



## CONDITIONS OF FORMATION OF GABBRO-PERIDOTITES SILLS OF THE DOVYRENSKY INTRUSIVE COMPLEX (NORTHERN BAIKAL REGION)

D.A. Orsoev <sup>1</sup>✉, A.S. Mekhonoshin <sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Dobretsov Geological Institute, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 6a Sakhyanova St, Ulan-Ude 670047, Republic of Buryatia, Russia

<sup>2</sup> Vinogradov Institute of Geochemistry, Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, 1a Favorsky St, Irkutsk 664033, Russia

<sup>3</sup> Irkutsk National Research Technical University, 83 Lermontov St, Irkutsk 664074, Russia

**ABSTRACT.** Mineralogical and geochemical study of the gabbro-peridotite sills located in the near-bottom part of the Yoko-Dovyren stratified massif among the host terrigenous-carbonate rocks showed that the thick (200–250 m) of them are differentiated from plagioclherzolites to olivine gabbro-norites. Their formation is well described by fractional crystallization of the picobasalt melt. When it entered the crystallization chamber, it had already contained some intratelluric crystals of high-magnesian olivine (up to 93 % Fo). The rock crystallization occurred in the temperature range 1234–985 °C at pressure 1.3–1.6 kb, corresponding to depth ~5–6 km. The calculated depth of separation of the initial melt from the mantle source was ~88 km, which corresponds to the lithostatic pressure ~28 kbar. In terms of geochemical parameters, the composition of the initial melt is characterized by dual nature: they are close to both the basalts of supra-subduction magmatism and the basalts of collisional volcanic-plutonic areas. We assume that formation of the Synnyr rift with the Dovyren intrusive complex is due to the destructive development of scattered spreading zones at the collisional-accretionary stage of the Baikal-Muya belt within 720–800 Ma.

**KEYWORDS:** gabbro-peridotite sills; Yoko-Dovyren intrusion; differentiation; picobasalts; Dovyrensky complex; Synnyrsky rift

**FUNDING:** This work was carried out as part of the basic project AAAA-A21-121011890029-4 and was partially supported by the Russian Science Foundation project 22-27-00419.

### SHORT COMMUNICATION

Received: June 9, 2022

Revised: July 7, 2022

Accepted: July 20, 2022

**Correspondence:** Dmitry A. Orsoev, [magma@ginst.ru](mailto:magma@ginst.ru)

**FOR CITATION:** Orsoev D.A., Mekhonoshin A.S., 2022. Conditions of Formation of Gabbro-Peridotites Sills of the Dovyrensky Intrusive Complex (Northern Baikal Region). *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (4), 0650. doi:10.5800/GT-2022-13-4-0650

## УСЛОВИЯ ФОРМИРОВАНИЯ СИЛЛОВ ГАББРО-ПЕРИДОТИТОВ ДОВЫРЕНСКОГО ИНТРУЗИВНОГО КОМПЛЕКСА (СЕВЕРНОЕ ПРИБАЙКАЛЬЕ)

Д.А. Орсов<sup>1</sup>, А.С. Мехоношин<sup>2,3</sup>

<sup>1</sup> Геологический институт им. Н.Л. Добрецова СО РАН, 670047, Улан-Удэ, ул. Сахьяновой, 6а, Республика Бурятия, Россия

<sup>2</sup> Институт геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН, 664033, Иркутск, ул. Фаворского, 1а, Россия

<sup>3</sup> Иркутский национальный исследовательский технический университет, 664074, Иркутск, ул. Лермонтова, 83, Россия

**АННОТАЦИЯ.** Минералого-геохимическое изучение габбро-перидотитовых силлов, расположенных в приподошвенной части Йоко-Довыренского расслоенного массива среди вмещающих терригенно-карбонатных пород, показало, что наиболее мощные (200–250 м) из них дифференцированы от плагиоцелитов до оливиновых габбро-норитов и их формирование хорошо описывается фракционной кристаллизацией пикробазальтового расплава. При поступлении в камеру кристаллизации он уже содержал некоторое количество интрателлурических кристаллов высокомагнезиального оливина (до 93 % Fo). Кристаллизация пород происходила в интервале температур 1234–985 °С при давлении 1.3–1.6 кбар, отвечающем глубине ~5–6 км. Рассчитанная глубина отделения исходного расплава от мантийного источника составила ~88 км, что отвечает литостатическому давлению ~28 кбар. По геохимическим параметрам состав исходного расплава характеризуется двойственной природой: он близок как базальтам надсубдукционного магматизма, так и базальтам коллизионных вулканоплутонических ареалов. Можно предположить, что формирование Сыннырского рифта с довыренским интрузивным комплексом связано с деструктивными процессами развития рассеянных спрединг-зон на коллизионно-аккреционном этапе развития Байкало-Муйского пояса на рубеже 720–800 млн лет.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** габбро-перидотитовые силлы; Йоко-Довыренская интрузия; дифференциация; пикробазальты; довыренский комплекс; Сыннырский рифт

**ФИНАНСИРОВАНИЕ:** Работа выполнена в рамках базового проекта АААА-А21-121011890029-4 и при частичной поддержке РФФ, проект 22-27-00419.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Неопротерозойский довыренский интрузивный комплекс находится в Северном Прибайкалье и является одной из составных частей Северобайкальской никеленозной провинции. В геологическом плане он расположен в южной части Олокинского прогиба и связан с формированием вулканоплутонической ассоциации Сыннырского рифта. Комплекс объединяет собственно Йоко-Довыренский расслоенный плутон, силлы габбро-перидотитов и сопутствующие дайки габбро-норитового и габбро-диабазового состава [Manuilova, Zarubin, 1981; Gurulev, 1983]. С момента открытия и разведки в начале 60-х годов прошлого столетия Байкальского Cu-Ni-PGE месторождения в приподошвенной части плутона и по настоящее время довыренский комплекс привлекал и продолжает привлекать повышенное внимание многих исследователей. При этом основной объем публикаций посвящен изучению самого плутона, тогда как силлы габбро-перидотитов оставались практически не изученными. Ранее нашими исследованиями [Orsoev et al., 2018] было показано, что силлы являются производными более ранней фазы внедрения относительно массива и вместе с ним они образуют общую магмоподводящую систему. В настоящей статье на основе анализа ранее полученных минералогических и геохимических данных авторы попытались

рассмотреть петрологические аспекты их формирования, а также уточнить геодинамическую природу таких магматических образований. Особую актуальность решение этих вопросов приобретает в связи с приуроченностью к силам медно-никелевого оруденения Байкальского месторождения.

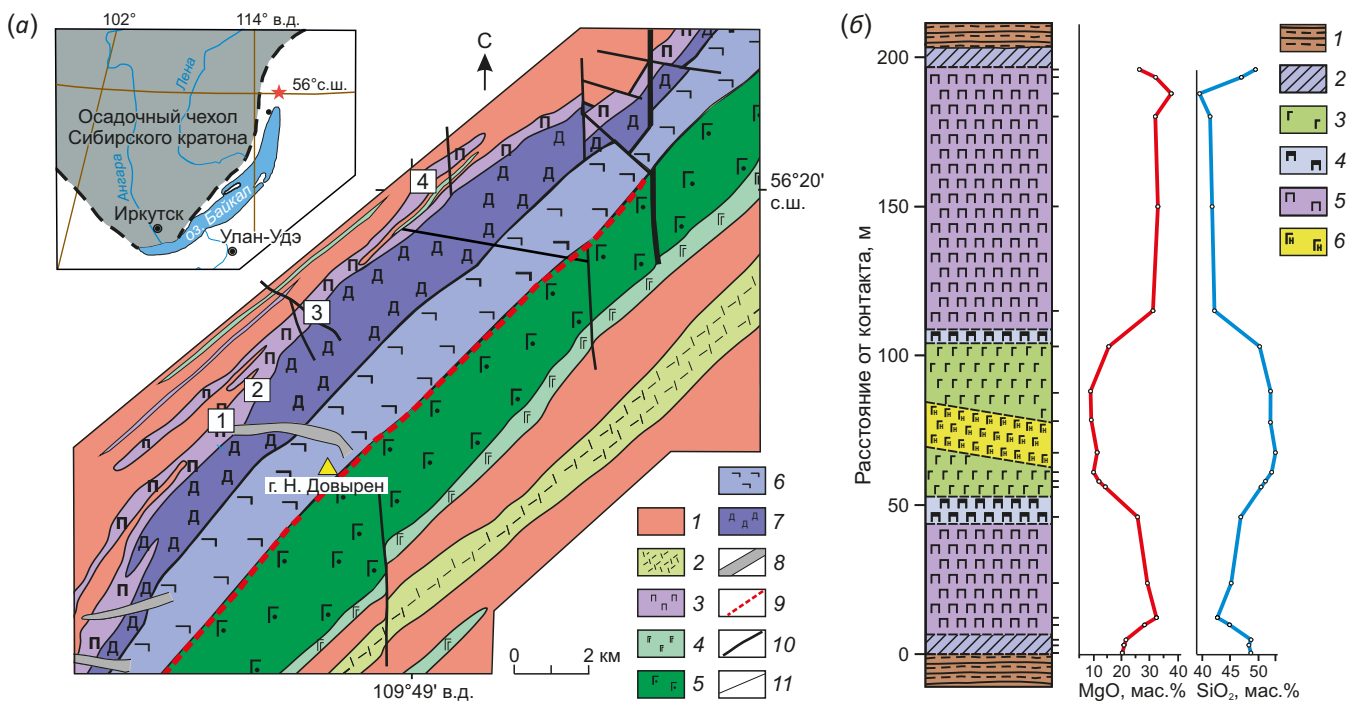
### 2. СТРОЕНИЕ ГАББРО-ПЕРИДОТИТОВЫХ СИЛЛОВ

Габбро-перидотитовые силлы наблюдаются вдоль всего северо-западного контакта Йоко-Довыренского массива (рис. 1, а). Они имеют субвертикальное падение, субпараллельное с положением массива, и залегают согласно с напластованием вмещающих терригенно-карбонатных пород. Некоторые силлы по простиранию расщепляются – от них отходят апофизы (рис. 1, а). На многих участках они непосредственно контактируют с базальным горизонтом Йоко-Довыренского массива. Это обстоятельство послужило основанием некоторым исследователям (С.А. Гурулев, Э.Г. Конников, Ф.П. Леснов, Л.М. Бабури и др.) включить их в состав массива и рассматривать подстилающие его силлы как апофизы или ответвления от основного объема «довыренской» магмы [Pshenitsyn et al., 2020]. Вместе с тем еще на ранних этапах изучения массива геологи-производственники (В.А. Антонченко, В.С. Калинин, Е.И. Твердохлеб) рассматривали эти силлы как

самостоятельные образования. Такое трактование было подтверждено позднее и нашими исследованиями [Orsoev et al., 2018].

Серия габбро-перидотитовых силлов наблюдается вдоль всего северо-западного контакта Йоко-Довыренского массива (рис. 1, а). Они имеют субвертикальное падение, согласное с положением массива. Мощность их колеблется от десятков до 200–250 м в центральной части плутона. Наиболее мощные силлы дифференцированы от плагиолерцолитов до оливиновых габбро-норитов. Геологическое строение можно проследить на примере одного из самых мощных силлов – «Верблюд» (рис. 1, б). Разрез его нами закартирован с

использованием данных [Ariskin et al., 2015]. При общей мощности более 200 м он представляет собой контрастно расслоенное тело, имеющее почти симметричное строение. Основной объем занимают среднезернистые плагиолерцолиты, которые через маломощные зоны оливиновых плагиовестеритов в центральной части переходят в среднезернистые оливиновые габбро-нориты, среди которых наблюдается секущая дайка кварцосодержащих безоливиновых габбро-диабазов мощностью ~15 м. Химический состав пород наиболее контрастно различается по распределению в разрезе содержаний MgO и SiO<sub>2</sub>, подчеркивающему его асимметричное строение. В нижнем и верхнем эндоконтактах



**Рис. 1.** Схема геологического строения центральной части Йоко-Довыренского дунит-троктолит-габбрового массива с положением габбро-перидотитовых силлов (а) и разрез вкрест простирания силла «Верблюд» (б).

(а): 1 – терригенно-карбонатные отложения ондокской свиты Олокитского прогиба; 2 – метаморфизованные базальты, их туфы с прослоями вулканитов риолитового состава иняптуковской свиты Сыннырского прогиба; 3–7 – довыренский интрузивный комплекс: 3 – габбро-перидотитовые силлы, 4 – силлы и дайки кварцосодержащих и гранофировых габбро-норитов, 5 – оливиновые габбро и габбро-нориты, 6 – чередование плагиодунитов и троктолитов, 7 – дуниты; 8 – зоны серпентинизации; 9 – платиноносный горизонт – «Риф I»; 10 – разрывные тектонические нарушения; 11 – зоны тектонического меланжа. Цифрами в квадратах показаны участки опробования габбро-перидотитовых силлов: 1 – руч. Большой, 2 – канавы и разрез вдоль дороги, 3 – руч. Безымянный, 4 – силл «Верблюд». На врезке – положение Йоко-Довыренского массива в структуре складчатого обрамления (белый фон) Сибирского кратона.

(б): 1 – глинисто-углистые сланцы и алевролиты; 2 – эндоконтактовые породы зоны закалки; 3 – оливиновые габбро-нориты; 4 – оливиновые плагиовестериты; 5 – плагиолерцолиты; 6 – дайка кварцосодержащих габбро-диабазов.

**Fig. 1.** Geological structure of the central part of the Yoko-Dovyren dunite-troctolite-gabbro massif with the position of gabbro-peridotite sills (a) and the Camel sill section (b).

1 – terrigenous-carbonate deposits of the Ondok Formation of the Olokkit Trough; 2 – metamorphosed basalts, their tuffs with interlayers of rhyolite volcanites of the Inyaptuk Formation of the Synnyr Trough; 3–7 – Dovyren intrusive complex: 3 – gabbro-peridotite sills, 4 – sills and dikes of quartz-bearing and granophyre gabbranorites, 5 – olivine gabbro and gabbranorites, 6 – sequence of plagiodunites and troctolites, 7 – dunites; 8 – serpentinization zones; 9 – platinum-bearing horizon – "Reef I"; 10 – tectonic dislocations; 11 – tectonic melange zones. The figures in squares show sampling areas of gabbro-peridotite sills 1 – brook Bolshoi, 2 – ditches and incision along the road, 3 – Bezmyannyi creek, 4 – Camel sill. The inset shows the position of the Yoko-Dovyren massif in the structure of the folded frame (white background) of the Siberian craton.

(b): 1 – clay-carbonaceous shales and siltstones; 2 – endocontact rocks of the quenching zone; 3 – olivine gabbranorites; 4 – olivine plagiobesterites; 5 – plagiolherzolites; 6 – dyke of quartz-containing gabbro-diabase.

силла наблюдаются маломощные зоны закалки. Они сложены пикродолеритами с интергранулярной структурой мезостаза. U-Pb возраст по цирконам габбро-норитов силла «Верблюд» составляет  $731 \pm 4$  млн лет (среднее из пяти образцов) [Ariskin et al., 2013], что близко возрасту, полученному для габброидной части Йоко-Довыренского массива.

### 3. МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Проведенные исследования базируются на обработке около 80 образцов и проб, отобранных по всей длине Йоко-Довыренского массива. Большая часть аналитических работ выполнена с использованием оборудования ЦКП «Геоспектр» ГИН СО РАН (г. Улан-Удэ). Редкоземельные (РЗЭ) и редкие элементы определены методом ICP-MS в Центре коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» Института геохимии им. А.П. Виноградова СО РАН [Skuzovtsov et al., 2022].

### 4. РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

**Минеральный состав.** Главными породообразующими минералами являются оливин, плагиоклаз и пироксены, второстепенными – флогопит и эдениты-паргаситы. Кроме того, отмечаются сульфиды (пирротин, троилит, пентландит, халькопирит), ильменит, хромшпинелиды, хлорапатит, единичные зерна циркона, бадделеита и монацита. Более детальная характеристика минералов и их взаимоотношений изложена нами ранее [Orsoev et al., 2018], поэтому здесь мы дадим их краткое описание.

Оливин наблюдается во всех типах пород. Он образует, как правило, округлые более идиоморфные, чем плагиоклаз и пироксены, зерна размером от десятых долей миллиметра до 1 мм в поперечнике, в разной степени замещенные серпентином. Содержание Fe компонента постепенно увеличивается от 17.0–18.3 % в плагиоцерцолитах, 18.1–20.2 % в оливковых плагио-пироксенитах до 26.4 % в оливковых габбро-норитах. Наблюдается прямая зависимость железистости оливина от магнезиальности и щелочности пород.

Плагиоклаз является сквозным минералом всех зон расслоенной серии силлов. Он образует разных размеров (0.1–0.8 мм) полисинтетически сдвойникованные короткопризматические, реже – изометричные таблитчатые зерна. Состав меняется от 68–76 % An (битовнит) в плагиоцерцолитах до 52–56 % An (лабрадор) в оливковых пироксенитах и 59 % An (андезин) в оливковых габбро-норитах. Постоянно фиксируется повышенная примесь FeO (0.25–0.64 мас. %).

Моноклинный пироксен (авгит) представлен неправильной формы зернами размером 0.1–1.0 мм, нередко образует ойкокрсты, в которых включены оливин, плагиоклаз, хромшпинель. Состав варьируется (%):  $\text{En}_{52.6-43.0}$ ,  $\text{Fs}_{5.4-11.9}$ ,  $\text{Wo}_{39.7-47.6}$ . Железистость закономерно увеличивается от 12.3–13.7 ат. % в плагиоцерцолитах, 15.7–19.4 ат. % в оливковых плагио-пироксенитах до 20.6 ат. % в оливковых габбро-норитах.

Ромбический пироксен (энстатит) в количественном отношении во всех породах уступает клинопироксену. Он наблюдается в виде мелких (0.2–1.0 мм) изометричных или неправильной формы зерен. Состав изменяется в широких пределах (%):  $\text{En}_{86.0-74.6}$ ,  $\text{Fs}_{13.0-23.4}$ ,  $\text{Wo}_{0.1-4.5}$ . Железистость постепенно увеличивается от плагиоцерцолитов (16.0–17.4 %) к оливковым габбро-норитам (23.8 %).

**Петро- и геохимические особенности.** Состав пород широко варьируется по содержанию главных петрогенных компонентов, охватывая интервал  $\text{SiO}_2$  от 41 до 51 мас. % и MgO от 12 до 38 мас. %, что свидетельствует о значительной степени дифференцированности магматического расплава в процессе фракционной кристаллизации. На петрохимических диаграммах наблюдается тренд дифференциации с постепенным накоплением  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , CaO,  $\text{TiO}_2$  и  $(\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O})$  по мере уменьшения MgO от ультраосновных пород к габброидным [Orsoev et al., 2018]. В этом же направлении увеличивается суммарное содержание РЗЭ. Кроме того, все спектры РЗЭ, в том числе и пород зоны закалки, характеризуются отрицательным наклоном  $(\text{La}/\text{Yb})_N=3.93-6.72$  и слабым проявлением Eu-минимума ( $\text{Eu}^*=0.77-95.00$ ). На спайдерграммах породы зоны закалки и дифференцированной серии имеют одинаковую конфигурацию спектров и демонстрируют обогащенность крупноионными – Rb, Ba, K и радиоактивными элементами – U, Th, а также имеют ярко выраженные минимумы по Ta, Nb и P, небольшое обеднение Zr, Ti и Y [Orsoev et al., 2018].

**Оценка P-T-условий кристаллизации.** Для определения температур кристаллизации минералов нами были апробированы различные геотермометры. Наиболее высокие температуры, близкие к реальным, дал двупироксеновый геотермометр [Wood, Banno, 1973]: плагиоцерцолиты – 1103–1138 °C, оливковые плагио-верстериты – 1004–1050 °C и оливковые габбро-нориты – 985 °C. Однако наиболее максимальные температуры 1218–1234 °C получены по расплав-оливиновому геотермометру [Crabtree et al., 2017] для плагиоцерцолитов. Оценка параметров давления проводилась по плагиоклаз-роговообманковому барометру [Fershtater, 1990]. Результаты расчетов по нескольким образцам показали значения давления в интервале 1.3–1.6 кбар, что соответствует глубине ~5–6 км.

Для проверки полученных результатов с помощью программы «КОМАГМАТ 3.72» были выполнены расчеты, моделирующие кристаллизацию родоначального расплава по составу пород закалочной фации силлов. Были заданы следующие условия: P=2 кбар, содержание  $\text{H}_2\text{O}$  0.2 % и вюстит-магнетитовый буфер (WM). Первым в интервале температур 1463–1183 °C выделяется оливин. Состав его меняется от  $\text{Fo}_{93}$  до  $\text{Fo}_{81}$ . После оливина при температуре 1183–1125 °C кристаллизуется ортопироксен, к которому при T=1180 °C добавляется клинопироксен, а при T=1168 °C – плагиоклаз. Обе последние фазы кристаллизуются до конца принятого для моделирования температурного интервала – 1032 °C. При этом

состав клинопироксена изменяется (%):  $En_{49.1-17.8}$ ,  $Fs_{10.1-63.3}$ ,  $Wo_{40.8-18.9}$ , а плагиоклаз (% An) – 80.5–35.0.

Состав исходного расплава, оцененный нами ранее по породам закалочной фации [Orsoev et al., 2018], является следующим (мас. %):  $SiO_2$  48.79,  $TiO_2$  0.48,  $Al_2O_3$  9.85,  $FeO^*$  10.45,  $MnO$  0.17,  $MgO$  20.86,  $CaO$  7.56,  $Na_2O$  0.99,  $K_2O$  0.71,  $P_2O_5$  0.07. На диаграмме TAS он отвечает основному пикробазальту с нормативным составом (по CIPW) (%): Ol 30.02, Di 13.42, Нур 22.51, Or 4.20, Ab 8.38, An 20.34, Plm 0.91, Ar 0.16. Исходя из полученных результатов нами проведена оценка глубины магмогенерации (отделения исходного расплава от мантийного источника) по эмпирической зависимости  $h(км)=0.6[1/[TiO_2/(SiO_2+TiO_2+MgO)]]$ , предложенной Ю.С. Каретиным [Karetin, 1999]. Значение глубины оказалось равным 88.2 км, что соответствует давлению ~28 кбар.

### 5. ОБСУЖДЕНИЕ

Вся совокупность полученных данных свидетельствует о том, что наиболее мощные силлы сложены породами дифференцированной серии, представленной плагиолеццолитами, оливиновыми плагиовестеритами и оливиновыми габбро-норитами. В ряду этих пород наблюдается постепенная смена минеральных парагенезисов от высококотемпературных к низкотемпературным. В момент поступления в камеру магматический расплав содержал уже некоторое количество интрателлурических кристаллов высокомагнезильного оливина ( $Fe_{93}$ ).

Почти симметричное расположение пород в разрезе силла (рис. 1, б) можно объяснить относительно

быстрой кристаллизацией расплава от нижней и верхней стенки магматической камеры и движением фронта кристаллизации по направлению к ее центру. При этом происходит постепенное выведение из главного объема расплава его наиболее тугоплавких компонентов, что приводит, в конечном итоге, к кристаллизации габброидных пород в центральных частях силла. Такое строение подчеркивается распределением главных петрогенных компонентов, в частности  $SiO_2$  и  $MgO$  (рис. 1, б). Структурные взаимоотношения флогопита и Са-амфибола (эденит-паргасит) с другими минералами указывают на их кристаллизацию в процессе эволюции остаточного расплава с накоплением флюидной фазы, имеющую хлорную специализацию (постоянное присутствие в ассоциации хлорапатита).

Поскольку силлы формировались на относительно небольшой глубине и при малом содержании в магме летучих компонентов, особенности их внутреннего строения вполне корректно можно рассмотреть на петрохимической диаграмме  $CaO - Al_2O_3 - MgO^*$ . В рамках этой диаграммы набор главных породообразующих минералов габбро-перидотитов соответствует системе Fo-Di-An, изученной экспериментально при давлении от 1 атм до 20 кбар [Presnall et al., 1978]. Как видно на рис. 2, фигуративные точки состава пород группируются вдоль конноды Fo-An, отражая ведущую роль фракционирования оливина и плагиоклаза. В то же время они отклоняются в сторону конноды Di-An. Следует отметить, что точка исходного расплава также располагается вблизи линии Ol-An котектики, занимая промежуточное положение между полем ультраосновных

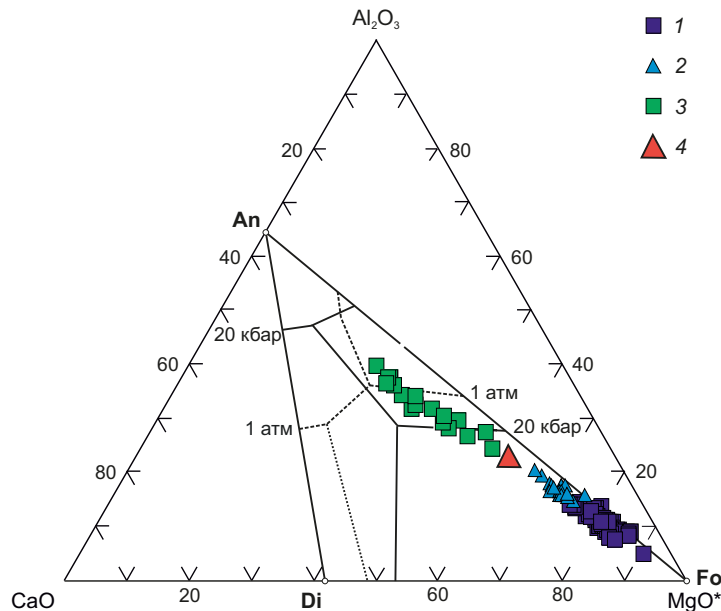


Рис. 2. Диаграмма  $CaO - Al_2O_3 - MgO^*$  для пород габбро-перидотитовых силлов.

$MgO^*=MgO+0.5 \times Fe_2O_3+0.55 \times FeO$ . 1 – плагиолеццолит; 2 – оливиновый плагиовестерит; 3 – оливиновый габбро-норит; 4 – средний состав пикробазальтов зоны закалики силлов.

Fig. 2. The  $CaO - Al_2O_3 - MgO^*$  diagram for gabbro-peridotite sills.

$MgO^*=MgO+0.5 \times Fe_2O_3+0.55 \times FeO$ . 1 – plagiolherzolite; 2 – olivine plagiowebsterite; 3 – olivine gabbronorite; 4 – average composition of microbasalts of the sill quenching zone.

пород и областью габброидов (рис. 2). Таким образом, из анализа диаграммы следует, что ведущим процессом изменения состава пород в ряду плагиоперидотиты – оливиновые плагиовестериты – оливиновые габбро-нориты является фракционирование оливина, плагиоклаза и клинопироксена.

Данные геохимических исследований подробно отражены в нашей предыдущей публикации [Orsoev et al., 2018]. Однако они требуют некоторого уточнения и обсуждения. Сравнение геохимических параметров, спектров распределения РЗЭ и редких элементов с эталонными показало, что по своим геохимическим характеристикам породы зоны закалки (пикробазальты) коррелируются, с одной стороны, с базальтами островодужного вулканизма [Kelemen et al., 2003], а с другой – с базальтами коллизионных вулканоплутонических ареалов [Gushchin et al., 2014], т.е. они несут в себе двойственную природу. Предполагается, что формирование Олоkitского прогиба на рубеже 1.0–0.9 млрд лет связывается с раскрытием задугового бассейна Нюрундуканской островодужной системы [Orsoev et al., 2022], а образование Сыннырской впадины с довыренским интрузивным комплексом – с более поздними деструктивными процессами развития рассеянных спрединговых зон на коллизионно-аккреционном этапе развития Байкало-Муйского пояса в конце рифея на рубеже 720–800 млн лет [Bulgatov, 2015; Gordienko, 2021]. Родоначальный высокомагнезиальный пикробазальтовый состав предполагает существование в этот период мантийного плюма, ареал развития которого связывается с крупной Франклинской изверженной провинцией на рубеже 716–728 млн лет [Mekhonoshin et al., 2016].

## 6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Подводя итог вышесказанному, можно сделать следующие выводы.

1. Наиболее мощные силы габбро-перидотитов дифференцированы от плагиоцелитов до оливиновых габбро-норитов. Они имеют симметричное строение, которое можно объяснить движением фронта кристаллизации по направлению от краевых частей к центру. Ведущим механизмом изменения состава пород при кристаллизации является фракционирование оливина, плагиоклаза и клинопироксена.

2. Состав исходного расплава соответствует низкотитанистому пикробазальту нормальной щелочности. Кристаллизация пород происходила в интервале температур 1234–985 °С при давлении 1.3–1.6 кбар, которое соответствует глубине ~5–6 км. В момент поступления в камеру он содержал уже некоторое количество интрателлурических кристаллов высокомагнезиального оливина. Рассчитанная глубина отделения исходного расплава от мантийного источника составила ~88 км, что отвечает литостатическому давлению ~28 кбар.

3. По геохимическим параметрам пикробазальты силлов характеризуются двойственной природой: они

близки как базальтам надсубдукционного магматизма, так и базальтам коллизионных вулканоплутонических ареалов. Можно предположить, что формирование Сыннырского рифта с довыренским комплексом связано с деструктивными процессами развития рассеянных спрединговых зон на коллизионно-аккреционном этапе развития Байкало-Муйского пояса в конце рифея на рубеже 720–800 млн лет.

## 7. БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы благодарят Е.А. Хромову за исследования на электронном зонде, Р.А. Бадмацыренову – за помощь в обработке аналитических данных, а также Э.Г. Конникова, А.А. Арискина, Е.В. Кислова, Г.С. Николаева, Л.В. Данюшевского, В.С. Каменецкого, А.В. Лавренчука, Т. Венцеля, Л.П. Баумгартнера, Б.И. Гонгальского, принимавших участие в разные годы в полевых работах.

## 8. ЗАЯВЛЕННЫЙ ВКЛАД АВТОРОВ / CONTRIBUTION OF THE AUTHORS

Авторы внесли эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Authors contributed equally to this article.

## 9. КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ / CONFLICT OF INTERESTS

Авторы заявляют об отсутствии у них конфликта интересов. Авторы прочитали рукопись и согласны с опубликованной версией.

The authors have no conflicts of interest to declare. The authors have read and agreed to the published version of the manuscript.

## 10. ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

Ariskin A.A., Danyushevsky L.V., Konnikov E.G., Maas R., Kostitsyn Y.A., McNeill A., Merfe S., Nikolaev G.S., Kislov E.V., 2015. The Dovyren Intrusive Complex (Northern Baikal Region, Russia): Isotope-Geochemical Markers of Contamination of Parental Magmas and Extreme Enrichment of the Source. *Russian Geology and Geophysics* 56 (3), 411–434. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.02.004>.

Ariskin A.A., Kostitsyn Y.A., Konnikov E.G., Danyushevsky L.V., Merfe S., Nikolaev G.S., McNeill A., Kislov E.V., Orsoev D.A., 2013. Geochronology of the Dovyren Intrusive Complex, Northwestern Baikal Area, Russia, in the Neoproterozoic. *Geochemistry International* 51, 859–875. <http://doi.org/10.1134/S0016702913110025>.

Bulgatov A.N., 2015. Geodynamics of the Baikal Mountainous Region in the Late Riphean and Vendian – Early Paleozoic. *GEO, Novosibirsk*, 191 p. (in Russian) [Булгатов А.Н. Геодинамика Байкальской горной области в позднем рифее и венде – раннем палеозое. Новосибирск: Гео, 2015. 191 с.].

Crabtree S.M., Huber A., Beck K., 2017. Thermodynamic Assessment of the Magmatic History of Blue Rock Shield Volcano, Jackson Co., Oregon: Application of a New Dni (Olivine-Melt) Geothermometer and Other Models. *Bulletin of*

Volcanology 79, 35. <http://doi.org/10.1007/s00445-017-1115-y>.

Fershtater G.B., 1990. Empirical Hornblende-Plagioclase Geobarometer. *Geochemistry* 3, 328–335 (in Russian) [Ферштатер Г.Б. Эмпирический плагиоклаз-роговообманковый барометр // *Геохимия*. 1990. № 3. С. 328–335].

Gordienko I.V., 2021. The Role of Island-Arc Oceanic, Collisional and Intraplate Magmatism in the Formation of Continental Crust in the Mongolia-Trasbaikalia Region: Geostructural, Geochronological and Sm-Nd Isotope Data. *Geodynamics & Tectonophysics* 12 (1), 1–47 (in Russian) [Гордиенко И.В. Роль островодужно-океанического, коллизионного и внутриплитного магматизма в формировании континентальной коры Монголо-Забайкальского региона: по структурно-геологическим, геохронологическим и Sm-Nd изотопным данным. *Геодинамика и тектонофизика*. 2021. Т. 12. № 1. С. 1–47]. <http://doi.org/10.5800/GT-2021-12-1-0510>.

Gurulev S.A., 1983. Conditions for Formation of Basic Schistose Intrusions. *Nauka, Moscow*, 248 p. (in Russian) [Гурулев С.А. Условия формирования основных расчлененных интрузий. М.: Наука, 1983. 248 с.].

Gushchin A.V., Gusev G.S., Mezhelovskaya S.V., 2014. Petrogeochemical Criteria for Recognizing of Tectonic (Geodynamic) Settings on the Composition of Volcanic Rocks. *Subsoil Exploration and Protection* 12, 76–81 (in Russian) [Гущин А.В., Гусев Г.С., Межеловская С.В. Петрогеохимические критерии распознавания тектонических (геодинамических) обстановок по составам вулканических пород // *Разведка и охрана недр*. 2014. № 12. С. 76–81].

Karetin Yu.S., 1999. Petrochemical Approach with Approximated Values for the Depth of Magma Generation of Basalts of Different Geodynamic Settings. In: *Tectonics, Geodynamics and Processes of Magmatism and Metamorphism. Proceedings of the XXXII Tectonic Conference. Vol. 1. GEOS, Moscow*, p. 289–291 (in Russian) [Каретин Ю.С. Петрохимический способ приближенных оценок глубин магмогенерации базальтов разных геодинамических обстановок // *Тектоника, геодинамика и процессы магматизма и метаморфизма: Материалы XXXII тектонического совещания*. М.: ГЕОС, 1999. Т. 1. С. 289–291].

Kelemen P.B., Hanghøj K., Greene A.R., 2003. One View of the Geochemistry of Subduction-Related Magmatic Arcs, with an Emphasis on Primitive Andesite and Lower Crust. In: H.D. Holland, K.K. Turekian (Eds), *Treatise on Geochemistry. Vol. 3. Elsevier*, p. 594–649. <http://doi.org/10.1016/B0-08-043751-6/03035-8>.

Manuilova M.M., Zarubin V.V., 1981. Precambrian Volcanic Rocks in Northern Baikal Region. *Nauka, Leningrad*, 88 p. (in Russian) [Мануйлова М.М., Зарубин В.В. Вулканогенные

породы докембрия Северного Прибайкалья. Л.: Наука, 1981. 88 с.].

Mekhonoshin A.S., Ernst R., Söderlund U., Hamilton M.A., Kolotilina T.B., Izokh A.E., Polyakov G.V., Tolstykh N.D., 2016. Relationship between Platinum-Bearing Ultramafic-Mafic Intrusions and Large Igneous Provinces (Exemplified by the Siberian Craton). *Russian Geology and Geophysics* 57 (5), 822–833. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2015.09.020>.

Orsoev D.A., Gordienko I.V., Bulgatov A.N., Badmatsyrenova R.A., Drill S.I., Posokhov V.F., 2022. Neoproterozoic Metabasalts of the Tyya Complex of the Olokit Rift-Induced Trough (Baikal-Muya Belt): Composition, U-Pb Age, Isotopic and Geochemical Characteristics, Geodynamic Implications. *Russian Geology and Geophysics* 63 (7), 755–771. <https://doi.org/10.2113/RGG20204326>.

Orsoev D.A., Mekhonoshin A.S., Kanakin S.V., Badmatsyrenova R.A., Khromova E.A., 2018. Gabbro-Peridotite Sills of the Late Riphean Dovyren Plutonic Complex (Northern Baikal Area, Russia). *Russian Geology and Geophysics* 59 (5), 472–485. <https://doi.org/10.1016/j.rgg.2018.04.002>.

Presnall C.D., Dixon S.A., Dixon J.R., O'Donnell T.H., Brenner N.L., Schrock R.L., Dycus D.W., 1978. Liquidus Phase Relations on the Join Diopside-Forsterite-Anorthite From 1 Atm to 20 Kbar: Their Bearing on the Generation and Crystallization of Basaltic Magma. *Contributions to Mineralogy and Petrology* 66, 203–220. <http://doi.org/10.1007/BF00372159>.

Pshenitsyn I.V., Ariskin A.A., Nikolaev G.S., Kislov E.V., Korost D.V., Yapaskurt V.O., Sobolev S.N., 2020. Morphology, Mineralogy, and Composition of Sulfide Droplets in Picrolite from a Near-Bottom Apophysis of the Yoko-Dovyren Layered Intrusion. *Petrology* 28, 246–262. <http://doi.org/10.1134/S0869591120030066>.

Skuzovatov S.Yu., Belozeroва O.Yu., Vasil'eva I.E., Zarusbina O.V., Kaneva E.V., Sokolnikova Yu.V., Chubarov V.M., Shabanova E.V., 2022. Centre of Isotopic and Geochemical Research (IGC SB RAS): Current State of Micro- and Macroanalysis. *Geodynamics & Tectonophysics* 13 (2), 0585 (in Russian) [Скузоватов С.Ю., Белозерова О.Ю., Васильева И.Е., Зарубина О.В., Канева Е.В., Сокольникова Ю.В., Чубаров В.М., Шабанова Е.В. Центр коллективного пользования «Изотопно-геохимических исследований» ИГХ СО РАН: современное состояние методов изучения вещества на микро- и макроуровне. *Геодинамика и тектонофизика*. 2022. Т. 13. № 2. 0585]. <http://doi.org/10.5800/GT-2022-13-2-0585>.

Wood B.J., Banno S., 1973. Garnet-Orthopyroxene and Orthopyroxene-Clinopyroxene Relationships in Simple and Complex Systems. *Contribution to Mineralogy and Petrology* 42, 109–124. <https://doi.org/10.1007/BF00371501>.