

Оригинальная статья / Original article

УДК 549.02

DOI: <http://dx.doi.org/10.21285/2541-9455-2018-41-1-66-78>

МИНЕРАЛОГИЯ ЩЕЛОЧНЫХ ПИКРОБАЗАЛЬТОВ ХРЕБТА ХЭНТЕЙ (ЮЖНОЕ ЗАБАЙКАЛЬЕ)

© В.В. Боролдоева^а, А.Я. Медведев^б

^{а,б}Институт Геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН,
664033, Российская Федерация, г. Иркутск, ул. Фаворского, 1а.

РЕЗЮМЕ. Цель. На основе изучения минералогического и петрографического состава кайнозойских базальтоидов Хэнтэйского хребта определить порядок кристаллизации пород. **Методы.** Исследование осуществлялось при помощи микронного рентгеноспектрального анализа на приборе JXA-8200 (JEOL Ltd., Япония). **Результаты.** В ходе исследования в составе изучаемых пород были определены химические составы породообразующих минералов. В результате выполнения работы была установлена последовательность образования минералов. **Выводы.** При движении расплава к поверхности происходил захват мантийных ксенолитов. Вначале образовались оливин и пироксен первой генерации, далее – оливин и пироксен второй генерации, а также окиснородные минералы. Самыми последними из интерстиций кристаллизовались плагиоклаз, калиевый полевой шпат, нефелин и лейцит. Также в интерстициях отмечается остаточное стекло.

Ключевые слова: щелочные базальтоиды, внутриплитный магматизм, кайнозой, Южное Забайкалье.

Информация о статье. Дата поступления 4 октября 2017 г.; дата принятия к печати 13 декабря 2017 г.; дата онлайн-размещения 30 марта 2018 г.

Формат цитирования. Боролдоева В.В., Медведев А.Я. Минералогия щелочных пикробазальтов хребта Хэнтэй (Южное Забайкалье) // Известия Сибирского отделения Секции наук о Земле Российской академии естественных наук. Геология, разведка и разработка месторождений полезных ископаемых. 2018. Т. 41. № 1. С. 66–78. DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-1-66-78

MINERALOGY OF KHENTEI RIDGE ALKALINE PICROBASALTS (SOUTHERN TRANSBAIKALIA)

© V.V. Boroldoeva, A.Ya. Medvedev

Vinogradov Institute of Geochemistry SB RAS,
1a Favorsky St., Irkutsk 664033, Russian Federation

ABSTRACT. The **purpose** of the paper is to determine the crystallization order of rocks based on the study of the mineralogical and petrographic composition of the Khentei Range Cenozoic basaltoids. **Methods.** A microprobe X-ray spectral analysis by means of the JXA-8200 tool (JEOL Ltd., Japan) has been used in the study. **Results.** The research results in the determination of chemical compositions of rock-forming minerals and the sequence of minerals formation. **Conclusions.** Melt movement to the surface was accompanied with the capturing of mantle xenoliths. Olivine and pyroxene of the first generation were formed first, then, olivine and pyroxene of the second generation were formed, as well as oxide bearing minerals. Plagioclase, potassium feldspar, nepheline and leucite were crystallized last from the interstices. The presence of residual glass has also been noticed in the interstices.

Keywords: alkaline basaltoids, intraplate magmatism, Cenozoic, Southern Transbaikalia

^аБоролдоева Виктория Валерьевна, аспирант лаборатории основного и ультраосновного магматизма, e-mail: viktorioroldoeva@yandex.ru

Viktoria V. Boroldoeva, Postgraduate student of the Laboratory of Basic and Ultrabasic Magmatism, e-mail: viktorioroldoeva@yandex.ru

^бМедведев Александр Яковлевич, главный научный сотрудник лаборатории основного и ультраосновного магматизма, e-mail: amedv@igc.irk.ru

Aleksandr Ya. Medvedev, Chief Researcher of the Laboratory of Basic and Ultrabasic Magmatism, e-mail: amedv@igc.irk.ru

Article info. Received 4 October 2017; accepted for publication 13 December 2017; available online 30 March 2018.

For citation. Boroldoeva V.V., Medvedev A.Ya. Mineralogy of Khentei ridge alkaline picobasalts (Southern Transbaikalia). *Izvestiya Sibirskogo otdeleniya Sektsii nauk o Zemle Rossiiskoi akademii estestvennykh nauk. Geologiya, razvedka i razrabotka mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh* [Proceedings of the Siberian Department of the Section of Earth Sciences of the Russian Academy of Natural Sciences. Geology, Exploration and Development of Mineral Deposits], 2018, vol. 41, no. 1, pp. 66–78. (In Russian). DOI: 10.21285/2541-9455-2018-41-1-66-78

Введение

Щелочной вулканизм широко развит на юге Сибирской платформы [1, 2]. Самой крупной территорией проявления является Южно-Байкальская вулканическая область. Здесь выделено несколько этапов магматизма от позднеолигоценового (34–24 млн лет) до позднеплиоцен-плейстоцен-голоценового (< 3 млн лет) [3].

Другим районом распространения кайнозойских вулканитов является Южное Забайкалье. Нами изучены базальтоиды центральной части хребта Хэнтей, который расположен на территории Красночикоийского района Забайкальского края. Исследуемые щелочные базальтоиды имеют возраст примерно 5,5–8 млн лет [4].

Первые сведения о них появились в работе Н.П. Костякова и др. (1969 г.) [5]. Они привлекли внимание из-за большого количества мантийных ксенолитов. Ранее также были изучены ксенолиты, в том числе и гранатовые [6]. Тем не менее вещественный состав базальтоидов практически не изучен. В данной работе приводятся первые данные по химическому составу минералов этих пород.

Материал и методы исследования

Работа выполнена с использованием научного оборудования ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН. Для аналитических исследований были выбраны фрагменты образцов без ксенолитов.

Составы минералов определялись микрозондовым рентгеноспектральным анализом (РСМА) на приборе JXA-8200 (JEOL Ltd., Япония). Условия анализа: ускоряющее напряжение прибора – 20

кВ, ток электронного зонда – 20 нА, диаметр зонда – 1 мкм, время измерения – 10 с. Используемые стандарты: Na – альбит; Mg – оливин CH-1; Al – пироп C-153; Si, Ca – голубой диопсид; K – ортоклаз; Ti – ильменит GF-55; Cr – хромит 79/62; Mn – Mn-гранат; Fe, Ni – NiFe₂O₄; Zn – ZnS; V – V₂O₅. В зональных минералах анализ проводился по профилю от края до края зерен через 15–25 мкм в центре и 10–15 мкм на краю. В гомогенных зернах анализировались по две-три точки на краю и в центре.

Краткая геологическая характеристика

Хэнтейский хребет занимает промежуточное положение между Витимским плато, базальтовым плато Южного Прибайкалья и вулканическими районами Монголии и плато Дариганга.

Кайнозойские щелочные вулканиты расположены в центральной части хребта Хэнтей, в верховьях рек Чикой, Чикокон и в среднем течении реки Буркал, правого притока Мензы (рис. 1).

Наибольшую распространенность изучаемые породы имеют в среднем течении реки Буркал и его правого притока Харчевки. Они залегают в виде протяженного (до 15 км) долинного потока, который расчленен на несколько полей площадью до 6–7 км². Реликты этого потока также наблюдаются на правом берегу Харчевки в ее среднем течении. Здесь они встречаются в виде небольших отдельных полей площадью не более 0,5 км² [5]. Вниз по долине вблизи ее устья на левобережье располагается наиболее крупное поле кайнозойских базальтоидов. Они перекрывают поверхность 100-метровой эрозионной

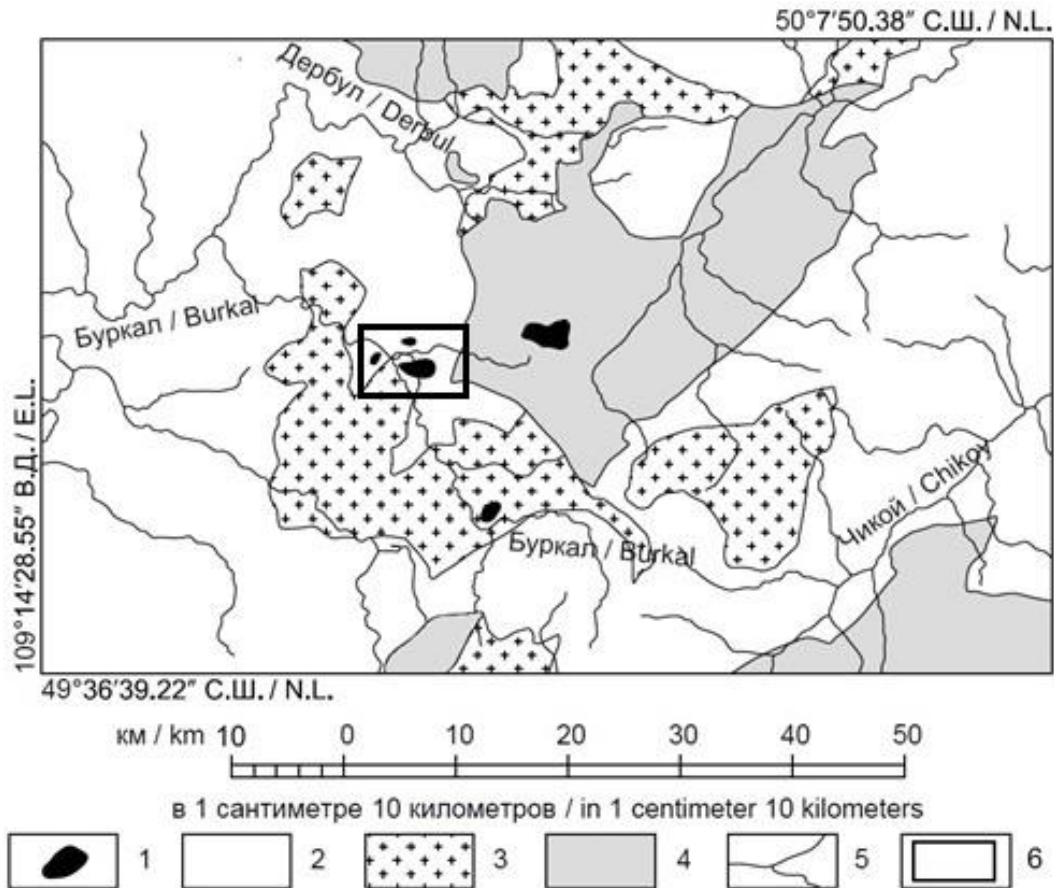


Рис. 1. Карта-схема расположения кайнозойских щелочных вулканитов:

1 – оливиновые базальты, трахибазальты (Q_{II}); 2 – Кыринский интрузивный гранит-гранодиоритовый комплекс (J_{1-2}); 3 – Даурский интрузивный гранодиоритовый комплекс (P_1); 4 – Ингодинская серия (песчаники, алевролиты, углисто-глинистые сланцы, яшмы, туфопесчаники); 5 – речная сеть; 6 – участок работ

Fig. 1. Map-layout of Cenozoic alkaline volcanite location:

1 – olivine basalts, trachybasalts (Q_{II}); 2 – Kyrinsky intrusive granite-granodiorite complex (J_{1-2}); 3 – Daursky intrusive granodiorite complex (P_1); 4 – The Ingoda series (sandstones, siltstones, carbonaceous shales, jasper, tuff sandstone); 5 – river network; 6 – work site

террасы и, возможно, сопутствующий ей долинный педимент.

В основании потока базальтов у устья Харчевки залегают черные и темно-серые чуть пористые базальты с редкими мелкими вкрапленниками зеленого и желтовато-зеленого оливина (Ol) размером до 2 мм. Характерна плитчатая отдельность. Мощность потока указанной разновидности базальтов – 20 м. Выше по разрезу наблюдаются черные чуть пористые базальты с многочисленными крупными (до 1 см) вкрапленниками зеленого оливина и реже пироксена (Px). Отмечаются овальные выделения

темного полупрозрачного вулканического стекла с зеленоватой тонкой оторочкой, обусловленной развитием щелочной роговой обманки. Мощность верхней части потока достигает 40 м [5].

Петрография и минералогия

По нашим данным, породы относятся к щелочным пикробазальтам [7]. Содержание SiO_2 меняется в пределах 41,39–42,70 мас. %, а MgO – 10,57–16,04 мас. %. Сумма щелочей превышает 5 мас. %. Исследуемые вулканиты имеют как порфиоровую, так и афировую структуру (рис. 2).

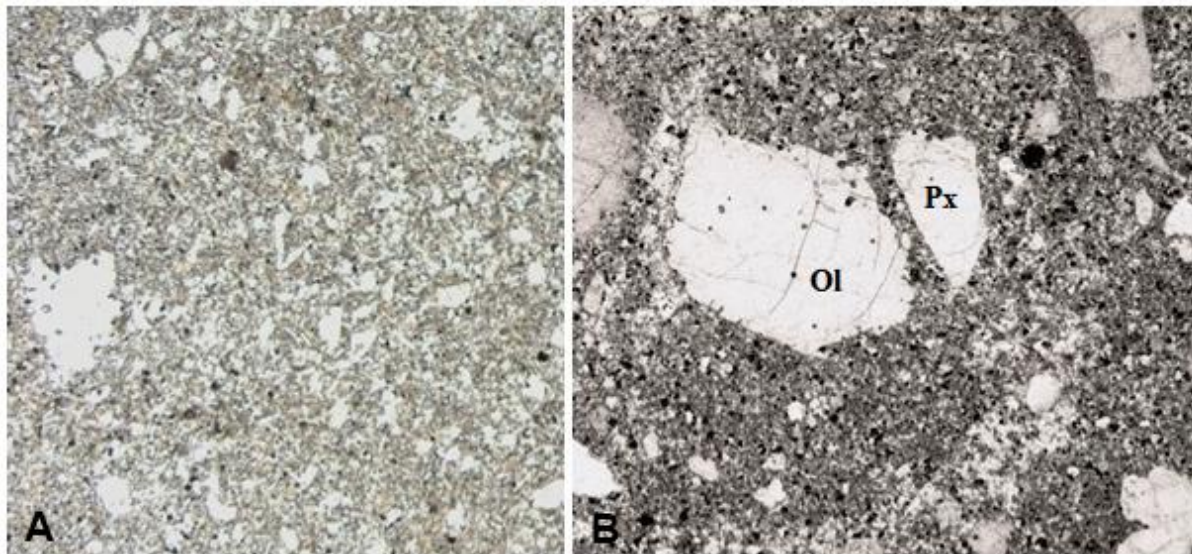


Рис. 2. Структура вулканитов:

A – афировая, B – порфировая; Ol – оливин, Px – пироксен

Fig. 2. Volcanite structure:

A – aphyric, B – porphyric; Ol – olivine, Px – pyroxene

В порфировых разновидностях пород присутствуют крупные зерна оливина (0,5–1,5 мм) и пироксена (1–1,5 мм), причем оливина значительно больше, чем пироксена, его количество составляет около 1,5 % от объема породы.

Структура основной массы интерсертальная. Основная масса сложена мелкими зернами оливина (менее 3 мм), пироксена (менее 0,1 мм), рудных минералов (0,04–0,05 мм) и тонкими лейстами плагиоклаза (0,15–0,20 мм). В интерстициях были обнаружены микролиты нефелина, лейцита, калиевого полевого шпата и остаточное стекло.

Оливины. Представительные данные анализа отображены в табл. 1. Оливин в исследуемых образцах обнаружен в двух разновидностях: крупные и мелкие зерна. Для всех зерен оливина наблюдается положительная корреляция Fo-NiO вес. % и отрицательная корреляция Fo-CaO вес. % (рис. 3).

Крупные зерна имеют зональность, которая выражена уменьшением форстеритовой составляющей от центра к краю. Здесь выделяются две разновидности, различающиеся по содержанию

форстерита в центре зерна – Ol₁ и Ol₂.

Ol₁ имеет максимальное содержание Fo, равное 91 моль. % (рис. 4), в центре зерна и соответствует оливинам перидотитовых ксенолитов. В центральных частях зерен Ol₁ содержание NiO достигает 0,43, а CaO – 0,10 мас. %. Это соответствует концентрациям данных элементов в мантийных перидотитах, следовательно, эти оливины являются ксенокристаллами.

Содержание форстеритовой составляющей в Ol₂ меньше, чем в Ol₁, и составляет 84 моль. % (см. рис. 4). Концентрации NiO в Ol₂ достигают 0,23 мас. %. Данное содержание характерно для оливинов, кристаллизовавшихся из собственно базальтового расплава. Таким образом, это порфировое выделение – фенокристы.

Зерна оливина Ol₃ незональны и представлены мелкими гомогенными зернами с содержанием форстеритовой составляющей, равной 0,70–0,74 мас. % (см. рис. 4). По своему составу Ol₃ соответствует краевым частям «базальтового» оливина. При этом концентрации NiO достигают 0,16 мас. %, а CaO – 0,45 мас. %.

Таблица 1

Представительный химический состав оливинов, мас. %

Table 1

Representative chemical composition of olivines, wt %

Показатель / Indicator	Номер пробы / Sample no.							
	123-1	123-2	123-3	123-7	123-8	123-11	123-12	123-13
	Ксеногенный оливин / Xenogeneic olivine							
	Центр / Center		От центра к краю / From center to margin			Край / Margin		
SiO ₂	40,59	40,79	40,59	38,64	39,15	40,28	38,73	38,58
FeO	9,65	9,36	9,31	19,62	17,08	12,14	20,27	20,21
MnO	0,14	0,11	0,10	0,42	0,30	0,21	0,41	0,42
MgO	49,27	48,40	48,50	39,96	42,24	46,56	39,67	39,57
CaO	0,10	0,09	0,10	0,46	0,25	0,11	0,46	0,43
NiO	0,35	0,37	0,32	0,16	0,26	0,30	0,14	0,13
Сумма / Total	100,10	99,12	98,92	99,26	99,28	99,60	99,68	99,34
Fo	0,90	0,90	0,90	0,78	0,82	0,87	0,78	0,78
Fa	0,10	0,10	0,10	0,22	0,18	0,13	0,22	0,22
Показатель / Indicator	Номер пробы / Sample no.							
	112-65	112-68	112-73	112-72	123-121	123-122	110-25	110-26
	Базальтовый оливин / Basalt olivine				Мелкое зерно оливина / Fine olivine			
	Центр / Center		От центра к краю / From center to margin	Край / Margin				
SiO ₃	39,60	39,92	39,69	39,45	38,65	38,84	38,94	39,10
FeO	14,88	14,19	16,82	17,06	19,59	19,18	23,60	22,87
MnO	0,21	0,21	0,23	0,25	0,35	0,34	0,44	0,40
MgO	44,02	44,41	42,19	42,02	40,06	40,56	37,51	38,35
CaO	0,30	0,25	0,35	0,41	0,42	0,32	0,45	0,44
NiO	0,18	0,20	0,18	0,13	0,12	0,16	0,08	0,08
Сумма / Total	99,19	99,18	99,46	99,32	99,19	99,40	101,02	101,24
Fo	0,84	0,85	0,82	0,81	0,78	0,79	0,74	0,75
Fa	0,16	0,12	0,18	0,19	0,22	0,21	0,26	0,25

Таким образом, мы имеем три разновидности оливина: Ol₁ – ксеногенный (перидотитовый), Ol₂ – «базальтовый» (первая генерация), Ol₃ – мелкие однородные зерна оливина в основной массе (вторая генерация).

Пироксены. Клинопироксены, представленные диопсидом, в изучаемых породах имеют две генерации: крупные вкрапленники и мелкие зерна в основной массе. Представительный

химический состав пироксенов приведен в табл. 2.

Крупные вкрапленники зональны. Зональность выражена в увеличении TiO₂, Al₂O₃, FeO, Na₂O и уменьшении MgO от центра к краю зерна. Вероятнее всего, они образовались одновременно с базальтовым оливином (первая генерация), после чего происходило нарастание каемок на пироксенах первой генерации компонентами остаточного базальтового расплава.

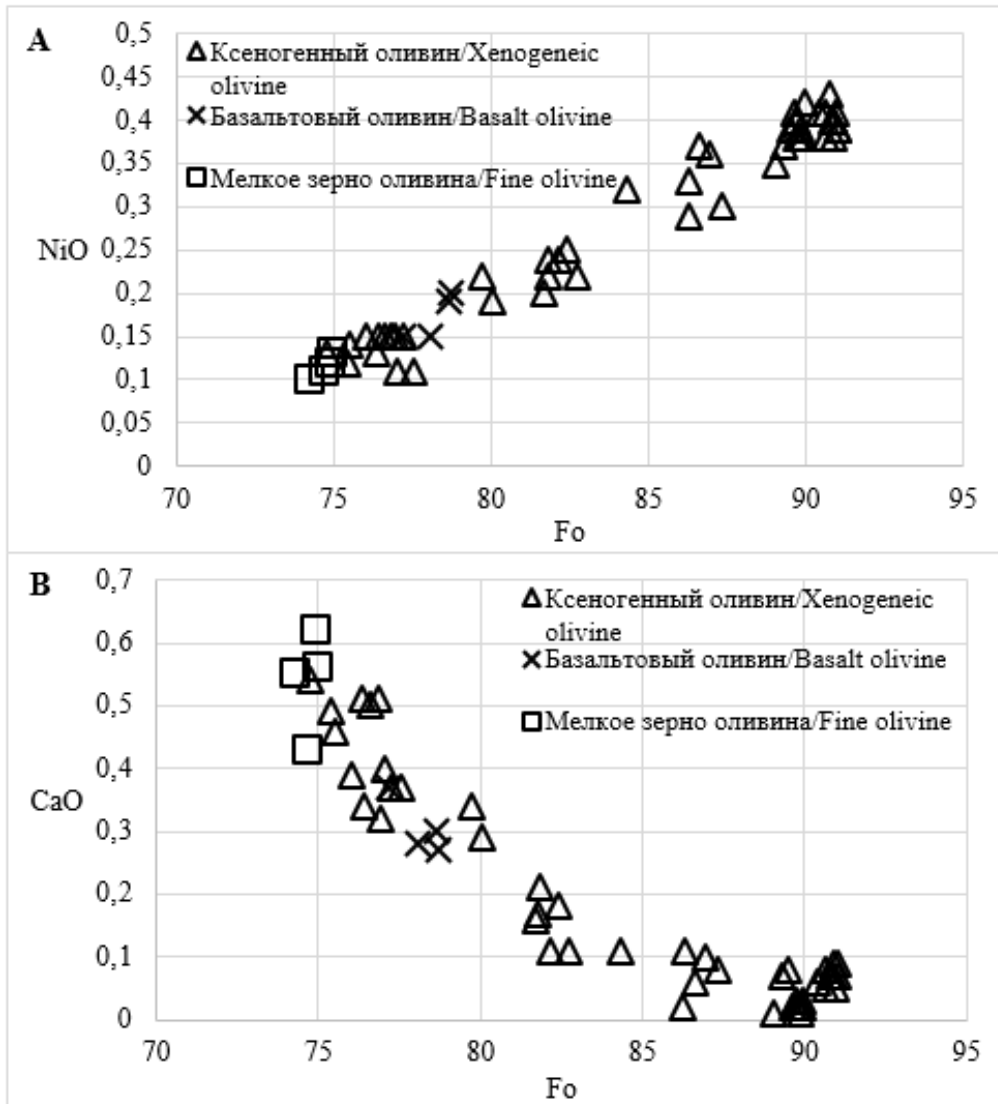


Рис. 3. Зависимости содержания CaO и NiO от Fo в оливинах различной генерации:
 А – зависимость содержания CaO от Fo; В – зависимость содержания NiO от Fo
Fig. 3. Dependences of CaO and NiO content on Fo in olivines of different generation:
 A – dependence of CaO content on Fo; B – dependence of NiO content on Fo

Мелкие зерна пироксенов незональны и представлены гомогенными зернами с достаточно однородным химическим составом. Они кристаллизовались из остаточного расплава, их состав практически полностью соответствует составу краевых частей крупных вкрапленников.

Плагиоклазы. Плагиоклазы образуют тонкие лейсты в основной массе. Они содержат до 78 альбитовой молекулы. Также в интерстициях были обнару-

жены натрий-калиевый полевой шпат, калиевый полевой шпат, нефелин и лейцит. Представительный химический состав полевых шпатов и фельшпатов приведен в табл. 3.

Окиснорудные минералы. В исследуемых образцах окиснорудные минералы представлены ильменитом, титаномагнетитом, хромит-ульвошпинелью и хромшпинелидом. В табл. 4 приведены данные об их составе.

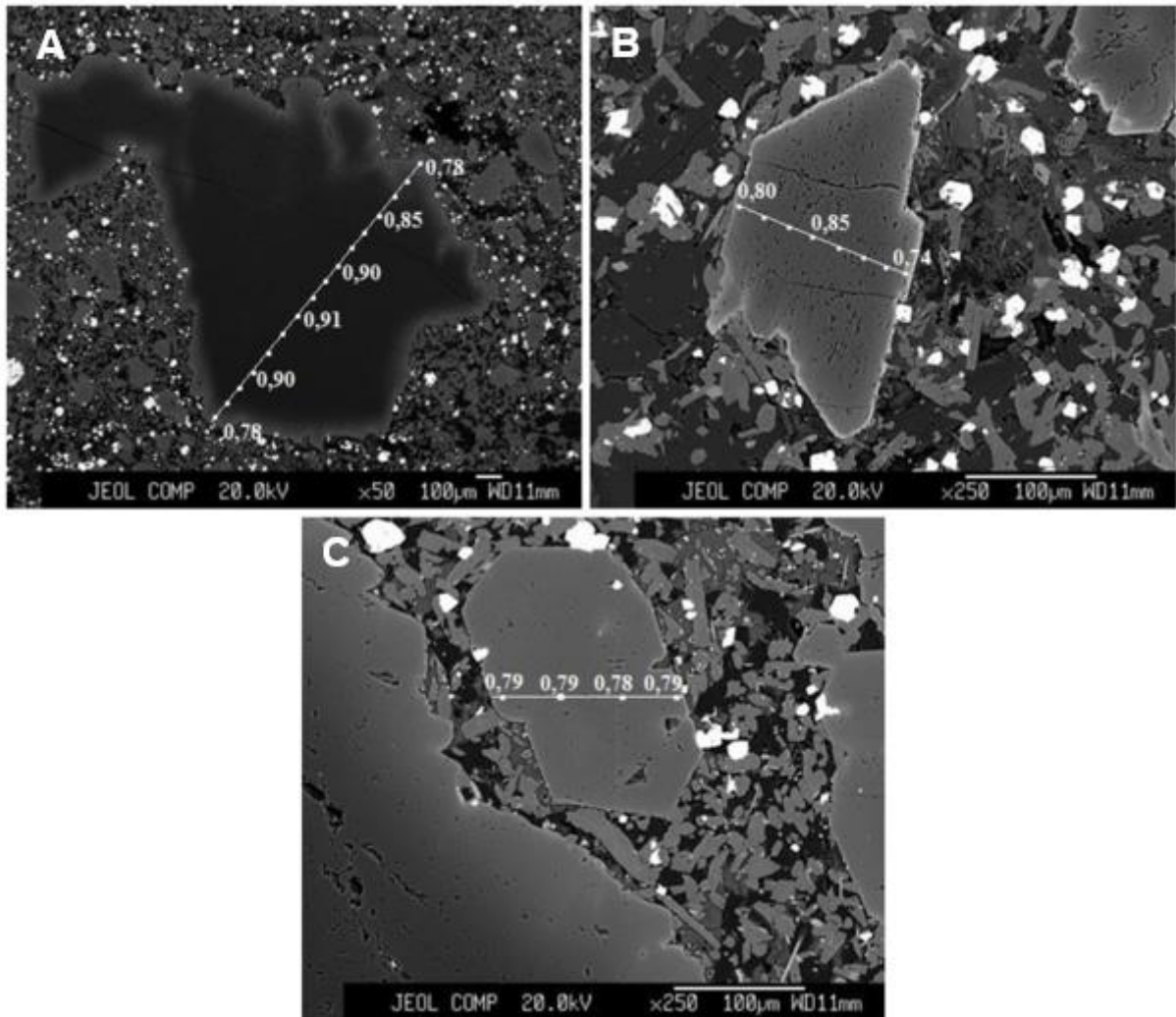


Рис. 4. Микрофотографии различных генераций оливина:
А – крупный ксенокрист оливина; В – крупный фенокрист оливина;
С – зерно оливина в основной массе

Fig. 4. Microphotographs of different olivine generations:
A – large olivine xenocryst; B – large olivine phenocryst;
C – olivine grain in ground mass

Ильмениты рассеяны в основной массе. Минерал относится к пикроильменитам с содержанием MgO до 5 мас. %. Также в минерале присутствуют примеси марганца (до 0,6 мас. %), хрома (до 0,6 мас. %), алюминия и никеля.

Титаномагнетиты наблюдаются в виде мелких зерен. Они встречаются как в виде мономинеральных зерен, так и в сростании с ильменитом. Минерал содержит большое количество примесей. В нем отмечены высокие содержания Al_2O_3 и умеренные – NiO, MnO и MgO.

Хромит-ульвошпинель представлена мелкими незональными зернами. В минерале содержится примесь хрома в значительных количествах (до 12 мас. %).

Хромшпинелиды имеют зональность, которая выражается в существенном уменьшении содержания хрома, алюминия, цинка и резком увеличении концентрации титана и железа от центра к краю зерна (рис. 5). В минералах отмечаются повышенные содержания FeO (до 60 мас. %), TiO_2 (до 13 мас. %).

Таблица 2

Представительный химический состав пироксенов, мас. %

Table 2

Representative chemical composition of pyroxenes, wt %

Показатель / Indicator	Номер пробы / Sample no.							
	114-1	114-2	114-7	114-8	114-10	114-11	118-43	118-44
	Вкрапленник / Phenocryst						Мелкое зерно оливина / Fine olivine	
	Центр / Center		От центра к краю / From center to margin		Край / Margin			
SiO ₂	51,43	52,69	51,65	51,33	47,54	47,07	43,28	45,61
TiO ₂	0,26	0,28	0,44	0,37	2,58	2,52	4,30	3,51
Al ₂ O ₃	4,78	3,38	3,74	3,74	5,94	6,01	8,74	7,42
Cr ₂ O ₃	1,30	1,28	1,25	1,35	0,05	0,03	0,36	0,02
FeO	2,67	2,70	4,35	3,94	6,56	6,70	7,38	6,99
MnO	0,08	0,07	0,09	0,10	0,11	0,12	0,10	0,11
MgO	15,07	16,38	14,82	14,53	12,64	12,37	10,73	11,82
CaO	21,36	21,67	21,47	21,79	22,55	23,05	21,95	21,82
Na ₂ O	0,64	0,57	0,67	0,66	0,57	0,54	0,71	0,70
K ₂ O	0,16	0,02	0,01	0,00	0,00	0,00	0,36	0,10
Сумма / Total	97,75	99,05	98,48	97,81	98,55	98,41	97,92	98,09
Wo	46,81	45,46	45,90	47,02	48,63	49,49	49,88	48,40
En	45,95	47,82	44,10	43,62	37,94	36,97	33,92	36,49
Fs	4,70	4,54	7,40	6,80	11,22	11,42	13,26	12,28
Mg#	0,91	0,92	0,86	0,87	0,77	0,77	0,72	0,75

Из аксессуарных минералов нами обнаружен фторапатит, представленный игольчатыми кристаллами (табл. 5).

Стекло. Представительные микронзондовые анализы реликтов стекла приведены в табл. 6. Как было указано выше, стекло разного цвета: от светло-серого до светло-коричневого. По своему составу стекло представлено обводненным нефелиновым твердым раствором.

Обсуждение результатов

На основе изученных особенностей составов минералов можно предположить порядок кристаллизации вулканитов. При подъеме базальтового расплава к поверхности происходил захват мантийных ксенолитов, разрушение

которых привело к появлению в базальтоидах ксенокристов оливина и хромшпинелида. Взаимодействие ксеногенных оливинов с расплавом привело к выносу Mg и Ni, привнесу Fe и Mn и к образованию зональности в минералах. Данный факт подтверждается наличием фестончатых краев в этих оливинах. Далее происходила кристаллизационная дифференциация. Вероятнее всего, вначале кристаллизовались базальтовые оливины вместе с пироксенами первой генерации. Они взаимодействовали с образовавшейся силикатной жидкостью, и происходило обогащение компонентами расплава, которое приводило к образованию менее магнезиальных и более железистых краев в зернах оливина.

Таблица 3

Представительный химический состав полевых шпатов и фельшпатоидов, мас. %

Table 3

Representative chemical composition of feldspars and feldspathoids, wt %

Показатель / Indicator	Номер пробы / Sample no.							
	124-68	124-69	110-23	110-47	110-48	110-66	110-74	100-75
	Лейсты плагиоклаза / Plagioclase laths			Натрий-калиевый полевой шпат из интерстиций / Sodium-potassium feldspar from interstices		Калиевый полевой шпат из интерстиций / Potassium feldspar from interstices		
SiO ₂	59,26	58,87	60,71	66,18	65,48	65,85	66,12	66,59
TiO ₂	0,37	0,43	0,24	0,18	0,18	н/о	н/о	н/о
Al ₂ O ₃	26,31	25,63	22,94	20,42	20,11	17,00	16,78	17,21
FeO*	1,09	0,93	0,40	0,76	0,77	1,62	1,69	1,27
CaO	3,16	3,68	4,06	0,96	1,14	н/о	н/о	н/о
Na ₂ O	8,76	8,77	8,27	7,30	6,33	4,15	3,93	4,38
K ₂ O	0,96	0,96	1,91	6,50	6,37	11,35	11,80	11,35
Сумма / Total	99,91	99,27	98,53	102,30	100,38	99,97	100,32	100,80
Ab	78,63	76,68	70,27	60,31	56,79	35,72	33,61	36,97
An	15,69	17,78	19,07	4,39	5,63	0,00	0,00	0,00
Or	5,67	5,54	10,66	35,30	37,58	64,28	66,39	63,03

Показатель / Indicator	Номер пробы / Sample no.							
	124-89	113-16	113-17	111-18	116-104	116-105	150-20	150-21
	Нефелин из интерстиций / Nepheline from interstices			Лейцит из интерстиций / Leucite from interstices				
SiO ₂	45,02	45,10	46,42	56,07	55,42	55,36	55,86	56,64
TiO ₂	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о	н/о
Al ₂ O ₃	33,86	32,93	32,35	22,54	22,24	22,51	22,60	23,02
FeO*	0,77	0,98	0,95	0,85	0,72	0,75	-	-
CaO	1,37	0,22	0,24	0,16	0,10	0,10	0,35	0,01
Na ₂ O	14,80	15,92	14,94	0,15	0,10	0,52	0,10	0,64
K ₂ O	3,82	4,68	4,63	19,76	19,48	19,58	20,13	20,05
Сумма / Total	99,64	99,83	99,53	99,53	98,06	98,82	99,04	100,36

Примечание. FeO* – железо общее, н/о – ниже предела обнаружения 0,1 %.

Note. FeO* – total iron, н/о – lower than the detection limit 0.1 %.

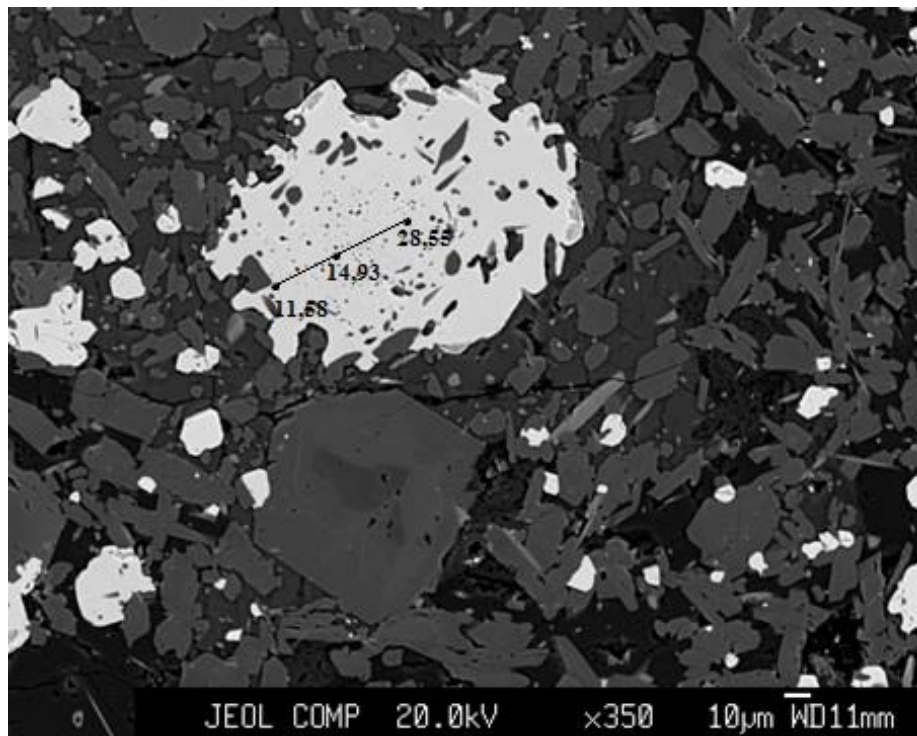
Далее в условиях массовой кристаллизации образовывались оливины (Ol₃) и пироксены второй генерации, а также выделялись окиснорудные минералы (титаномагнетит, ильменит, хромит-ульвошпинель). Краевые части пироксенов обогащались алюминием, железом, титаном и натрием. В самую последнюю

очередь из силикатного расплава, обогащенного щелочами, кристаллизовались щелочные алюмосиликаты: плагиоклаз, калиевый полевой шпат, нефелин и лейцит. Наличие остаточного стекла предполагает последнюю стадию кристаллизации в приповерхностных условиях.

Таблица 4

Представительный химический состав окиснорудных минералов, мас. %
 Table 4
 Representative chemical composition of oxide-bearing minerals, wt %

Показатель / Indicator	Номер пробы / Sample no.							
	110-64	124-31	124-32	114-17	114-18	113-62	113-63	113-64
	Ильменит / Ilmenite	Титаномагнетит / Titanomagnetite		Хромит- ульвошпинель / Chromite- ulvospinel		Хромшпинелид / Chrome spinelide		
Центр / Center						От центра к краю / From center to margin		
TiO ₂	48,57	21,49	21,40	12,78	12,83	0,36	12,05	10,31
Al ₂ O ₃	0,58	1,10	1,27	8,01	8,03	34,71	7,70	8,83
Cr ₂ O ₃	0,54	0,90	0,73	11,21	11,29	28,55	11,58	14,93
Fe ₂ O ₃	–	47,69	47,63	2,21	1,95	–	4,30	4,97
FeO	46,65	23,55	23,45	58,06	59,03	24,35	57,53	54,48
MnO	0,57	0,63	0,63	0,51	0,54	0,45	0,52	0,55
ZnO	–	–	–	0,17	0,14	0,29	0,13	0,14
NiO	0,06	0,13	0,11	0,12	0,14	0,12	0,11	0,10
MgO	4,84	3,51	3,92	5,97	6,29	12,06	5,57	5,37
Сумма / Total	101,81	99,00	99,14	99,04	100,24	100,89	99,49	99,68



*Рис. 5. Зерно зонального хромшпинелида
 Fig. 5. Grain of zonal chrome spinelide*

Таблица 5

Химический состав фторапатита, мас. %

Table 5

Chemical composition of fluorapatite, wt %

Показатель / Indicator	Номер пробы / Sample no.				
	114-64	114-65	114-66	114-68	114-69
CaO	52,727	52,76	52,867	52,393	52,46
P ₂ O ₅	40,16	40,12	39,388	39,031	38,718
F	5,402	5,383	5,261	5,568	4,762
Cl	1,206	1,115	1,095	1,135	1,051
Сумма / Total	99,495	99,378	98,611	98,127	96,991

Таблица 6

Химический состав стекла, мас. %

Table 6

Chemical composition of glass, wt %

Показатель / Indicator	Номер пробы / Sample no.							
	124-98	116-101	116-102	116-46	116-47	116-49	116-50	116-21
SiO ₂	46,92	49,35	49,22	49,95	50,27	50,21	49,65	49,36
TiO ₂	0,13	0,09	0,12	0,09	0,10	0,08	0,10	0,15
Al ₂ O ₃	31,67	31,74	30,57	30,11	30,71	30,95	30,28	29,73
FeO*	1,06	0,89	0,93	0,78	0,75	0,77	0,71	1,00
MgO	0,05	0,06	0,09	0,06	0,11	0,05	0,03	0,09
CaO	1,21	0,39	0,27	0,07	0,75	0,13	0,10	0,23
Na ₂ O	11,04	9,60	11,88	11,97	12,07	9,40	13,06	10,87
K ₂ O	3,45	2,38	2,67	2,14	2,23	2,19	2,39	2,19
Сумма / Total	95,53	94,13	95,75	95,17	96,99	93,78	96,32	93,92

Примечание. FeO* – железо общее.

Note. FeO* – total iron.

Заключение

В ходе работы был установлен порядок кристаллизации расплава. При движении расплава к поверхности происходил захват мантийных ксенолитов, их дезинтеграция и растворение ОI₁. В дальнейшем при кристаллизационной дифференциации последовательно образовывались парагенезисы вкрапленников оливин + пироксен, парагенезисы микролитов оливин + пироксен + титаномагнетит + ильменит + хромшпинелид. Самыми последними кристаллизовались

щелочные алюмосиликаты: плагиоклаз + калиевый полевой шпат + нефелин + лейцит. Остаточный расплав, представленный в образцах в виде стекла, резко обогащен щелочами.

Работа выполнена с использованием научного оборудования ЦКП «Изотопно-геохимических исследований» Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН. Работа закончена при финансовой поддержке НШ-9638.2016.5.

Библиографический список

1. Воронцов А.А., Ярмолюк В.В. Северо-Монголо-Забайкальская полихронная рифтовая система (этапы формирования, магматизм, источники расплавов, геодинамика) // Литосфера. 2004. № 3. С. 17–32.
2. Коваленко В.И., Ярмолюк В.В., Богатилов О.А. Геодинамическое положение новейшего вулканизма Северной Евразии // Геотектоника. 2009. № 5. С. 3–24.
3. Ярмолюк В.В., Иванов В.Г., Коваленко В.И., Покровский Б.Г. Магматизм и геодинамика Южно-Байкальской вулканической области (горячей точки мантии) по результатам геохронологических, геохимических и изотопных (Sr, Nd, O) исследований // Петрология. 2003. Т. 11. № 1. С. 3–34.
4. Поляков А.И., Багдасарьянц Г.П. О возрасте молодых вулканов Восточной Сибири и закономерностях эволюции состава вулканитов // Геохимия. 1986. № 3. С. 311–317.
5. Костяков Н.П., Краснов В.П., Уфимцев Г.Ф., Яновский В.М. Кайнозойские базальты юга Центрального Забайкалья // Известия Забайкальского филиала географического общества СССР. 1969. Т. 5. Вып. 1. С. 11–17.
6. Ащепков И.В., Литасов Ю.Д., Литасов Д. Ксенолиты гранатовых перидотитов из меланонэфелинитов хребта Хэнтэй (Южное Забайкалье): свидетельство подъема мантийного диапира // Геология и геофизика. 1996. Т. 37. № 1. С. 130–147.
7. Боролдоева В.В. Геохимия щелочных пикробазальтов зребта Хэнтэй // Труды XXI Международного симпозиума имени академика М.А. Усова студентов и молодых ученых, посвященного 130-летию со дня рождения профессора М.И. Кучина. Т. 1. Томск: Изд-во ТПУ, 2017. С. 95–96.

References

1. Vorontsov A.A., Yarmolyuk V.V. North-Mongolian-Transbaikalian polychronous rift system (formation stages, magmatism, melt sources, geodynamics). *Litosfera* [Lithosphere], 2004, no. 3, pp. 17–32. (In Russian).
2. Kovalenko V.I., Yarmolyuk V.V., Bogatikov O.A. Geodynamic setting of recent volcanism in North Eurasia. *Geotektonika* [Geotectonics], 2009, no. 5, pp. 3–24. (In Russian).
3. Yarmolyuk V.V., Ivanov V.G., Kovalenko V.I., Pokrovskii B.G. Magmatism and geodynamics of the southern Baikal volcanic region (mantle hot spot): Results of geochronological, geochemical, and isotopic (Sr, Nd, and O) investigations. *Petrologiya* [Petrology], 2003, vol. 11, no. 1, pp. 3–34. (In Russian).
4. Polyakov A.I., Bagdasar'yants G.P. On the age of young volcanoes in Eastern Siberia and the patterns of volcanic composition evolution. *Geokhimiya* [Geochemistry], 1986, no. 3, pp. 311–317. (In Russian).
5. Kostyakov N.P., Krasnov V.P., Ufimtsev G.F., Yanovskii V.M. Cenozoic basalts of the south of Central Transbaikalia. *Izvestiya Zabaikal'skogo filiala geograficheskogo obshchestva SSSR* [Proceedings of the Transbaikal Branch of the Geographical Society of the USSR], 1969, vol. 5, iss. 1, pp. 11–17. (In Russian).
6. Ashchepkov I.V., Litasov Yu. D., Litasov D. Xenoliths of garnetiferous peridotites from melanonephelinites of the Khentei Range (South Transbaikalia): evidence of mantle diapir uplift. *Geologiya i*

geofizika [Geology and Geophysics], 1996, vol. 37, no.1, pp. 130-147. (In Russian).

7. Boroldoeva. V.V. *Geokhimiya shchelochnykh pikrobazal'tov zrebta Khentei* [Geochemistry of alkaline picrobasalts of the Khentai ridge]. *Trudy XXI Mezhdunarodnogo simpoziuma imeni akademika M.A. Usova studentov imolodyh uchenyh, posvjashhennogo 130-letiju so*

dnja rozhdenija professora M.I. Kuchina [Proceedings of XXI International Symposium named after Academician M.A. Usov of students and young scientists, dedicated to the 130th birth anniversary of the Professor M.I. Kuchin]. Vol. I. Tomsk: Tomsk polytechnic university Publ., 2017, pp. 95–96. (In Russian).

Критерии авторства

Боролдоева В.В., Медведев А.Я. подготовили статью, имеют равные авторские права и несут одинаковую ответственность за плагиат.

Authorship criteria

Boroldoeva V.V., Medvedev A.Ya. have written the article, have equal author's rights and bear equal responsibility for plagiarism.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interests

The authors declare that there is no conflict of interests regarding the publication of this article.