

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

УДК 552.11,323.6 (571.511)

ПЕТРОЛОГИЯ ФОИДИТОВОГО И МЕЙМЕЧИТОВОГО ВУЛКАНИЗМА
МАЙМЕЧА-КОТУЙСКОЙ ПРОВИНЦИИ (*Полярная Сибирь*)

Ю.Р.Васильев^{1,2}, М.П.Гора¹, Д.В.Кузьмин^{1,2}

¹ Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН,
630090, Новосибирск, просп. Академика Коптюга, 3, Россия

² Новосибирский государственный университет, 630090, Новосибирск, ул. Пирогова, 2, Россия

Сравнительный анализ ультраосновных меймечитов меймечинской свиты и щелочных вулканитов арыджангской свиты (фоидитов: нефелинитов, анальцимитов, лимбургитов и др., а также мелилититов) показал их генетическую близость, свидетельствующую о связи с единой магматической системой, пульсационно продуцирующей крупные объемы щелочно-ультраосновных расплавов. Изучались петрогеохимические и минералогические составы пород, а также расплавные включения в оливинах из этих пород. Существенное различие между составами пород арыджангской и меймечинской свит установлено по содержанию MgO, что хорошо объяснимо аккумуляцией оливина. Составы включений из оливинов меймечитов и пород арыджангской свиты соответствуют фоидитам. Характер распределения редких и редкоземельных элементов в фоидитах и в меймечитах однотипен как в породах, так и в расплавных включениях – наблюдаются минимумы для Rb и K и максимумы для Nb и Ta. Отношения индикаторных элементов (Nb/Ta, Ba/La, Ta/La и др.) для пород меймечинской и арыджангской свит имеют постоянные значения и практически не зависят от изменения их магнезиальности. Отношение La/Yb в фоидитах значительно выше, чем в меймечитах и расплавных включениях из оливинов меймечитов, что также свидетельствует о том, что породы арыджангской свиты являются результатом фракционирования исходного высокомагнезиального щелочного пикритоидного расплава.

Фоидиты, меймечиты, расплавные включения, Полярная Сибирь, Маймечка-Котуйская провинция

PETROLOGY OF FOIDITIC AND MEYMECHITIC VOLCANISM
IN THE MAIMECHA-KOTUI PROVINCE (*Polar Siberia*)

Yu.R. Vasil'ev, M.P. Gora, and D.V. Kuz'min

Comparative analysis of ultramafic meymechites of the Maimecha Suite and alkaline volcanics of the Ary-Dzhang Suite (foidites (nephelinites, analcimites, limburgites, etc.) and melilitites) has shown their consanguinity, which indicates their relationship with the same magmatic system periodically producing large amounts of alkaline ultramafic melts. We have studied the petrogeochemical and mineralogical compositions of rocks and melt inclusions in the hosted olivines. The rocks of the Maimecha and Ary-Dzhang Suite differ considerably in MgO content, which is well explained by the accumulation of olivine. The inclusions in olivines from the meymechites and the rocks of the Ary-Dzhang Suite correspond in composition to foidites. The trace and rare-earth element patterns are similar both in the foidites and meymechites and in the melt inclusions: They show negative anomalies of Rb and K and positive anomalies of Nb and Ta. The ratios of indicator elements (Nb/Ta, Ba/La, Ta/La, etc.) in the rocks of the Maimecha and Ary-Dzhang Suite are constant and almost independent of their Mg# values. The La/Yb ratio in the foidites is significantly higher than that in the meymechites and in the melt inclusions from their olivines, which indicates that the rocks of the Ary-Dzhang Suite resulted from the fractionation of highly magnesian alkaline picritoid melt.

Foidites, meymechites, melt inclusions, Arctic Siberia, Maimecha-Kotui province

ВВЕДЕНИЕ

Маймечка-Котуйская провинция щелочно-ультраосновного магматизма, расположенная на севере Сибирской платформы, отличается от других подобных провинций стабильных зон Земли уникальным сочетанием интрузивных комплексов и вулканических образований. Для пермотриасового щелочно-

ультраосновного магматизма на территории провинции по возрастным датировкам и геологическим наблюдениям установлена следующая временная последовательность формирования вулканических и интрузивных пород: арыджангская свита преимущественно ультраосновных и основных фойдитов располагается в нижней части разреза мощной вулканической толщи, которая, в свою очередь, прорвана и термально метаморфизована дунитами Гулинского плутона. Меймечиты, завершающие вулканический процесс провинции, залегают на эродированной поверхности Гулинского щелочно-ультраосновного плутона и нижележащих вулканитов [Васильев, Золотухин, 1975; Егоров, Сурина, 1976; Basu et al., 1995; Dalrymple et al., 1995; Kamo et al., 2003; Васильев, Гора, 2012; Burgess, Bowring, 2015]. Существует представление, что ультрамафитовые и щелочные образования Маймеча-Котуйской провинции по своей природе гетерогенны [Егоров, 1991; Расс, 2000; Панина, Моторина, 2013; Малич и др., 2015], хотя высказываются предположения об их возможной генетической общности [Vasiliev, Zolotukhin, 1995; Fedorenko et al., 2000; Мамаева, 2006; Рябчиков, Когарко, 2016].

Мы считаем, что крупнообъемные проявления щелочно-ультраосновного магматизма провинции, в первую очередь вулканические образования, вероятнее всего, являются результатом пульсационной деятельности единой магматической системы и должны иметь родственные генетические связи. Это и определило цель нашей работы: используя обширный оригинальный и литературный фактический материал (петрохимический, геохимический, изотопный, а также результаты изучения первичных расплавных включений в оливинах вулканогенных пород), выявить общность признаков вещественного состава меймечит-пикритов маймечинской свиты и фойдитов арыджангской свиты и их связь с единой магматической системой.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ

Вулканические образования Маймеча-Котуйской провинции располагаются в ее северной части, вдоль юго-восточного борта Енисей-Хатангского рифта в виде полосы шириной 20—25 км и протяженностью около 250 км. Мощность толщи составляет 4.0—4.5 км, а сложена она породами пестрого состава — от ультраосновных меймечитов и фойдитов до базальтов, трахибазальтов и андезибазальтов. Вулканическая толща по геологическому положению и составу разделена на шесть свит (снизу вверх): правобоярскую (основная пирокластическая), арыджангскую (ультраосновные и основные фойдиты, мелилититы, щелочные пикриты), онкучакскую (толеиты), тыванкитскую (толеиты и трахибазальты), дельканскую (фойдиты, трахибазальты, андезибазальты и др.) и маймечинскую (меймечиты) (рис. 1). Все эти свиты имеют несогласное залегание и, как правило, образуют разобщенные по латерали поля, что затрудняет их корреляцию. На водоразделе Маймечи и Котуя вулканическая толща прорвана Гулинским плутоном, в строении которого принимают участие разнообразные породы ультрамафит-мафитового (дуниты, клинопироксениты) и щелочного комплекса (мелилитолиты, породы якупирангит-уртитового ряда и др.), а также карбонатиты. Судя по геолого-геофизическим работам [Бутакова, Егоров, 1962; Шихорина, 1970; Гусев, 1970; Егоров, 1991], значительная часть Гулинского плутона и вулканической толщи ступенчато сброшена в сторону рифта и перекрыта юрско-меловыми отложениями.

Арыджангская свита располагается в нижней части разреза вулканической толщи и залегает несогласно на породах перми, карбона и правобоярской свиты, перекрываясь толеитовыми базальтами онкучакской свиты. Вулканиты свиты занимают площадь порядка 800 км² [Бутакова, Егоров, 1962]. Хорошие коренные выходы разреза свиты имеются в левом борту р. Котуй в 3—4 км ниже устья Медвежьей, которая впадает в р. Котуй справа, а также по р. Медвежья, где они слагают сопку Ары-Джанг, откуда и пошло название свиты. Небольшие проявления пород арыджангской свиты были выявлены при поисковом бурении в экзоконтакте щелочно-ультраосновной Крестовской интрузии, которая располагается примерно в 50 км юго-западнее Гулинского плутона [Сазонов и др., 2001; Гертнер и др., 2009]. В литературе имеется достаточно полное описание геологии, петрографическая и петрохимическая характеристики пород свиты [Бутакова, Егоров, 1962; Гладких и др., 1965; Жук-Почекутов и др., 1965; Леонтьев и др., 1965; Шихорина, 1970; Лагута, 1993; Fedorenko et al., 2000]. **Мощность свиты оценивается исследователями по-разному — от 250 до 600 м. В разрезе свиты преобладают лавовые покровы (потоки) переменной мощности — от 3—5 до 20 м. Пирокластические породы слагают отдельные прослои от 0.5 до 10 м, изредка также встречаются лавобрекчии, образующие горизонты мощностью до 30 м.**

Основной объем свиты сложен ультраосновными и основными фойдитами (меланефелинитами, нефелинитами, мелаанальцимитами, анальцимитами, авгититами, лимбургитами и др.), а также мелилититами и реже щелочными пикритами. Следует отметить, что среди щелочных пикритов встречаются высокомагнезиальные разновидности, близкие по составу к меймечитам. По петрографическому составу и структурным особенностям пород в разрезе свиты по р. Котуй выделяются три горизонта. Нижний горизонт мощностью около 150 м представлен преимущественно меланократовыми фойдитами с отдельными покровами мелилититов и пикритов. В этой части разреза пирокластические породы составляют

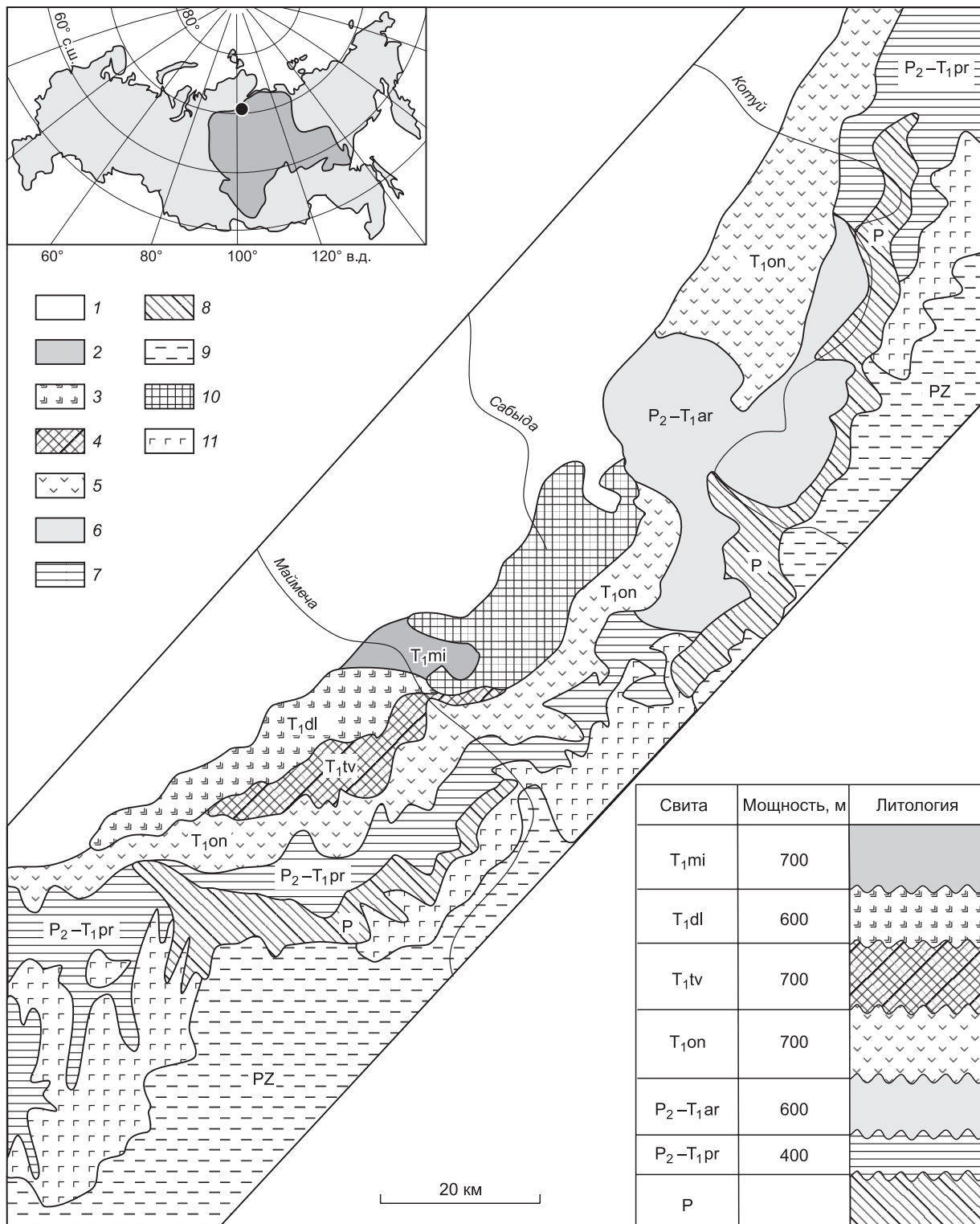


Рис. 1. Геологическая карта-схема района развития вулканических пород Маймеча-Котуйской провинции, по [Егоров, 1991].

1 — молодые отложения Енисей-Хатангской впадины; 2—7 — пермтриасовые вулканические образования: 2 — маймечинская свита, 3 — дельканская свита, 4 — тыванкитская свита, 5 — онкучакская свита, 6 — арыджангская свита, 7 — правобоярская свита; 8 — пермские отложения; 9 — протерозойские отложения; 10, 11 — интрузивные образования: 10 — Гулинский плутон, 11 — интрузии основного состава. На врезке — местоположение Маймеча-Котуйской провинции.

примерно 20—25 % объема. В основании разреза, по данным О.Н. Лагуты [1993], непосредственно на подстилающих терригенных и углистых отложениях перми и карбона залегает пачка пирокластических пород с прослоями ультраосновных фойдитов мощностью 25—50 м. Средний горизонт (110 м) сложен в основном мелилитсодержащими нефелинитами, нефелиновыми мелилититами и нефелинитами. Здесь менее развиты меланократовые разности. В верхнем горизонте (30—40 м) преобладают лимбургиты и щелочные пикриты, чередующиеся с пропластами туфов. Заканчивается разрез покровом мелилитовых нефелинитов. Верхняя часть разреза достраивается за счет обнажений по р. Медвежья, где породы арыджангской свиты несогласно перекрываются базальтами онкучакской свиты. Возраст меланефелинитов из низов арыджангской свиты составляет 253.3 ± 2.6 млн лет по $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ определениям [Basu et al., 1995], а по изотопным отношениям $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ в перовските из меланефелинита – 251.7 ± 0.4 млн лет [Kamo et al., 2003]. Результаты последних изотопных исследований $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ в перовскитах из лав арыджангской свиты показали возраст 252.27—252.2 млн лет [Burgess, Bowring, 2015].

Аналогичные по составу и структурным особенностям породы достаточно широко представлены в юго-западной части лавового поля и отнесены рядом исследователей к нижней половине дельканской свиты [Бутакова, Егоров, 1962; Жук-Почекутов, 1965; Шихорина, 1970].

Маймечинская свита, занимающая верхнюю часть разреза вулканической толщи провинции, располагается в бассейне Маймечи в виде разобщенных полей, наиболее крупное из которых достигает 60 км². Меймечиты представлены преимущественно лавами, в меньшем объеме пирокластическими образованиями, а также разнообразными дайками и диатремами. Мощность лавовой толщи меймечитов оценивается разными исследователями от 600 до 1400 м [Бутакова, Егоров, 1962; Егоров, Сурина, 1976; Vasiliev, Zolotukhin, 1995; Fedorenko, Czamanske, 1997]. Для лавовых потоков и дайковых тел характерно неравномерное (струйчатое или полосчатое) распределение кристаллов оливина и увеличение степени раскристаллизации основной массы к центральным частям тел. Время излияния меймечитов оценивается по соотношению $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ в биотите в 245.5 ± 1.2 млн лет [Dalrymple et al., 1995]. По нашим представлениям, основанным на геологических наблюдениях и возрастных датировках, меймечитовый вулканизм завершает процесс щелочно-ультраосновного магматизма Маймеча-Котуйской провинции [Васильев, Гора, 2012].

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Измерения концентраций главных элементов и элементов-примесей в оливинах и стеклах расплавных включений проводились на электронном микроанализаторе Jeol JXA 8200 Superprobe в Институте химии им. Макса-Планка (г. Майнц, Германия). Для анализа оливинов была использована специально разработанная методика [Sobolev et al., 2007; Sobolev et al., 2009], позволяющая определять концентрации элементов примесей с высокой точностью. Для анализа этих элементов использовалось длительное время накопления сигнала и высокий ток, что обеспечивало предел обнаружения 10—15 г/т и аналитическую ошибку 20—30 г/т. Измерения проводили при ускоряющем напряжении 20 кВ и силе тока 300 нА, время накопления сигнала для редких элементов (Al, Ti, Mn, Ca, Cr, Co, Ni) составляло 120—180 с на пике сигнала и 120 с на измерение фона. Главные элементы (Si, Mg, Fe) измеряли в течение 40 с на пике сигнала и столько же на фоне.

Для изучения состава пород они измельчались до состояния пудры и спекались в стекло с помощью иридиевого нагревателя [Stoll et al., 2008]. Главные элементы в гомогенных стеклах расплавных включений и пород измеряли при ускоряющем напряжении 15 кВ и токе зонда 12 нА. Время накопления сигнала для Na составляло 30 с, для остальных элементов — 60 с на пике и 30 с на измерение фона. Типичная погрешность измерений составляла менее 1—2 отн. %.

Для расчета концентрации был применен ZAF метод коррекции. В качестве стандартов использовали природные и синтетические оксиды и минералы: стандарты для калибровки электронного микрозонда, набор Geo, P&H Developments Ltd., и стандарты Смитсоновского института для электронного зонда [Jarosewich et al., 1980].

Для мониторинга точности и правильности анализов, стабильности и дрефта прибора использовался внутренний стандарт – оливин Сан-Карлос USNM 111312/444 [Jarosevich et al., 1980] и природное базальтовое стекло VG-2 USNM 111240/52. Эти стандарты измерялись через каждые 30-50 точек и затем, при необходимости, вводилась коррекция.

Метод LA-ICP-MS применяли для определения примесных элементов в породах. Исследования проводили на масс-спектрометре ELEMENT-2, Thermo Scientific, (Англия), с твердотельным лазером UP-213 New Wave Research (Англия), в Институте химии им. Макса Планка, Майнц (Германия). В качестве стандарта использовали базальтовое стекло KL-2G и NIST 612 [Jochum et al., 2011], а в качестве нормирующего элемента – Ca. Типичный диаметр лазера составлял 60—80 мкм, а время абляции 60—80 с. Погрешность определения концентрации, оцененная по воспроизведению стандарта, не превышала 5 отн. % (две стандартные ошибки) для содержаний более 1 г/т и 10 отн. % для концентраций около 0.1 г/т.

ОСОБЕННОСТИ ВЕЩЕСТВЕННОГО СОСТАВА ПОРОД АРЫДЖАНГСКОЙ И МАЙМЕЧИНСКОЙ СВИТ, СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ

В ранних работах [Бутова, Егоров, 1962; Шихорина, 1970] считалось, что арыджангская свита сложена меланократовыми нефелиновыми базальтами и другими щелочными базальтоидами. В настоящее время названия некоторых пород из этой свиты претерпели изменения и порой довольно существенные: так, например, меланократовые нефелиновые и мелилитовые базальты теперь называются оливиновыми меланефелинитами и мелилититами и т.д. При наименовании пород этих свит мы будем пользоваться рекомендациями петрографического кодекса [Петрографический..., 2008]. По существующей классификации большинство пород арыджангской свиты относятся к отряду ультраосновных вулканических пород, к подотряду щелочных. Все многообразие этих пород определяется количественным соотношением четырех минералов — оливина, клинопироксена, мелилита и нефелина, образующих вкрапленники и основную массу. К ним присоединяются анальцит, биотит, перовскит, титаномагнетит, апатит. Породы всегда достаточно свежие. Необходимо подчеркнуть, что все ультраосновные породы щелочного ряда в петрографическом аспекте связаны между собой постепенными переходами, поэтому границы между ними достаточно условны. Составы некоторых разновидностей пород арыджангской свиты приведены в табл. 1.

В петрографическом кодексе меймечиты рассматриваются как разновидность высокомагнезиальных и высокотитанистых пикритов нормальной щелочности [Петрографический..., 2008]. Эти породы содержат 40—70 % крупных вкрапленников магнезиального оливина с включениями акцессорной хромшпинели и в различной степени раскристаллизованную в клинопироксен основную массу. В них также присутствуют чешуйки биотита, зерна хромшпинели, апатита, титаномагнетита, перовскита, сульфидов. Стекловатый базис всегда замещен серпентин-хлоритовым агрегатом, что, по-видимому, привело к выносу щелочей. Иногда среди меймечитовых лав отмечаются менее измененные разности с повышенным содержанием щелочей, которые относятся по составу к щелочным пикритам. Такие же разновидности пород характерны для дайковых проявлений. И меймечиты, и щелочные пикриты не содержат видимых проявлений фельдшпатоидов и полевых шпатов. Мы их объединяем в меймечит-пикритовую ассоциацию, проявления которой известны и в других регионах России [Васильев, Гора, 2014, 2016].

Несмотря на кажущееся внешнее различие меймечитов и фойдитов по облику и набору минеральных фаз, они обладают как признаками различия вещественного состава, так и определенным их сходством. Породы этих свит существенно различаются по содержанию MgO и таких оксидов, как Al_2O_3 и Na_2O (рис. 2). По другим оксидам (TiO_2 , FeO, K_2O , P_2O_5), как можно видеть на рис. 2, различия в составах пород не столь существенны.

Для построения диаграмм использованы оригинальные данные и анализы из литературных источников [Васильев, Золотухин, 1975; Васильев, 1983; Лагута, 1993; Arndt et al., 1995; Рябчиков и др., 2002, 2009; Elkins-Tanton et al., 2007; Panina, Usoltseva, 2008; Соболев и др., 2009; Исакова и др., 2015].

Состав оливинов-вкрапленников в меймечитах изменяется в пределах Fo_{84-93} с преобладанием высокомагнезиальных разностей. В породах арыджангской свиты, где оливин присутствует в значительно меньшем объеме, его состав более железистый (Fo_{77-86}), но изредка в них встречаются зерна, близкие по составу к зернам оливина меймечитов ($Fo_{91,93}$) (рис. 3). Следует отметить повышенные содержания CaO в оливинах из пород арыджангской свиты.

В меймечитах клинопироксен присутствует в основной массе в переменном количестве и разных формах проявления — от мелкоигольчатых кристаллитов в базисе до крупных (до 2—3 мм) ойкокристаллов в центральных частях лавовых потоков и дайковых тел. Изредка клинопироксен образует вкрапленники, близкие по размерам к зернам оливина. По составу он отвечает преимущественно диопсиду (табл. 2). Клиннопироксен в породах арыджангской свиты является главным породообразующим минералом, составляя от 30 до 70 % объема породы. Минерал обычно представлен двумя генерациями — крупными вкрапленниками (до 5 мм), нередко зональными, и более мелкими удлиненно-призматическими зернами в основной массе. По составу он также соответствует диопсиду (см. табл. 2). На диаграмме (рис. 4) нанесены точки составов клинопироксенов из пород меймечинской и арыджангской свит и пироксенинов и перидотитов Гулинского плутона. Пироксены из вулканических пород и пород Гулинского плутона имеют близкие составы, но при этом можно видеть, что улавливаются некоторые различия по содержаниям TiO_2 и Al_2O_3 : для пироксенов арыджангской свиты характерна повышенная глиноземистость, а для клинопироксенов меймечитов — титанистость.

В меймечитах как акцессорный минерал присутствует хромшпинель, которая встречается в кристаллах оливина и в основной массе обычно в виде октаэдров и округлых зерен. Совместно с оливином они образуют дунитовый парагенезис, который по составу минеральных фаз близок к дунитам Гулинского плутона (табл. 3). В породах арыджангской свиты хромшпинели пока не обнаружены. Вполне вероятно, что они прошли процесс перекристаллизации и превращения в высокохромистые титаномагнетиты с содержанием Cr_2O_3 до 11 мас.% (см. табл. 3).

Таблица 1.

Состав пород арыджангской свиты

Компонент	1940-11	1944-15	1941-10	1942-2	1945-3	1948-26	1948-28	1948-29	1976-30
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂	44.16	44.35	47.59	44.59	42.33	41.88	39.68	35.67	43.97
TiO ₂	3.05	3.62	3.86	4.73	3.78	4.11	4.71	4.55	5.37
Al ₂ O ₃	12.19	10.51	10.39	13.28	10.15	9.01	6.10	4.06	12.51
FeO _{общ}	12.11	12.09	12.01	12.46	13.47	14.70	16.34	16.52	13.14
MnO	0.30	0.29	0.26	0.25	0.23	0.27	0.32	0.28	0.25
MgO	8.13	8.41	7.28	5.66	10.03	11.82	15.21	10.86	6.75
CaO	13.58	13.85	11.14	12.03	14.13	12.36	13.00	23.56	11.44
Na ₂ O	3.76	3.82	3.50	4.44	3.81	3.55	1.00	0.95	4.14
K ₂ O	1.10	1.25	2.20	1.13	0.47	0.69	1.76	1.54	0.98
P ₂ O ₅	0.38	0.46	0.35	0.44	0.58	0.57	0.56	0.73	0.50
Cu	229	266	225	280	210	314	325	342	194
Zn	77	132	102	85	96	168	173	139	43
Co	56	59	56	53	67	74	87	77	53
V	247	294	316	343	297	279	184	76	395
Ni	98	103	94	46.0	240	314	338	285	89
Sr	3480	1940	2170	4640	1530	1530	3740	2300	2060
Rb	46.9	43.3	34.1	32.5	21.4	30.6	81.9	49.7	50.0
Ba	1700	1070	1210	1610	217	919	1580	1020	1230
Pb	1.39	3.56	2.24	0.85	1.00	3.14	0.98	0.46	0.36
Nb	190	187	195	329	195	258	303	264	196
Zr	324	426	460	692	462	550	633	481	683
Y	14.5	19.4	21.0	28.7	18.9	28.4	28.2	24.7	31.8
Sc	24.2	33.6	26.3	16.9	30.2	28.8	38.1	35.2	33.3
Ta	9.89	10.5	11.3	19.0	12.3	15.1	16.3	14.2	12.4
U	3.00	3.15	2.31	2.88	3.10	4.58	5.25	3.53	3.06
Th	14.4	15.2	15.3	25.5	17.9	20.1	22.2	18.8	16.9
Hf	6.52	9.45	10.2	13.8	10.6	11.3	13.5	11.1	13.4
Li	13.7	11.2	12.1	13.7	13.2	23.2	32.8	19.7	6.11
W	0.204	0.094	0.089	0.721	0.296	0.787	1.14	1.65	0.246
La	164	168	165	262	185	215	255	226	167
Ce	305	290	310	467	341	374	441	387	309
Pr	30.7	29.6	33.8	50.2	37.0	39.6	45.8	41.5	38.7
Nd	100	103	115	171	126	136	156	138	149
Sm	12.2	13.8	15.0	21.5	16.0	18.0	21.1	18.1	22.6
Eu	3.50	3.86	4.20	5.90	4.31	4.90	5.65	4.70	6.12
Gd	8.6	10.5	11.3	16.6	11.5	14.4	15.6	13.6	17.2
Tb	0.88	1.13	1.20	1.68	1.18	1.53	1.66	1.43	1.85
Dy	4.02	5.20	5.65	7.63	5.24	7.18	7.69	6.56	8.38
Ho	0.638	0.883	0.933	1.22	0.84	1.19	1.24	1.06	1.27
Er	1.41	1.89	2.02	2.79	1.75	2.69	2.68	2.24	2.83
Tm	0.167	0.236	0.259	0.345	0.197	0.338	0.333	0.283	0.368
Yb	1.09	1.52	1.64	2.10	1.35	2.08	2.01	1.81	2.29
Lu	0.144	0.188	0.222	0.265	0.170	0.274	0.264	0.233	0.292

Примечание. Главные элементы (мас.%) определялись методом EPMA на электронном микроанализаторе Jeol JXA 8200 SuperProbe; примесные элементы (г/т) — методом LA-ICP-MS на масс-спектрометре ELEMENT-2, Thermo Scientific в Институте химии им. Макса Планка, Майнц (Германия).

1 — мелилитовый нефелинит с оливином; 2 — лимбургит; 3 — анальцитимит оливинсодержащий; 4 — нефелинит анальцитимитсодержащий; 5 — мелилитовый нефелинит; 6 — нефелинит оливинсодержащий; 7, 8 — мелилитит оливинсодержащий; 9 — мелилитит анальцитимитовый.

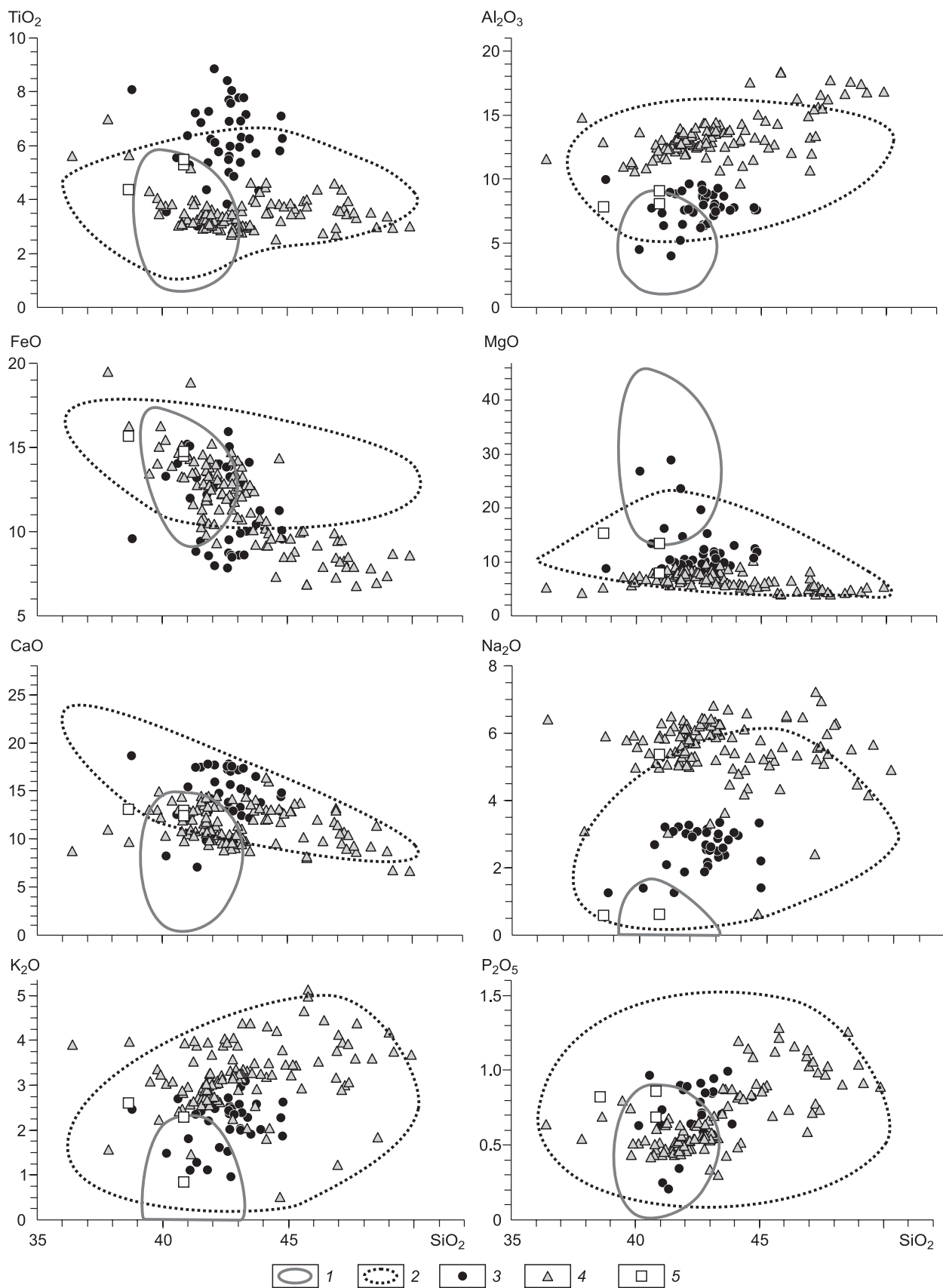


Рис. 2. Диаграммы оксиды—SiO₂ (мас. %) для пород маймечинской (1) и арыджангской (2) свит, для расплавных включений в оливинах этих пород (3, 4) и природных стекол из щелочных пикритов (5).

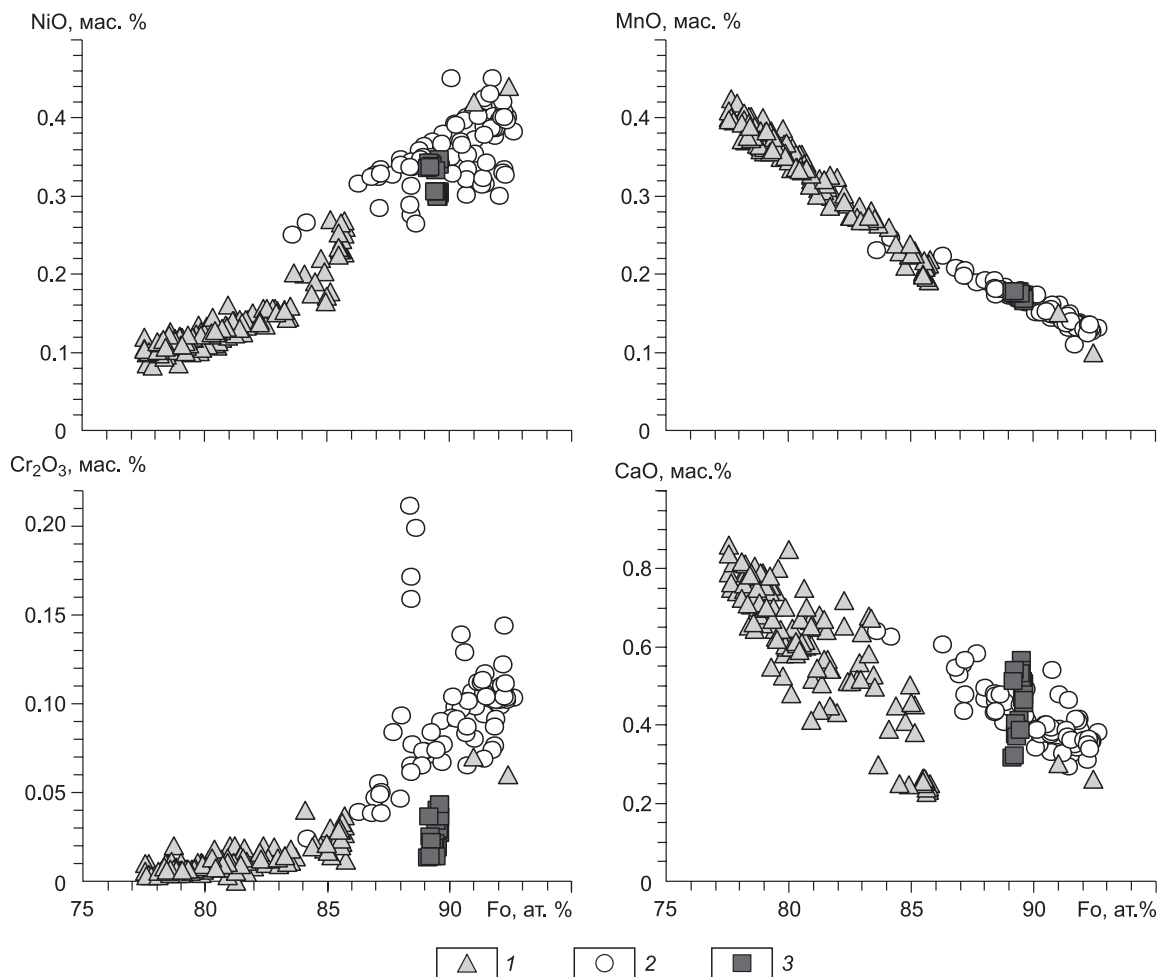


Рис. 3. Состав оливинов из пород маймечинской (1), арыджангской (2) свит и дунитов Гулинского плутона (3).

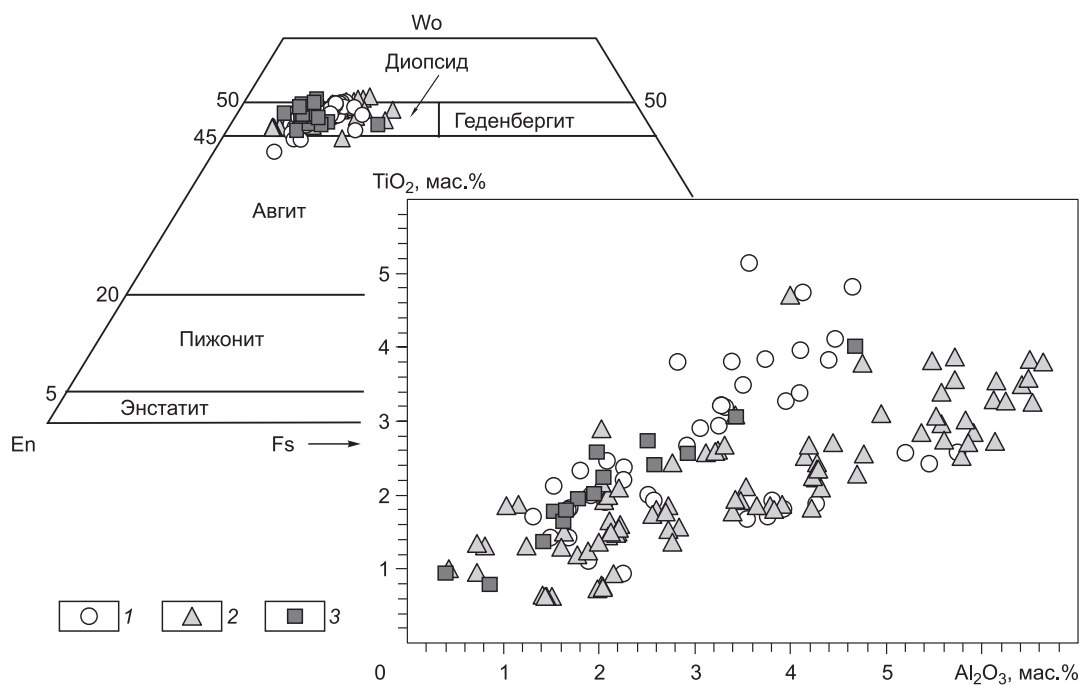


Рис. 4. Состав клинопироксенов из пород маймечинской (1), арыджангской (2) свит и пироксенитов и перидотитов Гулинского плутона (3).

Таблица 2. Состав клинопироксенов из пород маймечинской и арыджангской свит и Гулинского плутона

Компонент	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO ₂ , мас. %	49.3	48.16	47.13	44.44	48.99	51.05	46.46	46.29	48.97
TiO ₂	1.99	2.9	3.81	4.73	5.15	2.05	3.25	0.99	2.35
Al ₂ O ₃	1.92	3.06	3.74	4.14	3.56	1.64	3.04	7.03	4.38
FeO	5.25	5.99	7.29	8.55	7.03	5.4	10.74	8.8	8.04
MnO	0.07	0.12	0.07	0.13	0.11	0.11	0.11	0.15	0.17
MgO	14.97	14.61	13.4	12.25	13.36	14.7	13.2	11.64	13.48
CaO	24.39	24.29	24.26	23.15	22.44	22.83	22.42	22.2	21.77
Na ₂ O	0.64	0.51	0.07	0.55	0.47	0.33	0.41	0.52	0.43
Cr ₂ O ₃	0.35	0.13	0.19	0.09	0.25	0.21	0.09	0.07	0.09
NiO	0.04	0.05	0.05	0.05	—	0.07	0.05	0.05	0.08
Сумма	98.92	99.82	100.01	98.08	101.36	98.39	99.77	97.74	99.76
Wo, г/т	49	49	50	49	48	48	46	49	46
En	42	41	38	36	40	43	37	36	40
Fs	8	10	12	14	12	9	17	15	14
Компонент	10	11	12	13	14	15	16	17	18
SiO ₂ , мас. %	48.81	46.91	48.11	48.11	49.40	49.43	51.71	51.45	51.37
TiO ₂	1.87	1.45	2.53	2.53	2.17	1.83	1.87	1.38	1.95
Al ₂ O ₃	1.74	3.95	4.82	4.82	3.84	4.00	1.23	1.37	1.79
FeO	8.29	8.74	5.93	8.39	6.14	6.40	5.30	5.41	5.6
MnO	0.18	0.17	0.12	0.07	0.10	0.10	0.09	0.10	0.09
MgO	13.3	12.03	15.7	12.82	14.20	13.12	15.12	14.40	15.18
CaO	21.69	21.81	22.05	21.56	23.34	23.47	23.55	24.50	23.45
Na ₂ O	0.45	0.46	0.53	0.56	0.62	0.64	0.62	0.69	0.4
Cr ₂ O ₃	0.06	0.05	0.65	0.16	0.06	0.04	0.02	0.04	0.19
NiO	0.08	0.09	0.1	0.08	0.00	0.00	0.02	0.00	0.06
Сумма	96.47	95.66	100.54	99.1	99.87	99.03	99.53	99.34	100.08
Wo, г/т	46	48	45	47	49	50	48	50	48
En	40	37	45	39	41	39	43	41	43
Fs	14	15	10	14	10	11	9	9	9
Компонент	19	20	21	22	23	24	25	26	27
SiO ₂ , мас. %	50.51	51.61	50.39	51.44	51.25	51.52	50.18	47.54	49.65
TiO ₂	2.41	1.77	2.01	1.63	1.79	1.37	2.58	2.72	2.24
Al ₂ O ₃	2.59	1.53	1.96	1.64	1.66	1.42	1.98	2.52	2.05
FeO	5.56	5.15	6	5.05	5.13	4.77	5.49	5.6	6
MnO	0.11	0.11	0.13	0.09	0.09	0.11	0.06	0.08	0.12
MgO	14.21	15.5	14.67	15.3	15.08	15.4	15.81	14.29	14.9
CaO	23.5	23.58	23.46	23.46	23.29	24.97	22.13	24.84	22.37
Na ₂ O	0.47	0.33	0.34	0.36	0.38	0.43	0.55	0.4	0.55
Cr ₂ O ₃	0.36	0.38	0.11	0.51	0.54	0.53	0.14	0.37	0.2
NiO	0.07	0.08	0.07	0.07	0.05	0.05	—	0.04	0.07
Сумма	99.79	100.04	99.14	99.55	99.26	100.57	98.92	98.4	98.15
Wo, г/т	49	48	48	48	48	50	46	51	47
En	41	44	42	44	43	43	45	40	43
Fs	9	8	10	8	8	8	9	9	10

Примечание. 1—13 — маймечинская свита: 1—5 — меймечиты, 6—13 — щелочные пикриты; 14—17 — арыджангская свита, меланефелинит; 18—27 — Гулинский плутон: 18—24 — пироксениты, 25—27 — перидотиты.

Таблица 3. Состав (мас. %) шпинелидов из пород маймечинской и арыджангской свит и Гулинского плутона

№ п/п	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	NiO	Сумма
1	5	6.49	39.43	34.44	0.29	11.96	0	97.61
2	6.2	5.73	37.53	36.86	0.22	11.77	0.17	98.48
3	5.4	6.55	36.94	37.64	0.38	9.7	0	96.61
4	12.46	1.73	21.4	53.41	0.46	7.26	0.39	97.11
5	21.5	4.46	8.2	60.19	1.44	0.16	0.19	96.14
6	21.72	4.45	7.84	60.18	1.28	0.15	0.19	95.81
7	3.38	6.16	51	22.94	0.24	15.01	0.19	98.92
8	3.28	5.45	50.81	22.3	0.12	15.55	0.2	97.71
9	3.82	5.83	47.89	25.04	0.24	13.91	0.16	96.89
10	4.13	6.55	47.22	25.14	0.13	15.62	0.19	98.98
11	4.45	6.26	46.62	27.91	0.18	13.62	0.27	99.31
12	4.26	5.87	45.83	28.94	0.17	14.07	0.14	99.28
13	6.69	6.05	34.66	42.63	0.38	8.27	0.23	98.91
14	1.89	0.15	0	85.81	0.22	1.34	0.23	89.64
15	4.7	5.25	37.08	36.31	0.29	11.81	0	95.44
16	7.07	4.46	32.62	43.31	0.31	10.16	0	97.93
17	8.64	4.66	24.39	38.98	0.25	9.19	0.19	86.3
18	9.69	2.64	19.61	61.06	0.73	1.78	0.12	95.63
19	14.37	0.54	11.22	65.56	0.87	3.49	—	96.05
20	18.09	0.46	2.95	70.21	0.56	3.45	—	95.72
21	18.22	0.95	1.9	70.31	0.72	3.84	—	95.94
22	8.2	5.06	33.07	43.34	0.3	8.57	0.35	98.89
23	12.12	2.68	13.89	61.84	0.31	5.49	0.19	96.52
24	12.54	2.41	14.44	63.22	0.36	5.44	0.4	98.81
25	13.3	4.53	8.1	66.36	0.37	6	0.54	99.2
26	12.42	2.11	6.27	71.56	0.36	3.67	0.45	96.84
27	9.31	4.01	1.79	80.44	0.27	2.46	0.35	98.63
28	4.18	5.7	48.57	24.64	0.22	14.4	0.3	98.01
29	4.81	5.19	46.37	32.52	0.33	9.93	0.39	99.54
30	4.74	5.31	43.74	31.09	0.12	12.79	0.17	97.96
31	4.51	4.62	41.23	40.76	0.51	6.69	0.36	98.68
32	7.85	4.48	35.94	40.21	0.34	8.83	0.35	98
33	7.2	6.3	31.91	44.08	0.34	6.42	0.2	96.45
34	7.93	5.02	31.1	47.06	0.4	6.85	0.26	98.62
35	9.28	1.25	29.16	50.2	0.4	7.07	0.39	97.75
36	7.95	4.29	28.23	48.69	0.27	7.46	0.2	97.09
37	8.02	5.66	27.6	49.03	0.34	7.04	0.35	98.04
38	7.78	5.25	27.71	50.41	0.41	6.89	0.3	98.75
39	9.49	3.26	26.33	49.93	0.42	8.31	0.43	98.17
40	13.63	4.1	23.53	46.79	0.42	9.75	0.32	98.54
41	13.24	2.81	20.16	56.49	0.54	5.88	0.35	99.47
42	15.27	2.92	20.28	49.9	0.45	8.75	0.42	97.99
43	14.27	0.55	19.2	56.8	0.33	6.08	0.23	97.46
44	15.23	3.22	19.17	49.31	0.29	9.99	0.26	97.47
45	16.31	1.46	18.58	54.12	0.41	6.93	0.47	98.28

Примечание. 1—18 — маймечинская свита: 1—14 — меймечиты, 15—18 — пикриты; 19—21 — арыджангская свита, меланефелинит; 22—45 — Гулинский плутон: 22—27 — перидотиты, 28—45 — дуниты.

Рис. 5. Состав хромшпинелидов из пород меймечинской (1), арыджангской (2) свит и дунитов и перидотитов Гулинского плутона (3).

На рис. 5 проиллюстрированы составы хромшпинелидов из вулканитов и пород Гулинского плутона. На диаграмме можно видеть, что составы хромшпинелидов из меймечитов и пород Гулинского плутона практически совпадают.

Следует отметить близость составов минеральных фаз, слагающих меймечиты, с минералами дунитов и клинопироксенитов Гулинского плутона. На приведенных графиках (см. рис. 3—5) показано, что оливин, пироксен и акцессорные хромшпинелиды не имеют существенных различий по составу.

В нашем распоряжении имеется достаточно большой оригинальный и литературный материал по составам расплавных включений в оливинах из меймечитов и пород арыджангской свиты. Для меймечитов использовались данные из литературных источников [Соболев и др., 1991, 2009; Рябчиков и др., 2002, 2009; Панина, Моторина, 2013], где дана достаточно подробная их характеристика, а для расплавных включений из пород арыджангской свиты нами были получены оригинальные данные. Анализировались включения в оливинах из лимбургита и мелилитового оливинсодержащего нефелинита. Результаты исследований по размеру и составу включений, а также составу оливина-хозяина приведены в табл. 4. Как можно видеть из этой таблицы, все эти включения являются высокотитанистыми и щелочными и по составу отвечают ультраосновным фойдитам. Следует отметить, что точки составов расплавных включений из оливинов меймечитов также лежат в поле составов фойдитов арыджангской свиты (см. рис 2). Между собой составы этих включений различаются по содержаниям таких оксидов, как TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Na_2O , а по некоторым оксидам (FeO , CaO , P_2O_5) имеют близкие содержания.

В меймечитах, в отличие от щелочных пикритов, стекловатый базис всегда замещен вторичным хлорит-серпентиновым агрегатом, а в щелочных пикритах он иногда сохраняется в виде частично девитрифицированного стекла. Анализы именно таких стекол имеются в нашем распоряжении (табл. 5). В первом случае (см. табл. 5, ан. 1) анализировалось стекло из субпараллельных прожилков мощностью до 2 см щелочного пикрита, состоящего на 35—40 % из вкрапленников оливина, погруженных в темное стекло. Во втором (см. табл. 5, ан. 2) — примазки черного стекла из эндоконтактной зоны дайки щелочного пикрита, в которой оливин сосредоточен в центральной зоне. Такая же картина наблюдается и в третьем случае (см. табл. 5, ан. 3), где анализировалась стекловатая афанитовая зона дайки. Составы этих стекол, несколько отличаясь друг от друга, соответствуют фойдитам различной щелочности и близки к составам расплавных включений из меймечитов, как это можно видеть на диаграммах (см. рис. 2).

Родственная близость пород этих свит устанавливается также по содержанию редких и редкоземельных элементов (рис. 6). Количество этих элементов в фойдитах несколько выше, чем в меймечитах, но характер распределения однотипен — наблюдаются четко выраженные

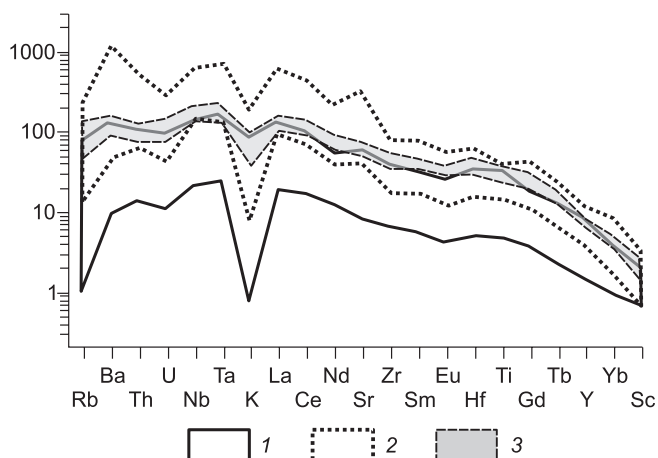


Рис. 6. Спектр распределения редких и редкоземельных элементов для пород меймечинской (1), арыджангской (2) свит и расплавных включений в оливинах из меймечитов (3).

Содержания элементов нормированы к составу примитивной мантии, по [Hofmann, 1988].

Таблица 4. Представительные химические составы расплавленных включений из оливинов пород арыдлангской свиты (мас.%)

Компонент	1944-15*										1940-11									
	8а**	13а	13б	15а	17а	20а	21а	25а	15а	29а	34а	50а	57а	61а	62а	63а				
	30***	40	50	40	20	60	20	15	70	50	60	50	50	70	40	50				
SiO ₂	41.94	42.39	42.46	42.54	42.80	40.86	39.49	41.79	42.92	42.78	42.34	42.19	41.74	43.00	41.97	41.85				
TiO ₂	3.48	3.39	3.20	3.38	3.47	3.50	4.33	3.79	2.87	3.76	2.87	2.91	2.94	3.01	3.05	3.14				
Al ₂ O ₃	11.93	12.49	12.57	12.68	12.80	12.20	10.95	12.76	13.66	11.69	13.47	13.58	12.93	12.86	13.06	13.53				
FeO	12.48	12.25	12.84	11.94	12.86	13.22	13.46	12.08	12.53	11.30	12.88	13.11	13.62	14.22	12.68	13.31				
MnO	0.18	0.23	0.22	0.21	0.23	0.22	0.16	0.19	0.21	0.16	0.22	0.22	0.21	0.23	0.22	0.25				
MgO	7.78	8.16	8.04	7.83	6.86	8.35	7.22	6.82	8.46	9.71	8.57	8.43	8.06	8.86	8.46	8.34				
CaO	10.92	9.55	8.80	9.66	9.59	9.77	13.07	10.74	9.09	14.15	9.88	10.45	10.55	10.16	10.78	9.40				
Na ₂ O	5.82	6.27	6.45	6.44	6.43	6.29	5.80	6.13	5.96	3.32	5.92	5.71	6.14	5.22	5.89	6.28				
K ₂ O	3.68	3.89	4.04	3.96	4.05	3.93	3.08	3.96	3.32	2.25	3.22	3.06	3.05	2.90	3.02	3.26				
P ₂ O ₅	0.62	0.63	0.62	0.64	0.66	0.62	0.82	0.65	0.55	0.49	0.56	0.58	0.54	0.35	0.53	0.53				
Cr ₂ O ₃	0.019	0.008	0.000	0.000	0.006	0.003	0.012	0.063	0.000	0.041	0.000	0.000	0.002	0.000	0.013	0.012				
S	0.102	0.031	0.047	0.027	0.037	0.113	0.166	0.083	0.008	0.033	0.047	0.070	0.068	0.014	0.076	0.015				
Cl	0.048	0.043	0.045	0.043	0.046	0.049	0.043	0.053	0.030	0.004	0.047	0.048	0.047	0.010	0.050	0.044				

Составы оливинов, мас. %																
№, ат. %	80.7	80.1	77.9	81.0	80.3	81.3	82.5	81.6	79.6	81.1	78.9	80.0	78.7	78.3	79.9	80.3
SiO ₂	39.05	39.37	38.53	38.66	37.71	38.36	39.47	38.53	37.50	38.55	39.12	38.56	40.00	38.82	38.43	39.95
TiO ₂	0.031	0.044	0.051	0.030	0.026	0.024	0.033	0.028	0.044	0.026	0.036	0.031	0.035	0.037	0.034	0.027
Al ₂ O ₃	0.020	0.027	0.024	0.021	0.018	0.017	0.024	0.021	0.024	0.024	0.023	0.031	0.027	0.029	0.026	0.023
FeO	17.93	18.41	20.10	17.59	18.19	17.14	16.32	17.10	19.12	17.02	19.50	18.24	19.18	19.51	18.48	18.15
MnO	0.342	0.362	0.419	0.320	0.354	0.312	0.274	0.311	0.367	0.301	0.384	0.346	0.367	0.376	0.351	0.337
MgO	42.12	41.66	39.75	41.99	41.57	41.91	43.11	42.57	41.80	41.09	40.81	40.87	39.72	39.55	41.11	41.44
CaO	0.601	0.647	0.742	0.517	0.583	0.505	0.510	0.569	0.802	0.545	0.789	0.850	0.750	0.709	0.701	0.612
NiO	0.117	0.109	0.083	0.121	0.122	0.124	0.135	0.124	0.118	0.140	0.113	0.125	0.115	0.116	0.122	0.125
CoO	0.030	0.031	0.032	0.030	0.029	0.029	0.029	0.027	0.031	0.029	0.034	0.031	0.033	0.035	0.032	0.029
Cr ₂ O ₃	0.010	0.008	0.004	0.008	0.012	0.010	0.010	0.018	0.008	0.011	0.005	0.008	0.007	0.008	0.009	0.013

* Номер образца.

** Номер точки.

*** Размер включения, мкм.

минимумы для Rb и K и максимумы для Nb и Ta. Содержания всех редких и редкоземельных элементов в расплавных включениях в оливинах меймечитов соответствуют таковому в фойдитах. Одиночные определения этих элементов в расплавных включениях в оливинах из оливиновых меланефелинитов арыджангской свиты в районе Крестовского массива [Panina, Usoltseva, 2008; Панина, Моторина, 2013] и стекла из афанитовой закраины дайки [Arndt et al., 1995] повторяют распределения этих элементов в расплавных включениях из меймечитов и в фойдитах арыджангской свиты.

Отношения некоторых индикаторных элементов (Nb/Ta, Ba/La, U/Th, Ta/La и др.) для пород маймечинской и арыджангской свит имеют постоянные значения и практически не зависят от изменения магнезиальности пород (рис. 7), что определяется общностью источника исходных расплавов. В свою очередь, отношение La/Yb в фойдитах значительно выше, чем в меймечитах и расплавных включениях из оливинов меймечитов. Это, вероятнее всего, свидетельствует, что породы арыджангской свиты являются результатом фракционирования исходного расплава. По соотношению $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ меймечиты (0.7030—0.7042) и породы арыджангской свиты (0.7034—0.7040) показывают также близкие значения [Когарко и др., 1988, 1999; Arndt et al., 1995, 1998; Fedorenko et al., 2000; Carlson et al., 2006; Гертнер и др., 2009].

Таблица 5. Состав стекловатого базиса из щелочных пикритов (мас. %)

Компонент	1	2	3
SiO ₂	40.9	38.6	40.9
TiO ₂	5.3	4.82	5.57
Al ₂ O ₃	7.4	7.92	8.88
Fe ₂ O ₃	3.65	4.62	—
FeO	11.28	10.15	14.77
MnO	0.21	0.22	0.23
MgO	13.1	12.33	7.9
CaO	12.95	12.4	12.83
Na ₂ O	0.67	0.55	5.87
K ₂ O	0.8	2.58	2.23
P ₂ O ₅	0.69	0.84	0.84
П.п.п.	2.64	4.84	0.58
Сумма	99.59	99.87	100.6

Примечание. 1 — стекловатый базис из жилки щелочного пикрита; 2 — примазки стекла в эндоконтакте дайки щелочного пикрита; 3 — обр.178К, пикрит, стекловатая закраина дайки [Arndt, 1995].

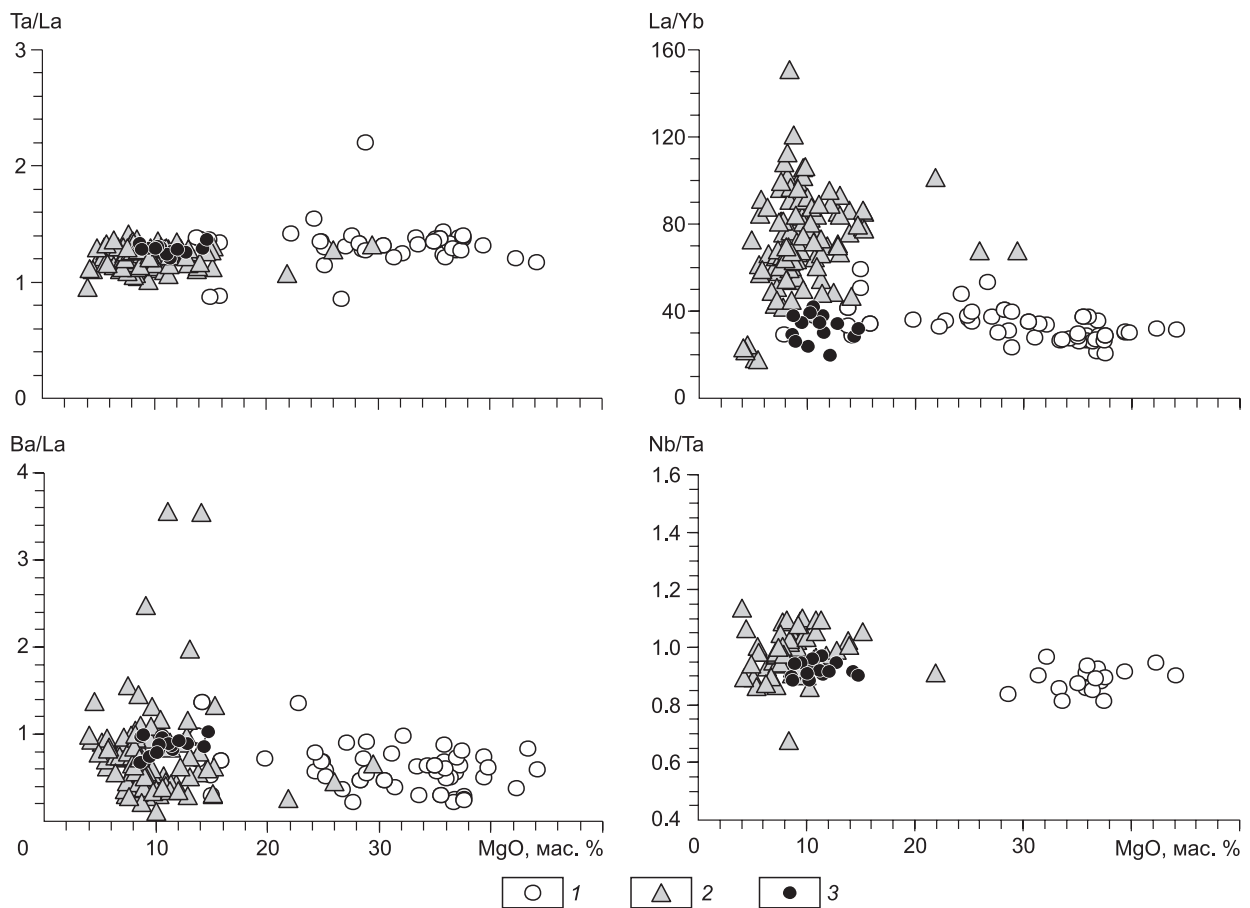


Рис. 7. Диаграммы индикаторные отношения—MgO для пород маймечинской (1), арыджангской (2) свит и расплавных включений в оливинах из меймечитов (3).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Среди магматических пород Сибирской платформы щелочно-ультраосновные образования, представленные вулканогенной толщей и интрузивными комплексами, занимают незначительный объем. По своему составу они существенно отличаются от пород трапповой формации и выделены в самостоятельную провинцию. Большинство исследователей при изучении щелочно-ультраосновного магматизма Маймеча-Котуйской провинции обращало и обращает основное внимание на сложнопостроенные интрузивные комплексы, с которыми связаны месторождения и рудопроявления различных полезных ископаемых. При этом многие петрологи считают, что мафит-ультрамафитовый комплекс, слагающий значительный объем таких интрузивных тел, как Гулинский плутон, интрузии Бор-Урях, Одихинча и др., является самостоятельным проявлением и не имеет ничего общего с более поздними щелочными комплексами и карбонатитами [Егоров, 1991; Расс, 2000; Панина, Моторина, 2013; Малич и др., 2015]. Хотя существуют и другие представления о формировании многообразия пород таких комплексов в процессе эволюции щелочно-ультраосновного расплава [Vasiliev, Zolotukhin, 1995; Мамаева, 2006; Рябчиков, Когарко, 2016; и др.].

Много меньше внимания уделялось изучению мощной вулканогенной толщи, сложенной породами разнообразного состава от ультраосновных меймечитов до толеитов. Среди вулканитов первое место по степени изученности занимают меймечиты, образующие маймечинскую свиту ультраосновных лав, залегающих в верхах разреза. В то же время щелочные породы, составляющие существенную часть объема толщи (прежде всего, арыджангская и дельканская свиты), оставались менее изученными. На раннем этапе рассматривался их минералого-петрографический и петрохимический состав, а также вопросы стратификации [Бутакова, Егоров, 1962; Жук-Почекутов и др., 1965; Шихорина, 1970]. В дальнейшем появились работы, характеризующие геохимические и изотопные особенности этих пород, а также их возрастные датировки [Basu et al., 1995; Arndt et al., 1995, 1998; Kamo et al., 2003; Burgess, Bowring, 2015; и др.]. В этом плане следует отметить работу Федоренко В.А. с коллегами [Fedorenko et al., 2000], которые, изучая породы арыджангской свиты, выделяют в ее составе несколько геохимических групп, имеющих, по их мнению, единый мантийный источник. То, что фойдиты являются результатом плавления мантийного субстрата, у исследователей сомнения не вызывает, хотя есть некоторые различия в понимании этого процесса [Basu et al., 1995; Fedorenko et al., 2000; Панина, Моторина, 2013].

Меймечиты как вулканические породы ультраосновного состава давно привлекают внимание исследователей и изучены достаточно хорошо. Характерной их особенностью является не только высокое содержание магния, но и необычайно высокая концентрация некогерентных и редкоземельных элементов. Исследователи этих пород однозначно приходили к выводу, что исходные расплавы для меймечитов генерировались на больших глубинах при частичном плавлении метасоматически измененного мантийного субстрата [Соболев и др., 1972; Соболев, Слуцкий, 1984; Когарко, Рябчиков, 1995; Arndt et al., 1995, 1998; Carlson et al., 2006; Рябчиков и др., 2009]. Наиболее полно и убедительно проблема генезиса исходного расплава, продуцирующего меймечиты, рассмотрена в петролого-геохимической модели, предложенной А.В. Соболевым и С.В. Соболевым с коллегами [Соболев и др., 2009; Sobolev et al., 2011]. В этой модели обосновано, что исходный расплав, продуцирующий меймечиты, соответствовал высокомагнезиальному щелочному пикриту. Этот расплав возникал при высоких температурах в процессе сложного взаимодействия рециклированной океанической коры с мантийным субстратом. В дальнейшем он мог изливаться на поверхность или кристаллизоваться на различных глубинах. В первом случае этот расплав быстро поднимался в верхние горизонты земной коры, что подтверждается изотопными отношениями $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$, свидетельствующими о практически полном отсутствии ассимиляционных процессов, и концентрировался в промежуточных очагах. Здесь происходила кристаллизация оливина, и такой расплав с многочисленными кристаллами оливина изливался на поверхность, формируя лавовую толщу, дайки и диатремы меймечитов и щелочных пикритов.

Состав оливина в процессе кристаллизации изменялся в сторону увеличения железистости, а состав остаточного расплава, как установлено при изучении расплавных включений в оливинах меймечитов, приближался к составу фойдитов. Такой тренд подтверждается не только изучением расплавных включений, но и анализом природных стекол из ультраосновных дайковых пород. Эти стекла по составу оказались близки к фойдитам (см. табл. 5, рис. 2). Полученные результаты позволяют предполагать, что при аккумуляции кристаллов оливина в промежуточном очаге мы будем иметь ультрамафитовую кристаллическую часть и жидкость фойдитового состава. Вполне логично считать, что разнообразные фойдиты арыджангской свиты образовались именно таким образом в процессе дифференциации щелочно-ультраосновного расплава.

Мы считаем, что полученный нами разнообразный аналитический материал, характеризующий фойдиты арыджангской свиты, подтверждает генетическую близость меймечитов и фойдитов как пород сформировавшихся из близких по составу исходных расплавов. Существенное различие между породами арыджангской и маймечинской свит установлено по содержанию MgO , что хорошо объяснимо аккумуляцией

муляцией оливина. Различия по содержаниям других оксидов не столь значительны. Породообразующие минералы также подтверждают возможность этого процесса. Родственная близость меймечитов и фойдитов и связь их с единой магматической системой особенно четко проявляются по содержанию и распределению элементов-примесей, в том числе РЗЭ, в породах и расплавах включениях в оливинах. Еще одним фактом, подтверждающим родство этих пород, является постоянство индикаторных отношений редких элементов (см. рис. 7), а также отношения La/Yb, свидетельствующие о том, что фойдиты являются результатом фракционирования исходного магнезиального расплава. Присутствие потоков щелочных пикритов (близких по составу к меймечитам) в разрезе арыджангской свиты и наличие зерен высокомагнезиального оливина в фойдитах можно рассматривать как косвенное подтверждение тесной генетической взаимосвязи этих пород.

Вполне вероятно, что при соответствующих параметрах кристаллизации и эволюции исходного высокомагнезиального щелочно-пикритового расплава могут также возникать щелочно-ультраосновные интрузивные комплексы с закономерной гомодромной последовательностью формирования интрузивных фаз.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сравнительный анализ обширного объема геохимической информации по меймечит-пикритам маймечинской свиты и фойдитам арыджангской свиты, а также расплавленным включениям в оливинах из этих пород показал их генетическую близость, свидетельствующую об их связи с единой магматической системой, пульсационно продуцирующей крупные объемы щелочно-ультраосновных расплавов. Дальнейшая эволюция таких расплавов в различных *P-T* условиях приводит к формированию на поверхности меймечитовых или фойдитовых лав, или становлению сложнопостроенных интрузивных комплексов.

Исследования выполнены в рамках научно-исследовательской темы ИГМ СО РАН № 0330-2016-0014 и при поддержке грантов РФФИ 16-05-00945 и РНФ 14-17-00602.

ЛИТЕРАТУРА

Бутакова Е.Л., Егоров Л.С. Маймеча-котуйский комплекс щелочных и ультраосновных формаций // Петрография Восточной Сибири. Т. 1. М., Изд-во АН СССР, 1962, с. 417—589.

Васильев Ю.Р. Ультраосновной магматизм Сибирской платформы: Автореф. дис.... к.г.-м. н. Новосибирск, ИГиГ СО АН СССР, 1983, 33 с.

Васильев Ю.Р., Золотухин В.В. Петрология ультрабазитов севера Сибирской платформы и некоторые проблемы их генезиса. Новосибирск, Наука, 1975, 270 с.

Васильев Ю.Р., Гора М.П. Геология меймечитов севера Сибирской платформы // ДАН, 2012, т. 445, №3, с. 299—302.

Васильев Ю.Р., Гора М.П. Меймечит-пикритовые ассоциации Сибири, Приморья и Камчатки (сравнительный анализ, вопросы петрогенезиса) // Геология и геофизика, 2014, т. 55 (8), с. 1211—1225.

Васильев Ю.Р., Гора М.П. Особенности формирования разновозрастных меймечит-пикритовых ассоциаций из разноструктурных регионов Сибири и Дальнего Востока // Тихоокеанская геология, 2016, т. 35, № 1, с. 81—91.

Гертнер И.Ф., Врублевский В.В., Сазонов А.М., Краснова Т.С., Колмаков Ю.В., Звягина Е.А., Тишин П.А., Войтенко Д.Н. Изотопный состав и магматические источники Крестовского вулканоплутона, Полярная Сибирь // ДАН, 2009, т. 427, № 3, с. 370—376.

Гладких В.С., Жук-Почекутов К.А., Леонтьев Л.Н. Редкие элементы в щелочной эффузивной ассоциации Маймеча-Котуйской провинции (северо-запад Сибирской платформы) // Петрология и геохимические особенности комплекса ультрабазитов, щелочных пород и карбонатитов. М., Наука, 1965, с. 91—126.

Гусев Б.В. Палеомагнитная корреляция и возрастные взаимоотношения магматических образований Маймеча-Котуйской провинции // Карбонатиты и щелочные породы севера Сибири. Л., НИИГА, 1970, с. 15—28.

Егоров Л.С. Ийолит-карбонатитовый плутонизм. Л., Недра, 1991, 260 с.

Егоров Л.С., Сурина Н.П. Меймечиты севера Сибири (геолого-петрографические особенности и взаимоотношения с Гулинской интрузией ультраосновных-щелочных пород и карбонатитов) // Апатитность севера Сибири. Л., НИИГА, 1976, с. 19—26.

Жук-Почекутов К.А., Гладких В.С., Леонтьев Л.Н. Ассоциация щелочных базальтоидов — базальтов Маймеча-Котуйской вулканоплутонической формации // Петрология и геохимические особенности комплекса ультрабазитов, щелочных пород и карбонатитов. М., Наука, 1965, с. 5—90.

Исакова А.Т., Панина Л.И., Рокосова Е.Ю. Карбонатитовые расплавы и генезис апатитового оруденения на Гулинском плутоне (север Восточной Сибири) // Геология и геофизика, 2015, т. 56 (3), с. 595—607.

Когарко Л.Н., Рябчиков И.Д. Условия генерации меймечитовых магм (Полярная Сибирь) по геохимическим данным // Геохимия, 1995, № 12, с. 1699—1709.

Когарко Л.Н., Карпенко С.Ф., Ляликов А.В., Тептелев М.П. Изотопные критерии генезиса меймечитового магматизма // ДАН, 1988, т. 301, № 4, с. 939—942.

Когарко Л.Н., Хендерсон М., Фоланд К. Эволюция и изотопные источники Гулинского ультраосновного щелочного массива (Полярная Сибирь) // ДАН, 1999, т. 364, № 2, с. 235—237.

Лагута О.Н. Петрология и минералогия мезозойских лав Маймеча-Котуйской провинции: Автореф. дис. к.г.-м.н. Новосибирск, ОИГТМ СО РАН, 1993, 25 с.

Леонтьев Л.Н., Жук-Почекутов К.А., Гладких В.С. К вопросу о так называемой щелочно-ультраосновной формации (на примере Маймеча-Котуйской провинции Сибирской платформы) // Петрология и геохимические особенности комплекса ультрабазитов, щелочных пород и карбонатитов. М., Наука, 1965, с. 127—159.

Малич К.Н., Хиллер В.В., Баданина И.Ю., Белоусова Е.А. Результаты датирования ториянита и бадделейта карбонатитов Гулинского массива (Россия) // ДАН, 2015, т. 464, № 4, с. 464—467.

Мамаева Е.И. К вопросу о распределении редкоземельных элементов в породах Гулинского массива (Маймеча-Котуйская провинция) // Вестник СПбГУ, 2006, сер. 7, вып. 4, с. 107—111.

Панина Л.И., Моторина И.В. Меймечиты, щелочные пикритовые порфириды и меланефелиниты Сибири: условия кристаллизации, родоначальные магмы, источники // Геохимия, 2013, № 2, с. 122—144.

Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание второе. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2008, 200 с.

Расс И.Т. Мелилитовые породы щелочно-ультраосновных комплексов северо-запада Сибири: петрохимия, геохимия, генезис // Геохимия, 2000, № 10, с. 1098—1108.

Рябчиков И.Д., Когарко Л.Н. Глубокая дифференциация щелочно-ультраосновных магм: формирование карбонатитовых расплавов // Геохимия, 2016, № 9, с. 771—779.

Рябчиков И.Д., Соловова И.П., Когарко Л.Н., Брай Г.П., Нтафлос Т., Симакин С.Г. Термодинамические параметры генерации меймечитов и щелочных пикритов Маймеча-Котуйской провинции (по данным изучения расплавных микровключений) // Геохимия, 2002, № 11, с. 1139—1150.

Рябчиков И.Д., Когарко Л.Н., Соловова И.П. Физико-химические условия маглообразования в основании Сибирского плюма по данным исследования расплавных микровключений в меймечитах и щелочных пикритах Маймеча-Котуйской провинции // Петрология, 2009, т. 17, № 3, с. 311—323.

Сазонов А.М., Звягина Е.А., Леонтьев С.И., Гертнер И.Ф., Краснова Т.С., Колмаков Ю.В., Панина Л.И., Чернышов А.И., Макеев С.М. Платиноносные щелочно-ультраосновные интрузии Полярной Сибири. Томск, Изд-во Томск. ЦНТИ, 2001, 510 с.

Соболев А.В., Слуцкий А.Б. Состав и условия кристаллизации исходного расплава сибирских меймечитов в связи с общей проблемой ультраосновных магм // Геология и геофизика, 1984 (12), с. 97—110.

Соболев А.В., Каменецкий В.С., Кононкова Н.Н. Новые данные по петрологии сибирских меймечитов // Геохимия, 1991, № 8, с. 1084—1095.

Соболев А.В., Соболев С.В., Кузьмин Д.В., Малич К.Н., Петрунин А.Г. Механизм образования сибирских меймечитов и природа их связи с траппами и кимберлитами // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (12), с. 1293—1334.

Соболев В.С., Панина Л.И., Чепуров А.И. О температурах кристаллизации минералов в меймечитах по результатам гомогенизации расплавных включений // ДАН СССР, 1972, т. 205, № 1, с. 201—204.

Сихорина К.М. Вулканические образования Маймеча-Котуйской провинции // Карбонатиты и щелочные породы севера Сибири. Л., Изд-во НИИГА, 1970, с. 5—14.

Arndt N., Lehnert K., Vasil'ev Y. Meimechites: highly magnesian lithosphere-contaminated alkaline magmas from deep subcontinental mantle // Lithos, 1995, v. 34, p. 41—59.

Arndt N., Chauvel C., Czamanske G., Fedorenko V. Two mantle sources, two plumbing systems: tholeiitic and alkaline magmatism of the Maymecha River basin, Siberian flood volcanic province // Contrib. Mineral. Petrol., 1998, v. 133, p. 297—313.

Basu A.R., Poreda R.J., Teichmann F., Vasiliev Yu.R., Sobolev N.V., Turin B.D. High-³He plume origin and temporal-spatial evolution of the Siberian Flood basalts // Science, 1995, v. 269, p. 822—825.

Burgess S.D., Bowring S.A. High-precision geochronology confirms voluminous magmatism before, during, and after Earth's most severe extinction // Sci. Adv., 2015, №1, e1500470.

Carlson R.W., Czamanske G., Fedorenko V., Ilupin I. A comparison of Siberian meimechites and kimberlites: Implications for the source of high-Mg alkalic magmas and flood basalts // *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 2006, v. 7, № 11, Q11014.

Dalrymple G.B., Czamanske G.K., Fedorenko V.A., Simonov O.N., Lanphere M.A., Likhachev A.P. A reconnaissance $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ geochronological study of ore-bearing and related rocks, Siberian Russia // *Geochim. Cosmochim. Acta*, 1995, v. 59, p. 2071-2083.

Elkins-Tanton L.T., Draper D.S., Agee C.B., Jewell J., Thorpe A., Hess P.C. The last lavas erupted during the main phase of the Siberian flood volcanic province: results from experimental petrology // *Contr. Miner. Petrol.*, 2007, v. 153, p. 191—209.

Fedorenko V.A., Czamanske G.K. Results of new field and geochemical studies of the volcanic and intrusive rocks of the Maymecha-Kotuy area, Siberian flood-basalt province, Russia // *Int. Geol. Rev.*, 1997, v. 39, p. 479—531.

Fedorenko V., Czamanske G., Zen'ko T., Budahn J., Siems D. Field and geochemical studies of the melilite-bearing Arydzhangsky Suite, and an overall perspective on the Siberian alkaline-ultramafic flood-volcanic rocks // *Int. Geol. Rev.*, 2000, v. 42, p. 769—804.

Hofmann A.W. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1988, v. 90, p. 297—314.

Jarosewich E.J., Nelen J.A., Norberg J.A. Reference samples for electron microprobe analyses // *Geostand. Newslett.*, 1980, № 4, p. 43—47.

Jochum K.P., Weis U., Stoll B., Kuzmin D., Yang Q., Raczek I., Jacob D.E., Stracke A., Birbaum K., Frick D.A., Günther D., Enzweiler J. Determination of reference values for NIST SRM 610-617 glasses following ISO Guidelines // *Geostand. Geoanal. Res.*, 2011, v. 35, № 4, p. 397—429.

Kamo S.L., Czamanske G.K., Amelin Yu., Fedorenko V.A., Davis D.W., Trofimov V.R. Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence for coincidence with the Permian-Triassic boundary and mass extinction at 251 Ma // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 2003, v. 214, p. 75—91.

Panina L.I., Usoltseva L.M. Alkaline-ultrabasic mantle-derived magmas, their sources, and crystallization feature: Data of melt inclusion studies // *Lithos*, 2008, v. 103, p. 431—444.

Sobolev A.V., Hofmann A.W., Kuzmin D.V., Yaxley G.M., Anderson A.T., Arndt N.T., Chung S-L, Garcia M.O., Gurenko A.A., Danyushevsky L.V., Elliott T., Frey F.A., Kamenetsky V.S., Kerr A.C., Krivolutskaya N.A., Matvienkov V.V., Nikogosian I.K., Rocholl A., Suschevskaya N.M., Teklay M. Estimating the amount of recycled crust in sources of mantle-derived melts // *Science*, 2007, v. 316, p. 412—417.

Sobolev N.V., Logvinova A.M., Zedgenizov D.A., Pokhilenko N.P., Malygina E.V., Kuzmin D.V., Sobolev A.V. Petrogenetic significance of minor elements in olivines from diamonds and peridotite xenoliths from kimberlites of Yakutia // *Lithos*, 2009, v. 112S, p. 701—713.

Sobolev S.V., Sobolev A.V., Kuzmin D.V., Krivolutskaya N.A., Petrunin A.G., Arndt N.T., Radko V.A., Vasiliev Y.R. Linking mantle plumes, large igneous provinces and environmental catastrophes // *Nature*, 2011, v. 477, p. 312—316.

Stoll B., Jochum K.P., Herwig K., Amini M., Flanz M., Kreuzburg B., Kuzmin D., Willbold M., Enzweiler J. An automated Iridium-strip-heater for LA-ICP-MS bulk analysis of geological samples // *Geostand. Geoanal. Res.*, 2008, v. 32, p. 5—26.

Vasiliev Yu.R., Zolotukhin V.V. The Maimecha-Kotui alkaline-ultramafic province of the northern Siberian platform, Russia // *Episodes*, 1995, v.18, № 4, p. 155—164.

*Рекомендована к печати 1 сентября 2016 г.
Н.В. Соболевым*

*Поступила в редакцию
15 марта 2016 г.*