

Карбонатиты участка Веселый (Северное Забайкалье)

Рипп Г.С., Бадмацыренов М.В., Дорошкевич А.Г., Ласточкин Е.И.

Геологический институт СО РАН, Улан-Удэ, Россия

В статье приводятся результаты минералогического и геохимического изучения карбонатитов проявления Веселое, обнаруженного в Северном Забайкалье. В них определены химический состав, содержание элементов-примесей, РЗЭ, установлены главные, второстепенные и акцессорные минералы. Даны результаты определения изотопного состава кислорода и углерода в карбонатных минералах из карбонатитов, доломитовых мраморов, тальк-карбонатных пород, лиственитов и кварц-карбонатных жил. Приведены первые результаты термобарогеохимического изучения первичных включений в апатите, цирконе и кальците. Дана характеристика хромсодержащих минералов из ксеногенных включений, для которых предполагается мантийное происхождение.

Введение

В Северном Забайкалье в последние годы обнаружены эндогенные карбонатные породы, отнесенные к карбонатитам [1, 2, 4]. Предполагается, что они являются частью новой карбонатитоносной площади, сформировавшейся в венде - позднем рифее. Проявления приурочены к краевым частям выступа раннедокембрийского фундамента. Они сложены бифорситами и представлены дайковыми телами. Рассматриваемое в статье проявление Веселое расположено к западу от Северо-Муйской глыбы, в пределах рифтогенной зоны венд-рифейского возраста. Зона имеет субмеридиональное направление, трассируется глубинными разломами, вдоль которых внедрилась серия даек базитов и ультрабазитов. Минеральная ассоциация и геохимические особенности пород близки к карбонатитам других регионов. Об этом свидетельствуют спектр РЗЭ, высокие содержания стронция в породах, изотопные составы О и С в карбонатах, первичные изотопные стронциевые отношения в породах и безрубидиевых минералах. Результаты термобарогеохимического изучения первичных включений в апатите и цирконе свидетельствуют о магматической природе карбонатитов. На площади не обнаружено силикатных щелочно-основных и ультраосновных пород комагматичных карбонатитам.

В карбонатитах присутствуют специфические по составу мелкие резорбированные агрегаты с хромсодержащими минералами. Структурно-текстурные особенности этих образований позволяют предполагать их мантийное происхождение.

Методика исследований

Анализ химического состава пород проведен атомно-абсорбционным методом, элементов-примесей - рентгено-флюоресцентным, а редкоземельных элементов - спектральным методом с предварительным химическим обогащением. В последнем случае в качестве стандартных образцов использованы апатитовая руда и апатит с аттестованными содержаниями РЗЭ. Состав минералов определен на модернизированном рентгеновском микроанализаторе MAP-3, при ускоряющем напряжении 20 кВ, токе зонда 40 нА, времени измерения 20 сек и диаметре зонда 2-3 мкм. Для повышения достоверности анализа в окрестностях каждой точки проводилось по несколько параллельных замеров. Микроструктурные особенности пород, характер выделений минералов, их взаимоотношения и однородность состава изучались на электронном микроскопе LEO-1430 с энергодисперсионным спектрометром IncaEnergy-300. С целью подтверждения карбонатитовой природы пород проведен небольшой объем изотопных исследований. Изотопные составы кислорода и углерода в карбонатах, кислорода в магнетите, определены в лаборатории стабильных изотопов Аналитического Центра ДВНЦ РАН. Погрешность анализов в карбонатах не превышала $\pm 0,02$, а в магнетите - $\pm 0,5\%$.

Абсолютный возраст карбонатитов определен уран-торий-свинцовым методом по циркону во ВСЕГЕИ А. Ларионовым.

Геологическое строение

Участок Веселый расположен в обрамлении выступа раннедокембрийского фундамента, часть которого входит в состав Северо-Муйской глыбы. На площади глыбы распространены различные по составу породы, метаморфизованные в условиях амфиболитовой, эпидот-амфиболитовой, а в отдельных участках - гранулитовой фаций. Они представлены сланцами, гнейсами, гнейсо-гранитами, мраморами. Породы кристаллического основания перекрыты вендским и раннекембрийским осадочным чехлом, сложенным терригенными, терригенно-карбонатными и карбонатными отложениями.

С запада к Муйской глыбе примыкает вулканогенно-осадочный комплекс пород рифейского возраста, на площади которого установлены карбонатиты проявления Веселого. В результате метаморфизма породы его превращены в кварц-полевошпат-слюдяные сланцы с линзами мраморов. Вулканогенно-осадочный комплекс прорван массивами и дайками рифейских габброидов, ультрабазитов, палеозойскими гранитоидами. Базиты и ультрабазиты вдоль тектонических нарушений ССЗ направления слагают цепочки массивов и даек.

Участок Веселый сложен преимущественно полевошпат-кварц-слюдистыми кристаллическими сланцами. Слюда, количество которой в

Химические составы фенгита из кристаллических сланцев участка Веселый (мас.%)

№п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	F	Сумма
1	50.85	1.97	22.45	5.98	3.68	-	11.37	1.14	97.44
2	50.56	1.17	25.43	1.32	3.28	-	11.35	1.15	94.26
3	47.12	1.11	25.71	7.22	2.86	-	10.93	0.84	95.79
4	46.76	1.14	27.45	3.92	2.98	0.24	10.99	0.65	94.13
5	49.00	0.32	26.76	3.76	3.16	0.29	11.29	0.49	95.07
6	50.95	1.20	26.47	2.10	3.34	-	12.44	н/опр	96.50
7	48.37	0.58	28.48	3.90	2.07	-	12.03	-	95.43
8	47.57	0.88	28.00	4.22	1.99	-	11.75	-	94.41

Примечание. В пробах не обнаружены Cr₂O₃, BaO, SrO, CaO. Содержания Si (ф.к.) варьирует в интервале 3.24–3.45. Сумма приведена без учета воды. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г. Во всех таблицах (-) – не обнаружен, (н/опр) – не определялся.

породах варьирует от первых процентов до 20-30%, относится к фенгиту, содержащему до 5-7 мас. % FeO и обычно более 3 мас. % MgO, составляющих суммарно около 0,5 ф.к. В слюдах присутствует 0,5-1,15 мас. % фтора и несколько более 1 мас. % TiO₂ (табл. 1).

Высокое содержание кремния (1,30-1,45 ф.к.) в тетраэдрической позиции свидетельствует о высокобарических условиях образования пород. Расчеты давлений по [3] для температур 500 °С, дают значения варьирующие в интервале 7,7-12 Кбар.

Полевой шпат представлен, в основном, альбитом, в небольших количествах присутствует калиевый полевой шпат.

С регрессивным этапом метморфизма связано образование пород с содержанием 20-60% слюды (объемных) и кварц-калиевополевошпатовых прожилков с повышенным количеством алланита. Прожилки ориентированы согласно полосчатости сланцев. Редко среди сланцев встречаются мелкозернистые альбитовые породы с рассеянной вкрапленностью циркона.

Массивы габброидов, закартированные на западе и в восточной части участка, вытянуты в субмеридиональном направлении. Они прорваны телами биотитовых и щелочных гранитов. Породы представлены, в основном, роговообманковыми габбро, переходящими участками в габбродиориты. Щелочные граниты, распространенные на западе участка, сложены кварцем, калиевым полевым шпатом, альбитом и содержат вкрапленность эгирина, арфведсонита. С ними связаны процессы альбитизации пород и тела альбититов с циркониевой, ниобиевой и редкоземельной минерализацией. Альбититы встречаются также среди кристаллических сланцев в удалении от гранитов.

Большая часть даек основных пород сосредоточена в полосе субмери-

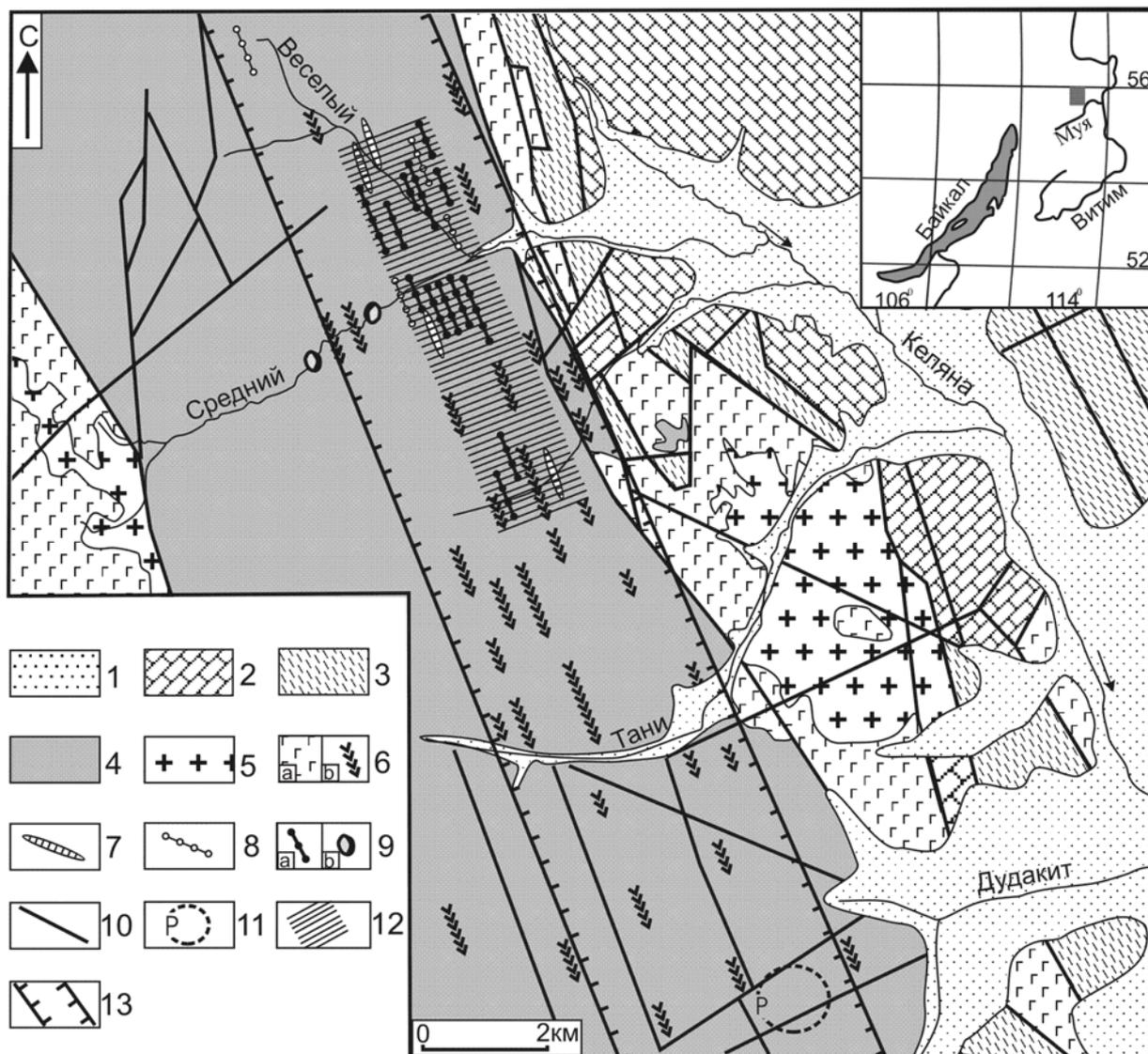


Рис. 1. Схема геологического строения участка Веселый (по данным Н.П. Андреева и др., 1974, В.П. Инюшкина и др., 1977 с дополнениями Б.Б. Дамдинова и авторов).

1 – современные рыхлые отложения; 2 – кембрийские: известняки и 3 – сланцы; 4 – рифейские кристаллические полевошпат-кварц-сланцевые сланцы; 5 – граниты биотитовые и щелочные; 6 – габброиды: а) массивы, б) дайки; 7 – доломитовые мраморы; 8 – тальк-карбонатные породы и листвениты; 9 – карбонатиты: а) дайки, б) валуны в русловых отложениях; 10 – тектонические нарушения; 11 – вторичная литогеохимическая аномалия фосфора; 12 – площадь распространения карбонатитов; 13 – границы рифтогенной зоны с дайками базитов, ультрабазитов и карбонатитов.

дионального направления шириной 5-6 км (рис. 1). Они в разной степени амфиболизированы, хлоритизированы, эпидотизированы. Мощность даек обычно до нескольких десятков - первых сотен метров. Они ориентированы согласно с направлением зоны глубинной проницаемости. В результате метаморфических процессов дайки изменены и превращены в агрегат эпидота, хлорита, амфиболов с подчиненными количествами биотита, плагиоклаза, титанита.

Химические составы пород участка Веселый (мас. %, ppm)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	4.60	7.80	32.10	37.70	1.60	6.80	1.60	2.30	3.30
TiO ₂	<0.02	<0.02	0.02	0.12	0.22	0.39	0.35	0.38	0.85
Al ₂ O ₃	0.50	0.90	0.90	15.30	0.30	0.60	0.90	0.30	0.90
Fe ₂ O ₃	<0.05	<0.05	2.76	0.87	1.20	< 0.05	< 0.05	0.76	2.01
FeO	0.55	0.78	5.10	4.63	2.08	4.55	3.76	4.63	2.61
MnO	0.02	0.05	0.15	0.10	0.11	0.13	0.10	0.11	0.11
MgO	21.03	19.85	30.62	10.12	10.46	12.84	14.60	12.70	11.33
CaO	28.60	28.90	5.10	8.66	39.80	33.65	34.08	35.81	37.44
Na ₂ O	0.03	0.13	0.01	0.20	0.08	0.07	0.04	0.07	0.07
K ₂ O	0.02	0.07	0.01	3.61	0.01	0.08	<0.10	0.02	0.04
P ₂ O ₅	0.06	<0.05	<0.05	<0.05	5.12	6.64	6.30	8.10	5.65
П.п.п.	44.46	40.97	22.79	17.61	37.71	34.56	37.67	34.51	35.01
Сумма	99.87	99.45	99.56	99.03	98.69	100.31	99.50	99.69	99.32
CO ₂	43.11	40.95	8.71	13.49	36.95	33.34	36.10	33.55	34.19
S	<0.10	<0.10	<0.10	0.13	0.20	<0.10	<0.10	0.28	0.22
F	0.02	0.02	-	-	0.52	0.76	0.60	0.76	0.57
Cr	-	-	3100	560	96	78	96	96	200
V	-	-	50	61	50	50	50	0.0061	0.061
Ni	-	-	68	<50	100	82	130	140	190
Rb	<3	<3	<3	64	<3	4	6	4	<3
Sr	480	130	640	230	10300	8500	5850	6800	8300
Y	35	9	2	3	58	37	25	46	60
Zr	5	12	7	11	100	80	55	90	250
Nb	<2	<2	<2	<2	6	15	5	6	19
Ba	<50	500	650	240	2000	4000	130	850	700
Cu	<10	<10	14	23	<10	<10	<10	<10	56
Zn	-	-	30	56	20	48	30	34	24
Pb	<3	3	<5	16	40	57	26	12	23
TR	36.5	157.9	н/опр	н/опр	961	835	545	1554	1143

Примечание. 1, 2 – доломитовые мрамора; 3 – тальк-карбонатная порода 4 – лиственит; 5 – 9 – карбонатиты. Анализы макрокомпонентов выполнены атомной абсорбцией (аналитики А.А. Цыренова, В.А. Иванова, Н.Л. Гусева, Г.И. Булдаева), примесные элементы - рентгенофлюоресцентным (аналитик Б.Ж. Жалсараев), редкоземельные элементы - химико-спектральным методами (аналитики Т.А. Казанцева, Л.А. Левантуева), ГИН СО РАН, 2003-2004 г.г.

Комагматичных с карбонатитами щелочных силикатных пород в пределах проявления не обнаружено.

На площади участка распространено несколько типов карбонатных пород. Кроме карбонатитов они представлены мраморами, залегающими среди рифейских сланцев, кембрийскими известняками и доломитами, тальк-карбонатными породами и лиственитами, жилами и прожилками существенно карбонатного и кварц-карбонатного составов.

Таблица 3.

Химические составы карбонатов из карбонатитов участка Веселый (мас.%)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
CaO	29.75	30.30	29.26	0.09	30.00	29.60	32.15	30.59	29.11
MgO	22.01	22.36	21.28	42.05	17.91	19.48	20.92	21.65	21.31
FeO	0.35	0.24	0.53	8.05	5.48	3.79	2.85	1.98	2.18
MnO	-	-	0.17	0.13	0.10	0.26	0.25	0.07	0.07
Сумма	52.11	52.90	51.57	50.32	53.43	53.13	56.17	54.29	52.67

Примечание. Пробы 1, 2 - из доломитового мрамора, 3, 4 - из тальк-карбонатной породы, 5 - из лиственита, 6, 7 - из доломитовых пород с хлоритом, 8, 9 - из кварц-карбонатной жилы. Сумма дана без CO₂. Sr не обнаружен. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

Известняки распространены в восточной части участка, где слагают блоки неметаморфизованных тонкозернистых массивных и полосчатых пород, содержащих прослои и линзы филлитовидных сланцев.

Мраморы встречены в виде линз среди рифейских кристаллических сланцев. Мощность их достигает несколько десятков метров. Это массивные среднезернистые породы сложенные доломитом. В контактовых частях тебл по трещинкам в них часто распространены новообразования бесцветного флогопита. Мраморы пересекаются многочисленными ветвящимися кварцевыми прожилками. Доломит безжелезистый (первые десятые доли мас. % FeO), без стронция и марганца (табл.2).

Породы характеризуются низким содержанием примесных элементов (табл. 3). В участках, расположенных вблизи карбонатитов, в них появляются иногда достаточно высокие (до 1200 рт) концентрации стронция.

Тальк-карбонатные породы обнаружены в контурах полосы распространения карбонатитов. Они слагают дайкообразные тела мощностью до нескольких метров и, как и вмещающие породы, испытали метаморфические преобразования. Породы неравномернозернистые, имеют массивное сложение - мелкозернистые в одних случаях и среднезернистые в других. В переменных количествах в них присутствуют доломит, тальк, выполняющий промежутки между зернами карбонатов, и магнезит. Зерна карбонатов, имеющие нередко ромбоэдрическую форму, представлены обычно метакристами. Доломит содержит небольшие количества железа (0,53 мас. % FeO), не обнаружены в нем MnO и SrO (см. табл. 2). Меньше распространен железистый магнезит (см. табл. 2). Он в ассоциации с доломитом и тальком слагает агрегаты бесцветных зерен и метакристы ромбоэдрической формы.

В виде рассеяной вкрапленности в тальк-карбонатных породах присутствует магнетит. Особенностью состава его является повышенное количество хрома, что обусловило появление в результате наложенных

процессов вокруг зерен оторочек фуксита. На контактах тальк-карбонатных пород обычно распространены листвениты, образовавшиеся в результате метаморфических процессов. Здесь же отмечается интенсивное окварцевание пород, фенгит слагает чешуйки ориентированные согласно с полосчатостью параллельной контактам пород.

Состав слюды близок к фенгиту вмещающих сланцев. Для нее характерны повышенные содержания магния и железа. В отличие от слюд из сланцев в них присутствует хром (около 0,5 мас. % Cr_2O_3). В минерале повышены содержания кремния (3,28 ф.к.), свидетельствующие о высоких давлениях в момент его образования.

Химический состав тальк-карбонатных пород (табл. 3), повышенные содержания хрома, никеля в них свидетельствуют, что их протолитом были ультрабазиты. В зонах лиственитизации соответственно повышены количества K_2O и SiO_2 , варьирующие в широких интервалах значений.

Карбонатные и кварц-карбонатные прожилки и жилы (мощностью до 10-20 см) спорадически встречаются среди кембрийских карбонатно-сланцевых пород. Количество карбонатного материала в них достигает 60-70%. Иногда они содержат пирит. Карбонаты крупнозернистые до гигантозернистых. Это кальциты или доломиты, редко отмечается анкерит.

Общими особенностями всех перечисленных карбонатных пород являются низкие концентрации стронция, марганца и пониженные - анкеритового минала в доломитах. Несколько повышенные содержания железа отмечены в доломите из хлорит-карбонатных пород и лиственита (см. табл. 2).

Карбонатиты

На площади участка в полосе шириной 0,5-0,7 км на протяжении около 4 км установлено несколько дезинтегрированных даек карбонатитов, представленных большей частью элювиально-делювиальными свалами. Масштабы, распространения карбонатитов вероятно больше, так как геохимический ореол фосфора, являющегося главным компонентом этих пород, занимает площадь около 4 км², а валуны карбонатитов в аллювиальных отложениях руч. Среднего встречены в 800-1000м выше по течению от выделенной полосы. По простирацию карбонатитоносная полоса также еще не прослежена и пока зафиксирована к северу от руч. Младенцевского до среднего течения ручья Веселого (см. рис. 1).

Наиболее изучены карбонатиты, распространенные по бортам ручья Веселого и правобережье руч. Среднего. Здесь они прослежены вдоль склонов на расстоянии 600-1000 метров в виде элювиально-делювиальных свалов шириной до нескольких десятков метров.

В правом борту ручья Среднего, пересекающей карбонатитоносную полосу вкрест простираения установлено 4 делювиальных шлейфа шириной по 10-50 м, протягивающихся от подошвы склона до водораздела. Расстояние

Таблица 4.

Химический состав хлоритов из карбонатитов участка Веселый (мас.%)

№п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	NiO	Сумма
1	29.77	-	12.25	6.15	14.59	21.72	0.23	1.33	86.04
2	29.08	-	14.90	2.34	14.71	23.16	0.69	0.79	85.67
3	32.58	-	15.51	1.68	14.16	26.54	-	0.65	91.12
4	27.41	0.04	21.22	-	18.83	21.46	-	-	88.96
5	28.55	0.05	20.18	-	17.54	22.50	-	-	88.82
6	30.42	-	17.68	-	13.12	26.72	0.05	-	87.99
7	27.15	-	19.81	-	22.01	19.52	0.09	-	88.58
8	26.14	-	20.64	-	21.96	18.62	0.10	-	87.46

Примечание. Пробы 1–3 – из участков с хромсодержащими минералами; 4–8 – из жилков секущих карбонатитов. Сумма дана без учета воды. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

между шлейфами варьирует от 50 до 150 м. В 200 м западнее от них в русле руч. Среднего вскрыто еще одно маломощное тело карбонатитов. Таким образом, в настоящее время достаточно определенно можно говорить о пяти зонах с дайковыми телами ориентированными на ССЗ (340-345°). Относительно мощности карбонатитовых тел определенно сказать трудно. Судя по размерам глыб и ширине делювиальных шлейфов, они варьируют от 5-10 см до нескольких метров.

Уран-свинцовый возраст карбонатитов, определенный по циркону ложится в интервал на границе нижнего венда - верхнего рифея (593±3,5 млн. лет) и близок к значениям, полученным для карбонатитов Пограничного проявления [1].

Карбонатиты представляют собой мелкозернистые породы с порфиоровыми кристаллами апатита среди существенно доломитовой матрицы. В породах отчетливо видна полосчатость конформная контактам. Она обусловлена единой ориентировкой кристаллов апатита, зерен доломита, цепочками зерен магнетита, рутила, щелочного амфибола. Более грубая полосчатость подчеркивается наличием в породе зон и линзовидных скоплений, обогащенных различными минералами. В одних случаях они представлены апатитом, в других доломитом или кальцитом. Встречаются также маломощные полосы с цирконом, с магнетитом, рутилом или щелочным амфиболом. Ширина полос обогащенных главными минералами (апатитом, доломитом, кальцитом) варьирует от нескольких мм до 8-10 см.

Контакты карбонатитов с кристаллическими сланцами в большинстве случаев тектонизированы. Здесь породы милонитизированы, развальцованы. Часто полевошпат-кварц-слюдистый материал вмещающих сланцев “затерт” в будинированную карбонатитовую матрицу с образованием “слоеного” пирога. В них линзовидные обособления карбонатита, разделены слюдистым

Минеральный состав карбонатитов участка Веселый

Этапы, ассоциации	Минеральный состав
Собственно карбонатитовый	Главные: доломит, апатит, кальцит Второстепенные и акцессорные: флогопит, магнетит, рутил, магнезиорибекит, рихтерит, циркон, монацит, молибденит
Посткарбонатитовый гидротермальный	Главные: доломит, кальцит Второстепенные и акцессорные: барит, баритоцелестин, монацит, алланит, стронцианит, синхизит
Метаморфогенный	Фенгит, кварц, тальк
Гидротермальная не связанная с карбонатитами 1 ассоциация 2 ассоциация 3 ассоциация	Хлорит, кварц, доломит, кальцит Кварц, пирит, халькопирит Кварц, пирит, галенит, сфалерит, халькопирит
Ксеногенная (ксенолиты и продукты их изменения)	Магнетит, рутил, титанит, ильменит, фуксит, хромсодержащий хлорит

агрегатом. На контактах получило также распространение более позднее окварцевание и хлоритизация, сопровождаемые разноориентированными прожилками хлорита, кварца. Хлорит по составу магнезиально-железистый (табл. 4). При наложении на участки с хромсодержащими минералами хлориты резко обогащены хромом и никелем (см. табл. 4, ан. 1-3)

В отдельных случаях наложенные процессы в контактовых зонах обусловили перекристаллизацию карбонатита с образованием агрегата крупнокристаллического доломита близкого к составу доломита из карбонатитов.

Редко на контактах сохранились участки, обогащенные флогопитом. Здесь флогопит деформирован, пластинчатые выделения его частично хлоритизированы.

Минеральный состав карбонатитов

Минеральный состав пород определен ассоциациями собственно карбонатитового этапа, более поздних гидротермальных стадий, минералов, образовавшихся при метаморфических процессах и ксеногенного происхождения (табл. 5).

На 70-80% карбонатиты сложены доломитом и на 10-20% апатитом. До 5-15% объема пород приходится на кальцит. В числе второстепенных (1-3%) установлены магнетит, рутил, фторфлогопит, щелочные амфиболы. Среди акцессорных минералов обычен циркон, реже встречаются монацит, титанит, ильменит, молибденит, алланит, стронцианит, целестин и барит. Все они слагают одиночные зерна или небольшие скопления, вытянутые в виде цепочек согласно полосчатости пород. Часть из них ассоциирует с посткарбо-

Таблица 6.

Химический состав карбонатных минералов из карбонатитов участка Веселый (мас. %)

Минерал	CaO	MgO	FeO	MnO	SrO
из основной массы карбонатита					
Доломит (24)	28.54 – 30.60	15.65 – 18.48	3.76 – 8.72	0.09 – 0.26	0.33 – 0.89
	29.32	17.60	5.57	0.167	0.51
Кальцит (7)	48.02 – 53.99	0.51 – 1.70	0.18 – 1.89	0.07 – 0.08	0.46 – 0.93
	50.27	0.92	0.91	0.073	0.71
из прожилков					
Доломит (2)	29.19 – 29.77	16.48 – 18.01	5.63 – 6.19	0.10 – 0.20	0.51 – 0.77
	29.48	17.24	5.91	0.15	0.64

Примечание. Прожилки сформированы на посткарбонатитовой стадии, содержат вкрапленники и гнезда баритоцелестина. В скобках указаны количества анализов. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

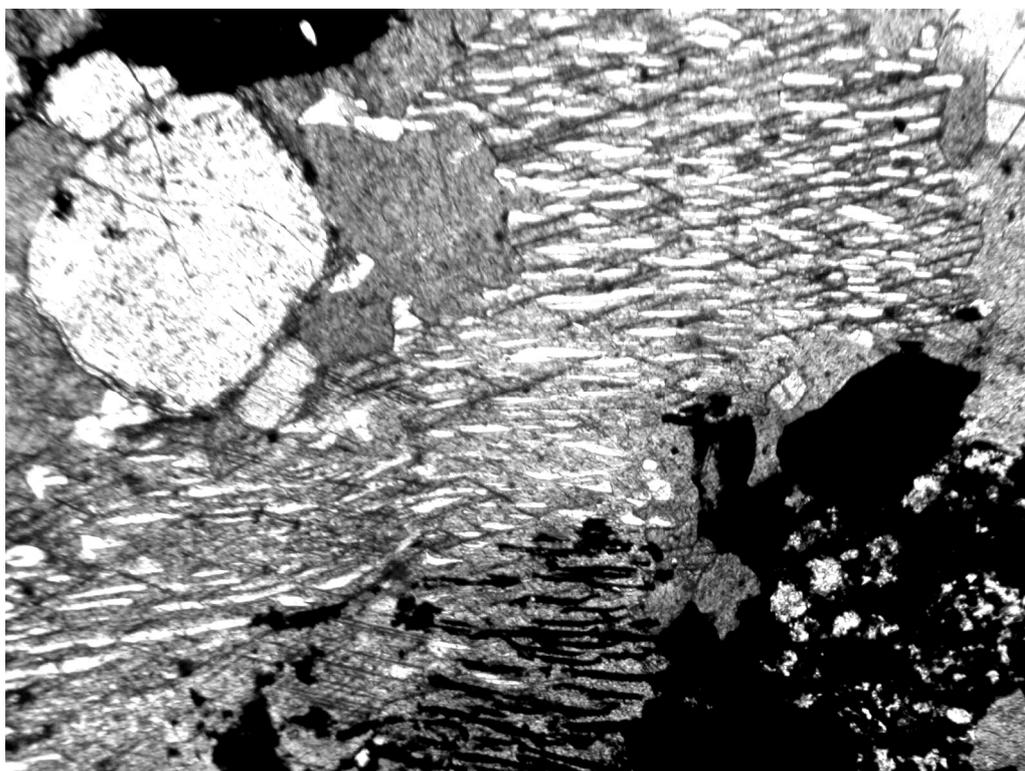


Рис. 2. Ламелли доломита в кальците.

Изометричное зерно – апатит. Карбонатит, участок Веселый. Шлиф, прокрашено ализарином. $\times 60$.

натитовыми прожилками.

Главным породообразующим минералом является доломит. Он слагает агрегат овальных или изометричных зерен, тесно ассоциирующих с апатитом. В составе его (табл. 6) постоянно присутствует 5-7 мас. % FeO и 0,3-0,7 мас.% SrO. Содержание марганца не превышает первых десятых



Рис. 3. Кальцит (темно-серое), выполняющий интерстиции между зернами доломита (светлое).

Карбонатит, участок Веселый. Шлиф, прокрашено ализарином. $\times 30$

долей процента. Близкий состав (см. табл. 6) имеет доломит, который вместе с кальцитом слагает прожилки с вкрапленностью и небольшими гнездами стронцийсодержащего барита и баритоцелестина. Кроме того доломит слагает линзовидные экссолюции в кальците, представляющие структуры распада твердого раствора (рис. 2). Количество телец распада варьирует от 5 до 30% площади зерен кальцита.

Кальцит неравномерно распределен среди апатит-доломитовой матрицы. В основном он выполняет интерстиции между этими минералами (рис. 3), образуя участки с вариациями содержаний от единичных зерен до 20-30% объема породы. Кроме того, в карбонатитах встречаются полосы мощностью до 8-10 см, обогащенные до 20-40% кальцитом. В большей части зерен кальцита присутствуют линзовидные экссолюции доломита, представляющие структуры распада твердого раствора. Кальцит содержит заметные количества магния, железа и стронция (см. табл. 6). Кроме того, в карбонатитах встречаются редкие маломощные (обычно менее 1 см) существенно кальцитовые и доломит-кальцитовые прожилки.

Апатит слагает идиоморфные призматические зерна и кристаллы, ориентированные согласно полосчатости пород. Размер их по удлинению нередко достигает 1-1,5 см. Минерал выделился на начальной стадии кристаллизации пород раньше доломита. Близко по времени с ним кристаллизовался циркон. Он неравномерно распределен в карбонатите, участками

Таблица 7.

Химические составы апатита из карбонатитов участка Веселый (мас. %)

№п/п	CaO	P ₂ O ₅	SrO	F	Сумма
1	54.63	43.12	1.42	4.04	103.21
2	54.87	43.56	1.21	3.63	103.27
3	54.91	43.91	1.93	3.71	104.46
4	54.94	44.06	1.74	3.4	104.14
5	53.9	42.93	1.38	3.78	103.39
6	54.18	42.43	1.17	3.91	101.69
7	52.1	43.44	1.47	3.58	101.38

Примечание. В пробах 5 и 7 присутствуют (мас. %) также 0,13–0,40 Na₂O, 0,15–0,58 SO₃, 0,42–0,51 Ce₂O₃, 0,28 La₂O₃. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

Таблица 8.

Химические составы амфиболов из карбонатитов участка Веселый (мас.%)

№п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма
1	55.50	0.15	0.78	21.35	10.82	1.81	6.23	0.04	98.66
2	56.24	-	1.08	21.58	10.21	0.96	6.60	-	98.68
3	54.54	-	0.66	7.70	18.70	8.76	2.19	1.18	94.35
4	57.20	-	0.63	8.10	20.03	9.30	2.50	1.90	99.93
5	54.80	-	0.75	9.85	18.64	8.54	2.18	1.74	95.61

Примечание. 1, 2 – магнезиорибекит; 3–5 – рихтерит. Фтор не анализировался, хром не обнаружен. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

Таблица 9.

Химические составы слюд из карбонатитов участка Веселый (мас.%)

№п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	F	Сумма
1	48.71	0.79	26.44	1.72	3.72	2.56	-	11.96	-	95.90
2	47.10	0.61	26.58	1.45	3.74	2.33	-	12.13	-	93.94
3	47.39	0.38	29.77	1.13	4.02	1.43	-	11.81	-	95.93
4	46.58	1.16	24.49	-	8.46	1.99	0.08	11.14	н/опр	93.90
5	39.89	1.03	13.17	-	9.38	20.37	0.07	10.51	3.71	98.13
6	39.40	0.76	12.67	-	9.17	20.99	-	10.65	4.15	97.79
7	40.84	0.70	12.57	-	8.62	20.73	-	10.59	3.96	98.01
8	40.68	0.93	12.97	-	8.14	20.28	-	10.97	3.79	97.76

Примечание. Пробы 1-4 - фенгит, 5-8 – флогопит. В пробах не обнаружены BaO, CaO, SrO. Сумма дана без учета воды. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

слагает линзы и полосы с содержанием до 60-70%. Обычно количество апатита варьирует от первых процентов до 20-30%. Минерал относится к фторапатиту с предельным содержанием фтора (табл. 7), что характерно в целом для апатитов из карбонатитов. Типоморфной примесью в апатите является стронций, количество которого в среднем составляет около 1,5 мас. % SrO. В единичных анализах обнаруживается до 0,4-0,8 мас. % легких лантаноидов. В этих же пробах одновременно с РЗЭ отмечаются десятые доли процента Na₂O.

Зерна и небольшие скопления амфиболов рассеяны в доломитовой матрице. Составы их (табл. 8) соответствуют магнезиорибекиту (6,6 мас. % Na₂O) и калийсодержащему (до 1,9 мас. % K₂O) рихтериту. Магнезиорибекит участками интенсивно замещен тальком.

Флогопит встречен в виде пластинок и агрегатных скоплений в контактовых зонах карбонатитов. Он относится к фторфлогопиту (табл. 9), отличается пониженной титанистостью.

Магнетит и рутил представлены несколькими генерациями, отличающимися составами и содержанием примесных элементов. Общее количество этих минералов в карбонатитах не превышает 1-2% объема пород. Большую часть составляет магнетит, слагающий рассеянную вкрапленность и цепочки зерен, вытянутых вдоль полосчатости пород. Он представлен двумя генерациями, которые отчетливо видны на рисунке 4. Зерна одного из них включены в другой более поздний магнетит. Эта генерация содержит пластинчатые выделения рутила подобные структурам распада твердого раствора. Они же оторочены также каймой рутила (см. рис. 4). Для магнетита характерны высокая титанистость (обычно более 8-9 мас. % TiO₂) и повышенные содержания ванадия, достигающие 1,7 мас. % V₂O₅ (табл. 10).

Во второй генерации количество ванадия в два раза меньше, а титан в большей части проб отсутствует. Еще одна генерация магнетита слагает тонкие (2-3 мм) прожилки секущие карбонатит. Она резко обеднена титаном (0,24 мас. % TiO₂) и ванадием (0,31 мас. % V₂O₅). Во всех трех генерациях магнетита хром не обнаружен.

Другой тип магнетита встречен в мелких (3-5 мм) специфичных по составу резорбированных агрегатах с хромсодержащими минералами. Структурно-текстурные особенности позволяют отнести их к ксенокластам. Они содержат в разной степени измененные поздними процессами высокотитанистые с хромом, а в некоторых случаях с никелем минералы. Это обычно скопления мелких сросшихся или дезинтегрированных зерен магнетита, рутила, ильменита, титанита. Первичные силикатные фазы за исключением титанита не сохранились, замещены фенгитом и хлоритом. Хром установлен в магнетите, рутиле, титаните, ильмените, хлорите, фенгите. Содержания Cr₂O₃ в хлоритах варьирует от 1,68 до 6,15 мас. %.

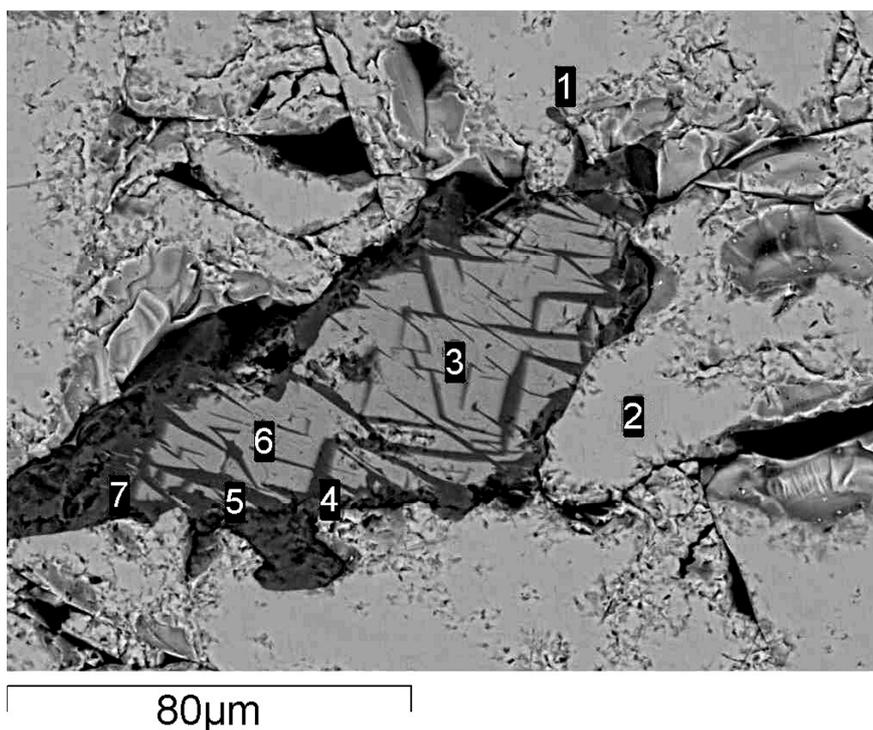


Рис. 4. Две генерации магнетита парагенных с доломитом.

Включение (зерно) ранней генерации содержит ламелли рутила (темно-серое). Рутил образует также оторочку вокруг зерна магнетита. Электронный микроскоп, обратноотраженные электроны. Цифрами показаны точки проведенных анализов.

Таблица 10.

Химические составы магнетита I и магнетита II, парагенных с карбонатитом (мас. %)

№п/п	FeO	TiO ₂	V ₂ O ₃	Сумма
Магнетит I				
1	83.54	8.57	1.62	93.73
2	82.87	9.16	1.65	93.68
3	87.00	4.20	1.38	92.58
4	83.96	8.84	1.47	94.27
5	83.87	8.70	1.47	94.22
6	82.16	9.91	1.65	93.79
7	87.78	8.97	1.72	96.75
Магнетит II				
8	92.66	0.34	0.74	93.74
9	93.88	-	0.86	94.74
10	93.30	-	0.73	94.03
11	93.82	-	0.71	94.53
12	93.73	-	0.53	94.26
13	94.23	-	0.77	95.00

Примечание. Cr₂O₃ в пробах не обнаружен. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

**Химические составы магнетитов из ксенокластов в карбонатах участка Веселый
(мас. %)**

№п/п	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	V ₂ O ₃	Сумма
1	3.67	3.67	88.95	-	92.28
2	0.52	18.27	71.65	-	93.58
3	9.20	6.10	75.83	0.50	92.16
4	1.66	3.93	88.74	0.28	95.06
5	2.46	4.27	89.10	-	95.83
6	1.89	3.02	92.19	-	97.10
7	1.95	3.74	90.11	0.33	96.13
8	2.03	2.55	90.59	0.32	95.49
9	4.85	0.32	90.72	0.32	96.21
10	3.72	0.22	92.58	0.27	96.79
11	2.46	4.27	89.10	-	95.83
12	2.88	0.86	92.75	-	96.49
13	1.89	3.02	92.19	-	97.10
14	3.34	0.42	94.50	-	98.25
15	3.00	1.63	93.20	-	97.84
16	5.13	0.62	93.11	-	98.86
17	5.55	0.57	91.89	-	98.02
18	3.39	0.33	93.44	-	97.17
19	1.66	3.93	88.74	0.28	95.06
20	3.63	0.67	92.00	0.29	96.58
21	2.69	2.34	90.48	0.47	95.98
22	3.01	1.66	90.89	0.27	95.82

Примечание. 1-6 – магнетит кристаллокласты; 7-22 – магнетит из симплектитовых сростаний с рутилом. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

В них же присутствует до 1,33 мас. % NiO (см. табл. 4). В фенгите концентрация Cr₂O₃ достигает 1,7 мас. % (см. табл. 9).

Среди магнетита установлено две группы. Одна из них представлена одиночными зернами в ассоциации с ильменитом, титанитом, рутилом. Другой магнетит образует симплектитовые сростания с рутилом, подобные структурам распада твердого раствора. Первый отличается обычно высокой титанистостью (до 16-21 мас.% TiO₂) и содержит 4-16 мас. % Cr₂O₃ (табл. 11). Зерна магнетита часто дроблены и представлены угловатыми и оскольчатыми “кристаллокластами”. Морфология и соотношения магнетита с другими минералами и в том числе с более поздним магнетитом, образовавшимся в результате распада Fe-Ti минерала видны на рисунке 5.

Магнетит-рутиловые агрегаты, подобные структурам распада твердого раствора (рис. 5), имеют резкие границы с вмещающей матрицей, содержат включения зерен титанита, ильменита. В отличие от вышеописанного магне-

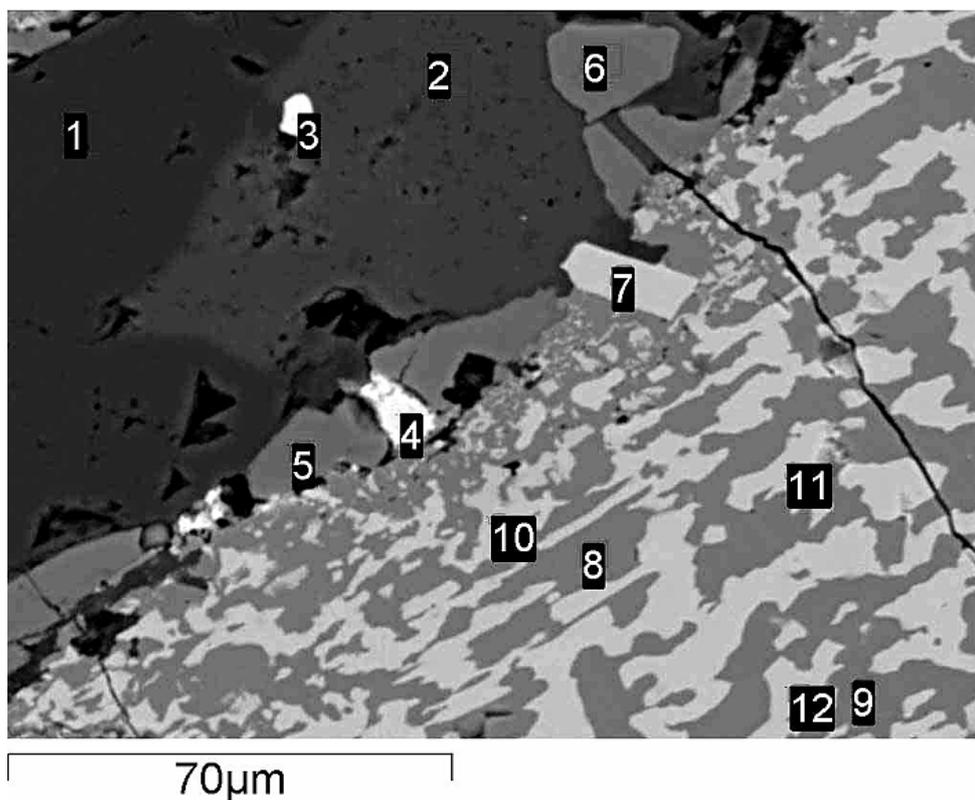


Рис. 5. Агрегат с симплектитовым срастанием хромсодержащих зерен магнетита (белое, спектры 10-12) и рутила (серое, спектры 8, 9) в карбонатите (темно-серое, спектр 1 – кальцит, спектр 2 – доломит).

К пограничной зоне приурочены зерна титанита (серое, спектры 5, 6). Одиночное белое зерно (спектр 7) более ранний (кристаллокласт) высокохромистый магнетит. Спектры 3 и 4 – барийсодержащий (17,9 мас. %) целестин.

тита, эта генерация беднее хромом, но отличается его более однородным распределением. Содержания Cr_2O_3 варьируют обычно в интервале 0,5-2,5 мас. % (см. табл. 11). В минерале существенно ниже титанистость, в меньших количествах и не во всех пробах отмечается ванадий.

Рутил парагенный с доломитом, слагает рассеяную вкрапленность неправильной формы зерен и цепочки, ориентированные конформно полосчатости пород. Он обычно лишен хрома, ниобия, но в нем постоянно содержится ванадий (табл. 12). Для минерала характерно также присутствие небольших количеств железа. Часть рутила слагает пластинчатые выделения в раннем магнетите и оторочки вокруг его зерен. Рутил характеризуется высокой железистостью и повышенным содержанием ванадия.

Рутил является также типоморфным минералом в ассоциации с высокохромистыми магнетитами, где представлен двумя группами. Одна из них слагает отрочки вокруг зерен магнетита и содержит 0,95-2,30 мас. % Nb_2O_5 (табл. 13). Другой рутил образует субграфические срастания с магнетитом (см. рис. 5). Содержания Cr_2O_3 в нем варьируют от 0,3 до 2,9 мас. %, составляя в большей части проб 0,5-0,7 мас. %.

Таблица 12.

Химические составы рутила, парагенного с магнетитом I (мас. %)

№п/п	FeO	TiO ₂	V ₂ O ₃	Сумма
1	1.81	98.59	1.71	100.17
2	1.56	97.49	1.02	100.07
3	2.07	96.32	1.02	99.41
4	1.08	97.53	1.53	100.12
5	1.06	98.02	0.94	100.00
6	4.37	94.56	1.06	99.99
7	9.31	89.74	1.34	100.39
8	14.34	84.81	1.12	100.27

Примечание. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

Таблица 13.

Химические составы рутила из ксенолитов в карбонатах участка Веселый (мас. %)

№п/п	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	V ₂ O ₃	Nb ₂ O ₅	Сумма
1	97.84	1.58	0.37	-	1.46	101.25
2	95.93	2.11	-	-	0.95	98.99
3	93.84	2.90	0.38	0.93	2.30	100.35
4	96.02	2.74	-	-	1.75	100.51
5	98.61	1.33	-	-	-	99.94
6	98.13	1.01	-	0.88	-	100.02
7	98.36	1.40	0.36	-	-	100.12
8	98.97	0.51	1.03	-	-	100.51
9	98.79	0.52	1.38	-	-	100.68
10	98.59	0.27	1.02	0.92	-	100.80
11	89.36	0.65	8.69	1.22	-	99.95
12	97.76	0.70	1.57	-	-	100.04
13	95.40	0.79	3.45	-	-	99.64
14	96.13	0.61	3.95	-	-	100.70
15	96.23	0.87	3.08	-	-	100.17
16	97.59	0.34	1.20	0.85	-	99.97
17	97.00	0.30	1.27	0.71	-	99.37
18	97.91	0.82	1.53	-	-	100.27
19	97.00	1.14	0.97	-	-	99.12

Примечание. Пробы 1-7 из ассоциации с высокохромистым магнетитом; 8-17 – из симплектитовых сростаний с магнетитом. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

В заметно меньших количествах хром присутствует в ильмените (в отдельных пробах он не обнаружен). Минерал слагает одиночные неправильной формы зерна, рассеянные в титанит-рутил-магнетитовом агрегате.

Химические составы титанита и ильменита из карбонатитов участка Веселый
(мас. %)

№п/п	SiO ₂	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	V ₂ O ₃	Сумма
1	30.00	39.00	-	1.21	-	27.02	0.61	97.85
2	29.82	38.30	0.38	1.26	-	27.11	-	97.77
3	30.74	37.86	0.27	1.04	-	27.61	-	99.00
4	30.43	39.05	0.34	1.23	-	27.57	-	98.60
5	30.28	38.68	-	1.08	-	27.35	-	98.04
6	29.78	38.12	-	1.73	-	26.50	-	96.55
7	30.19	38.77	0.52	1.55	-	27.28	-	99.31
8	29.75	38.33	-	1.45	-	26.97	-	97.41
9	29.93	38.53	0.33	1.42	-	26.97	-	97.18
10	29.28	38.23	-	1.37	-	27.21	0.57	97.45
11	30.58	38.68	-	1.61	-	27.72	0.52	99.49
12	30.25	38.53	0.30	1.51	-	27.95	-	98.54
13	29.93	38.47	0.54	1.17	-	27.36	-	98.60
14	29.71	38.62	0.27	1.12	-	27.98	0.56	99.47
15	-	49.75	1.14	44.47	1.85	0.72	-	97.93
16	-	50.64	-	45.30	1.99	0.99	-	99.23
17	-	49.42	0.69	49.61	-	-	-	99.72
18	-	51.91	0.29	46.71	1.81	0.86	-	101.59
19	-	51.06	0.40	46.83	1.82	0.82	-	100.94
20	-	51.04	-	48.42	0.62	1.06	-	101.54
21	-	54.05	1.33	44.19	-	-	-	99.58

Примечание. 1-14 – титанит, 15-21 – ильменит. Некоторые пробы титанита содержат до 1.0 мас. % Nd₂O₃, Ce₂O₃, Y₂O₃. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

В ильмените повышено также содержание MgO и CaO (табл. 14).

Зерна титанита рассеяны среди рутил-магнетитовых агрегатов. Нередко они слагают небольшие скопления. Более поздние его выделения образуют оторочки на контакте ксенолитов с апатит-доломитовой матрицей (см. рис. 5). Наиболее интересной особенностью его является присутствие ванадия, в 9 из 15 проанализированных проб титанита установлено 0,3-0,5 мас. % Cr₂O₃ (см. табл.14).

Циркон в виде хорошо образованных полупрозрачных призматических кристаллов и идиоморфных зерен рассеян в доломитовом агрегате. Редко отмечаются скопления по 2-3 кристалла. В некоторых случаях в карбонатите встречены обогащенные цирконом полосы мощностью 2-5 мм. Длинные оси зерен его ориентированы согласно общей полосчатости пород. В минерале присутствуют включения кристаллов апатита. Встречаются также совместные сростания, свидетельствующие о близкоодновременном их образовании. Сколько-нибудь повышенных содержаний гафния и других приме-

Таблица 15.

Химический состав сульфатных минералов из карбонатитов участка Веселый (мас. %)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
BaO	45.88	26.84	28.12	17.97	24.61	21.74	61.16	42.80	43.26	39.59	41.38
SrO	16.31	32.17	31.91	38.74	32.67	35.56	4.06	17.64	17.20	20.70	18.72
CaO	0.38	-	0.34	0.64	-	0.44	-	0.97	0.95	0.90	0.77
SO ₃	38.39	41.39	41.54	42.30	42.46	42.09	35.09	38.37	37.33	39.19	38.47
Сумма	101.29	100.40	101.91	99.65	99.74	99.83	100.95	99.78	98.74	100.37	99.33

Примечание. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

Таблица 16.

Химические составы монацита из карбонатитов участка Веселый (мас. %)

№пп	P ₂ O ₅	CaO	SO ₃	SrO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	ThO ₂	Сумма
1	30.34	1.08	0.46	-	16.48	33.81	3.88	12.63	-	н/опр	98.68
2	30.87	1.37	-	0.82	14.74	31.43	4.14	15.66	1.56	0.9	101.49
3	32.18	0.69	н/опр	0.61	19.27	35.22	3.75	9.28	-	0.66	101.66
4	29.34	0.94	н/опр	0.76	15.44	32.12	3.88	15.02	-	-	97.50

Примечание. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

Таблица 17.

Химические составы алланита из карбонатитов участка Веселый (мас. %)

№пп	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	BaO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Сумма
1	30.94	1.10	11.62	17.25	-	10.58	-	4.44	12.54	1.83	5.73	96.03
2	31.31	0.53	13.16	17.59	-	11.22	-	6.38	11.01	0.86	3.55	95.61
3	32.21	-	10.91	15.53	2.10	10.67	1.20	6.79	11.39	-	2.01	92.81
4	29.89	-	10.89	15.48	2.00	9.99	1.22	6.73	11.71	0.74	2.34	90.99

Примечание. В пробах 3 и 4 присутствуют 1.2 мас. % BaO и 2.03 мас. % MgO. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

сей в цирконе не обнаружено. Среди посткарбонатитовых ассоциаций присутствуют три группы. Одну из них представляют гидротермалиты, связанные с карбонатами. Это редкие маломощные прожилки, вкрапленность, гнезда, участки гидротермального метасоматического преобразования карбонатитов. По составу кальцитовые, доломит-кальцитовые, баритовые и барито-целестиновые прожилки. Мощность их обычно не превышает 0,5- 1 см.

Сульфатные минералы слагают вкрапленники и небольшие гнезда в кальцит-доломитовых прожилках. Встречаются также маломощные (до 0,5 см) существенно мономинеральные баритовые прожилки. Состав сульфатов

Таблица 18.

Химические составы синхизита из карбонатитов участка Веселый (мас. %)

№пп	CaO	La ₂ O ₃	Ce ₂ O ₃	Pr ₂ O ₃	Nd ₂ O ₃	Sm ₂ O ₃	Eu ₂ O ₃	Gd ₂ O ₃	Y ₂ O ₃	F	Сумма
1	16.58	3.41	17.60	3.82	16.87	4.11	1.38	2.46	1.64	3.26	71.13
2	19.81	4.14	15.14	2.57	13.88	2.57	1.08	2.12	1.91	4.29	67.51

Примечание. Пробы проанализированы на электронном микроскопе (LEO-1430), аналитик Н.С. Карманов, ГИН СО РАН, 2003 г.

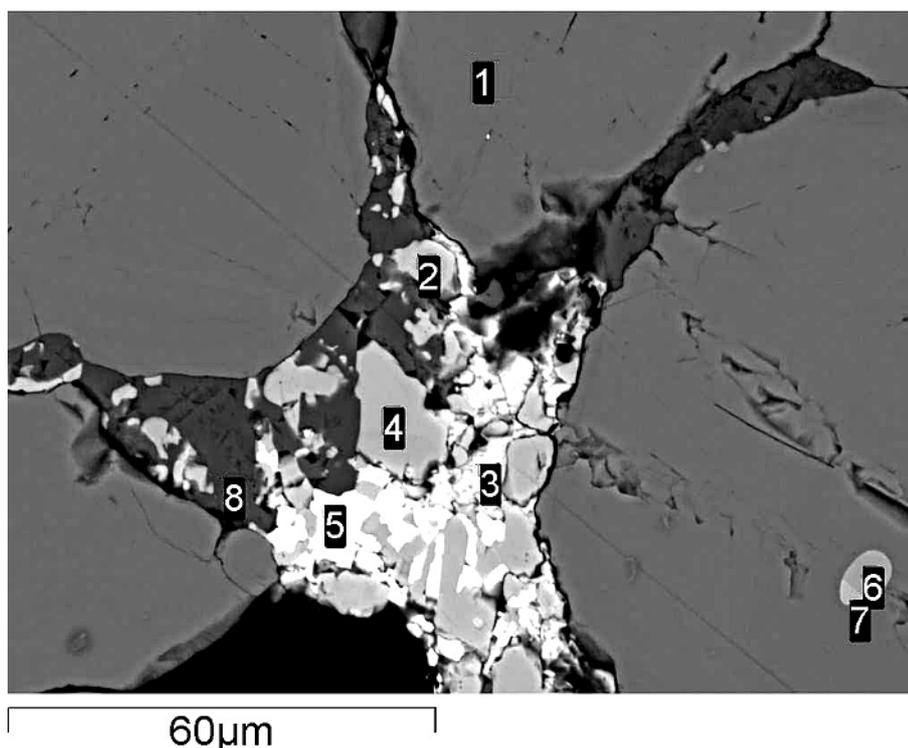


Рис. 6. Прожилки кальцита (темное, 8) с барито-целестином (3), алланитом (2, 4) и монацитом (5) в титаните (основное поле, 1).

непостоянный. В основном это барит содержащий от 4 до 20 мас. % SrO, реже с близким соотношением целестинового и баритового миналов (табл. 15). Состав доломита, являющегося главным минералом прожилков, подобен доломиту из карбонатитов (см. табл. 6). В нем присутствует до 6,19 мас. % FeO, отмечается повышенное количество стронция и низкие марганца.

Большая часть монацита, синхизита, стронцианита и алланита связана с вторичными процессами. Они представлены вкрапленностью, микропрожилками в участках наложенной карбонатизации и окварцевания (рис. 6). Химические составы их показаны в таблицах 16-18. Алланит и монацит селективно обогащены легкими лантаноидами. В монаците наиболее стабильно содержание церия, шире вариации содержаний у лантана и неодима с преобладанием то одного, то другого элемента. Кроме того, для монацита характерны стронций (от 0,5 до 4,23 мас.% SrO) и

небольшие количества тория. По составу РЗЭ существенно отличается синхизит (см. табл. 18). В этом минерале в заметных количествах присутствуют иттрий, средние и тяжелые лантаноиды.

Минералы, образовавшиеся при метаморфических процессах присутствуют, в основном, в контактовых зонах карбонатитовых тел. Это кварц и фенгит, слагающие рассеяную вкрапленность зерен, одиночных чешуек и их скоплений в участках трещиноватости, которая ориентирована обычно вдоль осевой зоны карбонатитовых тел. Состав фенгита подобен фенгиту из вмещающих сланцев. В участках содержащих минералы с повышенной хромитонностью (обычно это скопления хромсодержащего рутила) в фенгите появляется до 1,72 мас. % Cr_2O_3 (см. табл. 9).

С метаморфизмом связано вероятно и оталькование карбонатитов. Наиболее часто тальком замещаются магнезиорибекит и доломит. В некоторых случаях этот минерал слагает маломощные (1-3 мм) мономинеральные прожилки. В тальке присутствует до 6,1 мас. % FeO.

К третьей группе относятся еще более поздние гидротермальные ассоциации. Они обычно распространены во вмещающих породах и накладываются в том числе на карбонатиты. Среди них можно выделить два автономных парагенезиса. Один из них представлен ветвящимися и прямолинейными хлоритовыми, хлорит-кварцевыми и существенно кварцевыми прожилками мощностью обычно менее 1 см. Состав хлорита (см. табл. 4) магнезиально-железистый. Наложение этих прожилков на карбонатиты обусловило перекристаллизацию и частичное переотложение доломита.

Второй парагенезис представлен сульфидной и кварц-сульфидной ассоциацией минералов. Наиболее распространена вкрапленность пирита, в виде одиночных зерен и кристаллов, расположенных вдоль разноориентированных микротрещин. Частично этот пирит образовался за счет магнетита и доломита. С пиритом ассоциирует небольшое количество халькопирита, слагающего микропрожилки и мелкие овальные включения в этом минерале.

Значительно реже встречаются полисульфидные прожилки с пиритом, галенитом, сфалеритом, халькопиритом. Они слагают тонкие прямолинейные прожилки. С этими парагенезисами связывается золоторудная минерализация, распространенная в районе.

Химический состав карбонатитов

По химическому составу породы Веселого проявления ложатся в поле магнезиокарбонатита (рис. 7). Особенностью их являются повышенные концентрации фосфора, титана, фтора (см. табл. 2). В них в три-четыре раза выше, чем в среднем карбонатите хрома и никеля, заметно ниже содержания ниобия, циркония, марганца [6]. Уровень концентраций стронция и РЗЭ близок к среднему карбонатиту.

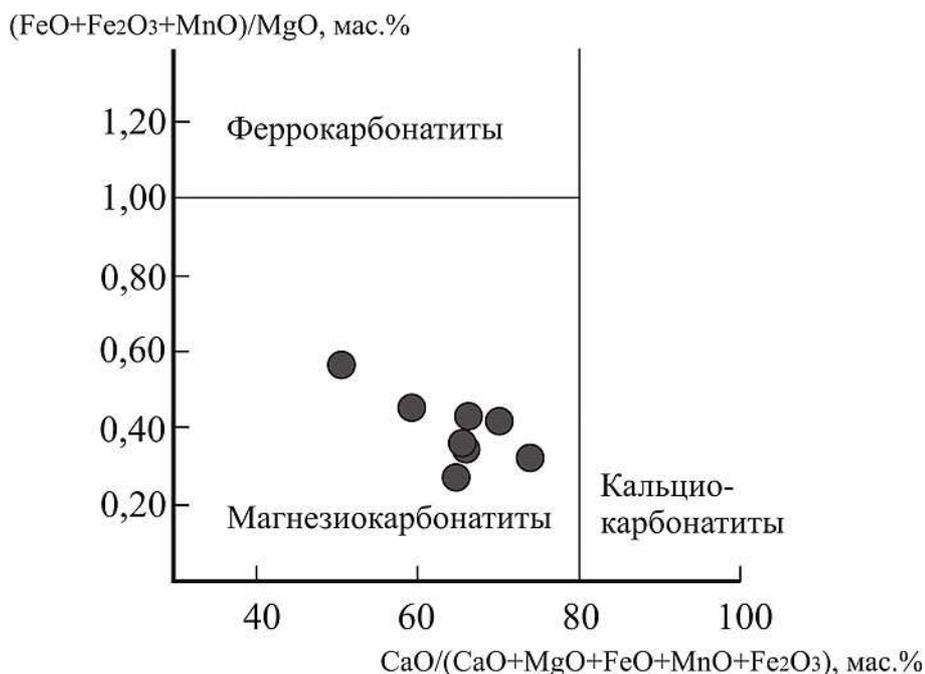


Рис. 7. Диаграмма составов карбонатов проявления Веселое.

Таблица 19.

Состав РЗЭ в карбонатах участка Веселый (ppm)

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8
La	140	210	85	75	240	200	200	200
Ce	320	480	210	190	590	500	410	370
Nd	270	300	170	140	340	350	330	260
Sm	43	64	38	37	80	64	60	59
Eu	14	19	11.5	15	22	18	19	18
Gd	30	41	19	29	49	47	35	30
Dy	11.5	14	7.9	13	14.5	17	18	14
Ho	2.1	3	1.5	2.1	2.2	2.6	2.5	1.9
Er	3.5	4.7	1.5	4.9	4.8	4	5.7	4.2
Yb	1.1	2.2	0.95	3.6	1.7	1.6	2.6	3.3
Lu	-	-	-	0.32	-	-	0.21	0.21
Y	37	52	25	55	50	46	60	58

Примечание. Анализы выполнены химико-спектральным методом (аналитики Т.А. Казанцева, Л.А. Левантуева), ГИН СО РАН, 2003 г.

Состав РЗЭ (табл. 19) и конфигурация нормированных содержаний (рис. 8) подобны карбонатам из других регионов. Характерна отчетливая обогащенность легкими лантаноидами. Большая часть кремнезема и сульфидная сера связаны с наложенным окварцеванием, хлоритизацией и пиритизацией. Полосовидное распределение минералов в пределах карбонатитовых тел определило неравномерность состава как главных так и второстепенных элементов. Особенно это отчетливо видно для фосфора и кальция.

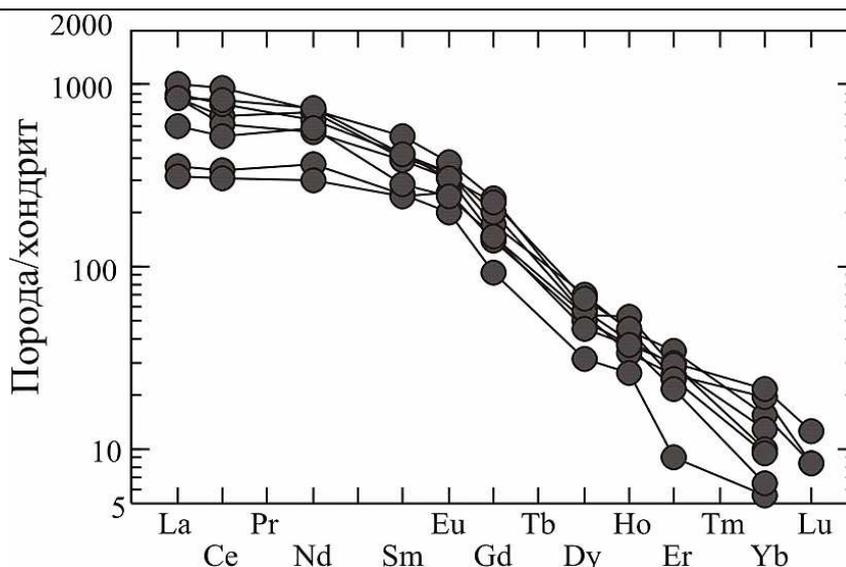


Рис.8. Диаграмма нормированных содержаний РЗЭ к хондриту [5] в карбонатах участка Веселый.

Таблица 20.

Изотопная характеристика минералов из пород участка Веселый (ppm)

Порода	Минерал	$\delta^{13}\text{C}\text{‰, PDB}$	$\delta^{18}\text{O}\text{‰, SMOW}$	$^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$
Карбонатиты	ДОЛОМИТ	-1.9	10.2	0.70398
	--/--	-2.2	8.9	0.70396
	--/--	-1.9	10.1	
	МАГНЕТИТ		1.5	
Пост-карбонатитовый кальцит-доломитовый прожилок	кальцит	-2.3	9.8	
Кварц-доломитовые жилы	ДОЛОМИТ	-0.1	16.7	
Листвениты	ДОЛОМИТ	-1.9	12.0	
	--/--	-0.9	12.2	
Доломитовые мраморы	ДОЛОМИТ	2.8	16.1	
	--/--	3.4	15.3	

Примечание. Изотопный состав стронция определен В.П. Посоховым ГИН СО РАН, 2001-2002 г.г.; составы кислорода и углерода - в изотопных лабораториях ОИГГИМ СО РАН (пробы 1, 5, 7, 13) и ДВНЦ РАН (пробы 2-4, 6, 11, 12) 2002-2003 г.г.

Изотопная характеристика карбонатитов

В карбонатитах определены составы кислорода и углерода в доломите, кальците, кислорода в магнетите, изотопные отношения стронция в породах и безрубидиевых минералах. Кроме того, проанализированы карбонаты из мраморов, лиственитов и кварц-карбонатной жилы. Результаты анализов представлены в таблице 20.

Отношение $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ в доломите из карбонатита имеет величину близкую к значениям в мантийном субстрате позднего рифея. Изотопный состав углерода в доломите основной массы карбонатитов заметно тяжелее среднего

значения, принятого для мантийных пород и лежит в интервале $-1,9 - -2,2\text{‰}$ $\delta^{13}\text{C}$. Состав кислорода в целом подобен величинам мантийного источника. Изотопные составы углерода и кислорода в кальците из посткарбонатитового доломит-кальцитового прожилка, содержащего вкрапленность и гнезда стронцийсодержащего барита близки к доломиту из карбонатитов.

Величина $\delta^{18}\text{O}$ в магнетите парагенном карбонатиту ($1,5\text{‰}$) также соответствует мантийному происхождению кислорода и подобна значениям в магматических акцессорных магнетитах из базитов.

Иные изотопные характеристики имеет доломитовый мрамор. Углерод (см. табл. 20) в нем заметно обогащен тяжелым изотопом, а кислород несколько легче чем в морских карбонатах, что связано известными сдвигом, сопровождающим процессы метаморфического преобразования карбонатных пород. В них углерод и кислород близки к величинам характерным для метаморфизованных морских известняков. В одной из проб мрамора получено низкое изотопное отношение стронция ($0,70409$) связанное с привнесением этого элемента из близрасположенных карбонатитов. В проанализированной породе оказалось более 1200 ppm стронция, в то время как содержание этого элемента в других участках обычно не превышает первых сотен ppm . В мономинеральных пробах доломита этих мраморов стронций отсутствует (предел обнаружения около 270 ppm).

Изотопные отношения углерода и кислорода в доломите из кварц-карбонатных прожилков подобны значениям в метаморфизованных осадочных карбонатных породах.

Иные составы кислорода и углерода имеют карбонаты из лиственитов и тальк-карбонатных пород. И углерод и кислород в них существенно обогащены тяжелыми изотопами относительно мантийной метки, обусловленное привнесением углекислоты из иного источника.

Термобарогеохимические особенности карбонатитов

В минералах из карбонатитов проведено предварительное термобарогеохимическое изучение включений. Были изучены апатит, циркон и кальцит. В них установлено большое число разнообразных по составу и морфологии первичных и вторичных включений, а также минеральных фаз.

Первичные включения в кальците располагаются азональными группами в центральной части зерен. Среди них присутствуют газовой-жидкие, жидкие и газовые включения.

Для циркона характерны первичные полифазные и стекловатые (?), твердые и вторичные газовой-жидкие включения. Преобладающими являются первичные стекловатые (?) включения. В них газовый пузырь деформирован и занимает обычно $1-3\%$ от площади включения, жидкая фаза не обнаружена. В полифазных включениях газовый пузырь также деформирован и занимает до 5% площади. Дочерние кристаллы в них занимают до 70% , остальное пространство занято жидкостью, которая различается по показателю

преломления. Вторичные газово-жидкие включения формируют шлейфы. Это сложные по конфигурации включения со следами отшнуровки. В центральной части зерен циркона хаотично располагаются игольчатые (волосовидные) твердые минеральные включения.

Большое разнообразие включений характерно для апатита. Одиночные первичные полифазные включения, имеющие форму изометричных вакуолей или отрицательного кристалла, содержат дочерние кристаллы, часть из которых имеет форму призм. Газовый пузырь занимает 1-5% от площади включения. При нагревании включений дочерние кристаллы (призматической формы) начинали плавиться при 290-300⁰С, их полное плавление отмечалось в интервале 668-868⁰С. С повышением температуры граница между твердой фазой и жидкостью становилась более четкой. Твердая фаза начинала “рыхлеть” при 880⁰С. Плавление продолжалось вплоть до 918⁰С. При этих значениях температур оставалось еще до 20% твердой фазы.

Отдельными группами располагаются трубчатые включения, имеющие в своем составе газовый пузырь, занимающий до 1% площади. Остальное пространство занято неоднородным агрегатом, представленным твердой и жидкой фазами, которые различаются по показателям преломления. Иногда во включениях присутствуют одиночные дочерние кристаллы призматической и шестигранной формы.

Вторичные газово-жидкие, жидкие и газовые включения с различным соотношением фаз, располагаются шлейфами. Иногда в вакуолях отмечаются кристаллы кубической и призматической формы.

Среди твердых включений присутствуют игольчатые и близкие к призматической форме одиночные кристаллы. Вторые по оптическим свойствам близки к пироксенам.

Выводы

Состав минеральных парагенезисов в породах изученного проявления в целом подобен многим известным доломитовым карбонатитам других регионов. Типоморфными минералами здесь являются доломит, апатит, кальцит, рутил, магнетит, циркон, щелочные амфиболы. Близки к среднему карбонатиту в них также изотопные составы кислорода и первичные изотопные отношения стронция. И только состав углерода в карбонатах заметно обогащен тяжелым изотопом.

Наиболее важными особенностями проявления являются доломитовый состав пород, отсутствие кальцитовых карбонатитов и комагматичных щелочных силикатных пород. В отличие от расположенного в этом же районе близкого по возрасту карбонатитового проявления Пограничного [2] здесь существенно выше концентрация апатита, титанистость пород, но меньше содержится магнетита. По химическому составу породы Пограничного проявления ложатся в область феррокарбонатитов, а Веселого

- магнезиокарбонатитов со значительно более низкими концентрациями стронция, РЗЭ, марганца.

Предварительным термобарогеохимическим изучением включений в апатите, цирконе подтвердилось магматическое происхождение пород. При этом температуры плавления первичных солевых включений в апатите превышала 800-900⁰С.

Обнаружение в Северном Забайкалье хотя и небольших по масштабам проявлений карбонатитов, расположенных в пределах полосы содержащей большое количество даек и более крупных тел базитов и ультрабазитов с единым директивным направлением свидетельствует о существовании здесь рифтогенной обстановки, обусловившей внедрение мантийного вещества. Это позволяет предполагать существование новой карбонатитоносной площади, сформировавшейся на границе венда и позднего рифея.

Наличие в карбонатитах участка Веселый включений с высокохромистыми минеральными фазами, представляющими вероятно вещество мантийного происхождения, вызывает необходимость рассмотрения варианта выплавки карбонатитов непосредственно из мантийного матрикса. Это, а также достаточно специфичный минеральный состав пород и их геохимические особенности предполагают проведение детального анализа геологического строения зон сочленения южного складчатого обрамления с Сибирским кратоном и выходами кристаллического фундамента.

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (проект 03-05-65270), СО РАН Интеграционный проект N 67.

Литература

1. **Рипп Г.С., Бадмацыренов М.В., Дорошкевич А.Г.** Минеральный состав и геохимические особенности карбонатитов проявления Пограничное (Северное Забайкалье) // Плюмы и проблема глубинных источников щелочного магматизма. Иркутск-Хабаровск, 2003. С. 88-108.
2. **Рипп Г.С., Бадмацыренов М.В., Скулыбердин А.А.** Новое проявление карбонатитов в Северном Забайкалье // Петрология. 2002. Т. 10. №4. С. 442-446.
3. **Massone S., Schreyer W.** Stability field of the high-pressure assemblage talc-phengite and two new phengite barometers // Eur. J. Miner. 1989. №1. P. 391-410.
4. **Ripp G.S., Badmatsyrenov M.V., Doroshkevich A.G., Isbrodin I.A.** Mineral composition and geochemical characteristic of the Veseloe carbonatites (Northern Transbaikalia, Russia) // Plumes and problem of deep sources of alkaline magmatism. Irkutsk-Khabarovsk, 2003. P. 257-272.
5. **Sun S., McDonough W.F.** Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes // Eds. Saunders A.D. & Norry M.J. Magmatism in the ocean basins. Geol. Soc. Special Publ. 1989. № 42. P. 313-345.
6. **Woolley A.R., Kempe R.C.** Carbonatites: Nomenclature, average chemical composition and element distribution. Carbonatites: Genesis and Evolution. London: Unwin Hyman, 1989. P. 1-46.