	0,08	0,05	0,01	1,54	3,57	0,03	0,66	1,19	0,13	2,18	0,92	0,08	1,63
17	Тех-15	31,85	Н.о.	Н.о.	1,41	0,76	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	36,63	0,33	Н.о.	0,24	Н.о.	28,78	Н.о.	Н.о.	Н.оп.

Примечания: 1. Данные приведены к 100 %. 2. В некоторых образцах определены дополнительные компоненты (мас. %): № 5 — NiO 0,01; № 9 — NiO 0,01; № 11 — NiO 0,01; № 12 — BaO 0,1; № 13 — Sb 0,04. 3. Здесь и далее в табл. 2–5: Н.о. — не обнаружено; Н.оп. — не определено.

Таблица 2

Химический состав руд, мас. %

№ п/п	Номер обр.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	BaO	SrO	Na ₂ O	K ₂ O	V ₂ O ₅	P ₂ O ₅	S	C
1	Тех-1	86,21	Н.о.	Н.о.	13,47	Н.о.	Н.о.	0,32	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.оп.
2	Кок-1/1	95,65	0,13	3,10	0,32	Н.о.	Н.о.	0,34	Н.о.	0,02	Н.о.	0,26	Н.о.	Н.о.	0,18	2,28
3	Кок-1/2	95,08	0,10	3,09	0,21	0,06	0,33	0,38	Н.о.	0,02	0,10	0,29	0,12	0,12	0,10	
4	Кп-1/1	63,42	1,26	19,83	4,56	Н.о.	5,78	0,52	0,20	0,05	Н.о.	4,38	Н.о.	Н.о.	Н.о.	6,01
5	Кп-1/2	55,69	0,86	23,03	4,08	0,06	7,11	0,74	1,19	0,05	0,52	5,88	0,16	0,49	0,07	
6	Кп-2/1	93,25	0,17	3,38	0,75	Н.о.	Н.о.	0,42	Н.о.	Н.о.	Н.о.	1,14	Н.о.	0,45	0,44	0,11
7	Кп-2/2	87,05	0,22	7,27	0,83	0,05	0,57	0,27	0,10	Н.о.	0,10	2,98	0,04	0,15	0,36	
8	Окж-1	66,11	4,03	Н.о.	18,45	3,55	Н.о.	Н.о.	Н.о.	1,91	Н.о.	Н.о.	5,95	Н.о.	Н.о.	Н.оп.
9	Окж-2	65,85	1,02	21,10	2,36	Н.о.	2,19	2,16	Н.о.	0,02	Н.о.	5,27	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,55
10	Окж-3/1	98,06	Н.о.	0,66	0,35	Н.о.	Н.о.	0,69	Н.о.	0,01	Н.о.	0,17	Н.о.	Н.о.	0,06	Н.оп.
11	Окж-3/2	95,94	Н.о.	1,00	0,27	0,06	0,18	1,04	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,32	0,07	0,18	0,10	
Среднее		82,03	0,71	7,50	4,15	0,34	1,47	0,62	0,13	0,19	0,06	1,88	0,58	0,13	0,12	2,24
СКО		15,91	1,19	9,14	6,14	1,06	2,56	0,58	0,36	0,57	0,16	2,30	1,78	0,18	0,15	2,68
12	Д-6	33,70	Н.о.	1,46	1,79	0,06	9,21	15,87	0,14	Н.о.	0,39	0,12	Н.о.	0,04	5,42	2,86

Примечания: 1. Данные приведены к 100 %. 2. В некоторых образцах определены дополнительные компоненты (мас. %): № 5 — ZrO₂ 0,01; MnO 0,03; CuO 0,01; ZnO 0,01; № 7 — ZrO₂ 0,01; № 9 — ZrO₂ 0,02; MnO 0,01; Sb 0,55; № 11 — MnO 0,06; CO₂ 0,70; № 12 — Mn 0,26; CO₂ 19,82; Sb 2,86.

Таблица 3
Химический состав концентратов углеродистого вещества, мас. %

№ п/п	Номер обр.	SiO ₂	TiO ₂	ZrO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	MnO	NiO	CuO	ZnO	MgO	CaO	SrO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	S	As	C
1	Тех-10лф/1	53,73	0,75	Н.о.	8,02	19,93	Н.о.	0,33	Н.о.	0,39	0,53	0,80	Н.о.	1,51	0,07	Н.о.	2,79	1,43	4,33	Н.о.	68,09
2	Тех-10лф/2	48,32	0,64	0,05	10,35	10,11	0,53	0,31	0,05	0,35	0,53	0,84	1,98	2,48	0,07	0,97	4,08	1,18	3,56	0,06	
3	Тех-12лф/1	59,96	0,85	0,03	19,74	4,75	0,04	0,01	0,14	0,01	Н.о.	0,01	4,76	2,86	0,02	0,76	5,17	0,32	0,40	0,17	4,52
4	Тех-12лф/2	60,34	0,75	0,03	20,32	3,33	0,03	Н.о.	0,10	Н.о.	Н.о.	0,01	3,21	2,94	0,02	1,11	6,62	0,27	0,78	0,14	
5	Тех-17/1	53,80	1,37	0,04	17,38	17,60	Н.о.	Н.о.	Н.о.	0,27	0,33	Н.о.	2,19	0,23	0,02	Н.о.	6,77	Н.о.	Н.о.	Н.о.	Н.оп.
6	Тех-17/2	49,64	1,13	0,03	20,64	13,82	0,04	Н.о.	Н.о.	0,15	0,24	Н.о.	2,11	0,26	0,02	3,54	8,24	0,07	0,07	Н.о.	

Примечания: 1. Данные приведены к 100 %. 2. В некоторых образцах определены дополнительные компоненты (мас. %): № 1 – V₂O₅ 4,2; MoO₃ 0,75; PbO 0,44; № 2 – BaO 0,34; V₂O₅ 3,88; MoO₃ 3,21; PbO 0,11.

На литохимической диаграмме (Fe₂O₃+MgO)/TiO₂ геодинамических обстановок (по А.В. Маслову и Г.А. Мизенсу) исследованные нами породы и руды корреспондируются с вулканогенно-осадочными породами, тяготеющими к рифтам и островным дугам на океаническом основании. При этом поле состава кызылкумских образцов практически совместилось с полем состава углеродистых пород и руд Западно-Калбинского района.

Судя по минеральному составу и текстурно-структурным свойствам, кызылкумские породы и руды соответствуют хлорит-мусковитовой субфации фации зеленых сланцев. Учитывая присутствие в некоторых образцах андалузита, термодинамические параметры регионального метаморфизма объектов наших исследований можно определить как $t = 350\text{--}500\text{ }^{\circ}\text{C}$, $P = 2\text{--}3,5\text{ кбар}$ [3].

Микроэлементы. В составе образцов изученной коллекции выявлены 43 микроэлемента, в том числе 14 лантаноидов (табл. 5, рис. 1). В сравнении с кларком для земной коры более 50 % этих элементов являются избыточными (КК = 1,5–50), а более 10 % могут быть признаны аномально избыточными (КК > 50). По частоте вхождения в число избыточных микроэлементов образуют последовательность (Bi, W) > Sb > Se > (Ag, Hf) > Mo >> Pb > U > (Cr, Sr, Li) > (Ni, Sn, Ba, Cs, Zr) > (Re, Cu, Zn, Y). Именно первые пять элементов в представленной последовательности — Bi, Sb, Se, Ag, W — встречаются в кызылкумских породах и рудах в аномально избыточной концентрации. Особенно впечатляет тот факт, что в числе избыточных микроэлементов оказался рений. Это является прямым и, возможно, первым подтверждением справедливости высказанного недавно предположения о вероятности промышленного

концентрирования рения в углеродистых породах на активных континентальных окраинах [8]. Проанализированные образцы как относительно хондритового эталона, так и эталона PAAS (протерозойские глинистые сланцы с Австралийской платформы) значительно обогащены лантаноидами. При этом относительно хондрита они характеризуются отчетливо нисходящим трендом, а относительно PAAS — преимущественно субгоризонтальным. По уровню концентраций и характеру трендов лантаноидов исследованные нами образцы практически тождественны породам космачинской толщи (бывшей третьей подсвиты басапанской свиты) и технологическим пробам углеродисто-золото-сульфидных руд из месторождения Мурунтау.

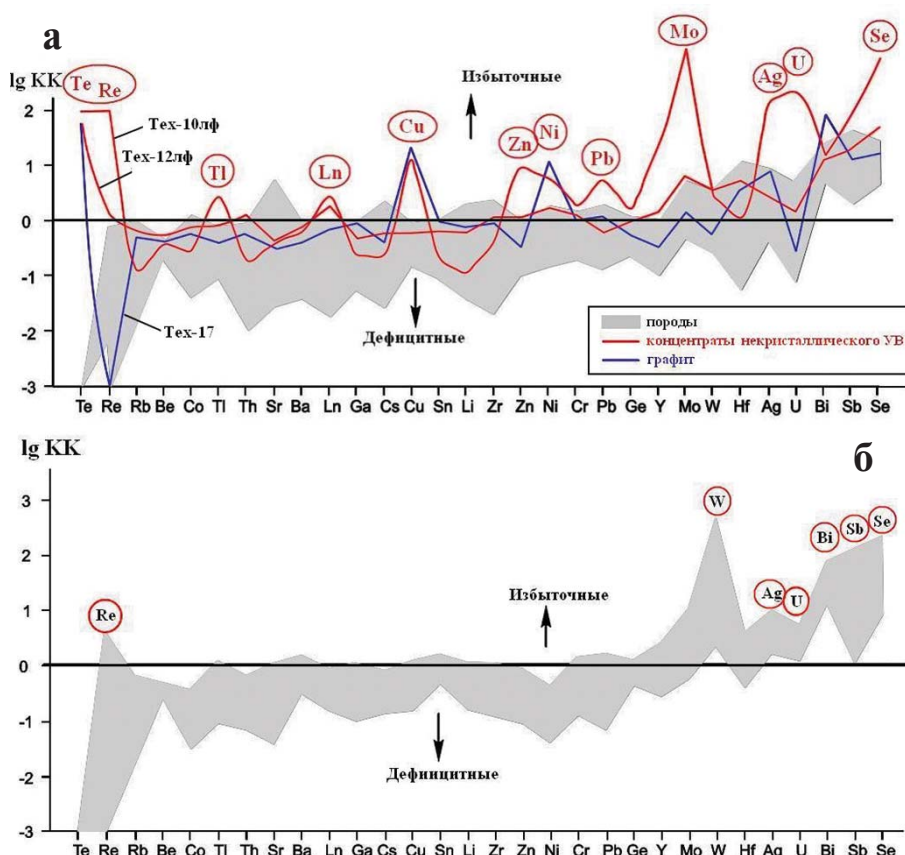


Рис. 1. Кларки концентрации (КК) микроэлементов в углеродистых горных породах (а, серая заливка) и рудах (б). Цветными линиями показаны данные для УВ-концентратов

Для УВ-концентратов обнаружено еще большее обогащение практически всеми аномально избыточными элементами (рис. 1а). При этом степень обогащения явно коррелируется с содержанием в концентратах УВ. По интенсивности накопления в УВ-конcentратах ми-

кроэлементы можно подразделить на три группы: 1) умереннонакапливающиеся — в 3–100 раз ($Ag < Ge < Cr < Tl < Pb < Sb < Ni < Zn < Cu$); 2) сильно накапливающиеся — в 150–300 раз ($Ln < Se < Y$); 3) аномально накапливающиеся — в 3000–20 000 раз ($U < Mo < Te < Re$).

Таблица 4
Нормативно-минеральный состав, мол. %

№ п/п	Номер обр.	Кварц	Альбит	Слюда	Хлорит	Апатит	Карбонаты	Рутил	Оксиды железа	Пирит	Арсенопирит	Объекты
Микрокварциты												
1	Тех-12/1	64,63	Н.оп.	16,73	12,31	3,37	Н.оп.	0,49	Н.оп.	2,22	0,25	Хлорит-слюдистый
2	Тех-18/1	64,44	Н.оп.	19,05	11,52	0,85	Н.оп.	0,76	3,58	Н.оп.	Н.оп.	Хлорит-слюдистый
3	Тех-18/2	43,45	33,38	8,62	12,05	0,63	Н.оп.	0,55	1,26	0,06	Н.оп.	Слюдисто-хлорит-альбитовый
4	Тех-19/1	54,36	Н.оп.	38,97	Н.оп.	0,77	Н.оп.	1,10	4,27	Н.оп.	Н.оп.	Слюдистый
5	Тех-19/2	33,70	22,76	30,73	9,93	0,46	Н.оп.	0,70	1,39	0,33	Н.оп.	Хлорит-альбит-слюдистый
Среднее		52,12	11,23	22,82	9,16	1,22	0	0,72	2,10	0,52	0,05	Обобщенно
СКО		13,48	15,83	12,0	5,20	1,21		0,24	1,77	0,96	0,11	
Породы алюмосиликатно-кремнистые и карбонатно-кремнистые												
6	Тех-16/1	51,41	Н.оп.	46,51	Н.оп.	1,42	Н.оп.	0,66	Н.оп.	Н.оп.	Н.оп.	Слюдисто-кремнистая
7	Тех-21/1	32,03	Н.оп.	26,34	29,17	9,90	Н.оп.	0,76	Н.оп.	1,80	Н.оп.	Слюдисто-хлорит-кремнистая
8	Тех-14а/1	49,82	Н.оп.	26,24	22,97	0,46	Н.оп.	0,51	Н.оп.	Н.оп.	Н.оп.	Хлорит-слюдисто-кремнистая
9	Тех-14б/1	49,13	Н.оп.	25,10	24,80	0,45	Н.оп.	0,52	Н.оп.	Н.оп.	Н.оп.	
10	Тех-20/1	32,13	Н.оп.	47,22	9,34	1,12	Н.оп.	0,90	Н.оп.	8,66	6,63	
11	Тех-12/2	30,36	9,37	46,09	3,29	0,33	6,88	0,62	0,12	2,49	0,43	Хлорит-альбит-слюдисто-кремнистая
12	Тех-14а/2	44,79	5,20	34,43	12,74	0,24	Н.оп.	0,41	2,09	0,10	Н.оп.	Альбит-хлорит-слюдисто-кремнистая
13	Тех-16/2	47,42	10,20	26,98	10,69	0,27	1,76	0,51	2,11	0,06	Н.оп.	
14	Тех-20/2	35,13	5,16	44,60	7,48	0,17	Н.оп.	0,76	Н.оп.	6,55	0,15	
15	Тех-14б/2	41,85	6,61	36,85	11,50	0,24	Н.оп.	0,48	2,10	0,37	Н.оп.	Альбит-хлорит-слюдисто-карбонатно-кремнистая
16	Тех-21/2	27,39	8,12	24,77	21,13	0,16	14,65	0,55	1,01	2,22	Н.оп.	
Среднее		40,13	4,06	35,01	13,92	1,34	2,12	0,61	0,68	2,02	0,66	
СКО		8,90	4,17	9,59	9,34	2,87	4,64	0,15	0,96	2,96	1,99	Обобщенно
17	Тех-15	42,71	Н.оп.	2,65	Н.оп.	Н.оп.	52,24	Н.оп.	0,40	Н.оп.	Н.оп.	Мергель кремнистый
Руды												
18	Тех-1	94,11	Н.оп.	Н.оп.	Н.оп.	0,37	Н.оп.	Н.оп.	5,52	Н.оп.	Н.оп.	Кварцитовая
19	Кок-1	93,23	Н.оп.	5,71	Н.оп.	0,37	Н.оп.	0,10	0,08	0,51	Н.оп.	
20	Кок-1	94,25	2,56	Н.оп.	5,15	0,21	Н.оп.	0,08	Н.оп.	0,31	Н.оп.	
21	Кп-2	91,16	Н.оп.	6,83	Н.оп.	0,46	Н.оп.	0,13	0,16	1,26	Н.оп.	
22	Кп-2	80,04	0,50	15,24	2,66	0,18	Н.оп.	0,17	Н.оп.	1,21	Н.оп.	
23	Ожж-1	86,93	Н.оп.	Н.оп.	Н.оп.	Н.оп.	Н.оп.	3,98	9,09	Н.оп.	Н.оп.	
24	Ожж-3	97,79	Н.оп.	1,28	Н.оп.	0,74	Н.оп.	Н.оп.	0,02	0,17	Н.оп.	
25	Ожж-3	95,78	Н.оп.	1,98	0,49	0,21	1,12	Н.оп.	0,10	0,22	Н.оп.	
26	Кп-1	42,41	Н.оп.	35,07	20,84	0,55	Н.оп.	1,06	Н.оп.	Н.оп.	Н.оп.	Хлорит-слюдисто-кремнистая
27	Ожж-2	45,21	Н.оп.	42,87	8,44	2,62	Н.оп.	0,86	Н.оп.	Н.оп.	Н.оп.	
28	Кп-1	28,37	4,61	42,96	20,32	1,04	Н.оп.	0,74	1,75	0,21	Н.оп.	Альбит-хлорит-слюдисто-кремнистая
Среднее		77,21	0,70	13,81	5,26	0,61	0,10	0,65	1,52	0,35	0	Обобщенно
СКО		25,53	1,51	17,70	8,05	0,73	0,34	1,17	3,01	0,46		
29	Д-6	38,66	2,34	6,95	2,72	0,06	36,52	Н.оп.	0,69	0,33	Н.оп.	Альбит-хлорит-слюдисто-карбонатная (джаспероид)
Концентраты углеродистого вещества												
30	Тех-10л	61,86	Н.оп.	20,52	Н.оп.	1,86	Н.оп.	0,65	1,06	14,05	Н.оп.	Кварцит альбит-хлорит-слюдистый
31	Тех-12л	50,85	Н.оп.	27,96	15,13	2,56	Н.оп.	0,88	2,62	Н.оп.	Н.оп.	Хлорит-слюдисто-кремнистый
32	Тех-17	48,48	Н.оп.	33,86	15,95	0,33	Н.оп.	1,38	Н.оп.	Н.оп.	Н.оп.	

Примечание. В двух образцах определен антимонит (мол. %): № 25 — 0,10; № 29 — 17,79.

Таблица 5
Содержание микроэлементов, г/т

Эле- мент	Горные породы										Руды					Концентраты УВ		
	Тех-1	Тех-12	Тех-14а	Тех-14б	Тех-15	Тех-16	Тех-18	Тех-19	Тех-20	Тех-21	Кп-1	Кп-2	Окж-2, 3	Кок-1	Д-6	Тех-10л	Тех-12л	Тех-17
Cr	15,6	40,2	130	128	22,6	134	58,1	70,8	78,6	65	118	32,7	93,4	98,6	10,8	172	117	90,9
Ni	23,8	67,7	114	123	8,55	84,7	31,7	16,8	23,4	51,1	22,2	6,7	24,3	2,15	21,4	372	104	755
Co	6,5	10,5	18 (1)	21,1	0,64	10,3	4,84	3,8	6,34	15,4	4,5	1,4	6,52	0,50	1,66	5,23	15,2	45,8
Cu	7,02	19,7	25,1	29,4	20,4	30,5	29,3	55,9	30,3	76,1	58,6	14,8	25,2	10,3	6,97	645	29,4	1090
Zn	13,7	54	117	107	8,18	79,1	41,4	40,5	116	178	74,4	31,60	68,90	15,40	6,54	8,58	100	28,3
Be	1	1,16	1,43	1,51	1	1,55	1	1,44	2,07	2,14	1,88	1	1,84	1	1	1,54	1,98	1,68
Ga	1,13	10,90	19,20	18,30	1,66	16,30	13,20	18,50	23,1	15,70	19,80	4,42	19,40	2,34	1,87	4,65	18,60	19,40
Mo	0,60	0,70	0,71	1,17	1,10	1,44	3,33	7,6	2,35	5,25	11,6	0,6	4,08	10,80	0,6	850	7,82	1,67
Sn	0,20	1,17	2,70	2,51	0,40	2,47	2,10	2,78	3,28	1,73	1,75	0,95	3,85	2,55	0,33	0,49	1,62	2,57
Ge	0,94	0,92	1,66	1,52	0,34	1,35	1,07	1,42	1,59	1,40	1,25	1,02	1,25	0,59	1,62	2,51	1,44	0,80
Ag	0,04	0,25	0,037	0,05	0,20	0,065	0,71	0,27	31,3	2,56	0,48	0,61	0,59	0,11	0,59	12,70	0,22	0,73
Re	Сл.	0,006	Сл.	Сл.	Сл.	0,006	Сл.	Сл.	Сл.	0,008	0,005	0,031	Сл.	Сл.	Сл.	0,68	0,01	Сл.
Te	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	Сл.	0,98)	0,52	0,51
Se	0,30	1,38	1,69	1,69	0,92	1,42	1,30	1,70	42,4	3,90	10,60	1,02	0,76	0,77	0,41	56,5	3,04	1,11
Bi	0,1	0,28	0,17	0,19	0,10	0,17	0,10	0,30	0,25	0,19	0,19	0,10	0,51	0,10	0,62	0,19	0,14	0,95
Li	1,22	6,56	68	61,2	5,99	64,2	17,60	23,60	35,10	25,30	36,60	5,73	7,85	5,09	21,8	3,55	19,7	26,30
Rb	2	77,40	112	142	8,26	90,70	21,2	79,20	130	831	82,2	28,60	105	3,17	7,37	18,50	104	75
Sr	8,79	140	49,50	60	1920	44,50	163	531	227	554	368	13	129	128	216	122	131	101
Ba	26,60	386	404	446	149	362	234	690	400	1650	10800	512	793	194	498	469	541	266
Zr	2,85	185	195	167	12,5	180	470	264	190	141	164	292	119	18,10	41,30	73,6	216	186
Cs	0,10	1,42	3,05	8,31	1,22	4,82	0,75	2,88	6,74	3,57	3,03	0,50	3,02	0,64	0,26	0,86	2,08	1,29
Sb	1,73	10,70	7,76	26,90	4,77	8,19	4,17	1,15	831	20,60	14,60	13,80	5,20	0,53	63,70	53	11,50	7,73
Hf	0,06	4,67	4,93	4,31	0,24	4,79	11,6	7,19	5,29	3,36	3,66	0,80	3,21	0,37	0,37	1,33	5,83	4,53
W	4,05	4,89	2,15	3,03	0,59	1,64	2,46	1,54	16,1	3,13	2,75	5,86	2,99	3,71	3,71	4,31	5,15	0,81
Pb	2,45	29,7	11,1	12,4	4,28	9,04	7,59	24,0	31,2	19,3	8,78	10,4	8,54	27,0	1,0	102	10,4	22,2
Tl	0,1	0,59	0,61	0,77	0,1	0,46	0,16	0,59	1,21	0,91	0,78	0,31	1,07	0,1	0,1	2,95)	0,78	0,37
Th	0,1	8,3	11,6	10,9	1,48	9,86	11,4	11,6	12,5	9,07	5,74	3,44	6,18	0,87	0,87	2,22	15,7	7,74
U	0,25	1,86	2,58	3,08	1,44	2,57	4,9	16,9	3,14	5,84	13,1	3,19	4,09	2,9	2,9	745	4,32	0,75
Y	2,34	18,80	23,80	21,90	20,40	22,80	26,70	25,80	29,30	28,30	49,80	9,80	10,80	7,29	5,39	508	32,80	8,28
La	0,66	23,8	31,3	30,5	18,1	27,7	26,2	30,2	36,0	22,50	27,0	8,0	30,0	5,9	2,95	120	72,2	29,2
Ce	1,08	49	63,1	61,5	14,9	56,3	52,7	59,1	72,6	46,10	53,0	14,1	59,6	10,9	5,93	137	141	44,1
Pr	0,21	5,52	7,06	6,83	3,01	6,24	5,94	6,89	8,46	5,43	7,0	1,97	6,26	1,26	0,81	25,9	15,1	5,88
Nd	0,92	22,3	28,6	27,1	13,5	26,2	23,7	28,3	32,3	23,40	33,6	7,61	23,1	4,82	3,01	126	57,4	23,1
Sm	0,18	3,96	5,13	4,79	2,38	4,77	4,68	5,28	5,92	4,78	9,41	1,67	3,19	0,96	0,68	27,5	9,88	3,90
Eu	0,05	0,83	1,06	0,96	0,6	0,96	0,94	1,20	1,29	1,13	2,29	0,33	0,52	0,22	0,18	7,71	1,64	0,77
Gd	0,19	3,83	5,02	4,66	2,79	4,65	5,25	5,51	5,78	4,94	6,98	1,61	2,64	1,20	0,96	41,7	10,20	2,89
Tb	0,04	0,54	0,73	0,67	0,43	0,65	0,74	0,75	0,86	0,66	0,99	0,25	0,32	0,17	0,14	6,91	1,33	0,35
Dy	0,31	3,3	4,04	3,83	2,37	3,78	4,24	4,53	4,97	4,22	6,82	1,41	1,85	1,12	0,94	46,6	6,41	2,05
Ho	0,08	9,62	0,92	0,84	0,54	0,79	0,91	0,97	1,0	0,89	1,46	0,26	0,36	0,20	0,17	11,2	1,24	0,39
Er	0,18	1,97	2,27	2,26	1,47	2,22	2,55	2,54	2,83	2,84	4,45	0,84	1,04	0,62	0,44	32,1	3,0	0,90
Tm	0,02	0,29	0,37	0,34	0,19	0,31	0,38	0,39	0,41	0,39	0,59	0,11	0,15	0,10	0,07	4,53	0,42	0,15
Yb	0,16	1,8	2,5	3,21	1,18	2,22	2,56	2,71	2,88	3,09	4,64	0,90	1,05	0,66	0,46	22,8	2,77	0,97
Lu	0,03	0,31	0,35	0,36	0,19	0,37	0,45	0,45	0,47	0,45	0,63	0,10	0,17	0,08	0,06	3,22	0,45	0,13

Последняя группа очень показательна, поскольку включает элементы, активно сорбирующиеся на восстановительных геохимических барьерах. Очевидно, что вхождение в эту группу рения свидетельствует о том, что промышленные перспективы на него в такого рода оруденении могут быть напрямую связаны именно с присутствием УВ. Обращает также на себя внимание

своеобразный тренд лантаноидов в УВ-конcentратах, указывающий на относительное обогащение элементами самариевой и иттриевой подгрупп.

Углеродистое вещество. В настоящее время уже достигнуто понимание важной роли УВ в крупномасштабном рудообразовании. Тем не менее, практически все вопросы фазового состава и структурного состоя-

ния УВ, характера и пределов его трансформации в эндогенных геологических обстановках, механизмов взаимодействия с рудообразующими элементами все еще ждут своих решений. Достаточно сказать, что в настоящее время существуют громадные разногласия даже в том, с каким именно УВ мы имеем дело в рудных месторождениях: битумным некристаллическим или графитовым кристаллическим [2, 10, 12, 14]. Очевидно,

что важнейшее значение для прогресса в знаниях об УВ в рудных месторождениях имеет использование методов высокоразрешающей рентгеновской дифрактометрии, рамановской спектроскопии, сканирующей электронной и атомно-силовой микроскопии, прецизионной термографии (дифференциальной сканирующей калориметрии).

На всех полученных нами рентгеновских дифрактограммах УВ (горные породы и руды месторождений Кокпатас, Айтым, Даугызтау, Окжетпес) в областях углов 2θ 20–30° и 40–50° присутствуют диффузные, варьирующие по степени уширения пики, максимумам которых отвечают $d/n \sim 0,34$ и $0,21$ нм. Эти рефлексы обычно относят к так называемой графитоподобной фазе в рентгеноаморфном УВ, поскольку они сопоставляются с базальными отражениями от (002) и (004) в структуре графита. Получение таких рефлексов от некристаллических веществ объясняется волновой интерференцией на множествах разориентированных пакетов графеновых сеток нанометровой размерности. В целом же выявленная нами картина отвечает низшему–среднему кериту.

К принципиально другим результатам привело исследование образцов УВ из месторождения Тасказган (рис. 2а). На соответствующих дифрактограммах в области углов 2θ 25–65° проявилась серия узких рефлексов, самыми интенсивными из которых оказались базальные отражения от (002) и (004) непосредственно в структуре графита. Положения и соотношения интенсивностей пиков устойчивы, значения межплоскостных расстояний d/n составляют соответственно 0,336 и 0,1679 нм. Все эти данные, безусловно, соответствуют настоящему графиту, возможно несколько разупорядоченному. Рассчитанные для него параметры элементарной ячейки составили (нм): $a_0 = 0,2456 \pm 0,0003$; $c_0 = 0,6726 \pm 0,0005$.

Существенно более чувствительным индикатором фазового состава УВ в геологических объектах являются рамановские спектры [7]. В ходе проведенных исследований были получены два типа спектров (рис. 2б, в). Спектры первого типа характеризуют УВ в углеродисто-золото-сульфидных рудах месторождений Кокпатас и Айтым. Они образованы двумя хорошо разрешенными и довольно интенсивными линиями D и G с максимумами соответственно при 1324–1331 и 1602–1604 см^{-1} . Как известно, эти линии обусловлены A_{1g} - и E_{2g} -модами колебаний атомов углерода в конденсированных некристаллических углеродистых веществах. Второй тип рамановских спектров отвечает УВ в рудах месторождения Тасказган. В этом случае спектр состоит из одной очень узкой линии с максимумом при 1581 см^{-1} и серии малоинтенсивных линий второго порядка в области 2400–3300 см^{-1} , что отвечает графиту.

Важным источником информации о структурно-фазовом состоянии конденсированного УВ могут служить его термические свойства. В настоящее время уже понятно, что в основе упомянутого индикатора лежит достаточно упорядоченная тенденция пропорционального возрастания термической устойчивости УВ по мере их карбонизации. Проведенный нами анализ показал, что на кривых нагревания исследуемых пород и

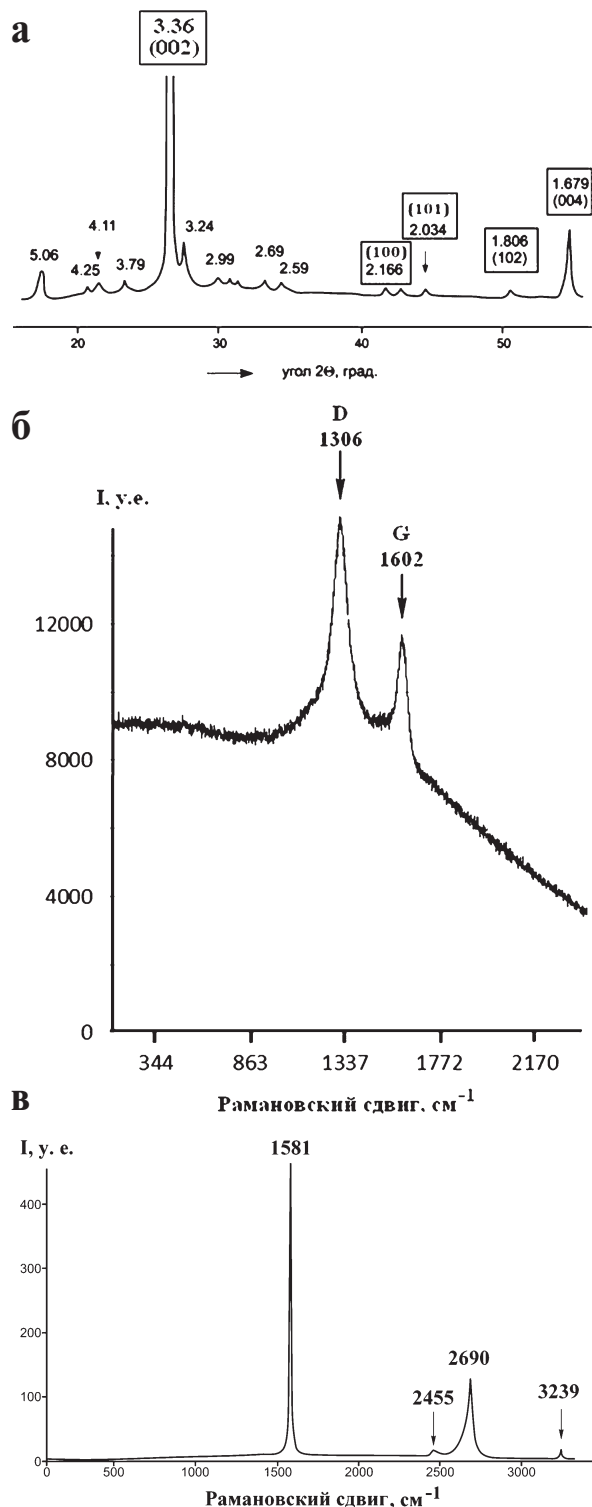


Рис. 2. Фазовая диагностика УВ: а — рентгеновская дифрактограмма графита; б, в — рамановские спектры соответственно некристаллического УВ и графита

руд проявляется до трех экзотермических пиков, которым соответствуют собственные этапы потери массы. Первый этап окисления начинается при температуре 255–379 °С, а максимума достигает при 305–345 °С. Второму этапу отвечают температуры начала и экстремума выгорания 330–450 и 425–585 °С. Третий этап приходится на температуры 530–620 и 590–680 °С. На этом фоне аномальными оказались результаты термического анализа руд месторождения Тасказган, на кривой нагревания которых наблюдается лишь один несколько уширенный, но интенсивный экзотермический пик, указывающий на начало окисления УВ при 660 °С и кульминацию при 820 °С.

На генеральной диаграмме термической устойчивости УВ (рис. 3) точки исследуемых пород и руд распределены в диапазоне от асфальтов — низших керитов

до алмазов — графитов, карбонадов — высших керитов, антраксолитов, шунгитов.

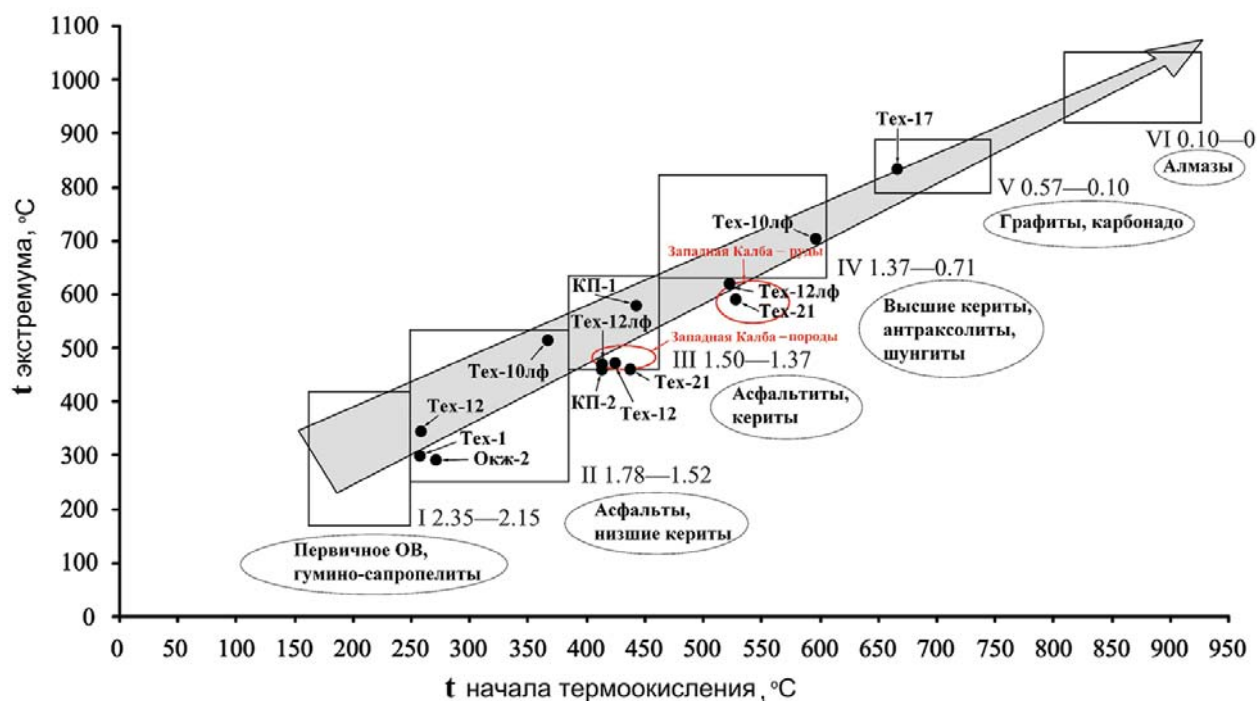


Рис. 3. Генеральная диаграмма термической устойчивости природных углеродистых веществ

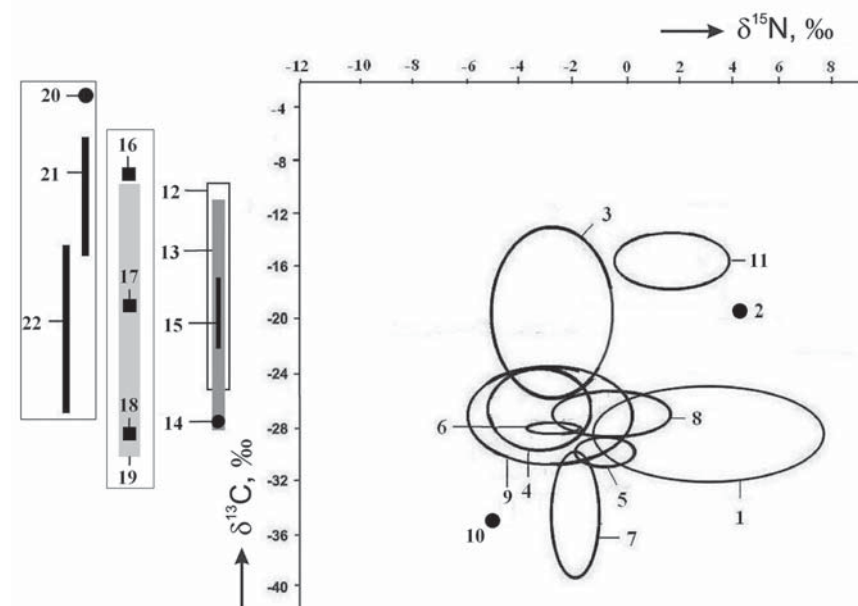


Рис. 4. Изотопный состав углерода и азота в УВ различного происхождения: 1 — современные растения и животные; 2 — мумии; 3 — копролиты триасовых земноводных (Северное Приуралье); 4 — палеозойские известняки и доломитолиты (Полярный Урал); 5 — палеозойские черные сланцы (Полярный Урал); 6 — антраксолит из стратиформных полиметаллических месторождений (Вайгач, Новая Земля); 7 — шунгит (Карелия); 8 — палеопротерозойские рудные конгломераты формации Витватерсранд (Южная Африка); 9 — мезопротерозойские джеспилиты и марганцевые руды поля Калахари (Южная Африка); 10 — битумы в девонских базальтах (Хакасия), 11–12 — соответственно азотсодержащее и безазотное УВ в породах и рудах Западной Калбы (Северо-Восточный Казахстан); 13 — кызылкумские углеродистые породы и руды (Узбекистан); 14–15 — концентраты соответственно некристаллического УВ и графита из кызылкумских рудных месторождений (Узбекистан); 16 — графит из Тюхтерецкого проявления апокарбонатных метасоматитов

(Кузнецкий Алатау); 17–18 — графит из гидротермально измененных габброидов и мигматизированных биотит-корундовых гнейсов соответственно (Таймыр); 19 — графит из Ботогольского месторождения (Восточный Саян; по Р.В. Лобзовой); 20 — углеводородизированный ортопироксенит из массива Бушер (Северная Африка); 21–22 — углеводородизированные офиолитовые ультрабазиты из Оспино-Китойского (Восточный Саян) и Нижнетагильского (Средний Урал) массивов соответственно

до высших керитов и антраксолитов. При этом керит-антраксолитовой степенью метаморфизации чаще характеризуются образцы, отобранные на рудных месторождениях, что подтверждается и данными анализа УВ-концентратов. Что касается образцов из месторождения Тасказган, то его термические свойства вполне соответствуют графиту.

Таким образом, проведенные исследования приводят к выводу о неоднородности, а возможно, и гетерогенности УВ в породах и рудах Центральных Кызылкумов. Похоже, что в горных породах преобладает УВ со степенью карбонизации на уровне асфальтов — низших керитов. В минерализованных углеродистых породах уровень карбонизации УВ повышается до асфальтитов — керитов с достижением антраксолитового максимума в рудах месторождений Кокпатас и Айтым. Аномальным в этом ряду выглядит графит из месторождения Тасказган, образование которого было связано, вероятно, с гораздо более высокотемпературным, возможно магматическим, процессом. Следует также подчеркнуть, что метаморфизованное до уровня керитов — антраксолитов УВ в породах и рудах кызылкумской коллекции весьма близко совпало по этому признаку с УВ в породах и углеродисто-золото-сульфидных рудах Западной Калбы. Это можно рассматривать как подтверждение справедливости выделения рудоносных углеродистых образований в особую группу рудных формаций.

Полученные данные указали на безазотность УВ в породах и рудах Центральных Кызылкумов. Этим проанализированные образцы существенно отличаются, например, от углеродистых пород и руд Западной Калбы, в которых, по нашим оценкам, до 30 % УВ содержит азот. Как известно, в УВ, имеющих биогенный первоисточник, азот сохраняется вплоть до антраксолитовой степени карбонизации (рис. 4). Следовательно, отсутствие азота в УВ может свидетельствовать об его абиогенно-глубинном происхождении.

Согласно полученным данным, изотопный состав углерода в УВ кызылкумских образцов варьирует довольно широко: $\delta^{13}\text{C}_{\text{PDB}}$ изменяется от -28 до -11 ‰. Однако статистически породы и руды в изученной коллекции по этому критерию оказались практически тождественными (среднее $\pm$ стандартное отклонение, ‰): породы $-20,45 \pm 4,36$; руды $-21,98 \pm 7,31$. В концентратах некристаллическое УВ изотопно легче ($-27,75 \pm 0,91$ ‰), а графит, напротив, показал себя более изотопно тяжелым ($-15,78 \pm 3,47$ ‰).

Сравнительный анализ приводит к выводу о том, что некристаллическое УВ в образцах кызылкумской коллекции по изотопному составу практически совпадает с безазотным УВ в углеродистых породах и рудах Западной Калбы и, кроме того, коррелируется с УВ в углеродизированных ультрабазитах. Графит из месторождения Тасказган пришелся на среднюю часть диапазона изотопного состава углерода в природных графитах, наиболее близко совпадая с таймырским графитом из габброидов.

Заключение

Проведенные исследования показали, что углеродистые горные породы и руды Центрально-Кызылкумского района по минералого-геохимическим свойствам

обнаруживают значительное сходство. Тем не менее при переходе от горных пород к рудам наблюдается скачок кремнистости, проявляющийся в смене алюмосиликатно-кремнистых пород кварцитами. Такой скачок можно объяснить сопровождающим рудообразованием кремнистым метасоматозом, особенно заметным в случаях образования джаспероидов в результате окремнения первично карбонатных пород.

Содержание УВ в исследованных породах и рудах однообразно варьирует в пределах 1–2 порядков, покрывая диапазон от неуглеродистых до умеренноуглеродистых образований. За единичным исключением, УВ является некристаллическим, изменяясь по степени карбонизации от низших керитов до антраксолитов. Наиболее карбонизированное УВ установлено в рудах, что может свидетельствовать о некотором проявлении в истории рудообразования процессов перегруппировки, которая происходила, скорее всего, практически параллельно с сингенезом, имела относительно локальный масштаб и не играла решающей роли в образовании крупных месторождений. Причину последнего следует все же искать в особенностях палеогеодинамической обстановки, обуславливающей достаточно активные мантийно-коровые взаимодействия.

Некристаллическое УВ в исследованных породах и рудах является безазотным, умеренно изотопно-легким, вполне сопоставимым по изотопно-геохимическим свойствам с УВ в эндогенно-углеродизированных ультрабазитах. Такая корреляция может свидетельствовать о глубинном абиогенном происхождении УВ. Очевидной аномалией в Центрально-Кызылкумском районе выступает месторождение Тасказган, в котором УВ в основном представлено графитом, уступающим по качеству лишь графиту из российского Ботокольского месторождения.

В сравнении со средним составом земной коры состав центрально-кызылкумских пород и руд сильно обогащен ($\text{KK} = 1,5\text{--}50$) множеством микроэлементов, пять из которых — Bi, Sb, Se, Ag, W — характеризуются аномальной избыточностью ($\text{KK} > 50$). Установлено, что содержание большей части избыточных микроэлементов скачкообразно возрастает в УВ-конcentратах, что не может не свидетельствовать о косвенной или даже прямой генетической связи. В число коррелирующихся с УВ входят практически все элементы, продуктивные для месторождений Центрально-Кызылкумского района (в направлении увеличения степени обогащения УВ-концентратов): Ag, Pb, Sb, Zn, Cu, Ln, Se, Y, U, Mo, Te, Re. Наибольший интерес среди этих элементов представляет рений, содержание которого в УВ-конcentратах достигает 10-кратного превышения даже над принятым в настоящее время минимально-промышленным содержанием рения в рудных месторождениях. Не исключено, что углеродистые разновидности кызылкумских горных пород и руд могут оказаться неизвестным ранее сырьевым источником этого исключительно редкого и одновременно необычайно востребованного современной промышленностью металла.

Исследования выполнены в соответствии с государственным заданием в сфере научной деятельности № 5.2115.2014/К на 2014–2016 гг.

ЛИТЕРАТУРА

1. Айсанов Я.Б., Егоров А.И. Геологическое строение и основные черты минералогии палеозойских образований гор Кульджукаут. — Ташкент: ФАН, 1978.
2. Глебашев С.Г., Игнатьев С.В., Ковязин А.Н. Формирование и размещение шунгитовых пород Кызыловской зоны (Восточный Казахстан) // Советская геология. — 1989. — № 1. — С. 33–42.
3. Голованов И.М., Хорват В.А., Шаякубов Т.Ш. и др. Золоторудное месторождение Мурунтау. — Ташкент: ФАН, 1998.
4. Гурская Л.И. Платинометальное оруденение черносланцевого типа и критерии его прогнозирования. — СПб: Изд-во ВСЕГЕИ., 2000.
5. Додин Д.А., Золоев К.К., Коротеев В.А., Чернышев Н.М. Углеродсодержащие формации — новый крупный источник платиновых металлов XXI века. М.: Геоинформмарк, 2007.
6. Савчук Ю.С., Мухин П.А. Эволюция рудных процессов в структуре аккреционной призм Южного Тянь-Шаня (Кызылкумский геодинамический полигон) // Геотектоника. — 1993. — № 6. — С. 63–81.
7. Силаев В.И., Лютоев В.П., Петровский В.А., Хазов А.Ф. Опыт исследований природных углеродистых веществ и некоторых их синтетических аналогов методом рамановской спектроскопии // Минералогический журнал (Украина). — 2013. — Т. 35. — № 3. — С. 33–47.
8. Томсон И.Н., Полякова О.П., Алексеев В.Ю. Металлоносные углеродистые метасоматиты — новый тип концентрирования рения (Россия, Дальний Восток) // Докл. РАН. — 2005. — Т. 401. — № 6. — С. 799–801.

9. Томсон И.Н., Танаева Г.А. Взаимоотношения углеродистых метасоматитов, магматизма и гидротермальной минерализации Центрального Кызылкума / Этапы образования рудных формаций. — М.: Наука, 1989. — С. 48–57.
10. Ханчук А.И., Плюснина Л.П., Руслан А.В. и др. Природа графитизации и благороднометальной минерализации в метаморфитах северной части Ханкайского террейна, Приморье // Геология рудных месторождений. — 2013. — Т. 35. — № 4. — С. 261–281.
11. Цой В.Д., Королева И.В., Мундузова М.А., Захидов А.Р. Нетрадиционный апокарбонатный тип золотого оруденения Узбекистана. — Ташкент: НИИ минеральных ресурсов, 2011.
12. Чеботарев Г.М., Василевский Б.Б. К минералогии углерода золотых месторождений Западного Узбекистана // Узбекский геологический журнал. — 1979. — № 3. — С. 44–52.
13. Юдович Я.Э., Кетрис М.П. Геохимия черных сланцев. — Л.: Наука, 1988.
14. Ярославский Р.И. К познанию природы углеродистого вещества месторождений Западного Узбекистана // Зап. Узб. отд. ВМО. — 1985. — Вып. 38. — С. 155–159.

© Коллектив авторов, 2015

Силаев Валерий Иванович // silaev@geo.komisc.ru

Цой Владимир Дениевич // vtzoi@inbox.ru

Васильев Евгений Алексеевич // simphy12@mail.ru

Котова Ольга Борисовна // kotova@geo.komisc.ru

Алимов Шамсиддин Пахритдинович // alimov-Shamsiddin@yandex.ru

Симакова Юлия Станиславовна // yulia 5-07@mail.ru

ГЕОФИЗИКА

УДК 553.495:(550.835+550.84):519.6

Голомолзин В.Е., Высокоостровская Е.Б.,
Краснов А.И., Мац Н.А. (ФГУНПП «Геологоразведка»)

КАРТИРОВАНИЕ ЭНЕРГОАКТИВНЫХ ЗОН ПО ЦИФРОВЫМ ГЕОФИЗИЧЕСКИМ МОДЕЛЯМ — ОДИН ИЗ ПУТЕЙ ВЫЯВЛЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ УРАНОВОРУДНЫХ ОБЪЕКТОВ

*Отсутствие открытий новых урановых месторождений гидротермального типа на протяжении последних 30 лет свидетельствует о кризисе новых идей и подходов к прогнозно-поисковым работам на уран. Предлагаемая специализированная технология обработки геофизических и радиогеохимических данных с использованием цифровых геофизических моделей промышленных урановорудных объектов может способствовать решению этой проблемы. Приведенные примеры практического применения настоящей технологии убедительно свидетельствуют, что она позволяет получать принципиально новую геологическую информацию о перспективности исследуемых территорий. **Ключевые слова:** урановое месторождение, компьютерная технология, геофизическая модель, рудный объект.*

Golomolzin V.E., Vysokoostrovskaya E.B., Krasnov A.I., Mats N.A.
(Geological survey)

MAPPING ENERGY-ACTIVE ZONES ON THE DIGITAL
GEOPHYSICAL MODELS — ONE OF THE WAYS OF THE
DEVELOPMENT OF INDUSTRIAL URANIUM — ORE
OBJECTS

The absence of the discoveries of hydrothermal type new uranium layers during the last 30 years testifies about the crisis of new ideas and approaches to the forecast- search works on

*uranium. Proposed to the attention of specialists specialized technology of working the geophysical and radio-geochemical given with the use digital geophysical models industrial uranium- ore objects in the case of its creative application in the practice of forecast- search works it can contribute to the solution of this problem. Given examples of the practical application of present technology convincingly attest about the possibility of obtaining with its use of fundamentally new geological information about the prospect of the territories being investigated. **Key words:** uranium layer, computer technology, geophysical model, ore object.*

За последние 30 лет в России не выявлено ни одного промышленно значимого месторождения урана, не считая ряда мелких и средних месторождений палеодолитного типа. Для решения проблемы прогноза и поисков наиболее экономически важных месторождений гидротермального типа не предложено каких-либо новых принципиальных подходов.

Именно в этом направлении специалисты ФГУНПП «Геологоразведка» в последние десятилетия проводили научно-исследовательские работы по созданию геофизической технологии прогнозирования промышленных месторождений урана. В результате этих работ создана специализированная на уран технология прогнозирования, включающая в себя программно-математическое обеспечение в виде пакета прикладных программ MetAn05 и банк прогнозных моделей. В последнем заложена геолого-геофизическая информация по урановорудным объектам (УРО) двух формационных типов: гидротермальных, в том числе «типа несогласия», и экзогенно-эпигенетических — ранга провинций, районов, рудных полей, узлов. Геолого-геофизическая ин-