

IV. МИНЕРАЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ ОСАДОЧНЫХ ПОРОД, МЕТАМОРФИЗМ

С.Ш. Юсупов, В.Н. Даниленко¹, В.А. Попов¹, Е.А. Авдяков²

КАЙРАКЛИТ — НОВЫЙ МИНЕРАЛ УГЛЕРОДА В РЯДУ АЛМАЗ — ЧАОИТ — ГРАФИТ

Историю, приведшую к обнаружению данной минеральной формы углерода, с одной стороны, можно считать длительной, поскольку она во многом связана с постепенным накоплением фактического материала в процессе изучения первым автором РТ-условий формирования кварцево-жильных образований в 1976–1984 гг. [Юсупов и др., 1979], а в 1996–2003 гг. и платиноносности пород Южного Урала (отчет в рукописи), в том числе в полосе развития максютовского метаморфического комплекса. С другой — сравнительно короткой, так как только в 2004–2005 гг. работы по углероду были форсированы. В частности, в последние два года был подвергнут ревизии не только имеющийся каменный материал (дубликаты шлиховых и протолочных проб, образцы и др.), но и начаты целенаправленные полевые поиски, более тщательная обработка проб и детальные исследования минерального состава, в том числе методами рентгенографии, оптической и электронной микроскопии и др. Параллельно было проанализировано большое количество доступной, в том числе новейшей, литературы по минералогии углерода, особенно касающейся переходных форм графит — алмаз — графит, метаморфических и импактных проявлений мелких алмазов, лонсдейлита, чаоита, фуллеренов, карбинов и др. [Веселовский, 1936; Чесноков, 1961; Бокий, Порай-Кошиц, 1964; Верещагин и др., 1965; Сладков, Кудрявцев, 1969; Вдовыкин, 1970; Алексеев и др., 1976; Кейльман, Болтыров, 1976; Ленных, 1977; Ленных и др., 1978; Станцо, 1983; Специус, Сафонов, 1986; Чухров и др., 1986; Томсон и др., 1989; Лаврова, 1991; Екимова и др., 1992; Пучков, 1994; Симаков, 1995; Маракушев, Бобров, 1998; Гамера и др., 1999; Benjamin et al., 2003]. Все это позволяет авторам выделить новую аллотропную модификацию углерода, названную кайраклитом, и показать в данной статье первые результаты этих исследований.

В 2004–2005 гг. геологические поиски нового минерала проводились в меридиональной полосе развития эклогит-глаукофаносланцевых пород максютовского комплекса на протяжении около 80 км (от д. Абубакирово на юге до д. Чингизово на севере). Наибольшее внимание уделялось графитоносным эклогитовым проявлениям, кварцитам и сланцам высоких давлений кайраклинской и кара-

малинской свит на участках брахиантиклинальных структур и в особенности зонам сильного смятия, растяжения и срывов в их крыльях, сопряженных с Главным Уральским разломом. В результате был установлен ряд геологических, петрографических и минералогических признаков поисков и оценки проявлений новой кристаллической формы углерода.

К настоящему времени в породах поверхностной зоны на юго-востоке Башкортостана, в Прикамье, выявлено 15 проявлений кайраклита, в том числе 12 в поле развития пород кайраклинской свиты и 3 в карамалинской свите. Площади проявлений колеблются от десятков м² до нескольких км². Два из них по количеству, размерности и качеству встречаемых в породах кристаллов кайраклита, несмотря на их малые величины (от долей миллиметра до 2–3 мм), имеют уникальный характер.

Отличительными признаками кайраклитовых проявлений являются:

- 1) наличие в породе тонких (1–5 мм) прослоек с сильно деформированными, скрученно-чешуйчатыми кристаллами графита в отличие от линзочек, выполненных плоскочешуйчатым графитом, наблюдаемым на одних и тех же проявлениях;
- 2) наибольшее развитие в зонах смятия и разломов линз белого талька, средне-крупночешуйчатого талько-мусковитового (по данным [Вализер и др., 1997; Ленных и др., 1978], «мусковиты» представляют собой фенгиты, но здесь и далее в тексте мы пока сохраняем определение — мусковит) и мусковит-серицитового грейзена, содержащего либо максимальные количества мелких, либо относительно «крупные» (1–3 мм) единичные кристаллы кайраклита;
- 3) частая встречаемость в кристаллах мусковита микрокристалликов кайраклита;
- 4) широкое и неравномерное развитие в породах (наряду с «равномерно» распределенным чешуйчато-кристаллическим матово-черным графитом) аморфизованного тонкодисперсного графита, которым пропитаны по трещинкам не только основные породообразующие минералы: омфациит, глаукофан, актинолит, тальк и слюды, но и гранаты и турмалины; при этом, в отличие от относительно «чистых» красно-розовых кристаллов граната,

¹ Институт проблем сверхпластичности металлов РАН, г. Уфа;

² Школа № 116, г. Уфа

распространены графитосодержащие черные, черно-красные кристаллы, тонкодисперсный графит в которых нередко распределен то зонально, то импрегнирует трещины в них; редко графит образует в «бесцветных» индивидах граната сыпь микрокристаллических включений; эти факты подтверждены проявлением на дифрактограммах порошков всех упомянутых минералов слабых экзотермических эффектов в интервале от 510 до 690°C;

- 5) присутствие в коренных и рыхлых породах черных немагнитных обломков антракосолита и кокса (продуктов термометаморфизма графита), пузыристых черных и цветных шлаков, нитей и сферул черного и окрашенного стекла, а также черных магнитных шариков и шлаковых корочек — продуктов окислительного обжига пирита и других сульфидов под влиянием поздних погонных кислых высокотемпературных газов (CO_2 , O_2 и др.);
- б) «первичная» концентрация кайраклита в тяжелой фракции шлихов и протолок породы, в ассоциации с магнетитом, гранатом, рутилом, турмалином, хромитом, цирконом и др., и «конечная» — в тяжелой немагнитной фракции, совместно с рутилом, цирконом, сульфидами и др., из которой кайраклит и отделяется (пока вручную) в собственную монофракцию.

В ассоциации с кайраклитом, сульфидами и др. в тяжелой фракции шлихов на многих проявлениях были выявлены обломки кристаллов рубина, сапфира, а также самородные элементы: Au, Pt, Fe, Cu и Pb. Наряду с ними в некоторых породообразующих и аксессуарных минералах на электронном зонде JEOL 6400 установлены значительные содержания Sn, Ta, As и др.

Характерные особенности кристаллов кайраклита:

- а) мелкая размерность, колеблющаяся от микроиндивидов (0,01–0,2 мм) в виде включений в мусковитах до более распространенных кристаллов (в шлихах) в пределах 0,3–1,5 мм, и редко достигающих 3–3,5 мм.
- б) широкая распространенность переходных форм от черных индивидов графита к серым, белым и бесцветным таблитчатым кристаллам кайраклита, причем преобразование отдельной чешуйки графита (2Н-структуры) в бесцветный кайраклит чаще всего наблюдается от краев к центру первого; более характерны плоские и менее — слабовыпуклые округлые или удлиненные чечевицеобразные формы кристаллов кайраклита; весьма примечательна скальваемость их по поперечным к удлинению трещинкам, дающим в разрезе остроугольные ромбовидные формы;
- в) часто наблюдаемые чечевицеобразные выпуклости на пинакоидальных поверхностях кристаллов графита, нередко имеющие ромбовидно ограниченную поверхность (за счет развития 3R струк-

туры); в шлихах эти формы обнаруживаются в виде черных, белых или бесцветных ромбодрических кристалликов кайраклита, иногда переходящих в октаэды; интересно, что этот случай по форме кристаллов КРК аналогичен графитизированным кристаллам алмазов, описанных В.В. Слодкевичем [1982];

- г) частая встречаемость в бесцветных кристаллах кайраклита не только черных (реликтовых) включений аморфизованного графита, но и «минералов-спутников», особенно в виде частично разрушенных красных микрокристаллов рутила и, реже, корродированных включений граната и глаукофана;
- д) субидиоморфный и ксеноморфный характер выделений микрокристаллов (менее 15 мм) кайраклита в ассоциации с мусковитом и кварцем в интерстициях мелкозернистого «гранатита» — весьма плотной прожилковой (мощн. 1–5 см) составляющей эклогитов; при этом микровключения КРК наблюдаются и в кварце.

Эти и другие наблюдения дают представление о том, что время зарождения и развития кристаллоформ кайраклита тесно связано периодом формирования эклогитов, кварцитов и сланцев, в особенности — с актами графитизации пород и, по-видимому, их неоднократной перекристаллизации с образованием «гранатитов», «льдистого» и гранулированного кварца, встречаемого в данном районе, так же как и в некоторых районах Урала, Казахстана и Сибири [Чесноков, 1963; Добрецов, Соболев, 1970; Добрецов и др., 1971].

ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА КАЙРАКЛИТА

Плотность наиболее свободных от видимых включений «однородных» тонко- и толстотаблитчатых кристаллов и обломков кайраклита (~90–95% объема) совместно с кристаллами, содержащими белесые зоны или незначительную тонкую примесь графита, рутила и фенгита (в количестве 120 шт. и весом 115 мг), определялась пикнометрически и составила 3,47 г/см³. Интересно, что это значение несколько выше, чем рентгеновская плотность (3,41 г/см³) чаюита с кратера Nordlinger Ries [Goresy, 1969] и находится в вилке плотностей (3,28–3,61 г/см³) импактных микроалмазов гексагональной формы из астроблем Рис и Попигаи [Масайтис и др., 1995].

Твердость кристаллов (черных, серых, бесцветных) колеблется в пределах 4,5–5,5 и в среднем составляет ~5 по шкале Мооса.

Блеск. На участках всех проявлений кристаллы кайраклита отличаются характерным маслянистым блеском, иногда переходящим в алмазный. В некотором удалении от проявлений (от 1–2 до 10 км), особенно в аллювиальных песчано-галечных отложе-

ниях р. Сакмары и ручьев, поверхности кристаллов теряют блеск до матового. Следует особо отметить, что выборка кайраклита из тяжелой немагнитной фракции шлиха, в первую очередь, осуществлялась по масляному блеску (в совокупности с формами целых и сколотых немагнитных индивидов), надежно отличающему кайраклит от других минералов.

Оптическая микроскопия. Показатели преломления (ПП) изучались пока только по мелким и тонким бесцветным гексагональным кристалликам кайраклита, а также по поперечным сколкам, в канадском балземе, в масле и в расплаве серы (ПП 2,0–2,2), в том числе в присутствии кристаллов рутила (ПП 2,6–2,9), граната (ПП 1,87), алмаза (ПП 2,4–2,7) и пирротина, а также по границам раздела включений кайраклита в фенгитах, по включениям граната, глаукофана и графита (ПП 1,5–2,0) в самих кристаллах кайраклита. В результате предварительно установлены:

- Показатель преломления кайраклита выше 2,2, ниже 2,4;
- Двупреломление высокое, $n_p - n_m \sim 0,04 - 0,05$;
- Отражательная способность $R \sim 35 - 40\%$;
- $cNg = 22^\circ$ (при четком погасании).

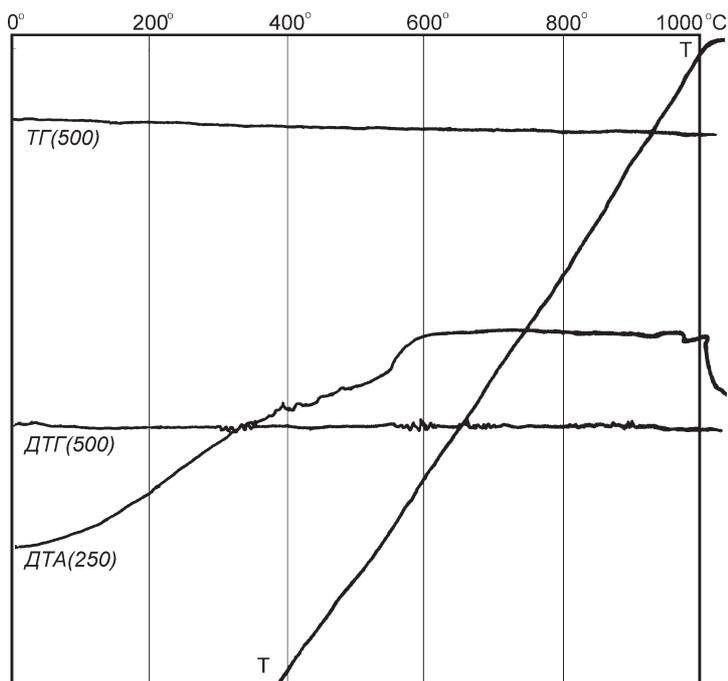


Рис. 1. Термограмма кристаллов кайраклита

Дериватограф Q-1500D (Венгерский оптич. з-д). Скорость нагревания $10^\circ/\text{мин}$; навеска 110 мг + 260 мг Al_2O_3 . Чувствительность весов 200 мг

Термостойкость. О термостойкости бесцветных кристаллов кайраклита можно судить по дериватограмме порошка пробы весом 110 мг (использован после определения плотности), в которой при нагревании до 1000°C никаких изменений не обнаружено (рис. 1), тогда как все пробы графитов, ассоциирующих с кайраклитом (18 проб), показы-

вают различной интенсивности кривые выгорания в интервале от 370°C до 850°C .

РЕНТГЕНОГРАФИЯ ГРАФИТОВ И КАЙРАКЛИТОВ

Рентгеноструктурный анализ образцов проводился на дифрактометре ДРОН-3М при ускорительном напряжении 40 кВ и токе пучка 30 мА, с использованием графитового монохроматора. Были исследованы 4 порошковые пробы из двух проявлений кайраклита, в том числе: крупночешуйчатый графит (БРК-13, до 110°), переходные формы графита в кайраклит (БРК-04/1, до 90°), визуально «чистые» бесцветные кристаллы кайраклита размером от 0,5 до 2,0–2,5 мм, весом 120 мг (КРК-1, до 150°) и кристаллы граната (КЯ-1).

Результаты съемок указанных проб отражены в таблице, соответственно под №№ 2, 3, 4 и 7. Для сравнения в таблице приведены литературные данные по дифрактограммам порошков графита (№ 1), чаюита (№ 5), лонсдейлита и алмаза (№ 6), а для оценки степени «зараженности» наших проб использованы дифрактограммы (справочные данные) граната (№ 8), рутила (№ 9), омфациита (№ 10), глаукофана (№ 11) и мусковита (№ 12).

Сравнительный анализ табличных данных выявил следующие главные особенности кайраклита (КРК-1).

1. В кайраклите, хотя и сохранился ряд линий межплоскостных расстояний (здесь и далее все d/n межплоскостные расстояния даны в ангстремах) графита, но интенсивность главной линии последнего $d/n = 3.355$ ($J = 100\%$) сильно ослаблена (в № 4 $d/n = 3.352$, $J = 30\%$), а многие линии вовсе отсутствуют. Это, безусловно, свидетельствует о существенном преобразовании графита в кайраклит, тогда как наличие некоторых слабых линий графита в нем говорит лишь о присутствии реликтовых микрочастиц, часто фиксируемых микроскопически.

2. В дифрактограмме межплоскостных расстояний ячейки кайраклита (№ 4) отсутствуют такие очень сильные линии чаюита (№ 5), как d/n ($J\%$): 4.470 (100), 4.260 (100), 4.120 (80), а также сильные, средней и малой интенсивности линии: 3.220 (40), 2.940 (20), 2.550 (60), 2.240 (40), 2.100 (40), 1.910 (20); присутствуют

лишь некоторые сильно ослабленные (близкие к кайраклиту) линии: 3.710; 3.030; 2.280; 1.983; 1.496.

Напротив, в кайраклитах присутствует целый ряд собственных острых и четких рефлексов, не зависимых ни от графита, ни от чаюита: 2.848 (10); 2.615 (15); 1.749 (35); 1.743 (30); 1.642 (20); 1.473 (30); 1.435 (8); 1.277 (9); 1.273 (9); 1.027 (10), также не совпадающих ни с одним минералом таблицы.

Более того, в кайраклите проявлены почти все линии алмаза и лонсдейлита (см. колонки № 4 и 6), хотя и значительно менее интенсивные.

Таблица

Межплоскостные расстояния элементарной ячейки графита, графит-кайраклита и граната из максютовского комплекса (авторские №№: 2, 3, 4)

Графит [Михеев, 1957] Табл. 29	Графит кр./чеш. ВРК-13	Графит - кайраклит ВРК-04/1	Кайраклит бесцветные кристаллы КРК-1	Чаонт JSPDS 20-258	Лондейлит Алмаз [Рост, 1978] [Михеев, 1957]. Табл. 28, PСhr 4/1	Гранаты (альмандин- пироп-спессартин)		Рутил [Михеев, 1957]. Табл. 266	Омфацит	Глаукофан	Мусковит [Михеев, 1957]. Табл. 830
						КЯ-1 2004 [Михеев, 1957] Табл. 734, 735, 736	7 d/n (J)				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
d/n(J)	d/n(J)	d/n(J)	d/n(J)	d/n(J)	d/n(J)	d/n (J)	d/n(J)	d/n(J)	d/n(J)	d/n(J)	d/n(J)
	5.013(40)					5.980(12)			6.38(15)	8.228(100)	9.97(10)
				4.470(100)		Г 4.834(4)				4.853(13)	4.97(7)
									4.40(40)	4.463(20)	4.47(6)
			К 4.332(6)			4.368(4)				4.448(34)	4.29(1)
	4.272(20)	4.272(15)		4.260(100)							
				4.120(80)							
	3.897(10)									3.842(22)	3.86(4)
3.692(8)											3.68(6)
	3.505(15)	3.501(15)						3.598(3)			3.59(2)
3.352(100)	3.352(90)	3.349(100)	ГФК 3.352(30)			М 3.341(3)	3.32(2)			3.381(15)	
	3.327(80)										3.32(10)
	3.250(18)		РК 3.240(100)				3.24(1)	3.242(9)			
	3.208(20)	3.209(20)		3.220(40)					3.179(100)	3.211(7)	3.20(4)
		3.138(15)									
	2.997(20)	2.997(12)	МЧК 3.000(30)	3.030(60)							
	2.868(12)	2.869(11)	ОГРК 2.899(20)	2.940(20)		ОК 2.892(7)	2.892(7)		2.970(100)	3.047(53)	2.98(6)
			К 2.848(10)						2.893(90)	2.931(9)	2.97(6)
	2.804(12)	2.801(8)	МК 2.810(5)			2.767(4)	2.752(1)		2.872(35)		2.82(4)
	2.710(7)		К 2.615(15)							2.692(57)	
	2.578(9)	2.570(10)	ГГрМ 2.592(8)			2.594(100)	2.589(10)			2.580(5)	2.58(4)

Таблица (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
				2.550(60)					2.541(35)	2.571(16)	2.55(7)
						Г 2.517(7)			2.521(15)	2.522(28)	
	2.494(10)	2.495(12)					2.471(4)	2.488(8)	2.474(50)		2.49(4)
		2.458(8)	МЧ 2.455(5)	2.460(40)			2.462(7)			2.451(2)	2.45(4)
	2.403(5)	2.389(8)				Δ 2.367(22)	2.356(6)				2.38(4)
	2.286(7)		ГЧК 2.282(8)	2.280(60)		К 2.271(19)	2.261(6)	2.294(2)	2.258(15)	2.285(16)	2.34(2)
	2.136(5)	2.129(5)		2.240(40)						2.243(17)	2.24(1)
					Л 2.17(2) Л 2.18(4)			2.189(7)			
2.130(3.5)				2.100(40)		2.115(18)	2.102(6)		2.112(60)	2.144(15)	2.13(6)
					Л 2.067(10) А 2.061(10) А 2.05(10)				2.083(15)		
2.036(5)			ГА 2.064(12)			А 2.048(10)	2.049(1)	2.053(3)		2.065(1)	
	1.993(30)	1.997(30)	ГМК 1.993(3)	1.983(20)					2.014(20)	1.997(7)	1.99(8)
					А 1.932(6) А 1.922*	А 1.932(6)					
1.798(3.5)	1.820(8)	1.819(10)		1.910(20)		1.876(19)	1.869(7)	1.870(4)			1.82(2)
			ГрК 1.782(2)				1.789(4)				
			К 1.749(35)								
			К 1.743(30)				1.738(3)				
			ОМ 1.725(7)						1.726(40)		1.72(2)
			ГрК 1.709(12)				1.705(5)				
1.678(7.5)		1.661(7)	РК 1.687(30)			Гф 1.670(14)	1.663(7)	1.689(10)			
	1.647(8)	1.649(7)	МК 1.647(8)					1.624(8)			1.65(6)
			К 1.642(20)			О 1.606(27)	1.595(9)		1.602(30)		1.60(2)
1.543(6)	1.543(10)	1.544(6)	Δ О 1.558(9)						1.588(30)		
		1.539(6)				ΔГф 1.548(30)	1.539(10)				
			О 1.530(3)						1.529(10)		1.51(4)
			ЧКЛ 1.499(8)	1.496(20)	Л 1.498(9,5)				1.525(20)		1.50(6)
			ГрР 1.481(8)			Р 1.475	1.441(6)	1.482(3)			1.42(4)
			ГрРМ 1.453(4)			Р 1.448(12)	1.441(6)	1.453(4)			1.45(2)
			Δ К 1.435(8)								
			МГрК 1.425(5)				1.426(2)				1.426(2)
	1.421		К 1.423(5)								
			ГрК 1.389(4)				1.388(4)				
			МГр 1.373(3)			1.374(6)	1.379(1)	1.362(6)			1.37(2)
	1.354(15)	1.351(7)	ГрМР 1.344(2)				П 1.345(1)	1.347(3)			1.34(10)

Таблица (окончание)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	1.297(8)		Δ МГРК 1.293(2)			Δ Сп 1.296(10)	1.289(8)				1.29(4)
			К 1.277(9)								
			К 1.273(9)								
			ГрЛК 1.265(1,5)		Л 1.262(8)* Л 1.260(3,5,5) Л 1.257(6)	Л 1.264(11)	1.259(9)				
1.230(6.5)			Δ ГРК 1.220(2)			Сп 1.238(5)	1.230(6)				
			АК 1.171(1.5)		А 1.170(1)	Сп 1.173(3)	1.181(2)				
1.155(10.5)			ГФРК 1.150(4)				1.163(6)	1.149(2)			
1.135(2)			Δ К 1.138(3.5)			1.125(5)	1.131(3)				
1.118(1.5)			К 1.118(5)								
			Δ К 1.090(1.5)				1.099(4)	1.093(4)			
			Р 1.082(4.5)					1.082(2)			
			ПЛ+А 1.077(7)		Л 1.076(6) А 1.075(3) Л 1.075(40)	А 1.075(11) Сп 1.058(7)	1.079(9) 1.054(9)				
			Δ Р 1.043(4)					1.041(5)			
			ЛК 1.028(10)		Л 1.030(6)	К 1.027(7)					
			К 1.027(10)								
0.992(7.5)			Δ ГРК 0.996(3)			Δ ГФ 0.998(7)					
0.962(1.5)			РК 0.964(2.5)					0.963(3)			
			Р 0.904(3)			0.940(8)	0.936(6)	0.903(2)			
			Гра 0.897(3.5)		А 0.892(11) А 0.885(4)	0.898(5)	П 0.891(3)	0.889(4)			
0.839(1.5)					Л 0.825(25)		0.858(8)	0.845(5)			
0.827(9.5)			ЛК 0.824(40)		А 0.818(30) А 0.813(6)		0.832(5)				
			ПА 0.821(30)				П 0.819(2)				

Примечание. Для сравнения кайраклита с основными минералами углерода (№№ 1, 5, 6) и качественной оценки в них и в гранате (КЯ-1) примесных минералов, приводятся литературные данные (№№ 8, 9, 10, 11, 12). Аббревиатуры означают: Гр — графит, К — кайрацит, Ч — чаюит, Л — лонсдейлит, А — алмаз, Гр — гранат, П — пироп, Сп — спессартин, Р — рутил, О — омфацил, Г — глаукофан, М — мусковит, а их сочетания — соответствующие смеси. Значения d/n с символом * приведены по В.Г. Фекличеву [1989]; Михеев [1957], № 28 — по XRDC, 1943, 3346; D — линии муассанита (SiC), совпадающие или близкие со значениями d/n кайраклита и алмандина.

Таким образом, для кайраклита характерно не только отсутствие сильных линий чаоита, но и наличие в нем линий алмаза, с явным проявлением «независимых» собственных отражений. Поэтому на основе приведенных данных и с учетом большей плотности кайраклита ($3,47 \text{ г/см}^3$) по сравнению с чаоитом ($3,43 \text{ г/см}^3$) можно считать, что в треугольной диаграмме углерода по Р.Б. Хайманну и С.Е. Евсюкову [2003], в аллотропном ряду алмаз — чаоит — графит кайраклит должен занимать самостоятельное место между алмазом и чаоитом (рис. 2).

3. Еще одна особенность кайраклита, вытекающая из сравнения с дифрактограммами сопутствующих минералов, — частое присутствие в нем линий граната (11 линий), рутила (8), мусковита (12) и, реже, омфацита (4) и глаукофана (4). Это и понятно, так как кристаллы кайраклита образовались не только в среде графита, но и в непосредственном соприкосновении с упомянутыми минералами, а в процессе роста захватывали их в виде микровключений.

В дифрактограммах переходной разновидности графита к кайраклиту (проба БРК—04/1) и крупночешуйчатого графита (БРК—13) присутствуют не только многие рефлексы кайраклита, но и ряд линий мусковита, рутила и омфацита, а также сильно ослабленная линия чаоита (например, в № 5, d/n 4.260, $J = 100\%$, а в № 2 и 3 — d/n 4.272, $J = 20\%$ и 15%), то есть явно прослеживается существовавший специфический для кайраклита процесс более глубокого преобразования графита и, по-видимому, далее идущий переход кайраклита в другую алмазо-

содержащую модификацию углерода, и, в конечном счете, в алмаз.

К вышеизложенному следует добавить, что в связи с уточнением не только долей участия в кристаллической структуре кайраклита гексагональной (2H) и ромбоэдрической (3R) фаз графита, но и необходимостью детального исследования самой кристаллической структуры кайраклита, параметр элементарной ячейки и рентгеновская плотность минерала пока не определены. Авторы надеются, что они будут представлены в следующей работе.

ПОСТРЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ МИНЕРАЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

К вышеописанным данным рентгенографии необходимо добавить следующее.

После первого этапа минералогических, а затем рентгенографических исследований трех проб (№№ 2, 3, 4 в таблице) и сопоставления межплоскостных расстояний в кристаллах кайраклита с d/n ассоциирующих с ним четырех минералов (рутила, омфацита, глаукофана и мусковита), как указано выше, присутствуют не только линии этих четырех минералов, но и, очень часто, граната, а также лонсдейлита и алмаза. Чтобы полностью убедиться в этом, была сделана порошковая дифрактограмма представительной пробы граната (КЯ—1) из Караяновской площади развития эклогитов. В таблице данные по ней показаны в колонке 7; в колонке 8, приведены эталонные значения альмандина по В.И. Михееву [1957], а в колонке 6 — по алмазу и лонсдейлиту. Сопоставление значений d/n кайраклита, гранатов и алмазов (колонки 4, 6, 7 и 8) показывает, что линии алмаза и лонсдейлита присутствуют не только в кайраклите, но и в гранате КЯ—1. При этом последний содержит также линии графита, мусковита, омфацита, глаукофана, рутила и кайраклита и спессартина (Sp), а в пробе кайраклита, по-видимому, некоторые линии граната отражают заметное содержание в нем пиропового минерала (см. например, d/n 1.345, 1.077 и 0.819).

Это обстоятельство заставило нас вернуться к более детальным поискам кайраклита и алмазов в шлифах, аншлифах, тонких (0,05–0,1 мм) полированных пластинках образцов эклогита, «гранатита», а также в отдельных полупрозрачных или слабоокрашенных кристаллах кайраклита. Исследования проводились под микроскопом Neophot—21 в отраженном, проходящем и комбинированном свете (микроскоп нами дополнен верхним осветителем) и в темном поле, а также сопровождалось

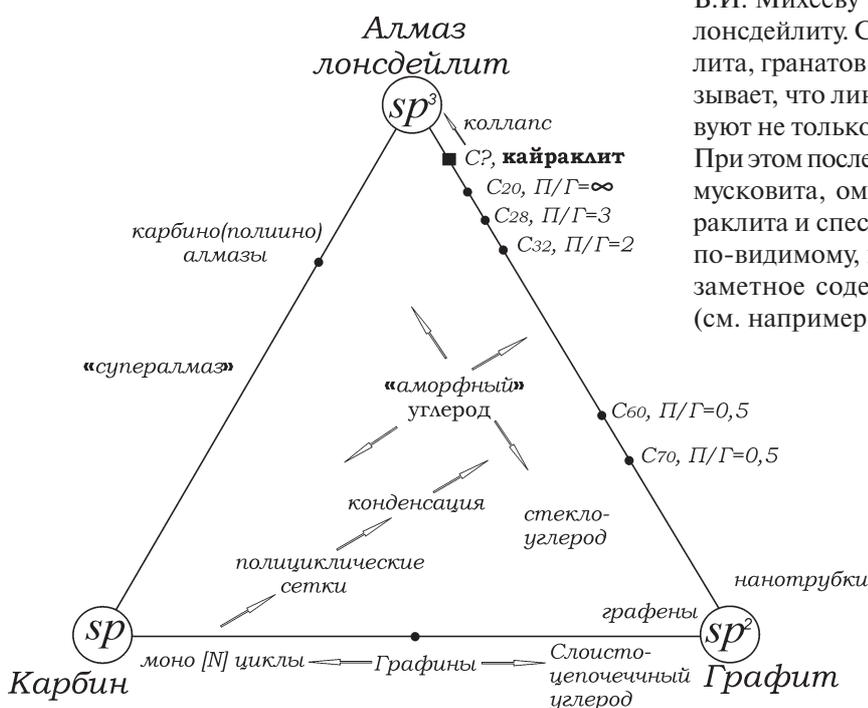


Рис. 2. Предполагаемое место кайраклита (C?) в треугольной диаграмме аллотропных форм углерода, разработанной Р.Б. Хайманном и С.Е. Евсюковым [2003]

наблюдениями под поляризационным и бинокулярным микроскопами. Результаты оказались весьма интересными и кратко заключаются в следующем.

- 1) В плотном мелкозернистом (0,3–1 мм) «граните» (обр. КЯ–21) кристаллы кайраклита размером 0,1–0,5 мм в ассоциации с преобладающим в цементе породы мусковитом и редким кварцем имеют подчиненное значение и занимают интересиции кристаллов граната (в объеме породы содержание кайраклита составляет лишь доли процента).
- 2) В более крупных (3–5 мм) порфиробластовых красновато-розовых кристаллах граната из караяновских эклогитов, содержащих, как известно [Алексеев, 1975; Бутин и др., 1976; Головня и др., 1977; Захарова и др., 1995; Захарова, Захаров, 1999], значительные (до 17–23%) доли пиропового минала, нами обнаружены мелкие «изометричной» формы бесцветные кристаллики алмаза размером от 0,03 до 0,15 мм. Находятся они в относительно «чистых» полупрозрачных кристаллах альмандина в виде единичных (от 1 до 2–3 шт.) индивидов-включений, чаще тяготея ближе к центру минерала-хозяина. Количество таких алмазосодержащих кристаллов граната в нескольких изученных препаратах из одного образца (КЯ–25) довольно значительное и составляет 5–15% от общего их количества. Обнаруживаются они по высокому рельефу на хорошо отполированной поверхности граната в аншлифе и полированной пластинке, сильному блеску, по более высокому, по сравнению с гранатом, показателю преломления, изотропности. Опознаются в темном поле, косом освещении и особенно по оставлению ими черты на полированной поверхности пластинки искусственного рубина.
- 3) В полупрозрачных серовато-белых, «бесцветных» и бледно-зеленоватых уплощенных и удлиненных кристаллах кайраклита из шлиховых проб также были обнаружены микрокристаллики алмаза. Отличительной особенностью их является приуроченность сразу к нескольким субпараллельным (поперечным к удлинению кристаллов кайраклита) трещинкам. Здесь они как бы участвуют в «залечивании» этих трещинок в виде многочисленных микрокристалликов размером в пределах 5–15 мкм. Нам же представляется, что они возникли за счет материала собственно «минерала-хозяина» в ходе его частичной перекристаллизации вследствие проявления повторных сверхвысоких давлений на данном участке развития рассланцованных графитизированных эклогитов на юго-восточном крыле брахискладки, широко представленной породами кайраклинской свиты.

В заключение отметим, что в предлагаемой статье представилось возможным привести лишь са-

мые необходимые сведения об обнаруженной новой кристаллической форме проявления в природе минерала углерода, связанного с хорошо известными на Южном Урале высокобарическими графитоносными эклогит-глаукофановыми сланцами и кварцитами максютовского комплекса.

Теперь перед авторами встала серьезная проблема более углубленного изучения начатых работ с целью выяснения геологических, минералого-петрографических, термобарических и других аспектов кайраклитовой, карбидной и алмазной минерализации в регионе. Хотя для продолжения работ мы располагаем рядом возможностей (значительным объемом систематизированной литературы, образцами, обработанными шлиховыми и протолочными пробами, лабораторной базой для минералогических, термобарогеохимических, химико-аналитических и термических исследований в ИГ УНЦ РАН, а также возможностью проведения рентгенографических, электронно-микроскопических и микрозондовых анализов в ИПСМ РАН в г. Уфе), однако выполнение ряда других методов исследований минералов и пород возможно только в специализированных лабораториях, то есть в сотрудничестве с сотрудниками других НИИ.

Авторы считают, что представленные в статье сведения еще далеко не полны и не дают всесторонней характеристики как самого нового минерального вида углерода (кайраклита) и тесно ассоциирующих с ним алмаза, лонсдейлита и других минералов, так и геологических и других условий их проявления в коренных и рыхлых отложениях Присакмарья.

Поэтому крайне необходимо продолжение всех видов начатых работ, постановка некоторых новейших методов лабораторных исследований и особенно проведение полевых геолого-поисковых работ с целью накопления достаточного количества кайраклитового и алмазоносного концентрата для исследований.

Вообще отбор крупнообъемных проб можно ускорить и провести с малыми затратами средств, поскольку известны сами проявления и методы рационального извлечения из пород изучаемых минералов и пород. Однако целенаправленное продолжение работ по данной проблеме может быть форсировано и будет плодотворным только в том случае, если это привлечет должное внимание (кроме ИГ УНЦ РАН) и других заинтересованных научно-исследовательских организаций, а также получит необходимую финансовую поддержку.

Литература:

Алексеев А.А. Минералогия, минеральные ассоциации и метаморфические фации максютовского эклогит-глаукофансланцевого комплекса // Магматизм, метаморфизм и рудоносность Южного Урала / БФАН СССР. Уфа, 1975. С. 154–199.

Алексеев А.А., Меньшикова Р.Т., Аршинов Ю.П. Этапы метаморфизма и интрузивного магматизма в зоне Урал-Тау Южного Урала в палеозое // Вопросы изотопной геологии Урала и востока Русской плиты / БФАН СССР, Уфа, 1976. С. 62–67.

Бокий Г.Б., Порай-Кошиц М.А. Рентгеноструктурный анализ. М.: Изд-во МГУ, 1964. Т. IV. 489 с.

Бутин В.В., Алексеев А.А., Гревцова А.П. К вопросу о времени проявления метаморфизма высоких давлений на Урале // Геология метаморфических комплексов Урала. Свердловск: Изд-во УПИ, 1976. Вып. 127. С. 61–65.

Вализер П.М., Котляров В.А., Ленных В.И. Ассоциация тальк + фенгит в породах максютковского эклогит-глаукофансланцевого комплекса (Ю. Урал) // Магматизм и глубинное строение Урала: Тез. докл. VI Уральского петрогр. совещ. Екатеринбург, 1997. Ч. 1. С. 173–174.

Вдовыкин Г.П. Новая гексагональная модификация углерода в метеоритах // Геохимия. 1970. № 9. С. 1145–1148.

Верещагин Л.Ф., Калашиников Я.А., Фекличев Е.М. и др. К вопросу о механизме полиморфного превращения графита в алмаз // Докл. АН СССР. 1965. Т. 162. № 5. С. 1027–1029.

Веселовский В.С. Углерод, алмазы, графиты и угли и методология их исследования. М.; Л.: НКТП СССР, 1936. 176 с.

Гамера Ю.В., Гостинцев Ю.А., Корсунский Б.Л., Форттов В.Е. Диаграмма состояния системы графит – алмаз – фуллерит // Докл. АН СССР. 1999. Т. 366. № 3. С. 354–356.

Головня С.В., Хвостова В.П., Макаров Е.С. Гексагональная модификация алмаза (лонсдейлит) в эклогитах метаморфических комплексов // Геохимия. 1977. № 5. С. 790–793.

Добрецов Н.Л., Соболев Н.В. Эклогиты в метаморфических комплексах Казахстана, Тянь-Шаня, Южного Урала и их генезис // Проблемы петрологии и генетической минералогии. М.: Наука, 1970. Т. 11. С. 54–76.

Добрецов Н.Л., Лаврентьев Ю.Г., Поспелова Л.Н., Соболев В.С. Особенности минералогии и генезиса эклогит-глаукофансланцевых комплексов на примере Южного Урала // Геология и геофизика. 1971. № 7. С. 3–15.

Екимова Т.Е., Лаврова Л.Д., Надеждина Е.Д., Петрова М.А. Коренная и россыпная алмазоносность Северного Казахстана. М.: ЦНИГРИ, 1992. 168 с.

Захарова А.А., Захаров О.А. Геология, петрология и металлогения массива Маскерт зоны Уралтау // Ежегодник–1997 / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 1999. С. 170–178.

Захарова А.А., Захаров О.А., Фазылянов Л.Г. Новые данные по металлогении зоны Уралтау // Ежегодник–1994 / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 1995. С. 87–89.

Кейльман Г.А., Болтыров В.В. О дислокационном метаморфизме // Геология метаморфических комплексов Урала. Свердловск: Изд-во УПИ, 1976. Вып. 127. С. 55–60.

Лаврова Л.Д. Новый тип месторождения алмазов // Природа. 1991. № 12. С. 62–69.

Ленных В.И. Эклогит-глаукофансланцевый пояс Южного Урала. М.: Наука, 1977. 160 с.

Ленных В.И., Перфильев А.С., Пучков В.Н. Особенности внутренней структуры и метаморфизма альпийского типа офиолитовых массивов Урала // Геотектоника. 1978. № 4. С. 3–22.

Маракушев А.А., Бобров А.В. Специфика кристаллизации эклогитовых магм в алмазной фации глубинности // Докл. РАН. 1998. Т. 358. № 4. С. 526–530.

Масайтис В.Л., Шафрановский И.Г., Федорова Г.И. Апографитовые импактные алмазы из астроблем Рис и Попигай // Зап. Всес. минерал. об-ва. 1995. Ч. СХХIV. № 4. С. 12–19.

Минералогические таблицы: Справочник / Под ред. Е.И. Семенова, О.Е. Юшко-Захаровой, И.Е. Максимюк и др. М.: Недра, 1981. 399 с.

Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. М.: Госгеолтехиздат, 1957. Т. 1. 868 с.

Пучков В.Н. Новые данные по геологии хребта Урал-Тау и проблема их геодинамической интерпретации // Ежегодник–1993 / ИГ УНЦ РАН. Уфа, 1994. С. 55–63.

Рост Р., Долгов Ю.А., Вишневецкий С.А. Газы во включениях импактных стекол кратера Рис и находка высокостепенных полиморфов углерода // Докл. АН СССР. 1978. Т. 241. № 3. С. 695–698.

Симаков С.К. К вопросу об образовании алмаза в метаморфических породах земной коры // Докл. РАН. 1995. Т. 340. № 6. С. 809–811.

Сладков А.М., Кудрявцев Ю.П. Алмаз, графит, карбин — аллотропные формы углерода // Природа. 1969. № 5. С. 37–44.

Слодков В.В. Параморфозы графита по алмазу // Зап. Всес. минер. об-ва. 1982. Ч. СХI. Вып. 1. С. 13–33.

Специус З.В., Сафронов А.Ф. Некоторые особенности состава рутила в эклогитовых ассоциациях и в парагенезисе с алмазом // Зап. Всес. минер. об-ва. 1986. Ч. СХV. Вып. 6. С. 699–703.

Станцо В.В. Углерод // Популярная библиотека химических элементов. М.: Наука, 1983. Кн. 1. С. 77–95.

Томсон Н.Н., Полякова О.П., Полохов В.Н., Митюшкин Н.Т. Металлогенетическое значение углеродистого метасоматоза // Известия АН СССР, Сер. геол. 1989. № 8. С. 78–88.

Фекличев В.Г. Диагностические константы минералов: Справочник. М.: Недра, 1989. 479 с.

Хайманн Р.Б., Евсюков С.Е. Аллотропия углерода // Природа. 2003. № 8. С. 1–11.

Чесноков Б.В. Изменение состава гранатов при метаморфизме эклогитов при метаморфизме эклогитов Южного Урала // Известия АН СССР. Сер. геол. 1961. № 7. С. 40–48.

Чесноков Б.В. Эклогиты Южного Урала и их практическое значение // Магматизм, метаморфизм, металлогения Урала: Тр. 1-го Уральского петрогр. совещания. Свердловск, 1963. С. 257–263.

Чухров Ф.В., Звягин В.Б., Жухлистов А.П. и др. К характеристике структурных особенностей природного графита // Изв. АН СССР, Сер. геол. 1986. № 7. С. 3–15.

Юсупов С.Ш., Мельников Е.П., Фаттахутдинов С.Г. РТ-условия грануляции жильного кварца Урала: Препринт / ИГ БФАН СССР. Уфа, 1979. 47 с.

Bostick Benjamin C., Jones R.E., Ernst W.G. et al. Low-temperature microdiamond aggregates in the Masyutov Metamorphic Complex, South Ural Mountains, Russia. American Mineralogist. 2003. Vol. 88, P. 1709–1717.

F.EI. Goresy. Eine neue Kohlenstoff-Modifikation aus dem Nordlinger Ries. Naturwissenschaften, Jahrbuch. 1969. 56 H.10. P. 493–494.