

МИНЕРАЛОГИЯ, ПЕТРО- И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ КОМПОЗИТНЫХ
ДАЕК ТАКАЛКАНСКОГО РУДНО-МАГМАТИЧЕСКОГО УЗЛА (ПОЛОУСНЕНСКИЙ
СИНКЛИНОРИЙ ВЕРХОЯНО-КОЛЫМСКОЙ ОРОГЕННОЙ ОБЛАСТИ)

В.А. Трунилина, С.П. Роев, Ю.С. Орлов

ФГБУН Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, пр-т Ленина 39, г. Якутск, 677980;
e-mail: v.a.trunilina@diamond.ysn.ru

Поступила в редакцию 12 ноября 2014 г.

В статье впервые для региона излагаются результаты изучения вещественного состава композитных даек на примере Такалканского рудно-магматического узла хр. Полоусного. На основании типоморфизма породообразующих минералов, петрохимии и геохимических особенностей слагающих дайки пород установлено проявление процессов механического и химического взаимодействия субсинхронных мантийного трахибазальтового и корового гранитного расплавов в процессе их становления с образованием переходной зоны монцонитового (трахиандезитового) состава.

Ключевые слова: долериты, гранит-порфиры, гибридные породы, дайки, минглинг, миксинг, типоморфизм минералов, параметры кристаллизации, Верхояно-Колымская орогенная область, Якутия.

ВВЕДЕНИЕ

Соотношение и взаимодействие основного и гранитоидного магматизма – одна из наиболее активно обсуждаемых проблем современной петрологии. Возможность смешения контрастных по составу магм с образованием широкого спектра гибридных пород в настоящее время признается большинством исследователей. Принято различать два крайних типа смешения магм: mingling – механическое смешение без существенного химического взаимодействия и mixing – полная гомогенизация смешивающихся магм с образованием гибридного расплава промежуточного состава [18]. Наиболее ярким проявлением минглинга считаются комбинированные (композитные) дайки. Выделяют два главных их типа: 1) дайки с мафическими краевыми зонами, салической центральной и переходными зонами, образовавшимися в результате взаимодействия базальтоидного и гранитоидного расплавов; 2) дайки с салическими краевыми зонами и базитовой центральной. Предполагается, что дайки первого типа сформированы в результате внедрения кремнекислой магмы в центральную, не до конца раскристаллизованную часть дайки основного состава, тогда как второй тип даек рассматривается как результат одновременного внедрения двух контрастных по составу магм [9, 11, 30].

На территории Верхоянской континентальной окраины наличие комбинированных даек изредка отмечалось в отчетах производственных организаций, но специализированного изучения их, за единственным исключением [7], не проводилось. Поскольку возможность смешения контрастных расплавов до сих пор остается предметом дискуссии, представляется целесообразным показать ее реальность еще на одном конкретном примере. В статье приведены первые данные о химических и геохимических особенностях пород и составе слагающих их минералов сложных даек Такалканского рудно-магматического узла, локализованного в юго-западной части Полоусненского синклинория (рис. 1).

Расчеты составов пироксенов и амфиболов проведены по программам F. Yavuz [32, 33], в которых предусматривается и определение P-T условий кристаллизации этих минералов по разным авторам. Они дают довольно широкий диапазон этих параметров. Наиболее стабильные результаты для пироксенов получены по методике [25], для амфиболов – по [22]. Для определения условий кристаллизации биотитов использованы диаграммы Ю.П. Трошина с соавторами [13]. Расчеты P-T условий кристаллизации пород выполнены по методикам Л.Л. Перчука с соавторами [8]; W.J. French., E.P. Cameron [20]; Г.М. Беляева и

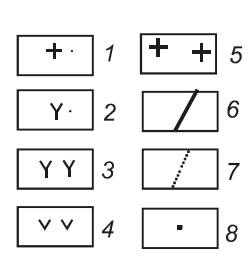
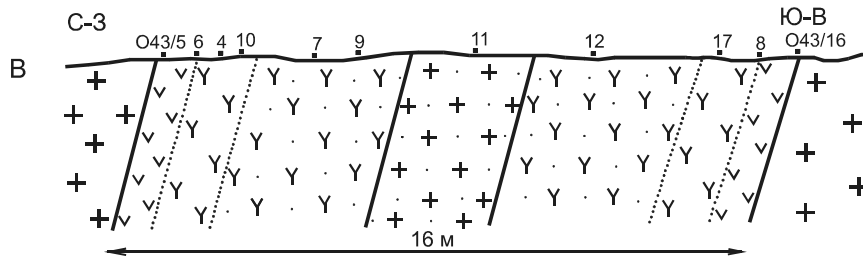
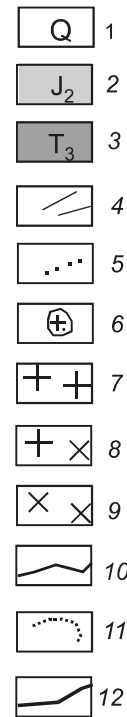
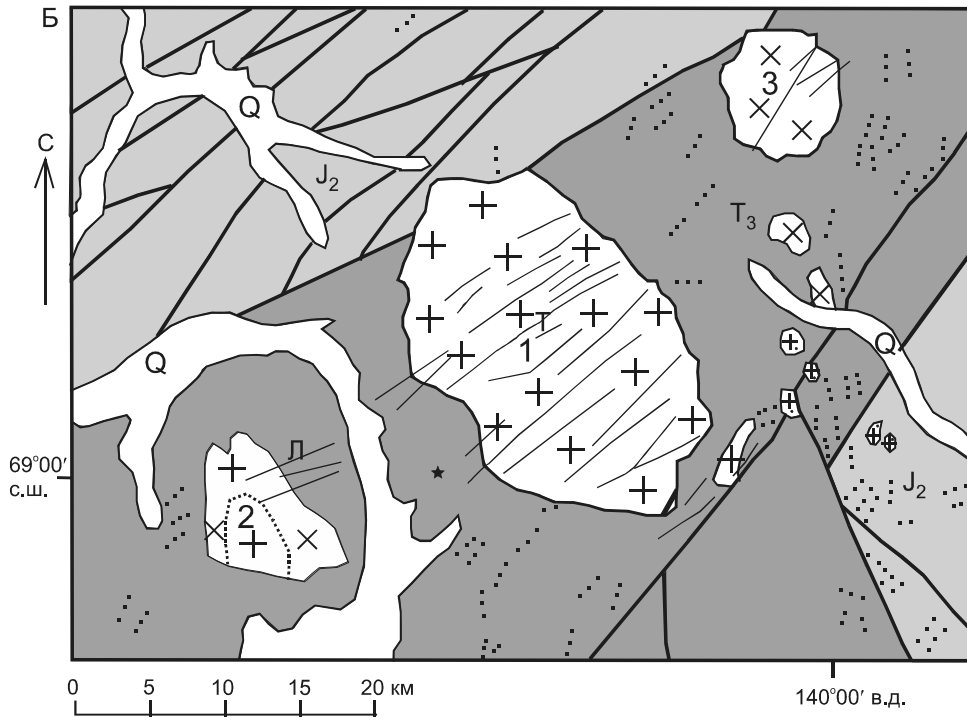
Рис. 1. А – схема расположения гранитоидных образований северо-востока Верхояно-Колымских мезозоид. Б – схема геологического строения Такалканского узла [3].



1 – массивы продольных гранитоидных поясов, 2 – поперечные пояса гранитоидов, 3 – Такалканский массив, 4 – направление основных складчатых структур.

Б – схема геологического строения Такалканского узла [3].

1 – четвертичные аллювиальные отложения; 2–3 – песчано-глинистые отложения средней юры (2) и верхнего триаса (3); 4–9 – интрузивные образования: 4 – дайки субщелочного и щелочного ряда, 5 – дайки нормального ряда, 6 – субвулканические риолит- и гранит-порфиры, 7 – граниты, 8 – гранодиориты, 9 – диориты – плагиограниты; 10 – геологические границы, 11 – фациальные границы, 12 – тектонические нарушения. Массивы гранитоидов: 1 – Такалканский, 2 – Коханахский, 3 – Кинели-Тасский. Изученные сложные дайки: Л – дайка Б.А. Лемковой (руч. Неудачный), Т – дайка Такалканского массива.



В – разрез по дайке Б.А. Лемковой (руч. Неудачный, точка наблюдения О-43).

1 – гранит-порфиры, 2 – гибридные породы переходных зон, 3 – долериты, 4 – базальты, 5 – вмещающие гранодиориты, 6 – границы центральной зоны, 7 – границы зон с постепенными переходами, 8 – точки отбора проанализированных проб.

В.А. Рудника [1]. Мы не абсолютизируем полученные значения, но считаем, что они достаточно четко отражают тенденции и различия в составах и условиях кристаллизации пород и минералов.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ РАЙОНА

В пределах рудно-магматического узла сложно дислоцированные песчано-глинистые отложения верхнего триаса и средней юры интродуцированы гранитоидными массивами, к выходам которых приурочены рудопроявления Sn касситерит-кварцевой и касситерит-сульфидной формаций, W, Be, Au. В центре узла расположен Такалканский массив щелочно-полевошпатовых гранитов А-типа, к юго-западу от него – Коханахский массив гранодиорит-гранитного состава, к северо-востоку – Кинели-Тасский массив диоритов – плагиогранитов [14, 15] (рис. 1 Б). Изотопный ^{40}Ar – ^{39}Ar возраст гранитов Такалканского массива по биотиту, выполненный под руководством П. Лейера в лаборатории Геофизического института Университета Аляски (Фэрбенкс), составил 95.7–99.2 млн лет, а тоналитов Кинели-Тасского – 139 млн лет. Rb-Sr возраст гранитов Такалканского массива, определенный по изохроне в лаборатории физико-химических методов анализа ИГАБМ СО РАН (г. Якутск) А.И. Зайцевым, дал значение 106+/-6 млн лет. Среди даек Такалканского узла установлены догранитоидные дайки нормального ряда от основного до кислого состава, постгранитоидные дайки субщелочного ряда и завершающие магматическую деятельность лампрофиры щелочно-базальтовой формации [4, 14]. Субщелочные и щелочные дайки представляют собой фрагмент позднемелового–палеогенового Южно-Полоусненского дайкового пояса – одного из самых протяженных и мощных дайковых поясов северо-восточной Якутии [4].

Наиболее разнообразен состав даек субщелочного ряда: базальты, субщелочные долериты, муджириты, трахиты, трахириолиты, риодациты, полнокристаллические аналоги этих пород и лампрофиры. Максимальное сгущение таких даек установлено в пределах Такалканского массива (около 80). В самом насыщенном ими участке на интервале 450 м насчитывается 15 субпараллельных даек с промежутками между ними от 5 м до 110 м [4], что указывает на формирование их в условиях растяжения. Мощность даек от 0.5 до 22 м, падение обычно крутое (около 80°) на северо-запад. Среди них установлено несколько тел сложного состава. Впервые для региона сложная дайка была закартирована Б.А. Лемковой в Коханахском массиве и рассматривалась ею как дайка гранитизированных базальтов (Лемкова,

1956 г.). И.Я. Некрасовым несколько сложных даек установлено в пределах Такалканского массива [7] и детально изучена наиболее мощная из них (18–22 м), прослеженная по свалам и коренным выходам на протяжении 8 км. По его данным, краевые зоны дайки мощностью 0.6–0.8 м сложены андезитами, переходные – тоналитами, центральная – гранодиорит- и гранит-порфирами. Он считал неоднородность состава пород в пределах дайки следствием гибридности. К сожалению, химический состав пород и слагающих их минералов на то время определить не удалось.

Нами детально изучены минералого-химические особенности дайки Б.А. Лемковой (разрезы по руч. Ненадежный и на водоразделе к югу от в. 1338.7 м) и наиболее обнаженной дайки р. Такалкан. Мощность их от 12 м до 18 м. Они имеют близкое строение и представляют собой композитные дайки первого типа (рис. 1 В).

ПЕТРОГРАФИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ ПОРОД КОМПОЗИТНЫХ ДАЕК

Призальбандовые части даек на мощность до 1 м сложены почти афировыми базальтами с единичными вкрапленниками интенсивно замещенного вторичными продуктами клинопироксена на фоне разложенного стекла основного состава. Непосредственно в контакте с гранитами фиксируется практически афанитовая зона закалки мощностью до 10 см, участками с интенсивным ожелезнением обеих контактирующих пород. С удалением от контакта витрофировая основная масса базальтов сменяется гиалопилитовой или интерсертальной, сложенной беспорядочно расположенными лейстами плагиоклаза, субидиоморфными зернышками клинопироксена и разложенным стеклом основного состава. Одновременно количество порфировых выделений возрастает до 15–20 %. Далее следуют зоны по 1–1.5 м пироксен-биотитового или пироксен-биотит-амфиболового долерита. Породы массивные и такситовые, порфировые и сериально-порфировые В порфировых выделениях наблюдаются в основном почти нацело замещенный серпентин-хлоритовыми агрегатами клинопироксен и интенсивно сосюритизированный зональный плагиоклаз с составом от битовнита в центре до лабрадора по периферии (82→60 % *an*). Определены также единичные зерна оливина, по которому развиты псевдоморфозы серпентина, талька, изотропного бурого вещества и карбоната. Более мелкие выделения сложены зональным бурым биотитом. Основная масса долеритовая, с близким идиоморфизмом в ней плагиоклаза и темно-цветных минералов.

Таблица 1. Состав пироксенов сложных даек Такалканского рудно-магматического узла.

№ обр.	порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Total	f, %	wo	en	fs	jad	aeg	tsch	P, ГПа	T °C	
O-50/14	порода долерит краевой зоны	50.96	0.75	3.15	0.12	не обн	8.72	0.30	16.73	20.73	0.22	не обн	101.68	22.7	32.5	45.2	4.8	1.2	0	15.5	1.4	1217	
		51.08	0.49	4.70	0.27	1.43	4.87	0.21	16.37	19.42	0.41	-	-	99.25	17.4	32.5	45.0	7.5	2.1	0	11.8	1.0	1219
		53.19	0.42	2.67	0.37	1.04	4.44	0.17	17.74	20.39	0.26	-	-	100.69	14.5	35.9	47.9	6.7	0.3	0	7.3	0.6	1222
O-50/11	"-	51.91	0.62	3.67	0.55	1.48	3.60	0.14	16.49	20.65	0.27	-	-	99.38	14.3	35.7	45.7	5.6	0.3	0	10.8	0.7	1217
		52.85	0.57	2.87	0.44	не обн.	4.99	0.07	16.48	21.02	0.24	-	-	99.53	14.5	41.2	45.7	7.8	0.4	0	1.4	0.7	1200
		52.69	0.57	2.97	0.50	-	4.70	0.15	16.51	21.22	0.23	0.02	0.02	99.56	13.8	38.3	44.9	7.2	0.2	0	6.4	0.6	1202
P-1129/6	"-	51.73	0.48	2.54	0.21	1.33	4.47	0.19	16.59	20.92	0.17	0.03	98.66	16.0	37.8	46.0	6.9	0.6	0	7.8	0.7	1213	
		52.38	0.54	3.00	0.44	0.53	4.73	0.18	17.09	20.27	0.27	не обн.	99.43	14.6	36.1	46.8	7.3	0.6	0	7.7	0.7	1215	
		53.21	0.35	2.68	0.29	не обн	4.72	0.14	17.34	20.98	0.18	-	-	99.89	10.6	38.0	47.1	7.2	0.4	0	5.9	0.6	1218
O-43/6	"-	52.03	0.50	3.05	0.77	3.51	1.25	0.16	18.08	21.37	0.25	0.01	99.98	12.0	35.3	48.7	1.9	0	0	12.2	0.6	1238	
		51.80	0.45	3.37	0.83	2.59	1.57	0.12	17.33	21.62	0.35	не обн	100.03	11.2	36.5	47.1	2.4	0.1	0	11.4	0.5	1230	
		51.45	0.30	2.64	0.92	0.92	3.54	0.13	17.93	21.43	0.27	-	-	99.53	11.9	35.9	48.8	1.0	0	2	12.1	0.8	1222
O-43/7	монцит переходной зоны	51.86	0.56	3.46	0.37	не обн	5.07	0.14	16.08	20.39	0.30	-	-	98.23	15.2	36.9	44.2	7.8	1.1	0	6.9		
		51.87	0.60	2.69	0.59	-	4.78	0.17	16.42	20.39	0.28	0.05	97.84	14.1	37.6	45.5	7.5	0.3	0	6.1			
		51.14	0.67	3.37	0.24	0.56	4.36	0.12	16.20	20.98	0.19	0.01	97.84	14.4	37.6	45.2	6.8	0.7	0	8.8			
O-50/13	"-	51.26	0.66	2.91	0.19	не обн	5.56	0.14	16.31	20.90	0.14	не обн	98.07	16.1	37.5	45.4	7.2	0.5	0	8.6			
		51.64	0.34	2.47	0.99	2.05	1.75	0.15	17.00	21.55	0.41	-	-	98.35	10.6	38.4	47.0	2.7	0	0	8.7		
		53.48	0.06	1.52	0.04	не обн	15.90	0.28	15.41	11.34	0.27	0.07	98.40	36.7	23.2	43.8	25.4	1.9	0	0	1.3	1133	
O-43/17	гранит-порфир центральной зоны	53.87	0.10	0.73	0.07	-	22.33	0.54	22.64	0.62	0.06	не обн.	100.96	35.6	1.2	60.4	34.2	0.2	0	0.1	1.0	1121	
		52.65	0.18	2.47	0.12	-	17.33	0.36	13.89	12.18	0.67	0.27	100.12	42.0	23.4	39.2	27.5	4.6	0	2.6	1.5	1145	
		52.29	0.06	2.52	0.01	-	16.60	0.24	14.18	11.77	0.38	0.14	98.17	39.6	23.4	39.2	25.8	2.7	0	0			
O-50/12	"-	53.38	0.09	2.24	0.08	0.08	18.30	0.49	10.13	11.23	0.26	0.05	96.36	50.5	24.8	31.1	31.7	1.8	0	0			
		54.69	0.21	4.30	0.04	не обн	8.63	0.15	19.57	11.48	0.61	0.04	99.72	19.8	15.7	52.4	13.0	4.1	0	12.8	1.4	1188	
		53.91	0.08	0.46	0.04	-	17.55	0.25	13.68	12.61	0.10	0.02	98.70	41.9	26.8	40.5	29.1	0	0	0.7	1109		
		50.87	0.82	4.293	0.25	-	6.01	0.14	15.75	21.79	0.29	0.07	99.78	12.4	12.4	54.5	12.8	2.0	0	1.2	1178		

Примечание. Анализы выполнены на рентгеновском микроанализаторе Camebax-тисто в ИГАБМ СО РАН С.П. Роевым; расчеты составов по программе [33]; T °C и P, ГПа – по [25]. f – железистость минерала (FeO*/(FeO*+MgO)).

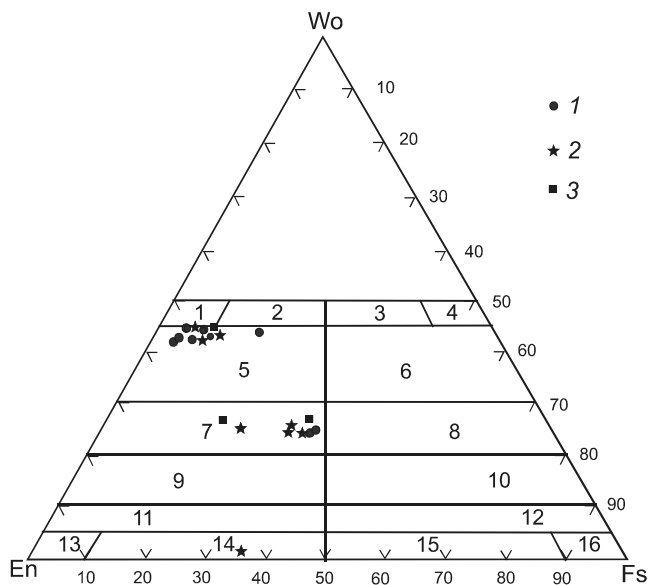


Рис. 2. Состав клинопироксенов композитных даек Такалканского узла.

1 – базальты и долериты краевых зон, 2 – монцитониты переходных зон, 3 – гранит- и риолит-порфиры центральных зон. Поля диаграммы [26]: 1 – диопсид, 2 – ферродиопсид, 3 – магнезиогеденбергит, 4 – геденбергит, 5 – магнезиальный авгит, 6 – ферроавгит, 7 – субкальциевый магнезиоавгит, 8 – субкальциевый ферроавгит, 9 – кальциевый магнезиальный пижонит, 10 – кальциевый железистый пижонит, 11 – магнезиальный пижонит, 12 – железистый пижонит, 13 – (клино)энстатит, 14 – магнезиальный (клино)энстатит, 15 – железистый (клино)энстатит, 16 – (клино)ферросилит.

Дайки, как правило, подверглись интенсивному метасоматозу, поэтому состав первичных минералов в большинстве случаев установлен по редким реликтам. Наиболее крупные вкрапленники сложены высококальциевым магнезиоавгитом ($f = 11\text{--}22\%$) с повышенным содержанием Cr_2O_3 (табл. 1, рис. 2). Расчетные температуры кристаллизации – $1200\text{--}1238^\circ\text{C}$ при давлении до 1.4 ГПа. Оливин по единичным реликтам имеет состав форстерита близкой пироксену железистости ($f = 12.7\%$). По пироксену развиваются магнезиальная роговая обманка или эденит ($f = 28\text{--}46\%$), образуя псевдоморфозы. Амфиболы характеризуются повышенными (до 1.5 %) содержаниями Cl при низком – F (0.05–0.25 %) (табл. 2). В близповерхностных условиях они, в свою очередь, вытесняются каннилоитом или ферриканнилоитом. Биотит вкрапленников магнезиальный ($f = 24.1\text{--}24.5\%$, $T = 1100^\circ\text{C}$), бедный хлором (сотые %) и обогащенный фтором (0.72–0.74 %). Биотит основной массы более железистый ($f = 47\text{--}49.6\%$) и уже с высоким содержанием Cl (1.28–1.38 %) и низким – F (0.1–0.4 %) (табл. 3). Плагноклаз основной массы представлен лабрадором (61–55 % *an*). В интерстициях присутствует не-

большое количество калинатового полевого шпата (*ort* 54–66, *ab* 43–30, *an* 3–4) с температурой образования $700\text{--}750^\circ\text{C}$ (по [17]) и кварц, наличие которого в этой ассоциации является признаком гибридизации исходного базальтового расплава [2].

Характерные акцессорные минералы пород: магнетит (до 1.8 % TiO_2) с ламеллями ильменита; ильменит (до 0.9 % Cr_2O_3 и до 1 % MgO при 2.8–3.8 % MnO); F-апатит (1.64–2.27 % F, 0.23–0.32 % Cl); циркон с величиной $\text{ZrO}_2/\text{HfO}_2$ 72–51; обогащенные Sb (до 410 г/т), Bi (до 3800 г/т), W (до 360 г/т) пирротин и пирит [14]. Единичные зерна хромпикотита по составу (23–53 % Cr_2O_3 , 10–25 % Al_2O_3 , 7–13 % MgO) отвечают минералам ультраосновных пород (дунит-перидотитовая ассоциация) [10, 16] и, вероятно, являются реститовыми.

Переходная зона мощностью до 4 м характеризуется такситовым сложением с сочетанием участков разного состава. С приближением к центральной зоне даек здесь в долеритовом матриксе появляются округлые включения риолит- или риодацит-порфира размерами 0.3–1.2 см с микропойкилитовой основной массой и выделениями кварца и санидина, а также сростки олигоклаза, санидина и кварца, окруженные прерывистой каймой биотита, количество которых возрастает с приближением к центральной зоне. Присутствие таких включений является прямым признаком механического смешения магм [11].

Наиболее крупные вкрапленники, как и в долеритах краевых зон, сложены клинопироксеном. Наблюдается обрастание высококальциевого магнезиального авгита, аналогичного таковому краевых зон даек, более железистым ($f = 37\text{--}50\%$) субкальциевым магнезиоавгитом с расчетными параметрами образования: $T = 1121\text{--}1145^\circ\text{C}$, $P = 1\text{--}1.5$ ГПа, реже – магнезиальным клиноэнстатитом аналогичной железистости (рис. 2). Амфибол (магнезиогастингсит и эденит), замещающий пироксен, более глиноземистый, чем амфибол долеритов краевой зоны (табл. 2). Более мелкие выделения представлены зональным лабрадором (62→54 % *an*) с содержанием *ort* 4 % и температурой кристаллизации $950\text{--}900^\circ\text{C}$ (по [17]). При температуре около $750\text{--}780^\circ\text{C}$ он обрастает андезин-олигоклазовой каймой состава: 32–28 % *an* и 6–7 % *ort*. В породах зоны развиваются крупные – до 5 см – неправильной формы зерна калиевого полевого шпата и более мелкие (до 1 см) зерна опацизированного умеренно железистого биотита ($f = 49\text{--}53\%$, $T = 820\text{--}750^\circ\text{C}$), в центре зерен которого установлены корродированные ядра высокотемпературного (до 1100°C) магнезиального биотита и флогопита ($f = 23\text{--}26\%$), аналогичного биотиту долеритов краевых зон (табл. 3).

Таблица 2. Состав амфиболов композитных даек Такалканского узла.

№ пробы	Порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	ОН	Сумма	f%	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Na+K	P, ГПа	Т°С	Минерал	
O-50/14	долерит краевой зоны	50.52	0.72	4.77	0.38	7.02	не обн.	0.18	15.49	19.81	0.31	0.04	0.60	0.05	2.07	101.96	28.3	0.98	0.87	0.37	0.6	780	Mg-роговая обманка	
		47.63	0.90	5.82	0.10	10.40	"-	0.27	15.00	18.49	0.55	не обн.	не	не	2.05	101.21	25.9	0.98	0	0.15	0.1	750	Феррикан- нилоит	
		50.19	0.73	5.02	не обн.	8.14	"-	0.21	14.78	19.29	0.36	"-	"-	0.02	0.04	2.06	100.84	21.9	0.84	0	0.10	0.1	835	"
O-50/11	"-	47.58	0.55	5.33	0.01	3.30	15.16	0.33	11.99	11.17	1.32	0.84	1.50	0.25	1.49	100.82	46.1	0.93	0	0.54	0.5	835	Mg-роговая обманка	
		47.21	0.90	5.88	не обн	3.13	13.18	0.40	13.42	11.32	1.34	0.80	0.85	0.25	1.67	100.35	40.1	1.00	0.05	0.53	0.2	823	"	
		46.84	1.16	6.44	"-	3.15	11.02	0.48	14.86	11.46	1.37	0.77	0.77	0.20	0.25	1.85	99.85	34.4	1.11	0.01	0.53	0.2	806	эденит
P1129/6	"-	50.56	0.94	4.71	0.72	5.29	не обн.	0.09	16.13	19.98	0.22	не обн.	не	0.05	не обн.	100.77	14.2	0.78	0	0.06			каннилоит	
		51.14	0.67	3.37	0.24	5.39	"-	0.12	16.20	20.98	0.19	0.01	не	не	2.08	100.39	14.4	0.56	0	0.05			каннилоит	
		41.79	2.07	13.96	0.06	5.70	7.13	0.18	13.40	10.80	2.76	0.61	"-	"-	2.03	100.49	33.9	1.98	0.39	0.88	0.8	741	Магнезио- гастингит	
O-43/4	монцитит переходной зоны	40.76	2.71	13.60	0.05	5.60	5.84	0.16	15.27	10.97	2.75	0.67	"-	"-	2.03	100.41	28.6	2.10	0.24	0.89	0.8	744	"	
		41.06	2.86	13.61	0.35	5.70	5.73	0.19	15.01	11.45	2.75	0.79	не обн.	не	0.08	2.01	101.59	29.1	2.15	0.14	0.90	0.8	748	"
		42.11	2.66	13.60	0.16	4.91	6.37	0.08	14.29	10.64	2.76	0.61	не обн.	не	2.04	100.23	29.9	1.96	0.34	0.88	0.8	747	"	
O-50/13	"-	40.93	2.67	13.18	0.03	6.90	5.73	0.24	14.96	11.26	2.52	0.69	"-	"-	2.04	101.15	30.9	2.09	0.15	0.84	0.7	752	"	
		43.38	1.59	8.49	не обн.	4.51	15.67	0.54	10.65	10.77	1.79	1.10	1.10	"-	"-	1.96	100.45	50.9	1.48	0.03	0.73	0.4	811	эденит
		51.69	0.21	7.30	0.08	4.76	4.35	0.15	16.57	11.48	0.61	0.04	"-	"-	2.16	99.40	22.6	0.67	0.55	0.18			Mg-роговая обманка	
O-43/17	гранит-порфир центральной зоны	43.47	1.47	12.07	0.23	3.81	10.26	0.12	11.62	10.85	1.73	1.18	0.06	0.44	1.78	99.09	39.9	1.57	0.54	0.72	0.7	764	чермакит	

Примечание. Анализы выполнены на рентгеновском микроанализаторе Samebaх-micro в ИГАБМ СО РАН С.П. Роевым; расчеты составов по программе [32]; Т°С и P, ГПа – по [22].

Таблица 3. Состав биотитов композитных даек Такалканского узла.

№ пробы	порода	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Cl	F	H ₂ O	Total	f%	al*%	T°C	log fO ₂	минерал
O-50/14	долерит	36.94	5.34	15.58	не обн.	0.29	9.96	0.06	17.71	0.02	0.54	9.19	0.02	0.72	1.50	97.87	24.5	20.4	1100	-8.8	Mg-биотит
	краевой зоны	37.02	5.48	15.72	"-	0.26	9.89	0.04	17.93	0.04	0.53	8.97	0.01	0.74	1.37	98.00	24.1	20.4	1100	-8.5	Mg-биотит
O-50/11	"	35.60	7.51	14.82	"-	0.88	17.25	0.16	10.40	0.01	0.84	9.18	0.09	0.93	1.52	99.19	49.3	21.4	820	-14.4	Mg-биотит
P-1129/6	"	37.03	4.16	12.77	0.11	1.94	18.06	0.08	12.53	0.01	0.20	10.59	1.28	0.15	1.16	100.07	47.0	17.2	800	-13.7	Mg-биотит
O-43/7	монцит	35.72	3.97	13.19	0.05	2.11	18.59	0.14	12.32	0.03	0.16	10.39	1.38	0.42	2.00	100.49	48.3	22.4	800	-14.0	Mg-биотит
	переходной зоны	36.31	4.01	12.92	0.02	2.24	17.79	0.12	11.28	0.04	0.25	10.07	1.30	0.10	2.53	98.98	49.6	17.8	780	-14.2	Mg-биотит
O-43/4	"	36.76	3.93	14.06	0.04	1.67	19.21	0.32	10.17	0.02	0.05	10.01	0.46	0.12	2.74	99.56	53.3	19.3	770	-15.1	Mg-биотит
	"	37.07	3.91	14.22	0.07	2.06	19.89	0.26	9.57	не обн.	0.02	9.22	0.42	не опр.	2.80	99.51	56.0	19.4	750	-15.4	Fe-биотит
O-43/17	"	35.97	4.45	13.84	не обн.	3.12	8.96	0.19	21.23	0.44	0.46	5.77	не опр.	не опр.	4.4	98.84	23.7	17.4	1100	-7.3	Mg-биотит
	гранит-порфир	34.66	3.88	16.18	"-	2.40	10.26	0.18	19.60	0.02	0.57	6.84	"-	"-	4.3	98.85	26.2	20.4	1050	-8.3	флогопит
O-43/17	центральная зоны	38.22	2.26	14.44	"-	3.19	18.54	0.20	12.45	0.05	0.12	8.61	"-	"-	2.48	100.56	49.1	18.6	750	-14.1	флогопит
	"	36.58	4.89	13.41	0.06	2.66	20.97	0.21	9.29	0.02	0.56	9.47	"-	"-	0.88	99.00	58.5	18.4	720	-15.5	Fe-биотит
P-1129/4	"	35.68	4.89	13.53	0.05	2.49	22.03	0.19	7.96	0.05	0.45	9.80	0.39	0.32	1.27	99.10	63.1	19.0	700	-16.0	Fe-биотит
	"	34.94	4.53	14.36	0.01	2.69	24.20	0.40	6.70	не обн.	0.43	9.75	не опр.	не опр.	1.56	99.57	69.0	20.1	680	-16.5	Fe-биотит
P-1129/4	"	35.07	3.88	16.04	0.12	2.86	18.79	0.28	8.51	0.30	0.38	7.09	0.54	0.66	4.72	99.24	58.5	22.4	700	-15.7	Fe-биотит
	"	34.73	4.51	13.51	0.09	2.60	19.81	0.20	8.48	0.16	0.31	9.00	0.62	0.51	3.76	98.35	59.4	19.5	720	-15.8	Fe-биотит

Примечание. Анализы выполнены на рентгеновском микроанализаторе Camebax-micro в ИГАБМ СО РАН С.П. Роевым; расчеты T и log fO₂ – по [13]; определение минерала – по [28].

Среди акцессорных минералов определены высокотемпературный магнезиальный (4–7 % MgO и 0.1–0.5 % MnO) и низкотемпературный марганцовистый (до 7.1 % MnO и 0–1 % MgO) ильменит; титаномагнетит (9–20 % TiO₂), магнетит (0–1.2 % TiO₂); F-апатит (1.8–2.9 % F и 0.1–0.6 % Cl); циркон с величиной ZrO₂/HfO₂ от 73 до 47; комплекс сульфидов, идентичных таковому пород краевых зон; единичные зерна граната пироп-альмандинового ряда (3–40 % py).

Таким образом, переходная зона характеризуется сочетанием минералов, типичных как для базальтов, так и для гранитов, включениями кремнекислого состава в долеритовом матриксе, обрастанием магнезиальных клинопироксена и биотита более железистыми их модификациями, формированием андезин-олигоклазовой каймы вокруг плагиоклаза, что возможно только при смешении магм разного состава.

Центральные зоны даек (2–4 м) сложены риолит- и риодацит-порфирами, переходящими в центре в гранит- и гранодиорит-порфиры. Контакты их с породами переходной зоны отчетливые, но без зон заделки. Породы массивные и флюидалные, с фельзитовой, микропйкилитовой, сферолитовой, микрогранитной и микропегматитовой основной массой. Вкрапленники представлены высоким ортоклазом ($2V_{Np} = 10-40^\circ$), кварцем и, реже, биотитом. Присутствуют многочисленные угловато-округлые включения пироксена и основного плагиоклаза и их сростки. Пироксен в них представлен субкальциевым магнезиоавгитом, идентичным таковому пород краевых и переходных зон (рис. 2): $f = 12-42\%$, $T = 1109-1188^\circ\text{C}$, $P = -1.4-0.7\text{ ГПа}$. Амфибол – магнезиальная роговая обманка – наблюдался только в псевдоморфозах по включениям пироксенов. Встречены единичные зерна, вероятно, ксеногенного или реститового чермакита (табл. 2), характерного для метаморфических пород и почти не встречающегося в магматических

[5]. Биотит преимущественно железистый, умеренно глиноземистый ($f = 52-69\%$, $al^* = 18-20\%$), близкий по составу биотиту переходных зон. Он кристаллизовался при температурах $730-680^\circ\text{C}$, в условиях умеренных значений активности кислорода (табл. 3, рис. 3). В акцессорной фракции установлены ильменит (0.54–3.1 % MnO; 0.1–0.6 % MgO); F-апатит (0.3–0.5 % Cl и 2.6 % F); пирит и халькопирит, концентрирующие Pb (до 1 %), Ag (до 0.1 %), Sb (до 0.4 %), Bi (до 0.1 %), Sn (до 1 %), стистаит, самородный цинк.

ПЕТРОХИМИЧЕСКИЕ И ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД КОМПОЗИТНЫХ ДАЕК

Краевые зоны даек интенсивно изменены постмагматическими процессами. Химический состав наименее измененных разновидностей отвечает субщелочным базальтам или долеритам (рис. 4, табл. 4). Породы железистые [$FeO^*/(FeO^*+MgO) = 0.55-69$], умеренно глиноземистые [$Al_2O_3/(FeO+Fe_2O_3+MgO)=1.19-1.47$], диопсид-гиперстен- и гиперстен-нормативные, с небольшим количеством (3–10 %) нормативного кварца и варьирующими соотношениями нормативного альбита и ортоклаза. По соотношениям K_2O-SiO_2 [29] породы принадлежат к высококальциевой известково-щелочной серии (табл. 4). Согласно соотношениям $(Ce/Sm)_N - Ce_N = 2.2-2.5 - 69-89$ и $La/Yb = 17-19$; $Yb = 2.4-3.2$, материнский расплав генерировался при низкой степени (1–2 %) фракционного плавления метасоматически обогащенного лерцолита [19, 27]. Температуры магмогенерации, рассчитанные для наименее измененных образцов по соотношениям $Al_2O_3/TiO_2 - MgO$ [6], составляли $1200-1300^\circ\text{C}$, давление – $1.8-2.0\text{ ГПа}$. Простые дайки основного состава имеют близкие химические особенности (табл. 5).

По сравнению с кларками для габброидов породы на порядок и более обогащены Li, F, Cs, W,

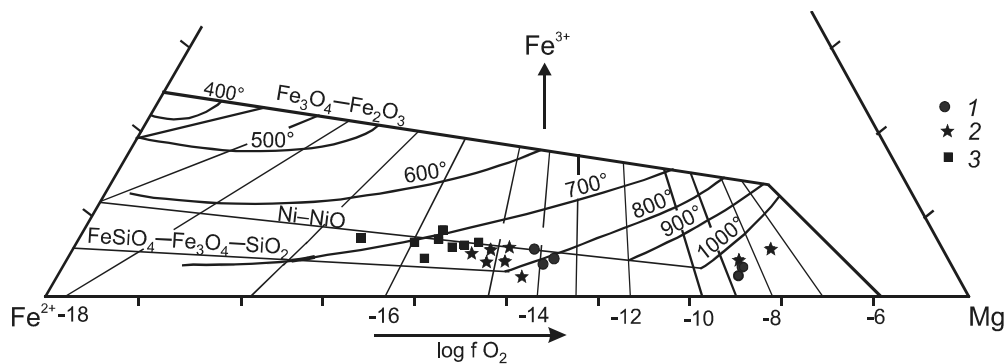


Рис. 3. Температуры и окислительно-восстановительный режим кристаллизации биотитов пород сложных даек Такалканского узла.

1–3 – см. рис. 2. $\log f O_2$, температуры, линии буферных равновесий ($Fe_3O_4-Fe_2O_3$, $Ni-NiO$, $FeSiO_4-Fe_3O_4-SiO_2$) – по [13].

Таблица 4. Химический состав сложных даек Такалканского узла.

№ обр.	место отбора	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O	H ₂ O ⁺	PPP	P ₂ O ₅	CO ₂	S	F	Li ₂ O	Rb ₂ O	Cs ₂ O	Сумма	f	T°C	P, ГПа	
дайка Б.А. Лемковой (разрез по руч. Непадежному)																										
O43/5	0.1	50.60	1.66	15.30	4.23	5.25	0.12	2.70	5.67	3.17	2.37	0.76	4.74	не	0.61	2.92	0.01	0.10	0.017	0.016	0.005	99.47	0.74	1120	1.6	
O43/6	1	54.60	1.16	15.50	2.30	5.32	0.09	2.22	6.44	3.26	2.57	0.01	2.82	опр.	0.53	2.75	0.01	0.08	0.011	0.014	0.005	99.66	0.77	1110	1.2	
O43/4	1.5	55.80	0.91	17.22	4.03	3.02	0.17	3.34	5.43	2.04	4.25	не	2.04	"-	0.69	0.44	0.06	0.33	0.013	0.008	не	99.78	0.68	1165	1.2	
O43/10	2	64.78	0.68	15.35	0.76	3.40	0.08	1.18	1.43	3.05	4.85	0.25	2.02	опр.	0.17	0.54	0.01	не	0.017	0.023	"-	101.49	0.78	1000	1.0	
O43/7	4	67.66	0.49	15.59	0.37	2.71	0.06	0.73	1.04	2.67	6.04	не	не	опр.	0.18	не	не	"-	не	не	не	99.72	0.81	909	1.0	
O43/9	5	68.00	0.49	13.80	0.41	3.02	0.05	0.58	1.96	2.88	4.80	0.16	0.92	опр.	0.22	0.77	0.10	0.08	0.009	0.027	0.003	100.73	0.86	919	0.8	
O43/11	8	75.20	0.16	12.00	1.08	1.37	0.02	0.50	0.49	2.95	4.33	не	не	опр.	0.06	0.20	0.10	не	0.007	0.03	0.001	99.69	0.83	887	0.3	
O43/12	11	73.80	0.22	12.30	0.07	2.51	0.03	0.50	1.19	3.03	4.48	"-	"-	опр.	0.07	0.20	0.10	"-	0.017	0.038	0.001	99.76	0.84	849	0.4	
O-43/17	14	70.00	0.37	13.40	0.43	2.59	0.04	0.50	1.75	2.75	4.53	"-	"-	опр.	0.19	0.66	0.10	"-	0.016	0.018	0.024	99.78	0.86	898	0.6	
O43/8	15	67.60	0.60	14.00	0.63	3.45	0.06	0.83	2.87	3.02	4.43	"-	"-	опр.	0.27	0.88	0.10	0.08	0.017	0.023	0.001	101.84	0.83	1000	0.8	
O43/16	16	51.97	1.59	16.43	3.41	5.24	0.15	3.58	5.76	2.70	2.25	0.15	2.82	не	0.53	2.45	0.01	0.44	0.015	0.009	0.009	99.20	0.71	1140	1.2	
дайка Б.А. Лемковой (разрез по водоразделу к югу от в. 1338.7 м)																										
1129/6	0.5	49.20	0.98	13.70	2.25	4.74	0.13	4.06	10.33	1.90	3.86	0.20	2.90	не	0.72	3.40	не	0.83	0.011	0.021	0.004	99.01	0.63	1140	1.8	
P1129/5	1.5	50.30	0.72	16.30	0.79	4.30	0.12	3.59	4.18	1.09	9.68	0.52	2.85	опр.	0.35	2.74	"-	0.06	0.034	0.021	0.004	100.20	0.57	1150	1.5	
P1129/19	3	62.88	0.62	16.75	0.70	4.43	0.04	2.31	0.91	2.33	5.06	не	2.88	не	0.12	0.53	0.10	не	0.0131	0.0128	не	99.69	0.7	943	1.3	
P1129/1	5	69.74	0.31	15.68	0.54	2.86	0.06	0.99	0.77	3.41	3.60	"-	1.38	опр.	0.01	не	0.02	0.05	0.009	0.012	"-	99.43	0.68	861	0.8	
P1129/2	6	71.09	0.34	14.04	0.37	2.15	0.05	0.94	0.99	1.14	5.15	0.25	2.19	"-	не	1.64	0.01	0.08	0.02	0.027	"-	100.20	0.73	928	0.6	
P1129/4	8	67.53	0.37	15.54	0.32	2.69	0.05	1.12	3.15	1.66	5.21	не	1.85	2.13	0.19	не	не	0.11	0.015	0.034	0.003	99.81	0.71	904	0.7	
P1129/7	10	49.82	0.99	14.37	1.41	5.45	0.16	5.67	8.50	1.66	3.72	0.44	3.13	не	0.67	3.53	0.04	0.37	0.01	0.013	не	99.50	0.55	1140	1.7	
дайка р. Такалкан																										
O50/14	0.5	50.68	1.68	16.81	1.50	7.14	0.15	2.81	6.81	3.40	2.20	0.20	2.28	не	0.55	3.53	не	0.13	0.013	0.006	не	99.68	0.75	1125	1.3	
O50/11	1.5	52.18	1.63	16.39	4.44	4.58	0.17	2.69	6.35	3.16	2.46	не	2.44	опр.	0.55	4.40	"-	0.16	0.011	0.016	0.005	101.61	0.77	1125	1.4	
O50/13	3	55.60	0.80	16.70	3.39	3.16	0.10	3.05	4.69	4.18	2.10	"-	1.34	"-	0.60	1.98	"-	0.11	0.019	0.013	0.003	97.84	0.75	1030	1.5	
O50/12	7	69.61	0.51	14.67	0.20	3.40	не	0.87	0.71	2.13	4.94	0.15	1.80	"-	0.13	1.08	"-	0.10	0.019	0.033	0.004	100.17	0.85	917	0.8	
O50/15	8	66.80	0.38	15.30	0.01	4.24	0.04	1.09	3.64	3.74	3.45	0.08	1.72	"-	0.13	не	"-	0.93	0.017	0.002	0.006	101.47	0.81	887	0.9	
50/16	10	55.08	0.92	17.46	3.37	3.45	0.13	2.98	2.95	2.75	6.70	не	2.60	"-	0.67	1.61	0.03	0.16	0.015	0.016	0.003	100.89	0.59	1030	1.7	
O50/21	11	51.80	1.43	14.30	3.32	5.60	0.11	4.58	4.20	2.33	4.45	"-	2.09	"-	0.77	2.58	не	0.25	0.022	0.045	0.012	97.83	0.66	1140	1.8	

Таблица 5. Химический состав даек простого строения Такалканского узла.

N обр.	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	H ₂ O ⁻	H ₂ O ⁺	P ₂ O ₅	CO ₂	S	F	Li ₂ O	Rb ₂ O	Cs ₂ O	Сумма	T°C	P, ГПа	
O50/4	45.60	0.73	12.80	2.02	5.03	0.13	7.10	12.18	2.38	2.17	не опр.	2.80	0.32	4.95	не опр.	0.44	не опр.	0.44	не опр.	не опр.	98.65	1130	3.0
O50/5	47.00	0.78	13.30	1.77	5.07	0.13	7.60	11.62	2.64	2.30	0.08	2.61	0.34	3.41	0.19	0.44	0.023	0.017	0.017	99.20	1160	2.5	
O50/10	43.96	1.88	16.70	3.17	7.16	0.21	4.65	10.73	2.57	1.04	0.64	0.99	0.34	4.87	0.09	0.19	0.006	0.010	0.005	98.56	1160	3.5	
O50/9	54.20	1.03	15.40	3.21	4.46	0.11	5.74	4.93	3.59	4.29	0.08	3.48	0.39	не опр.	не опр.	0.40	0.028	0.018	0.023	101.26	1160	1.7	
O45/4	45.60	0.73	12.80	2.02	5.03	0.13	7.10	12.18	2.38	2.17	не опр.	2.80	0.32	4.95	не опр.	0.44	не опр.	не опр.	не опр.	98.65	1140	3.0	
O56/10	48.26	1.09	14.28	2.20	5.59	0.12	9.97	8.89	1.43	2.54	1.64	2.89	0.51	1.37	0.04	0.25	0.013	0.021	-"	99.44	1190	1.4	
O55/16	55.08	0.92	17.46	3.37	3.45	0.13	2.98	2.95	6.70	2.75	не опр.	2.60	0.67	1.61	0.03	0.16	0.015	0.016	0.003	100.88	1150	1.8	
O55/17	55.60	0.80	16.70	3.39	3.16	0.10	3.05	4.69	4.18	2.10	-"	1.34	0.60	1.98	не опр.	0.11	0.019	0.013	0.003	97.82	1135	1.2	
P1117/5	49.49	1.24	14.28	2.83	5.02	0.18	6.07	9.04	1.90	4.35	0.42	2.02	0.59	2.96	0.04	0.16	0.009	0.019	0.005	100.18	1140	2.0	
P1116/1	55.67	0.86	17.64	2.89	4.15	0.22	2.18	6.13	3.73	2.23	0.31	1.85	0.64	не обн.	0.01	0.44	0.019	0.012	0.003	98.66	1120	1.2	
O54	57.25	0.84	18.16	3.55	2.86	0.11	2.83	4.46	4.84	2.22	0.15	1.98	0.63	0.27	0.01	0.12	0.011	0.014	0.003	100.14	1100	1.2	
O32/1	60.19	0.90	17.44	1.21	3.83	0.10	1.97	3.07	4.01	3.08	0.24	2.55	0.51	0.27	0.01	0.22	0.011	0.010	не обн.	99.16	950	1.4	
P1091/4	61.37	0.65	14.70	1.03	3.81	0.10	1.82	3.82	2.72	5.25	не опр.	2.39	0.28	2.53	не опр.	0.16	0.026	0.047	0.007	99.52	1043	1.1	
P1098/5	71.99	0.21	14.60	1.22	1.57	0.05	0.32	0.26	3.06	4.33	0.15	1.28	0.10	0.82	0.01	0.04	0.004	0.022	0.002	99.87	900	0.7	
P1097/2	73.78	0.20	14.50	0.57	2.13	0.04	0.36	0.16	2.90	3.24	не опр.	1.56	0.09	0.82	не обн.	0.07	0.011	0.019	0.002	100.43	893	0.5	
P1112/5	75.44	0.19	12.82	0.25	1.90	0.03	0.21	0.53	3.25	4.87	-"	0.62	не обн.	не обн.	-"	0.12	0.013	0.042	0.003	100.24	966	0.4	

Примечание к таблице 4. Место отбора – расстояние от всячего контакта дайки с вмещающими гранитами. f = (FeO+Fe₂O₃)/(FeO+Fe₂O₃+MgO). T – температура начала кристаллизации для основных пород [20]; для гранитоидов – температура плавления субстрата с учетом его состава [21, 24]; P – давление на уровне магмогенерации. для основных пород – по [8], для кислых – по [1]. Анализы выполнены в ИГАБМ СО РАН Д.А. Кулагин и М.Т. Слепцовой.

Примечание к таблице 5. Пробел отделяет образцы, отобранные из разных даек. T – температура начала кристаллизации для основных пород [20]; для гранитоидов – температура плавления субстрата с учетом его состава [21, 24]; P – давление на уровне магмогенерации. для основных пород по [8], для кислых по [1]. Анализы выполнены в ИГАБМ СО РАН Д.А. Кулагин и М.Т. Слепцовой.

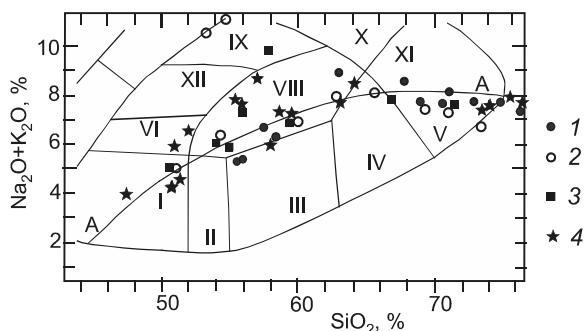


Рис. 4. Вариации химических составов сложных даек Такалканского узла.

1–3 – композитные дайки: 1, 2 – дайка Б.А. Лемковой (1 – разрез по руч. Ненадежному, 2 – разрез по водоразделу вблизи в. 1338,7 м), 3 – дайка р. Такалкан, 4 – дайки простого строения. Поля диаграммы [31]: I – базальты (габбро), II – андезибазальты (габбродиориты), III – андезиты (диориты), IV – дациты (гранодиориты), V – риолиты (граниты), VI – гавайиты (субщелочное габбро), VII – муджириты (монзониты), VIII – трахиандезиты (монзониты), IX – бенморейты (сиениты), X – трахиты (сиениты), XI – трахириолиты (щелочные граниты). А–А – линия раздела субщелочных и известково-щелочных пород.

Bi, Sb, As, Ba и в 2–3 раза – K, Rb, B, Be, Sr, Zr, Mo, LREE, Th и U, а по сравнению с примитивной мантией [12] они существенно обогащены K, Rb, Ba, Sr, U, Th, La (табл. 6). Отмечающиеся на спайдер-диаграммах (рис. 5) максимум по Ba, а также минимум по Ti и аномально низкие концентрации Ni и Cr (табл. 6), возможно, связаны с контаминацией исходного мантийного расплава коровыми субстратами. Тренды распределения редкоземельных элементов (рис. 6) характеризуются резким обогащением LREE при слабо проявленном минимуме Eu.

Риолит- и риодацит-порфиры и их раскристаллизованные аналоги центральных зон даек по соотношениям K_2O-SiO_2 [29] также принадлежат высококалиевой, с отклонениями к латитовой, петрохимической серии (табл. 4). Породы высокоглиноземистые [$Al_2O_3/(FeO+Fe_2O_3+MgO)=3.22-4.06$], железистые [$FeO^*/(FeO^*+MgO) = 0.72-0.86$], гиперстен-нормативные, с близкими значениями альбита и ортоклаза или с преобладанием последнего (среднее, соответственно, 22.3 и 27.6) и с преобладанием магнетита над ильменитом (среднее – 1.0 и 0.6) в нормативном составе. Расчетное давление при магмогенерации [1] – до 0.8 ГПа. Соотношения $Al/(Mg+Fe)$ mol (1.7–1.9) – $Ca/(Mg+Fe)$ mol (0.7–0.9) в наименее измененных образцах указывают на генерацию материнских расплавов в результате частичного плавления коровых дацит-тоналитовых субстратов [21]. С учетом этого, температуры исходного расплава [24] определены в 900–938°C при давлении около 0.8 ГПа, а температуры начала их кристаллизации – в 900–750°C при дав-

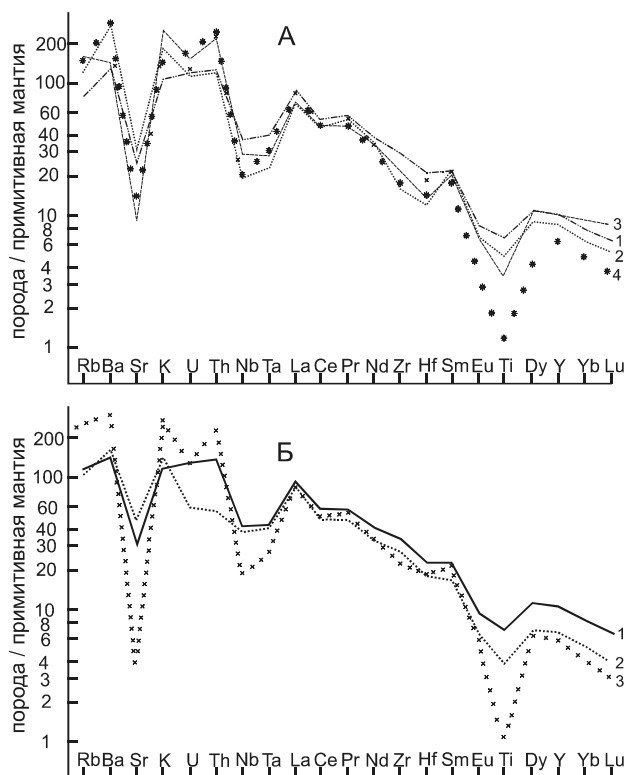


Рис. 5. Нормированная к примитивной мантии [12] спайдер-диаграмма для пород композитных даек Такалканского узла.

А – дайка Б.А. Лемковой, Б – дайка р. Такалкан. 1–3 – соответственно, породы краевых, промежуточных и центральных зон даек, 4 – простая дайка риолит-порфиров.

лению от 0.5 до 0.1 ГПа. Распределение REE повторяет таковое в породах краевых зон даек, отличаясь несколько меньшими суммарными содержаниями REE и несколько более глубоким минимумом Eu (рис. 6). По сравнению с кларками для гранитов породы обогащены Sb, Bi, As (в 38, 10, 5 раз) и менее – Co, Ni, Zn (в 2–3 раза) [14].

Химический состав гибридных пород промежуточных зон даек соответствует в основном монзонитам (трахиандезитам), с отклонениями к сиенитам (тефрифенолитам) в участках с интенсивным развитием калиевого полевого шпата и с нарастанием кремнекислотности с приближением к центру даек. На классификационной диаграмме (рис. 4) точки составов всех пород сложных даек (за исключением образцов с интенсивным развитием калиевого полевого шпата из переходных зон) намечают единый тренд. Промежуточные значения в породах переходных зон имеют и содержания большинства элементов-примесей. В переходную зону привносятся из гранитной K, Rb, Th, U, а концентрации Zr, Nb, Y, LREE заметно снижаются с ростом кремнекислотно-

Таблица 6. Микроэлементный состав композитных даек Такалканского узла.

Оксиды, %	043/16	043/4	043/3	050/11	049/5	P-1095/3	P-1097/2
	1	2	3	4	5	6	7
SiO ₂	51.97	55.80	74.50	52.18	58.87	71.11	73.78
K ₂ O	2.25	4.25	5.05	2.46	5.16	6.00	4.24
Элементы, г/т							
Be	2.65	4.71	1.60	3.6	2.58	1.79	3.5
Ti	9464	6333	4855	9584	5012	1244	1266
V	176	194	14.1	175	142	9.8	9.2
Cr	49	368	273	79	35	86	4.16
Mn	879	1020	489	1040	719	930	246
Co	26	33	10.7	23	15	4.05	3.11
Ni	60	61	26	6.4	5.7	6.2	7
Ga	16	12.0	18	17	16	16	15
Ge	1.79	1.81	2	1.71	1.56	1.57	1.71
Rb	44	67	87	67	56	146	83
Sr	451	1030	162.0	544	855	68	201
Y	35	28	36	35	23	20	25
Zr	252	132	266	280	230	184	136
Nb	21	11.3	16	24	21	10.6	10.2
Mo	2.57	1.46	3	2.84	2.61	1.38	1.39
Cs	9.7	17	7.2	12.7	9.5	3.95	3.13
Ba	728	1490	701	779	838	1527	1511
La	49	41	43	51	46	48	43
Ce	77	66	75	85	69	74	67
Pr	11.5	10.9	10	11.8	9.7	11	9.6
Nd	42	40	37	43	34	38	33
Sm	7.8	6.8	7.2	8.0	5.9	7.2	6.4
Eu	1.58	1.34	1.26	1.64	1.34	1.02	0.64
Gd	7.9	6.2	7.2	7.9	5.8	6.2	6.1
Tb	1.24	0.94	1.1	1.2	0.83	0.88	0.93
Dy	6.2	4.8	6.1	6.2	3.9	3.73	4.3
Ho	0.99	0.78	1.04	1.02	0.64	0.54	0.64
Er	3.30	2.70	3.5	3.2	2	1.8	2.1
Tm	0.51	0.43	0.55	0.5	0.32	0.28	0.32
Yb	2.80	2.40	3.4	2.80	1.90	1.53	1.83
Lu	0.37	0.31	0.46	0.37	0.24	0.20	0.23
Hf	5.6	3.19	6.50	5.9	4.86	5.1	3.98
Ta	1.59	0.94	1.16	1.64	1.58	1.03	1.36
W	0.65	1.27	1.69	1.13	1.42	1.45	1.61
Pb	17	20	16	12.3	13	9.6	24
Th	8.2	7.9	12.9	8.9	3.53	15	16
U	2.16	2.29	2.92	2.37	1.06	2.36	3.28
Li	51	66	70	51	84	67	60

Примечание. 1–3 – дайка руч. Небезопасного; 4–6 – дайка р. Такалкан; 7 – простая дайка р. Такалкан. Оксиды, Li – силикатный анализ (ИГАБМ СО РАН); микроэлементы – ICP анализ (Институт геохимии, Иркутск, аналитик Е.В. Смирнова).

сти пород, тогда как при кристаллизации базальтовой магмы должно, напротив, происходить обогащение ее поздних производных этими элементами [2]. Следовательно, наблюдающаяся зональность изученных даек не может являться результатом кристаллизационной дифференциации исходного базальтового расплава. В целом же, содержания большинства элементов-примесей имеют тенденцию к выравниванию, то

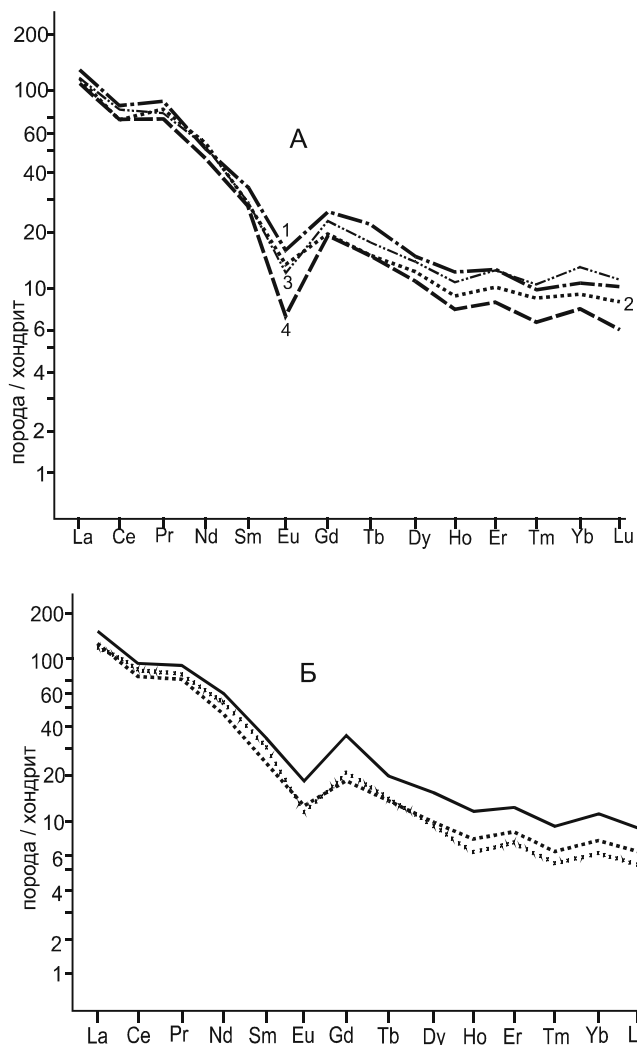


Рис. 6. Нормированное по хондриту [23] распределение редкоземельных элементов в породах композитных даек Такалканского узла.

Условные обозначения – см. рис. 5.

есть, миграция элементов идет в обе стороны (табл. 6, рис. 5, 6). Эти факты и достаточно быстрые, но без закаленных контактов переходы между центральной и переходной зонами, что возможно только в условиях сохранения расплавленного или полурасплавленного состояния, предполагают кристаллизацию из субсинхронных магматических очагов различного состава.

Простые дайки субщелочного ряда характеризуются аналогичными, установленным для композитных даек вариациями химических составов пород. В основных породах и здесь наблюдаются олигоклаз-санидин-кварцевые сростки и крупные неправильные зерна калишпата, а в риодацит- и риолит-порфирах – включения магнезиоавгита в сростании с лабрадор-битовнитом. Трахиандезитовые дайки по минералогическому и химическому составу близки породам переходных зон композитных даек (табл. 5). Все это

указывает на явления смешения основных и кремнекислых магм на более глубоких, чем наблюдаемые в сложных дайках, горизонтах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Геологическое строение изученных даек: постепенные переходы между породами краевых и переходных зон и отсутствие зон закалки между центральными и переходными зонами, наличие породных и минеральных включений, неравновесных к окружающему матриксу (присутствие округлых включений кислого состава в трахиандезитобазальтах – трахиандезитах переходных зон и включений базитового состава в риолит-порфирах центральных зон), свидетельствуют о сосуществовании очагов кислых и базитовых магм и их механическом смешении [9, 11]. Гранитный расплав, поднимаясь по общему магмоводу в частично раскристаллизованные долериты дайки, захватывал ее закристаллизовавшиеся фрагменты, и в то же время капли гранитного расплава проникали в незастывшую основную массу долерита. Условием механического смешения контрастных по составу магм является близость температур смешивающихся расплавов [2, 11]. Отсутствие зон закалки между породами разных зон композитных даек соответствует этому. Кристаллизация базальтового расплава началась при температуре более 1200°C (табл. 1), но завершалась при 700–750°C. Кремнекислый расплав, сформировавший породы центральных зон даек, генерировался при температуре до 938°C, что уже превосходит расчетные температуры и давления кристаллизации амфиболов и биотитов основной массы в зонах основного состава (табл. 2, 3). То есть, субсолидусная температура основного расплава и субликвидусная температура кремнекислого перекрываются.

Изменение типоморфных особенностей породообразующих минералов от периферии к центру даек (обрастание магнезиальных пироксенов существенно более железистой каймой и плагиоклазов лабрадорского состава олигоклаз-андезиновой оторочкой, появление порфириобластов калишпата и умеренно железистого биотита в переходных зонах); вариации химических составов пород, образующих непрерывный ряд от субщелочных базальтов до риолит- и гранит-порфиров (рис. 4); выравнивание содержаний большинства элементов-примесей, как относительно мобильных, таких как щелочи, LILE, так и инертных, таких как Zr и Ti, указывают и на химическое взаимодействие расплавов (рис. 5, 6, табл. 6) с образованием серии пород промежуточного состава.

Таким образом, изученные дайки Такалканского рудно-магматического узла представляют собой композитные дайки первого типа, сформированные

в процессах механического и химического смешения контрастных по составу расплавов. При этом, с учетом расчетных P-T параметров генерации гранитоидного расплава и величины геотермического градиента (по геофизическим данным для амагматичных районов хр. Черского она составляет 15–20°/км), мы не исключаем, что поступление необходимого для плавления коровых субстратов дополнительного тепла было обусловлено подъемом мантийного диапира, производными которого являлись основные породы краевых зон даек.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беляев Г.М., Рудник В.А. Формационно-генетические типы гранитоидов. Л.: Недра, 1978. 168 с.
2. Врублевская Т.Т., Хубанов В.Б., Цыренов Б.Ц. 2. Образование трахиандезитов и трахидацитов при смешении контрастных магм в сложных дайках (Западное Забайкалье) // Отеч. геология. 2013. № 3. С. 55–64.
3. Геологическая карта Якутии. Лист R-54 в, г. Нижнеянский блок. 1:500 000. СПб., 1995.
4. Индолев Л.Н. Дайки рудных районов Восточной Якутии. М.: Наука, 1979. 194 с.
5. Костюк Е.А. Амфиболы // Генетические исследования в минералогии. Новосибирск: СО АН СССР, 1980. С. 144–155.
6. Куликова В.В., Куликов В.С. Петрохимическая классификация магматических пород. Петрозаводск, 2001. 152 с.
7. Некрасов И.Я. Петрология Такалканского массива аляскитовых гранитов в хребте Полоусном // Материалы по геологии и полезным ископаемым Якутской АССР. Якутск: ЯФСО АН СССР, 1960. С. 25–48.
8. Перчук Л.Л., Аранович Л.А., Косякова Н.А. Термодинамические модели зарождения и эволюции базальтовых магм // Вестн. МГУ. Сер. геол. 1982. № 4. С. 3–26.
9. Попов В. С. Смешение магм – важный петрогенетический процесс // Зап. ВМО. 1984. Вып. 1. С. CXIII. С. 229–236.
10. Порошин Е.Е. Высокохромистые шпинелиды и вопросы происхождения базальтовых магм // Геология и геофизика. 1988. № 8. С. 39–46.
11. Складчиков Е.В., Федоровский В.С. Тектонические и геодинамические аспекты механического смешения (магматического минглинга) // Геотектоника. 2006. № 2. С. 47–64.
12. Тейлор С.Р., Мак-Леннан С.М. Континентальная кора, ее состав и эволюция. М.: Мир, 1988. 380 с.
13. Трошин Ю.П., Гребенщикова В.И., Антонов А.Ю. Летучие компоненты в биотитах и металлогенетическая специализация интрузий // Минералогические критерии оценки рудоносности. Л.: Наука, 1981. С. 73–83.
14. Трунилина В.А., Орлов Ю.С., Роев С.П. Геология и рудоносность магматитов хребта Полоусного. Якутск: Изд-во Якутск. науч. центра СО РАН, 1996. 132 с.
15. Трунилина В.А., Орлов Ю.С., Роев С.П., Зайцев А.И. Состав и генетические аспекты формирования гранитов А-типа Верхояно-Колымской складчатой области // Отеч. геология. 2008. № 5. С. 99–109.
16. Юричев А.Н., Чернышов А.И. Рудная минерализация Идарского дунит-гарцбургитового комплекса (северо-за-

- пад Восточного Саяна) // Изв. Томск. политех. ун-та. 2012. Т. 321, № 1. С. 69–75.
17. Brown W., Parsons J. Calometric and phase-diagram approaches to two-feldspar geothermometry: a critique // *Amer. Mineral.* 1985. V. 70, N 3–4. P. 356–361.
 18. Didier J., Barbarin B. Enclaves and granite petrology // *Developments in petrology*. 13. Amsterdam-Oxford-New-York-Tokio: Elsevier, 1991. P. 545–549.
 19. Drill S.I., Kuzmin M.I., Tsipukova S.S., Zonenshain L.P. Geochemistry of basalts from the West Woodlark, Lau and Manus basins: Implication for their petrogenesis and source rock composition // *Mar. Geol.* 1997. V. 142. P. 57–83.
 20. French W.J., Cameron E.P. Calculation of the temperature of crystallization of silicates from basaltic melts // *Mineral. Mag.* 1981. V. 44, N 333. P. 523–546.
 21. Gerdes A., Worner G., Henk A. Post-collisional granite generation and HT-LP metamorphism by radiogenic heating: the Variscan South Bohemian Batholith // *J. Geol. Soc. London*. 2000. V. 157. P. 577–587.
 22. Hammerstrom J.M., Zen E. Aluminium in Hbl: an empirical igneous // *Amer. Mineral.* 1986. V. 71, N 11–12. P. 1297–1313
 23. Hofmann A.W. Mantle geochemistry: the message from oceanic volcanism // *Nature*. 1997. V. 385. P. 219–228.
 24. Jung S., Pfander J.A. Source composition and melting temperatures of orogenic granitoids – constrains from CaO/Na₂O, Al₂O₃/TiO₂ and accessory mineral saturation thermometry // *European J. Miner.* 2007. N 1. P. 5–40
 25. Putirka K. Thermometers and barometers for volcanic systems // *Minerals, inclusions and volcanic processes*. V. 69. P. 61–142. (Reviews in Mineralogy and Geochemistry). Miner. Soc. America, Chantilly, Virginia, 2008.
 26. Rock N.M.S. The International mineralogical association (IMA/CNMMN) pyroxene nomenclature scheme: computerization and its consequences // *Mineralogy and Petrology*. 1990. V. 43. P. 99–119.
 27. Rollinson H.R. Using geochemical data: Evaluation, presentation, interpretation. London, 1995. 352 p.
 28. Tischendorf G., Forster H.J., Gottesmann B. The correlation between lithium and magnesium in trioctahedral micas: Improved equations for Li₂O estimation from MgO data // *Mineral. Mag.* 1999. V. 63, N 417. P. 57–74.
 29. Whiteford D.G., Nicholls I.A., Taylor S.R. Spatial variations in the geochemistry of Quaternary lavas across the Sunda arc in Java and Bali / *Contribs. Mineral. and Petrol.* 1979. V. 70. P. 341–356
 30. Wiebe R.A., Ulrich R. Origin of composite dikes in the Gouldsboro granite, central Main // *Lithos*. 1997. V. 40, N 2–4. P. 157–178.
 31. Wilson M. Igneous petrogenesis. London: Unwin Hayman, 1989.
 32. Yavuz F. A revised program for microprobe-derived amphibole analyses using the IMA rules // *Computer. Geosci.* 1999. V. 25, N 8. P. 909–927.
 33. Yavuz F. Win Pyrox: A Windows program for pyroxene calculation classification and thermobarometry // *Amer. Miner.* 2013. V. 98. P. 1338–1359.

Рекомендована к печати Н.А. Горячевым

V.A. Trunilina, S.P. Roev, Yu.S. Orlov

Mineralogy, petro- and geochemical features of composite dykes in the Takalkan ore-magmatic junction (Polousny synclinorium of the Verkhoysk-Kolyma orogenic area)

The paper presents for the first time for the region the research results on the material composition of composite dykes using the Takalkan ore-magmatic junction of the Polousny ridge as an example. Based on typomorphism of rock-forming minerals, petrochemistry and geochemical features of the composing dykes processes of mechanical and chemical interaction between subsynchronous mantle trachybasaltic and crustal granite melts have been established during their formation producing a transition zone of monzonite (trachyandesite) composition.

Keywords: dolerite, granite-porphiry, hybrid rocks, dykes, mingling, mixing, mineral typomorphism, crystallization parameters, Verkhoysk Kolyma orogenic area, Yakutia.