

УДК (552.3+553.068.5):549.211

ПЕТРОГЕОХИМИЧЕСКАЯ ТИПИЗАЦИЯ КАРБОНАТИПОДОБНЫХ ПОРОД ЧАГАТАЙСКОГО КОМПЛЕКСА ТЯНЬ-ШАНЯ В СВЯЗИ С ПРОБЛЕМОЙ АЛМАЗОНОСНОСТИ

© 2005 г. А. В. Лапин*, Ф. К. Диваев**, Ю. А. Костицын***

*Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов

121357 Москва, ул. Вересаева, 15, Россия; e-mail: nata@comoc.ru

**Институт минеральных ресурсов Республики Узбекистан

700060 Ташкент, ул. Шевченко, 11, Узбекистан

***Институт геохимии и аналитической химии им. В.И. Вернадского РАН

117975 Москва, ул. Косыгина, 19, Россия

Поступила в редакцию 12.06.2004 г.

На основе новых данных о минеральном и химическом составе алмазоносных карбонатитов и карбонатно-силикатных пород чагатайского комплекса Тянь-Шаня проведено их сопоставление с классическими редкометальными карбонатитами, а также с кимберлитовыми карбонатитами, сопутствующими алмазоносным трубкам во многих кимберлитовых провинциях мира. По петрохимическим, геохимическим и минералогическим особенностям, а также по изотопному составу Sr и Nd рассматриваемые породы отличаются как от классических редкометальных карбонатитов, так и от кимберлитовых карбонатитов. На основе полученных данных сделан вывод о том, что карбонатиты и сопутствующие им карбонатно-силикатные породы чагатайского комплекса представляют собой особый тип карбонатитоподобных алмазоносных магматитов немагматического происхождения; условия, благоприятные для кристаллизации алмаза в этих породах, достигаются в земной коре под воздействием восстановленных глубинных флюидов, аномальных стрессовых нагрузок и высоких температур, свойственных мощным коллизионным зонам. Поэтому данный случай не может считаться критическим как для оценки справедливости правила Клиффорда, так и для традиционных представлений о минерации карбонатитов.

Последние десятилетия отмечены рядом открытий, которые поставили под сомнение некоторые традиционные представления петрологии наиболее глубокогенерированных магматических формаций – кимберлитов и карбонатитов. Одним из таких открытий явились находки алмазоносных карбонатитов и карбонатно-силикатных пород в районе хребта Южный Нуратау на Тянь-Шане (Диваев, 1996, 2000). Это открытие в случае подтверждения карбонатитовой природы тянь-шаньских пород могло бы поколебать два главных постулата петрологии алмазоносных формаций, один из которых заключается в их приуроченности исключительно к древним кратонам (правило Клиффорда), а другой основан на известной антагонистичности карбонатитов и кимберлитов и в принципе исключает саму возможность существования алмазоносных карбонатитов.

Указанные находки могли бы радикально изменить традиционные представления о минерации карбонатитов, редкометальности которых обычно противопоставляется алмазоносности кимберлитов. Правда, в ассоциации с кимберли-

тами иногда встречаются дайки существенно карбонатных пород, так называемых кимберлитовых карбонатитов, которые так же, как и кимберлиты, могут содержать алмазы. Однако этот специфический тип карбонатитов существенно отличается от классических редкометальных карбонатитов по геохимическим особенностям, которые отражают их тесную связь с кимберлитами (Лапин, Маршинцев, 1984).

Вместе с тем тянь-шаньские находки ставят ряд вопросов, без решения которых невозможно оценить их истинное значение. Они касаются, прежде всего, формационной идентификации алмазоносных карбонатитов и карбонатно-силикатных пород, и в частности подтверждения их карбонатитовой природы и соотношения их по химическому и минеральному составу, а также по геохимическим особенностям как с классическими редкометальными карбонатитами, так и с кимберлитовыми карбонатитами, которые сопутствуют алмазоносным кимберлитам в областях древних кратонов. При этих сопоставлениях в качестве эталона классических редкометальных карбонатитов использованы составы карбонати-

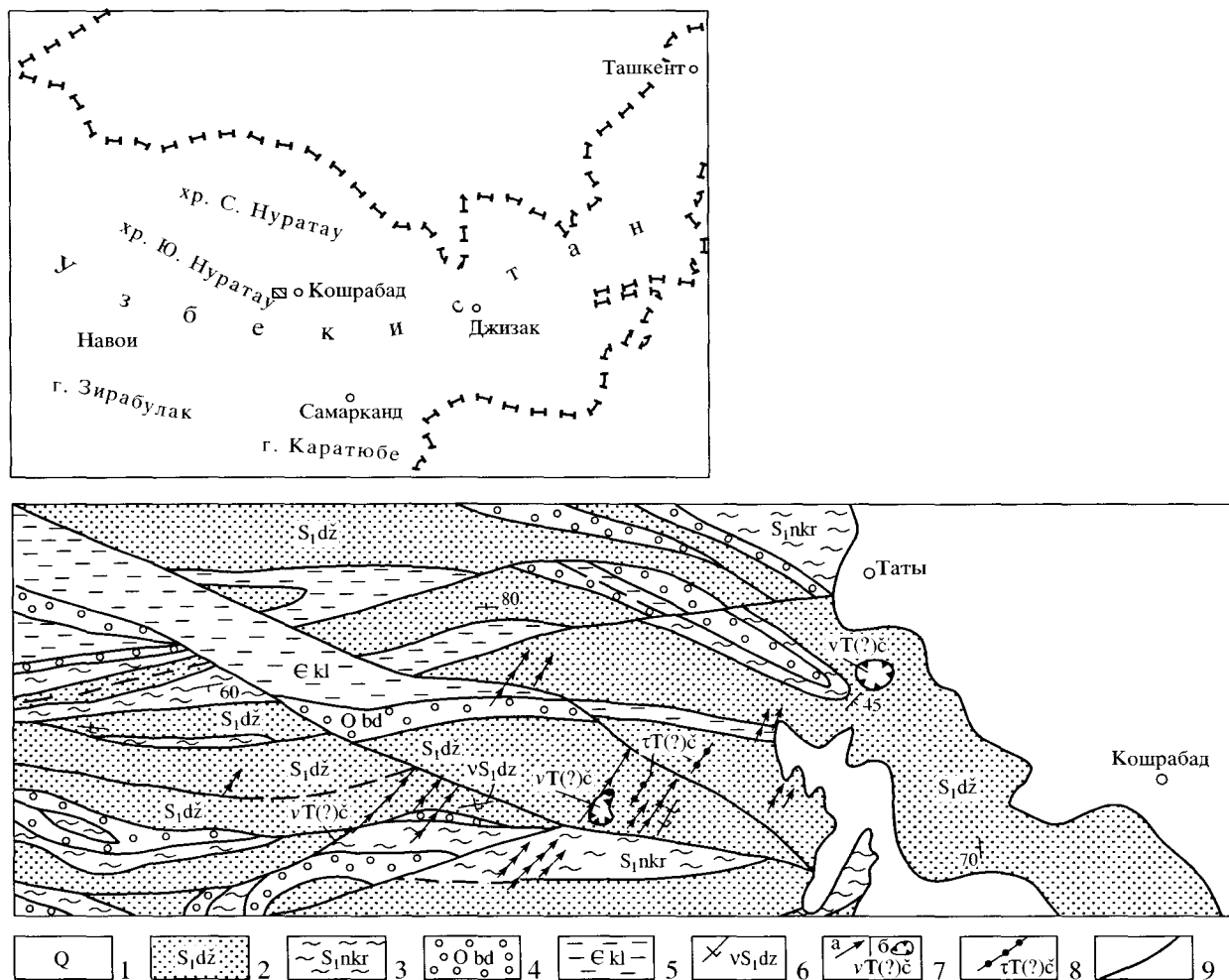


Рис. 1. Схематическая геологическая карта центральной части северных склонов Южного Нуратау, по (Диваев, 1996). Масштаб 1:70000.

1 – четвертичные отложения; 2 – джазбулакская свита: песчаники, алевролиты, сланцы, туфопесчаники, метабазальты; 3 – накрутская свита: алевролиты, слюдисто-глинистые сланцы, песчаники, кремни, роговики; 4 – бадамчалинская свита: сланцы, алевролиты, песчаники с прослоями кремнистых сланцев и тонкоплитчатых известняков; 5 – кальсаринская свита: известняки, известковистые песчаники, мергели, кремнеслюдистые сланцы, параамфиболиты; 6 – диабазы джазбулакского субвулканического комплекса; 7 – карбонатиты и карбонатно-силикатные породы чагатайского комплекса: а – дайки, б – трубки взрыва; 8 – дайки трахитов, 9 – тектонические нарушения.

На врезке показано положение изучаемого района.

тов из ультраосновных щелочных комплексов Карело-Кольской провинции (Лапин, Маршинцев, 1984), мантийный генезис которых не вызывает сомнений, а также составы карбонатитов ультраосновной щелочной формации, заимствованные из работы В.С. Самойлова (1984). При сравнении тянь-шаньских пород с кимберлитовыми карбонатитами использованы данные о составе карбонатитовых даек, которые сопутствуют алмазонасным кимберлитовым трубкам Якутской провинции (Лапин, Маршинцев, 1984). Авторы надеются, что настоящая статья послужит прояснению вопросов, возникающих в связи с находками алмазонасных пород на Тянь-Шане.

ГЕОЛОГИЧЕСКАЯ СИТУАЦИЯ

Чагатайский карбонатит-трахитовый комплекс обнаружен на северных склонах хребта Южный Нуратау, где образует компактный рой сближенных даек и трубок взрыва (рис. 1). В составе комплекса доминируют карбонатиты и карбонатно-силикатные породы, которые слагают многочисленные (около 30) крутопадающие дайки мощностью от 0.5 до 5.0 м и протяженностью от 20 до 1000 м и две трубки взрыва, имеющие размеры 80 × 170 м и 150 × 2000 м. Трахиты представлены единичными дайками (всего 3 дайки) мощностью 0.5–1.5 м и протяженностью до 100 м.

Карбонатиты и карбонатно-силикатные породы сложены кальцитом, пироксеном, биотитом.

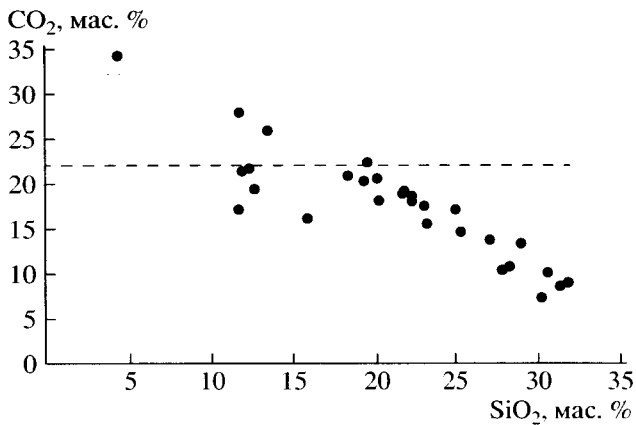


Рис. 2. Соотношение содержаний CO_2 и SiO_2 в карбонатитах и карбонатно-силикатных породах чагатайского комплекса по данным Ф.К. Диваева (2000).

Пунктиром обозначена нижняя граница составов карбонатитов, по содержанию CO_2 соответствующая количеству карбоната в породе 50%.

мелилитом, гранатом, апатитом, магнетитом, а также вторичными амфиболом, хлоритом, альбитом, калишпатом. В зависимости от преобладающих силикатных минералов среди карбонатитов и карбонатно-силикатных пород выделяются следующие разновидности: биотит-пироксеновые, биотит-гранатовые, пироксен-гранатовые, мелилит-пироксеновые, биотитовые и анхимономинеральные кальцитовые. Помимо этих главных типов встречаются также альбитизированные и анкеритизированные карбонатиты, которые слагают цемент трубок взрыва и некоторые дайки. Преобладают меланократовые породы с высоким содержанием силикатных минералов – свыше 50% в биотит-пироксеновых, биотит-гранатовых и мелилит-пироксеновых разностях; анхимономинеральные существенно кальцитовые породы сравнительно редки. Текстура пород, образующих дайки, чаще массивная, а слагающих трубки взрыва – брекчиевидная.

Макроскопически меланократовые карбонатно-силикатные породы массивные, плотные, мелкозернистые, темно-серого и черного цвета, и лишь анхимономинеральные существенно кальцитовые породы имеют светло-серую окраску. Под микроскопом большая часть минералов – пироксен, биотит, мелилит и кальцит – часто имеют лейстовидную форму и длиннопризматический или таблитчатый габитус, характерный для дайковых пород. Нередко породы имеют афанитовое, иногда порфиоровидное строение.

Исходя из общепринятого определения карбонатитов, по содержанию карбоната рассматриваемые породы, исключая анхимономинеральные и существенно карбонатные, содержащие более 50% кальцита, следует относить не к карбонати-

там, а к смешанным карбонатно-силикатным породам – карбонатсодержащим ультраосновным лампрофирам, близким к айликитам, альнеитам и польценитам – либо к породам, переходным между карбонатитами и лампрофирами. Соответственно биотит-пироксен-кальцитовые, биотит-гранат-кальцитовые и мелилит-пироксен-кальцитовые породы должны быть классифицированы как карбонатсодержащие ультраосновные лампрофиры, а среди биотит-кальцитовых и пироксен-гранат-кальцитовых пород только некоторые разности могут быть отнесены к карбонатитам, большая же часть принадлежит к породам, переходным между карбонатитами и лампрофирами.

Действительно, как следует из графика (рис. 2), на котором показано соотношение между содержаниями CO_2 и SiO_2 в рассматриваемых породах, за исключением немногочисленных проб лейкократовых карбонатитов, в которых содержание CO_2 превышает 34 мас. %, а количество SiO_2 не достигает 5 мас. %, основная часть представлена меланократовыми карбонатитами, содержащими от 11 до 20 мас. % SiO_2 и от 22 до 28 мас. % CO_2 , а также породами, переходными между меланократовыми карбонатитами и карбонатсодержащими ультраосновными лампрофирами, которые содержат от 15 до 22 мас. % CO_2 и от 12 до 24 мас. % SiO_2 . При этом меланократовые карбонатиты, связанные с лампрофирами переходными разностями и образующие с ними единую серию, могут быть противопоставлены лейкократовым карбонатитам, которые отделены от пород этой серии значительным разрывом.

Во всех минеральных типах пород, кроме мелилит-пироксен-кальцитовых и анхимономинеральных кальцитовых, присутствует алмаз, при этом наиболее высокие его содержания фиксируются в эксплозивных разностях с брекчиевой текстурой, характеризующихся наиболее меланократовым составом (Диваев, 2000).

Присутствие в породах алмаза установлено при термохимическом разложении тяжелых фракций проб весом от 1.5 до 20.0 кг. Зерна алмаза имеют размер от 0.05 до 0.2 мм. Форма зерен преимущественно октаэдрическая, часто искаженная. Зерна не люминесцируют в ультрафиолетовых лучах, прозрачны, имеют желтовато-зеленую окраску. В вершинах октаэдров часто наблюдаются темные включения. Диагностика алмаза подтверждена дебаграммой. Количество извлеченных кристаллов алмаза (до 152 зерен на пробу) в пересчете на соответствующий объем породы сопоставимо с его содержаниями в промышленных кимберлитовых трубках (до 2.0–2.5 карат/т).

Трахиты представляют собой стекловатые порфиоровые породы розовато-серого цвета со

слабо выраженной флюидалной структурой. Основная масса трахитов сложена лейстами калишпата и серицитизированного плагиоклаза, погруженными в стекловатый матрикс. Вкрапленники представлены параллельно ориентированными призматическими кристаллами ортоклаза размером до 12 мм, часто образующими простые двойники.

Чагатайские карбонатиты и сопутствующие им породы прорывают силурийские терригенные отложения (песчаники, алевролиты, сланцы, туффопесчаники) с редкими тектоническими клиньями терригенных пород ордовика и карбонатных пород кембрия (рис. 1). Кроме карбонатитов и трахитов из магматических пород в районе встречаются также редкие дайки силурийских диабазов и камптонитов триасового южно-тяньшаньского комплекса.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для проверки карбонатитовой природы описываемых пород и их сопоставления как с классическими редкометальными карбонатитами, так и с потенциально алмазонасными кимберлитовыми карбонатитами был выполнен комплекс исследований: изучение петрохимии и геохимических особенностей пород, включая изотопный состав неодима и стронция, а также определение состава главных минеральных фаз.

Изотопные отношения неодима и стронция были определены в ГЕОХИ на масс-спектрометре TRITON. Разложение образцов проводили в титановых автоклавах с фторопластовыми вкладышами в смеси $\text{HF} + \text{HNO}_3$ при температуре 200°C в течение 2 сут. До разложения к образцу добавляли смешанный трассер $^{85}\text{Rb} + ^{84}\text{Sr}$. Выделение Rb, Sr и суммы редких земель проводили методом ионно-обменной хроматографии на полипропиленовых колонках с 2 мл смолы Dowex 50×8 . В качестве элюента использовали 2.3 Н HCl. Выделение Nd и Sm проводили на колонках Eichrom Ln. spec со ступенчатым элюированием 0.25 Н и 0.75 Н HCl соответственно.

Силикатный анализ проб выполнен химическим методом в ЦЛ ГГП "Ташкентгеология". Определение содержаний микропримесей проводилось методом индуктивно-связанной плазмы в ИМГРЭ на ICP-MS Elan-6100 DRC, аналитик Д.З. Журавлев. Навеску пробы массой 50–100 мг разлагали в тefлоновой капсуле в смеси плавиковой и азотной кислот при температуре 260°C и давлении не более 72 бар в течение 50 мин. Фториды металлов разрушались путем выпаривания сухого остатка пробы в 5–7 мл 6.2 Н соляной кислоты при температуре 90°C в течение 1 ч. Затем к пробе добавляли внутренний стандарт (In) и 3 мл 3 Н азотной кислоты. В течение 15–20 мин

при температуре около 200°C хлориды полностью переводили в нитраты. Конечная концентрация азотной кислоты составляла 0.5 Н, а коэффициент разбавления пробы – около 1000. Методика обеспечивала полное разложение пород, включая содержащиеся в них трудно вскрываемые минералы (циркон, монацит и др.). Все используемые кислоты дважды перегонялись в кварцевом (в тefлоновом – для плавиковой кислоты) аппарате из исходных реактивов квалификации Х.Ч. или Ос.Ч. Пределы обнаружения (ПО) элементов составляли от 1–5 нг/г для тяжелых и средних по массе элементов (U, Th, РЗЭ и др.) до 20–50 нг/г для легких элементов (Be, Sc и др.). Точность анализа составляла 3–10 отн. % для концентраций элементов больше 20–50 ПО.

Состав минералов определен на микроанализаторе Camebax в ИМГРЭ И.М. Куликовой.

РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА

Содержания главных компонентов и элементов-примесей в исследованных породах приведены в табл. 1. Поскольку для тянь-шаньских пород характерны смешанные карбонатно-силикатные составы, в среднем они содержат больше SiO_2 , Al_2O_3 , Na_2O , K_2O по сравнению как с редкометальными карбонатитами, так и с кимберлитовыми карбонатитами (табл. 2). Однако наиболее значительные отличия наблюдаются в содержаниях железа, которые в тянь-шаньских породах в среднем в 3–6 раз выше, чем в редкометальных и кимберлитовых карбонатитах, а также в величине отношения $\text{MgO}/\Sigma\text{FeO}$, которое минимально в тянь-шаньских породах.

Вместе с тем среди пород чагатайского комплекса встречаются и анхимономинеральные кальцитовые разности (табл. 1, ан. 13), которые по содержаниям главных компонентов близки к классическим редкометальным карбонатитам. Такие породы отличаются от меланократовых пород смешанного карбонатно-силикатного состава более высокими содержаниями литофильных редких элементов (Sr, Ba, Nb, TR_{Ce} , Y), а также Zn, Pb, Mo, Th и U, при более низких концентрациях фемофильных компонентов (Cr, Ni, Co, V, Ti) (табл. 1, ан. 13).

По геохимическим характеристикам описываемые породы достаточно специфичны и отличаются как от редкометальных, так и от кимберлитовых карбонатитов (табл. 3). Особенности распределения элементов-примесей в карбонатитах Тянь-Шаня по сравнению с классическими редкометальными и кимберлитовыми карбонатитами показаны на рис. 3. Содержания ниобия в тянь-шаньских породах почти на порядок ниже, чем в редкометальных карбонатитах, и в 1.5–2.5 раза ниже, чем в кимберлитовых карбонатитах. Со-

Таблица 1. Химический состав (мас. %) и содержания элементов-примесей (ppm) в карбонатитах и карбонатно-силикатных породах чагатайского комплекса

Компо- ненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
	23* ¹	25-5	84	88	22-1	87	89	69	21-3	60	22-2	среднее	22-1А	
SiO ₂	22.19	20.12	21.79	27.86	15.84	13.35	11.62	11.85	28.20	31.8	19.4	20.36	4.22	57.20
TiO ₂	0.6	0.7	0.75	0.38	0.81	0.75	0.6	0.45	0.65	0.9	0.44	0.64	0.4	0.20
Al ₂ O ₃	5.36	6.25	6.43	9.64	3.93	3.2	3.67	2.86	6.43	8.85	5.71	5.67	0.54	20.67
Fe ₂ O ₃	14.97	9.4	12.18	11.04	12.46	16.6	11.23	18.27	10.02	12.59	6.67	12.31	4.29	4.72
FeO	2.87	4.31	3.92	3.52	5.17	4.38	2.87	0.43	2.87	3.16	5.88	3.58	0.65	0.57
MnO	0.25	0.26	0.22	0.28	0.49	0.32	0.85	0.45	0.24	0.23	0.3	0.35	0.37	0.12
MgO	2.8	6.66	4.43	3.58	2.77	1.5	3.5	2.82	4.69	1.41	2.82	3.36	1.82	1.16
CaO	26.64	29.74	27.48	30.14	32.18	30.71	31.8	31.97	28.74	26.64	29.51	29.87	45.57	2.17
Na ₂ O	1.62	0.86	1	0.32	0.34	0.66	1.15	0.2	0.18	1.4	0.2	0.72	0.24	5.64
K ₂ O	1.32	3.66	1.4	0.9	1.66	1.24	0.54	1.26	1.52	1.4	1	1.45	0.04	4.29
P ₂ O ₅	0.49	0.53	0.46	0.15	6.29	3.66	2.75	4.98	0.40	0.63	1.54	1.99	1.84	0.08
CO ₂	18.6	18.15	19	10.45	15.95	23.88	27.92	21.18	10.72	8.8	22.55	18.11	34.1	2.17
SO ₃ , S	0.01	0.03	0.04	0.12	0.1	0.05	0.03	0.05	0.05	0.09	0.05	0.06	0.52	0.04
H ₂ O ⁻	0.26	0.39	0.16	0.34	0.12	0.16	0.08	0.2	0.30	0.22	0.6	0.26	0.22	0.31
F	0.08	0.04	0.08	0.08	0.18	0.19	0.18	0.24	0.11	0.08	0.15	0.13	0.22	-
П.п.п	0.89	-	0.8	1.94	0.65	0.31	0.62	0.78	4.02	0.74	2.53	1.33	5.28	0.57
Сумма	99.05	101.1	100.14	100.74	98.94	100.46	99.41	97.99	99.14	97.5	99.35	99.94	100.32	99.91
Be	3.1	4.3	2.5	2.5	2.8	2.6	2.8	2	2	2.5	-	2.71	1.4	-
Sc	42	42	51	49	30	28	24	30	48	59	-	40	11	-
V	21	19	46	24	19	26	12	12	55	19	-	25	4.8	-
Cr	23	53	35	41	26	33	46	35	43	38	-	37	13	-
Co	37	40	39	41	29	24	28	23	37	35	10	31	10	-
Ni	26	126	37	78	6.1	30	71	50	62	69	12	52	0.085	-
Cu	38	37	76	43	24	30	17	11	56	42	40	38	27	-
Zn	205	186	101	202	288	247	328	311	217	150	-	224	326	-
Ga	8.9	10	9	13	7.9	8.5	7.6	6	9.1	12	-	9.2	3.7	-
Rb	27	56	91	25	50	52	82	68	111	31	6	54	1.5	-
Sr	1023	951	830	772	1600	2091	2184	2040	1036	621	1510	1332	3366	-
Y	32	20	60	39	73	63	70	64	43	39	41	49	76	-
Zr	84	57	101	116	71	67	72	71	95	238	59	94	49	-
Nb	27	17	40	30	37	30	48	45	37	22	43	34	57	-
Mo	2.8	2.8	1	1.5	14	20	20	2	0.7	2	-	6.7	139	-
Cs	2.1	3.3	7	1.3	3.7	4.4	7.6	2	8.7	0.68	-	4.1	0.24	-
Ba	2629	1151	1257	754	2546	2296	1147	5084	2058	1001	210	1830	5582	-
Hf	0.12		1	0.68	0.52	0.37	0.29	0	0.67	1.8	3.3	0.87	0.32	-
Ta	1.9	0.83	3	2.4	1.52	1.18	1.78	2	2.6	2.3	1.83	1.94	1.07	-
W	1.6	0.64	1	1.35	7.1	9.2	10.2	4	1.11	1.48	-	3.77	4	-
Tl	0.17	0.15	0	0.15	0.26	0.31	0.35	0	0.53	0.13	-	0.21	0.081	-
Pb	10.3	6	10	17	20	24	16	35	14	4.9	-	15.7	63	-
Th	8.4	3.7	23	9.4	23	23	27	19	15	8.9	8	15.3	40	-
U	3.8	2.1	6	5.2	11	10	12	8	5.5	3.3	7	6.7	17	-
La	38	27	62	50	97	97	109	90	53	44	38	64	146	-
Ce	73	50	12	95	180	190	215	160	97	83	101	114	271	-
Pr	8	5.5	15	11	21	22	24	18	12	10	-	15	31	-
Nd	35	23	63	43	87	78	89	75	49	45	-	59	112	-
Sm	7.1	4.9	12.6	9.2	15.2	15.4	17.5	14	8.9	9.1	2.4	10.6	19.5	-
Eu	2.4	1.6	4	2.6	5.3	4.7	5	5.2	3.2	2.9	3.41	3.66	7.1	-
Gd	6.4	4.2	11.7	8.6	13.7	15	16.5	11.8	8.5	8.2	-	10.5	18.3	-
Tb	1.13	0.72	2.01	1.58	2.27	2.4	2.78	2.15	1.36	1.38	0.97	1.7	2.81	-
Dy	6.4	4.1	12.4	7.8	15.1	12.2	14	13.2	8.80	8.4	-	10.24	16.7	-
Ho	1.55	0.91	2.75	1.96	2.99	2.83	3.42	3	1.86	1.8	-	2.31	3.12	-
Er	4	2.4	7.2	5.4	8.3	8.6	9.3	8.1	5.00	4.5	-	6.28	8.3	-
Tm	0.54	0.3	1.09	0.68	1.28	1.06	1.15	1.29	0.74	0.67	-	0.88	1.12	-
Yb	4.18	2.11	7.95	4.72	8.01	7.45	9.07	8.56	4.76	5.1	2.22	5.83	6.19	-
Lu	0.56	0.3	1.01	0.76	1.14	1.14	1.32	0.99	0.69	0.73	0.23	0.81	0.76	-
(La/Lu) _n	7	9.6	6.4	6.8	8.9	8.8	8.6	9.4	7.90	6.2	-	7.96	19.9	-
Eu/Eu*	1.09	1.06	1	0.89	1.12	0.94	0.9	1.23	1.11	1.03	-	1.04	1.15	-

Примечание. 1-3 – биотит-пироксен-кальцитовые породы; 4 – биотит-гранат-кальцитовые породы; 5-8 – пироксен-гранат-кальцитовые породы и карбонатиты; 9, 10 – меллитит-пироксен-кальцитовые породы; 11 – биотит-кальцитовые карбонатиты; 12 – среднее для меланократовых карбонатитов и карбонатно-силикатных пород (ан. 1-11); 13 – лейкократовые карбонатиты; 14 – трахиты. Прочерк – компонент не определялся.

*¹ Номера проб.

Таблица 2. Средний химический состав (мас. %) карбонатно-силикатных пород и карбонатитов чагатайского комплекса, а также редкометальных и кимберлитовых карбонатитов

Компоненты	1	2	3	4
SiO ₂	20.36	4.22	7.43	7.89
TiO ₂	0.64	0.40	0.41	1.18
Al ₂ O ₃	5.67	0.54	0.88	2.08
Fe ₂ O ₃	12.31	4.29	5.54	3.02
FeO	3.58	0.65	2.34	1.27
MnO	0.35	0.37	0.13	0.15
MgO	3.36	1.82	3.15	5.66
CaO	29.87	45.57	42.93	41.47
Na ₂ O	0.72	0.24	0.57	0.15
K ₂ O	1.45	0.04	0.83	0.54
P ₂ O ₅	2.00	1.84	5.44	0.75
CO ₂	18.11	34.10	27.13	31.25
MgO/FeO	0.23	0.4	0.43	1.42
MgO/TiO ₂	5.25	4.55	7.68	4.80
SiO ₂ /MgO	6.06	2.32	2.36	1.39
K ₂ O/Na ₂ O	2.0	0.17	1.46	3.60
K ₂ O/Al ₂ O ₃	0.26	0.07	0.94	0.26
K ₂ O/MgO	0.43	0.02	0.26	0.095
(K ₂ O + Na ₂ O)/Al ₂ O ₃	0.38	0.52	1.59	0.33
FeO/TiO ₂	22.92	11.4	17.88	3.38
K ₂ O/TiO ₂	2.27	0.1	2.02	0.46
MgO/CaO	0.11	0.04	0.07	0.14
SiO ₂ /CO ₂	1.12	0.12	0.27	0.25

Примечание. 1, 2 – карбонатно-силикатные породы и карбонатиты чагатайского комплекса: 1 – карбонатно-силикатные породы и меланократовые карбонатиты, среднее из ан. 1–11 в табл. 1; 2 – лейкократовый карбонатит, ан. 13 в табл. 1; 3 – средний состав редкометального карбонатита; 4 – средний состав кимберлитового карбонатита. 3, 4 – по данным А.В. Лапина, В.К. Маршинцева (1984).

держания циркония в исследуемых породах примерно в 6–8 раз ниже по сравнению с классическими редкометальными карбонатитами, но сопоставимы с его содержаниями в кимберлитовых карбонатитах.

Карбонатиты и карбонатно-силикатные породы Тянь-Шаня отличаются как по абсолютным содержаниям, так и по составу редкоземельных элементов. Содержание церия в тянь-шаньских породах существенно ниже, чем в редкометальных карбонатитах, и сопоставимо с его содержанием в кимберлитовых карбонатитах. В то же время содержания иттрия и иттербия в описываемых породах выше, чем в кимберлитовых карбонатитах, и довольно близки к их содержаниям в редкометальных карбонатитах. Это объясняется

Таблица 3. Средние содержания характерных элементов-примесей (ppm) и их отношения в карбонатно-силикатных породах и карбонатитах чагатайского комплекса, а также в редкометальных и кимберлитовых карбонатитах

Компоненты	1	2	3	4	5
Cr	37	13	165	18	910
Ni	52	0.1	19	10	708
Co	31	9.6	40	8	80
Mn	2695	2583	1026	2310	1088
V	25	4.8	40	110	154
Ti	4096	1041	2442	2300	9108
Sc	40	10.8	18	–	14
Sr	1332	3366	4200	6300	460
Ba	1830	5582	1150	2800	560
Ga	9.2	3.7	–	–	13
Rb	54	1.5	–	52	51
La	64	146	272	423	50
Ce	114	271	770	691	115
Yb	5.8	6.2	–	2.9	1.2
Y	49	76.1	68	60.6	9
Nb	34	56.5	345	290	88
Zr	94	49	500	320	65
Th	15.3	39.6	0.48	–	9.2
U	6.7	17.5	3.65	–	0.88
Ni/Co	1.68	0.01	0.475	1.25	8.85
Sr/Ba	0.73	0.6	3.65	2.25	0.82
Nb/Ti	0.008	0.05	0.14	0.13	0.0096
Nb/Zr	0.36	1.15	0.69	0.91	1.35
Th/U	2.28	2.3	0.13	–	10.45
La/Y	1.31	1.92	4.0	6.98	5.56
Ce/Y	2.33	3.56	11.3	11.4	12.8
La/Yb	11.0	23.5	80	145.9	41.7
Ce/Yb	19.5	45.2	226.5	238.3	95.8
La/Nb	1.88	2.58	0.79	1.46	0.57

Примечание. 1, 2 – карбонатиты и карбонатно-силикатные породы чагатайского комплекса: 1 – карбонатно-силикатные породы и меланократовые карбонатиты, среднее из ан. 1–11 в табл. 1; 2 – лейкократовый карбонатит, ан. 13 в табл. 1; 3 – средний состав редкометального карбонатита Карело-Кольской провинции по данным А.В. Лапина и В.К. Маршинцева (1984); 4 – средний состав редкометального карбонатита щелочно-ультраосновных комплексов мира по данным В.С. Самойлова (1984); 5 – средний состав кимберлитового карбонатита по данным А.В. Лапина и В.К. Маршинцева (1984). Прочерк – компонент не определялся.

тем, что доля иттрия и тяжелых лантаноидов в сумме редких земель в породах Тянь-Шаня значительно выше, чем в традиционных типах карбонатитов, и, соответственно, величины отношений

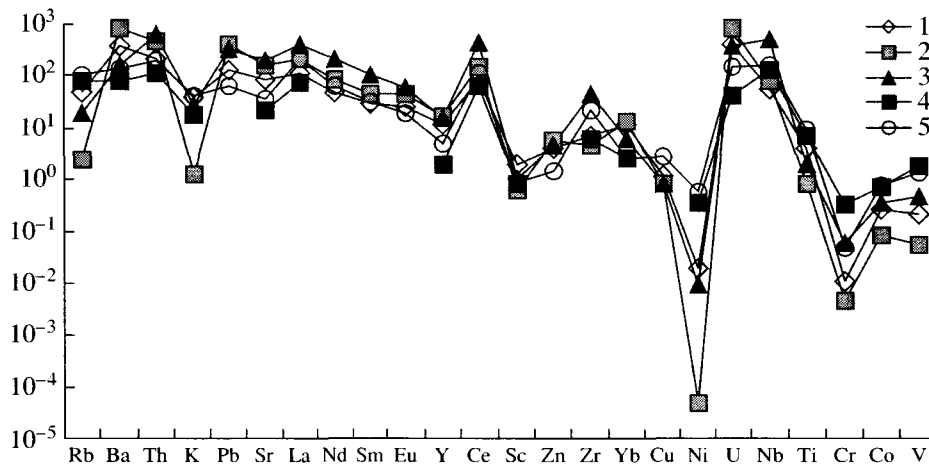


Рис. 3. Нормализованное к пиролиту (McDonough, Sun, 1995) распределение элементов-примесей в карбонатах и карбонатно-силикатных породах чагатайского комплекса в сравнении с классическими редкометальными карбонатами, кимберлитовыми карбонатами и кимберлитами.

1, 2 – породы чагатайского комплекса: 1 – среднее для меланократовых карбонатов и карбонатно-силикатных пород, 2 – лейкократовый карбонатит; 3 – редкометальные карбонатиты; 4 – кимберлитовые карбонатиты (3–4 – по данным А.В. Лапина и В.К. Маршинцева (1984), 5 – кимберлиты по (Wedepohl, Muramatsu, 1979).

La/Y, Ce/Y, La/Yb и Ce/Yb в описываемых породах намного ниже, чем в обычных редкометальных карбонатах. Относительная близость содержания лантана и иттрия, которые различаются менее чем в 1.5–2 раза, является характерной особенностью описываемых пород и резко отличает их от селективно цериевых составов со значительным преобладанием лантана над иттрием, свойственных традиционным типам карбонатитов. Состав редкоземельных элементов в исследуемых породах Тянь-Шаня в сравнении с классическими редкометальными карбонатами и кимберлитами показан на рис. 4. Нормированные кривые состава РЗЭ в исследуемых породах имеют более пологий наклон, что свидетельствует о менее выраженной селективности их состава в отношении легких лантаноидов.

Распределение элементов другой геохимической группы – сидерофилов – подтверждает своеобразие карбонатитов и карбонатно-силикатных пород Тянь-Шаня. Содержание хрома в этих породах ниже или сопоставимо с его содержанием в классических редкометальных карбонатах и примерно в 30 раз ниже, чем в кимберлитовых карбонатах. По содержанию никеля и кобальта и отношениям Ni/Co тянь-шаньские породы также близки к редкометальным карбонатам, в которых содержание кобальта сопоставимо с содержанием никеля или преобладает над ним, но существенно отличаются от кимберлитовых карбонатитов. Марганец в силу геохимических связей с железом в породах Тянь-Шаня присутствует в более высоких концентрациях по сравнению с традиционными типами карбонатитов.

Из характерных компонентов карбонатитов в исследуемых породах в повышенных количествах присутствуют стронций и барий, однако в отличие от классических редкометальных карбонатитов барий в них преобладает над стронцием. Содержания стронция и бария в исследуемых породах заметно выше, чем в кимберлитовых карбонатах, в которых преобладание бария над стронцием менее выражено.

Суммируя петрогеохимические особенности карбонатитов и карбонатно-силикатных пород Тянь-Шаня, можно заключить, что они отличаются как от классических редкометальных карбонатитов, так и от потенциально алмазоносных кимберлитовых карбонатитов. От редкометальных карбонатитов они отличаются низкими концентрациями ниобия, циркония и редкоземельных элементов, более иттриевым составом редких земель и заметным преобладанием бария над стронцием. От кимберлитовых карбонатитов их отличают прежде всего низкие содержания хрома и никеля и в лейкократовых породах преобладание кобальта над никелем. Таким образом, очевидно, что в рассматриваемом случае мы имеем дело с совершенно особым петрогеохимическим типом карбонатитов.

Карбонатиты и карбонатно-силикатные породы чагатайского комплекса весьма специфичны также и в минералогическом отношении. Породы не содержат минералов, характерных для алмазоносных щелочных ультраосновных магматитов мантийного генезиса (кимберлитов, лампроитов), таких как пироп, хромдиопсид, хромшпинелиды, пикроильменит. В то же время от классических карбонатитов они отличаются отсутствием таких

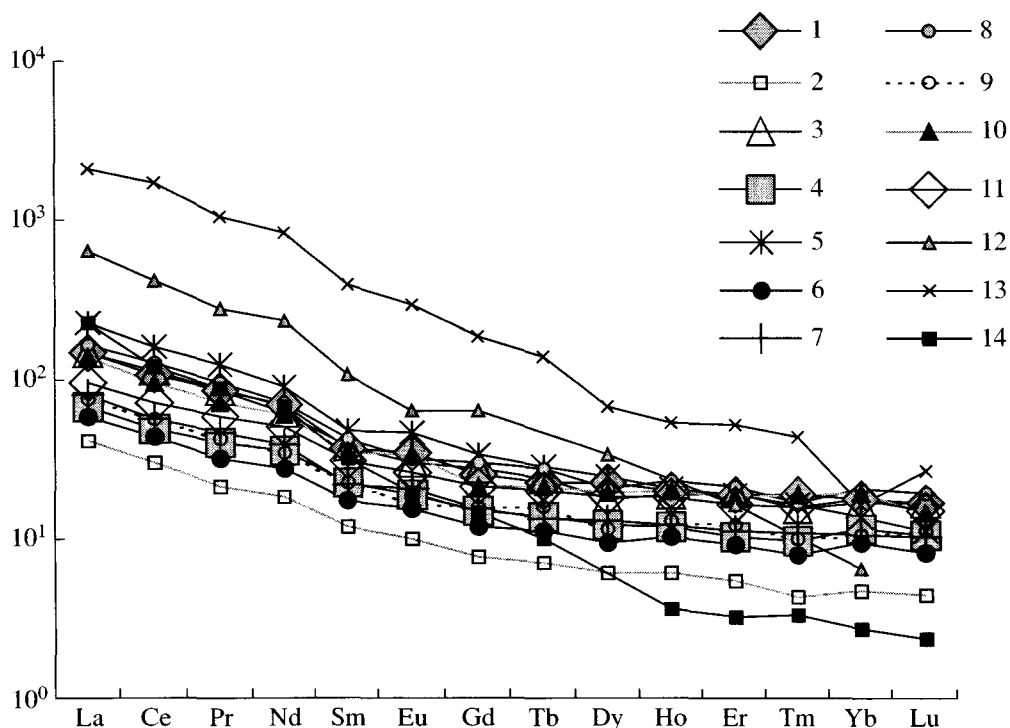


Рис. 4. Нормализованное к пиролиту (McDonough, Sun, 1995) распределение редкоземельных элементов в карбонатно-силикатных породах и карбонатах чагатайского комплекса, классических редкометалльных карбонатах и кимберлитах.

1–11 – породы чагатайского комплекса: 1–4, 6–11 – карбонатно-силикатные породы и меланократовые карбонаты, 5 – лейкократовые карбонаты; 12 – среднее для карбонатов мира (Самойлов, 1984); 13 – среднее для карбонатов Карело-Кольской провинции (Лапин, Маршинцев, 1984); 14 – среднее для кимберлитов, по (Wedepohl, Muramatsu, 1979).

типоморфных редкометалльных минералов, как пироклор, колумбит, бадделеит, бастнезит и др., а также своеобразием состава главных породообразующих и второстепенных минералов (табл. 4–9). Один из главных силикатных минералов в породах чагатайского комплекса – **гранат** (табл. 4) – имеет существенно андрадитовый состав (64–

98%), количество гроссулярового компонента варьирует от 5 до 23%, еще в меньших количествах присутствует шорломитовая (до 9.6%), пироповая (до 3%) и спессартиновая (до 1%) молекулы.

Мелилит, образующий характерные таблитчатые кристаллы, представлен железистым окерманитом (75%) с подчиненным количеством геле-

Таблица 4. Химический состав граната из карбонатов и карбонатно-силикатных пород чагатайского комплекса (мас. %)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
SiO ₂	33.63	33.45	33.36	32.77	33.56	34.67	34.34	34.77	32.47	34.58	34.59	33.44	33.61
TiO ₂	0.06	0.02	0.04	0.02	–	4.03	2.02	0.85	5.29	0.77	2.49	1.72	2.42
Al ₂ O ₃	0.29	1.55	0.51	1.78	0.83	3.82	5.58	4.02	3.65	3.87	4.25	1.97	3.79
Fe ₂ O ₃	30.07	29.76	29.63	30.21	29.14	24.31	23.10	26.85	23.64	26.61	25.11	28.50	25.40
MnO	0.47	0.24	0.35	0.18	0.25	0.09	0.09	0.01	0.10	0.09	0.10	0.01	0.07
MgO	0.88	0.32	0.57	0.17	0.67	0.74	0.65	0.17	0.78	0.37	0.54	0.48	0.55
CaO	33.49	34.24	33.70	33.62	34.00	33.26	33.74	32.67	32.85	32.45	32.51	32.07	32.16
Сумма	98.89	99.58	98.16	98.75	98.45	100.92	99.52	99.34	98.78	98.74	99.59	98.19	98.00

Примечание. Анализы 1–5 – проба 22-1, 6–13 – проба 89.

Таблица 5. Химический состав пироксена (1–3), мелилита (4–10) и слюды (11–15) из карбонатитов и карбонатно-силикатных пород чагатайского комплекса (мас. %)

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
SiO ₂	50.49	54.19	53.25	34.84	34.34	34.91	34.34	35.52	33.58	31.62	39.5	41.91	30.44	33.56	34.23
TiO ₂	0.28	0.05	0.05	1.16	0.65	1.85	1.67	0.81	2.27	2.24	0.01	0.00	0.02	0.12	0.00
Al ₂ O ₃	0.65	0.32	0.48	8.53	10.88	7.89	8.27	10.37	10.41	12.82	27.51	31.22	18.52	19.05	19.94
FeO	17.14	23.92	24.98	18.14	16.81	18.82	17.79	16.29	14.07	12.78	11.9	6.44	22.03	20.85	21.74
MnO	0.32	0.99	0.81	0.28	0.12	0.15	0.15	0.54	0.03	0.05	0.37	0.26	0.32	0.29	0.32
MgO	8.32	9.97	9.53	0.00	0.00	0.04	0.06	0.4	0.31	0.13	6.07	2.87	16.36	18.74	11.43
CaO	22.49	4.03	3.28	35.8	35.79	35.48	35.06	35.71	37.56	38.7	0.36	0.56	0.19	0.23	0.20
Na ₂ O	0.96	6.19	6.66	0.03	0.04	0.00	0.00	0.03	0.10	0.00	0.00	0.33	0.09	0.06	0.03
K ₂ O	0.00	0.18	0.25	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	6.98	8.36	4.20	4.54	9.57
Сумма	100.65	99.84	99.29	98.78	98.64	99.14	97.34	99.67	98.33	98.34	92.7	91.95	92.17	97.44	97.46

Примечание. Анализы: 1, 4–7 – проба 60; 2, 3 – проба 89; 8–10, 13–15 – проба 88; 11, 12 – проба 21-2.

Таблица 6. Химический состав титаномагнетита из карбонатитов и карбонатно-силикатных пород чагатайского комплекса (мас. %)

Компоненты	1	2		3		4		5		6		7	
		ц	кр	ц	кр	ц	кр	ц	кр	ц	кр	ц	кр
TiO ₂	7.83	4.57	3.68	4.47	1.04	8.24	2.52	14.96	3.80	17.74	2.09	6.32	5.38
V ₂ O ₃	0.07	0.05	–	0.07	0.02	–	–	0.04	–	0.10	0.09	–	–
Al ₂ O ₃	4.45	5.11	2.67	6.25	4.71	5.24	5.44	6.39	1.98	3.32	0.56	0.62	3.60
Fe ₂ O ₃	48.67	54.18	59.06	53.39	61.34	47.66	58.60	33.68	59.90	31.48	65.11	55.48	55.34
Cr ₂ O ₃	0.06	0.03	0.02	–	0.00	–	–	–	–	–	–	–	–
FeO	39.04	35.44	34.61	35.89	31.20	38.77	33.60	33.21	34.61	40.95	32.94	35.17	34.65
MnO	0.11	0.33	0.20	0.37	0.78	1.12	1.05	7.63	0.75	7.20	0.36	1.59	2.44
ZnO	–	0.11	0.08	0.19	0.03	0.08	0.04	–	–	0.19	0.09	–	–
MgO	0.03	0.22	0.13	0.05	0.45	–	0.03	3.14	0.16	–	0.08	–	–
Сумма	95.44	94.67	94.60	95.39	93.49	96.38	95.48	99.06	101.19	100.98	101.32	99.18	101.40

Примечание. Анализы: 1 – проба 21-2; 2–4 – проба 22-1; 5–7 – проба 89.

Индексами "ц" и "кр" обозначены центральные и краевые части зональных кристаллов. Прочерк – компонент не определялся.

нитового минала (25%). В минерале отмечается примесь титана (до 1.8 мас. % TiO₂) (табл. 5, ан. 4–10).

Пироксен представлен двумя разновидностями: диопсид-геденбергитом с примерно равными соотношениями этих компонентов и примесью эгириновой молекулы (6.8%) (табл. 5, ан. 1) и эгирин(45%)-диопсидом(13%), содержащим примесь клиноэнстатитового компонента (табл. 5, ан. 2, 3).

Слюда по составу ближе к железистому мусковиту (табл. 5, ан. 11, 12) и биотиту (табл. 5, ан. 13, 15), чем к характерному для классических карбонатитов и кимберлитов флогопиту.

Ферришпинелиды представлены минералом, в составе которого преобладает молекула магнетита (62–85%) при подчиненном количестве герци-

нитового (10–13.5%) и ульвошпинелевого (1.3–22.8%) миналов. Кроме того, широко развиты зональные кристаллы ферришпинели, в ядре которых преобладает ульвошпинелевый (до 49%), магнезиоульвошпинелевый (до 8.5%) и яkobситовый (до 23.5%) миналы, при подчиненном количестве магнетитовой (21–22%) и герцинитовой (7.2–13.6%) молекул, а краевая зона представлена магнетитом (82.7–91.5%) с примесью ульвошпинели (5.7–10%), яkobсита (1–2%) и герцинита (1–4%) (табл. 6).

Апатит, содержание которого в гранат-пироксен-кальцитовых карбонатитах достигает 15–20%, относится к фторапатиту (1.58–3.49 мас. % F) и характеризуется присутствием умеренных количеств стронция (до 0.20–0.27 мас. % SrO), бария

Таблица 7. Химический состав апатита (1–4) и кальцита (5, 6) из карбонатно-силикатных пород чагатайского комплекса (мас. %)

Компоненты	1	2	3	4	5	6
Na ₂ O	0.05	0.02	0.00	0.11	0.00	0.09
K ₂ O	–	–	–	–	0.13	–
MgO	–	–	–	–	0.01	–
CaO	55.02	54.65	54.77	55.1	56.88	58.94
SrO	0.20	0.27	0.00	0.00	–	0.20
BaO	0.38	0.19	0.00	0.00	–	0.06
Ce ₂ O ₃	0.08	0.16	0.00	0.03	–	–
MnO	0.07	0.01	0.08	0.00	0.04	0.01
FeO	0.44	0.35	0.58	0.42	0.45	0.12
P ₂ O ₅	40.77	41.05	41.2	41.27	–	–
SiO ₂	0.90	0.41	0.41	0.19	0.27	0.02
F	1.58	2.43	2.54	3.49	–	–
Сумма	99.49	99.54	99.58	100.61	57.77	59.44

Примечание. Анализы: 1–4 – проба 22-1; 5, 6 – проба 88. Прочерк – компонент не определялся.

(до 0.19–0.38 мас. % BaO) и редкоземельных элементов (до 0.08–0.16 мас. % Ce₂O₃) (табл. 7, ан. 1–4).

Карбонат составляет цементирующую матрицу пород, а в существенно карбонатных разностях образует характерный агрегат таблитчатых кристаллов, свойственных карбонатитам дайковой фации. Минерал близок по составу к чистому кальциту, содержащему незначительные количества магния, железа и марганца. Установлено присутствие примеси стронция (0.2 мас. % SrO) и бария (0.06 мас. % BaO) (табл. 7, ан. 5, 6).

Щелочной полевой шпат обычно присутствует в матрице пород совместно с карбонатом, часто по периферии карбонатных скоплений и гнездообразных выделений. Соотношение ортоклаза и альбита в щелочном полевоом шпате варьирует от Or₈₆Ab₁₆ до Or₄₇Ab₅₃. Количество анортитовой молекулы обычно невелико, но иногда повышается до 10.8–12.9% (табл. 8, ан. 1–5).

В качестве наиболее характерного аксессуара породы содержат титанит (табл. 8, ан. 6). Сульфидная минерализация представлена неравномерной вкрапленностью пирита (табл. 9). В породах установлено присутствие графита и самородных элементов – золота, свинца, серебра и меди, что указывает на резко восстановительные условия их кристаллизации.

Таким образом, состав рассматриваемых пород отличается отсутствием как глубинных минералов алмазного парагенезиса, так и характерных редкометалльных минералов карбонатитов. Особенностью породообразующих минералов

Таблица 8. Химический состав щелочного полевого шпата (1–5) и титанита (6) из карбонатитов и карбонатно-силикатных пород чагатайского комплекса (мас. %)

Компоненты	1	2	3	4	5	6
SiO ₂	63.95	65.71	61.35	66.8	57.19	29.35
TiO ₂	0.02	0	0.01	0	0.8	38.49
Al ₂ O ₃	17.05	16.89	16.72	17.89	15.85	0.05
FeO	0.48	1.02	0.52	0.45	6.11	2.53
MnO	0.06	0.15	0	0.02	0.13	0.11
MgO	0.1	0.42	0.02	0.06	1.09	0.01
CaO	0.49	0.8	1.98	0.27	2.08	27.24
Na ₂ O	1.92	3.26	0.4	5.7	1.67	–
K ₂ O	15.72	10.07	17.75	7.95	13.83	–
Сумма	99.79	98.32	98.75	99.14	98.75	97.78

Примечание. Анализы: 1, 2 – проба 21-2; 3–5 – проба 60; 6 – проба 89. Прочерк – компонент не определялся.

этих пород является повышенная железистость силикатов – граната, мелилита, слюды и пироксена.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Учитывая специфические петрохимические, геохимические и минералогические особенности алмазонасных карбонатитов и карбонатно-силикатных пород чагатайского комплекса Тянь-Шаня, отличающие их как от классических редкометалльных карбонатитов, так и от кимберлитовых карбонатитов, для аргументации карбонатитовой природы рассматриваемых пород существенное значение имеют условия их формирования.

Карбонатиты и лампрофировые карбонатно-силикатные породы чагатайского комплекса об-

Таблица 9. Химический состав пирита из карбонатно-силикатных пород чагатайского комплекса (мас. %)

Элементы	1	2
Fe	46.51	46.11
Co	0.05	0.31
Ni	0.01	0.04
Cu	Не обн.	Не обн.
S	53.25	53.11
As	0.28	0.05
Сумма	100.10	99.62

Примечание. Анализы 1, 2 – проба 21-2.

Таблица 10. Результаты определения изотопного состава стронция и неодима в карбонатитах и карбонатно-силикатных породах чагатайского комплекса

Образец	Rb	Sr	$(^{87}\text{Rb}/^{86}\text{Sr})_{\text{AT}}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$	$\pm 2\sigma$	$\epsilon_{\text{Sr}(T=400)}$	$^{143}\text{Nd}/^{144}\text{Nd}$	$\pm 2\sigma$	$\epsilon_{\text{Nd}(T=400)}$
22-1	52	1635	0.0915	0.70673	2	31			
25-5	53	922	0.1666	0.70737	8	34			
87	50	1982	0.0735	0.70709	2	37	0.512434	5	0.0
60	32	668	0.1406	0.70717	3	33	0.512544	8	2.0
22-1A	1.5	3159	0.00139	0.70722	4	45			
23	27	1010	0.0764	0.70777	3	47			
21-2	113	1068	0.3053	0.70738	4	23	0.512491	5	1.5
89	67	1749	0.1112	0.70752	1	41			
88	25	751	0.0960	0.70661	1	29	0.512577	18	2.3
69	71	2264	0.0906	0.70662	2	29	0.512437	7	0.4
84	95	873	0.3136	0.70741	2	23	0.512501	10	1.2
SRM-987 (N=6)				0.710263	12				
La Jolla (N=6)							0.511843	13	

Примечание. Указанные в таблице погрешности относятся к последним значащим цифрам изотопных отношений. Концентрации Rb и Sr (ppm) определены методом изотопного разбавления с погрешностью 1% (2 σ). Нумерация образцов соответствует таковой в табл. 1.

ладают всеми признаками инъекционного интрузивно-экструзивного происхождения, и естественно было бы предположить, что подобно кимберлитам они транспортируют алмаз из глубоких горизонтов мантии, где этот минерал термодинамически устойчив. Однако рассматриваемые породы совершенно лишены петрохимических и минералого-геохимических признаков столь глубинного мантийного зарождения. Отсутствие в

них даже следов минералов мантийного парагенезиса алмаза и геохимических признаков мантийного происхождения, таких как повышенные концентрации хрома и никеля, а также их высокая железистость не позволяют считать данные породы аналогичными кимберлитам продуктами начального плавления алмазоносного мантийного пиролита. В то же время низкие концентрации в породах характерных редкометалльных компонентов (Nb, Zr, Ce и др.) не позволяют рассматривать их и в качестве конечных дифференциатов продуктов частичного плавления пиролита, аналогичных классическим редкометалльным карбонатитам. Поэтому алмазоносность чагатайских карбонатитов едва ли можно связывать с выносом глубинного мантийного вещества.

Более вероятной альтернативой этому является кристаллизация алмаза непосредственно во включающей его карбонатсодержащей системе в условиях аномальных стрессовых нагрузок в земной коре и высокого термального градиента, которые свойственны коллизионной обстановке становления горной системы Тянь-Шаня.

Судя по петрогеохимическим особенностям чагатайских карбонатитов и карбонатно-силикатных пород, их материнским веществом могли служить породы основания коры, возможно ее серогнейсового или гранулитового слоя, смешанные с погруженными на глубину терригенными и карбонатными осадками. Эти породы, вероятно, испытали флюидно-магматическую активизацию в зоне максимальных стрессовых нагрузок и по-

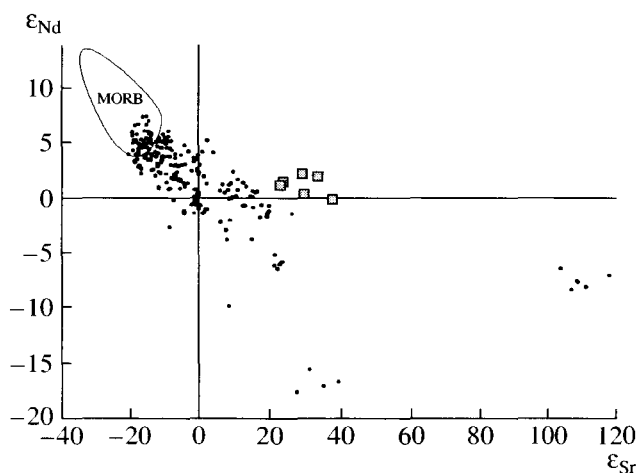


Рис. 5. Изотопные отношения неодима и стронция в карбонатно-силикатных породах и карбонатитах чагатайского комплекса (квадраты) в сравнении с другими карбонатитами мира (точки).

Показано также поле базальтов срединно-океанических хребтов (MORB).

вышенного термального потока. Кристаллизация алмаза, очевидно, осуществлялась в магматически активизированной силикатно-карбонатной среде под влиянием избыточных сверхвысоких давлений в коллизионной зоне.

Существенную генетическую информацию содержат данные об изотопном составе стронция и неодима в карбонатитах и карбонатно-силикатных породах чагатайского комплекса (табл. 10, рис. 5). Как следует из рис. 5, на который нанесены показатели ϵ_{Sr} и ϵ_{Nd} в породах Тянь-Шаня в сравнении с редкометальными карбонатитами мира, тянь-шаньские породы занимают обособленное поле, которое смещено по отношению к редкометальным карбонатитам большинства районов мира в сторону больших значений ϵ_{Sr} , что указывает на относительное обогащение пород радиогенным стронцием. Это позволяет предполагать, что формирование алмазоносных карбонатитов и карбонатно-силикатных пород чагатайского комплекса происходило при участии корового компонента и восстановленных флюидных растворов, источником которых служили глубокие горизонты коры и верхи мантии.

Изотопный состав углерода кальцитов в породах, не испытавших вторичной перекристаллизации, варьирует от 4.3 до 5.2‰, что соответствует наиболее характерным значениям для углерода карбонатитов, кимберлитов и других эндогенных высокотемпературных образований.

Эксперименты, в которых карбонатно-силикатные породы чагатайского комплекса были использованы в качестве материнской среды для кристаллизации алмаза, подтвердили принципиальную возможность синтеза алмазов в системе, имеющей петрогеохимические характеристики исследуемых пород, и позволили определить P - T условия такого синтеза (Литвин и др., 1997). Более того, эти эксперименты показали также, что пересыщенные растворенным углеродом расплавы природных алмазоносных карбонатно-силикатных пород являются высокоэффективными алмазообразующими средами. При этом синтез алмаза в таких средах осуществляется при давлениях 7 ГПа, температурах 1450–1550°C и выдержках 10–40 мин (Литвин и др., 1997). Последние эксперименты показали возможность синтеза алмаза в таких средах уже при давлении 5 ГПа и температуре 1200–1570°C (Литвин, Жариков, 2000).

ВЫВОДЫ

Таким образом, карбонатиты и сопутствующие им породы чагатайского комплекса, вероятно, представляют собой особый тип алмазоносных образований немантийного происхождения; условия, благоприятные для кристаллизации в

этих породах алмаза, достигаются в земной коре за счет аномальных стрессовых нагрузок и высоких температур, свойственных мощным коллизионным зонам. Очевидно, что величина этих нагрузок весьма значительна, поскольку они разряжаются зонами концентрации мелкофокусных землетрясений, характерных для обстановки столкновения континентальных плит. Можно предполагать, что достижению параметров стабильности алмаза в этой ситуации благоприятствует погружение блока коры на глубину в зоне столкновения литосферных плит.

В генетическом плане рассматриваемые алмазоносные образования в известной степени могут быть сопоставлены с алмазоносными метаморфитами Кокчетавской глыбы, формирование которых связывается с высокими степенями тектонотаморфизма и длительной миграцией восстановленных мантийных флюидов в глубинных тектонических зонах (Летников, 1983; Летников и др., 1996). В том и другом случае образование алмаза связано с воздействием восстановленных глубинных флюидов, однако особенность ситуации в Тянь-Шане заключается в том, что аномальные P - T условия и воздействие восстановленных флюидов вызывают здесь мобилизацию карбонатитоподобных образований, в которых и происходит кристаллизация алмаза.

Приведенные выше данные характеризуют петрохимическое и минералого-геохимическое своеобразие алмазоносных пород чагатайского комплекса, которые существенно отличаются как от классических редкометальных карбонатитов, так и от кимберлитовых карбонатитов и, по видимому, имеют немантийное происхождение. В связи с этим рассматриваемые породы, вероятно, следует относить к совершенно особому типу карбонатитовых образований, в которых породы, близкие по составу к карбонатитам, ассоциируют с количественно преобладающими породами смешанного карбонатно-силикатного состава – карбонатсодержащими ультраосновными лампрофирами, а также с трахитами. В этих образованиях алмазоносность связана не с породами карбонатитового состава, а с карбонатсодержащими ультраосновными лампрофирами. Учитывая это, а также вероятную связь алмазоносности тянь-шаньских пород с аномальными стрессовыми нагрузками, возникающими в коллизионных зонах земной коры, рассматриваемый случай не может считаться критическим как для оценки справедливости правила Клиффорда, так и для традиционных представлений о минерации карбонатитов.

Можно предполагать, что подобный тип алмазоносности имеет более широкое распространение в мощных коллизионных зонах столкновения континентальных плит. При этом материнскими

породами для алмаза могут служить различные карбонат- и углеродсодержащие образования земной коры.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Диваев Ф.К.* Чагатайский комплекс карбонатитов – новый тип магматических пород Узбекистана // Узб. геол. журнал. 1996. № 6. С. 32–41.
- Диваев Ф.К.* Чагатайский трахит-карбонатитовый комплекс южного Нуратау: Автореф. дис. ... канд. геол.-мин. наук. Ташкент: Институт геологии и геофизики им. Х.М. Абдуллаева, 2000. 25 с.
- Лапин А.В., Маршинцев В.К.* Карбонатиты и кимберлитовые карбонатиты // Геология рудн. месторождений. 1984. № 3. С. 28–42.
- Летников Ф.А.* Образование алмазов в глубинных тектонических зонах // Докл. АН СССР. 1983. Т. 271. № 2. С. 433–435.
- Летников Ф.А., Савельева В.Б., Гореванов Д.Е., Халилов В.А.* Метаморфизм и метасоматоз в зонах глубинных разломов континентальной литосферы // Геотектоника. 1996. № 5. С. 15–26.
- Литвин Ю.А., Чудиновских Л.Т., Жариков В.А.* Кристаллизация алмаза и графита в мантийных щелочно-карбонатитовых расплавах в эксперименте 7–11 ГПа // Докл. РАН. 1997. Т. 355. № 5. С. 669–672.
- Литвин Ю.А., Жариков В.А.* Экспериментальное моделирование генезиса алмаза: кристаллизация алмаза в многокомпонентных карбонатно-силикатных расплавах при 5–7 ГПа и 1200–1570°C // Докл. РАН. 2000. Т. 372. № 6. С. 808–811.
- Самойлов В.С.* Геохимия карбонатитов. М.: Наука, 1984. 192 с.
- McDonough W.F., Sun S.-S.* The composition of the Earth // Chem. Geol. V. 120. № 3, 4. 1995. P. 223–253.
- Wedepohl K.H., Muramatsu Y.* The Chemical Composition of Kimberlites Compared with the Average Composition of Three Basaltic Magma Types / Eds Boyd F.R. and Meyer H.O.A.. Kimberlites, diatremes and diamonds: their geology, petrology and geochemistry. Washington. American Geophys. Union, 1979. P. 300–312.