

МЕЙМЕЧИТ-ПИКРИТОВЫЕ АССОЦИАЦИИ СИБИРИ, ПРИМОРЬЯ И КАМЧАТКИ (сравнительный анализ, вопросы петрогенезиса)

Ю.Р. Васильев^{1,2}, М.П. Гора¹

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

Анализ петрохимической и геохимической информации одного уровня, характеризующий породы и первичные расплавные включения из оливинов разновозрастных меймечит-пикритовых ассоциаций Сибири (Маймеча-Котуйская провинция), Приморья (Сихотэ-Алинь) и Камчатки, показал, что, несмотря на внешнее сходство и одинаковый структурный рисунок пород, они существенно различаются по содержаниям и распределению некогерентных и редкоземельных элементов, а также составу и трендам эволюции исходных высокотемпературных и высокомагнезиальных расплавов.

Меймечит-пикритовые ассоциации, сравнительный анализ, геохимия, петрогенезис.

MEIMECHITE–PICRITE ASSOCIATIONS IN SIBERIA, PRIMORYE, AND KAMCHATKA (comparative analysis and petrogenesis)

Yu.R. Vasil'ev and M.P. Gora

Analysis of petrochemical and geochemical information on rocks and primary melt inclusions from olivines of meimechite–picrite associations of different ages in Siberia (Maimecha–Kotui province), Primorye (Sikhote-Alin), and Kamchatka was made. It showed that the rocks, despite their similar appearance and identical structural patterns, differ considerably in the contents and distribution of incompatible and rare-earth elements and in the composition and evolution trends of parental high-temperature highly magnesian melts.

Meimechite–picrite associations, comparative analysis, geochemistry, petrogenesis

ВВЕДЕНИЕ

Меймечит-пикритовые ассоциации представляют интерес для петрологов как возможные индикаторы глубинных процессов генерации высокомагнезиальных пикритоидных расплавов, формирующих самостоятельные крупнообъемные проявления, а также ряды вулканических и интрузивных пород мафит-ультрамафитового состава, с которыми связаны различные рудные проявления и месторождения.

Среди проявлений этих пород выделяются разнообразные по фациальной принадлежности, геологическому положению и возрасту крупнообъемные образования на Сибирской платформе (СП), в Приморье и на Камчатке. Все породы имеют внешнее сходство и простой минеральный состав (по сути, они состоят из переменного количества вкрапленников магнезиального оливина и клинопироксена в основной массе), хотя формируются в различных геодинамических обстановках. В нашем распоряжении имеется большой объем оригинального фактического материала и данные из литературных источников. Это нам позволило провести сопоставление пород из исследуемых регионов по совокупности целого ряда признаков: по петрохимическим и геохимическим особенностям, в том числе по распределению редкоземельных элементов (РЗЭ), по изотопным отношениям, по результатам изучения первичных расплавных включений в породообразующих оливинах.

Проведенный сравнительный анализ пород меймечит-пикритовых ассоциаций показал, что они имеют фактически одинаковый характер проявлений магматизма в виде вулканогенных образований, дайковых, пластовых тел и диатрем. Им свойственно внешнее сходство пород и близкое количественное соотношение породообразующих минералов. При этом между собой они различаются по целому ряду петрохимических и главным образом геохимических признаков. В результате проведенных исследований установлено, что исходные расплавы, формирующие породы этих ассоциаций, имели различный, но высокомагнезиальный состав и разнонаправленные эволюционные тренды.

В соответствии с петрографическим кодексом [Петрографический кодекс..., 2008] все породы изученных меймечит-пикритовых ассоциаций относятся к пикритам, ультраосновным и частично основным пикробазальтам нормальной, реже умеренной щелочности. Термин «меймечит» рекомендуется

использовать ограниченно, как местный, применительно к высокомагнезиальным и высокотитанистым пикритам с большим количеством крупнопорфировых выделений оливина и аномально высоким содержанием некогерентных и редкоземельных элементов, которые встречаются в бассейне р. Маймечы.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ МЕЙМЕЧИТ-ПИКРИТОВЫХ АССОЦИАЦИЙ

К наиболее крупным проявлениям меймечит-пикритового магматизма относятся разнофациальные образования Маймечы-Котуйской провинции, Сихотэ-Алиня и Камчатки. Остановимся на их характеристике.

Породы меймечит-пикритовой ассоциации Маймечы-Котуйской провинции севера Сибирской платформы пространственно ассоциируют с ультрабазитами Гулинского плутона, располагаясь в его юго-западной части (рис. 1) в виде разобщенных полей, наиболее крупное из которых (около 60 км²) находится в бассейне р. Маймечы [Бутакова, Егоров, 1962; Егоров, 1991; Vasiliev, Zolotukhin, 1995]. Не исключено, что часть меймечитового поля закрыта молодыми отложениями Енисей-Хатангской впадины. Геологическое положение меймечитов и характер их взаимоотношений с другими породами трактуются исследователями по-разному. В первые годы изучения Маймечы-Котуйского района большинство геологов, вслед за Ю.М. Шейнманном [1968], считали меймечиты пологой стратифицированной или конфокальной интрузией, внедрившейся во вторую фазу становления Гулинского ультраосновного плутона. В дальнейшем, после описания среди меймечитов туфоподобных пород того же состава [Бутакова, Егоров, 1962], мнение многих петрологов склонилось в пользу их эффузивной природы. При этом ряд исследователей утверждает, что излияние меймечитов, венчающих стратиграфический разрез пермотриасовой вулканогенной толщи района, происходило до внедрения ультраосновной Гулинской интрузии, в то время как другие геологи считают, что меймечиты залегают на эродированной поверхности дунитов Гулинского плутона, вместе с которыми они подверглись метасоматическим преобразованиям под воздействием более молодых щелочных интрузий и генерируемых ими растворов [Жук-Почкутов и др., 1965; Васильев, Гора, 2012].

Детальные геологические наблюдения свидетельствуют, что туфолавовая толща меймечитов формировалась в сложных тектонических условиях в краевой зоне Енисей-Хатангского рифта, с перемещением блоков пород и образованием крупной депрессионной структуры, по бортам которой в зонах пересечения разломов располагаются вулканические постройки.

Разрез туфолавовой толщи меймечитов, судя по коренным обнажениям, достаточно однообразен и представлен преимущественно лавами с переменным количеством крупных вкрапленников оливина, которые иногда образуют скопления в виде линзовидных полос. Общая мощность толщи оценивается разными исследователями от 600 до 2000 м [Бутакова, Егоров, 1962; Егоров, 1991]. Для центральных частей потоков типичны порфировидные полнокристаллические структуры. Маломощные потоки меймечитов, отмеченные в разрезе горы Ленкос-Кая, содержат незначительное количество вкрапленников оливина, а иногда представляют собой миндалекаменные (шлакоподобные) образования. В этом же разрезе наблюдается чередование лав со слоями пирокластического материала различной крупности.

Кроме вулканических образований меймечиты также представлены субинтрузивными телами, среди которых преобладают многочисленные разнообразные по морфологии дайки. Выделяются прижерловые дайки сложной морфологии, сосредоточенные в обнажениях южного склона горы Ленкос-Кая, многочисленные субпараллельные дайки в русловых отложениях р. Маймечы, секущие лавовую толщу меймечитов, и одиночные крупные дайки северо-восточного простирания пикритового состава. Мощность даек обычно

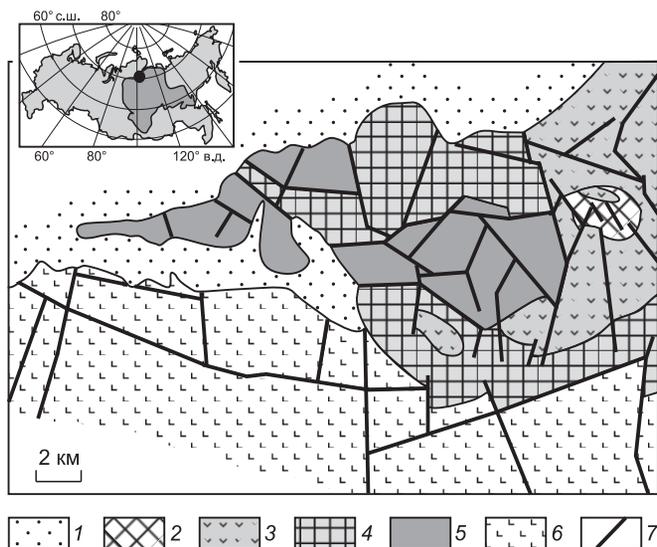
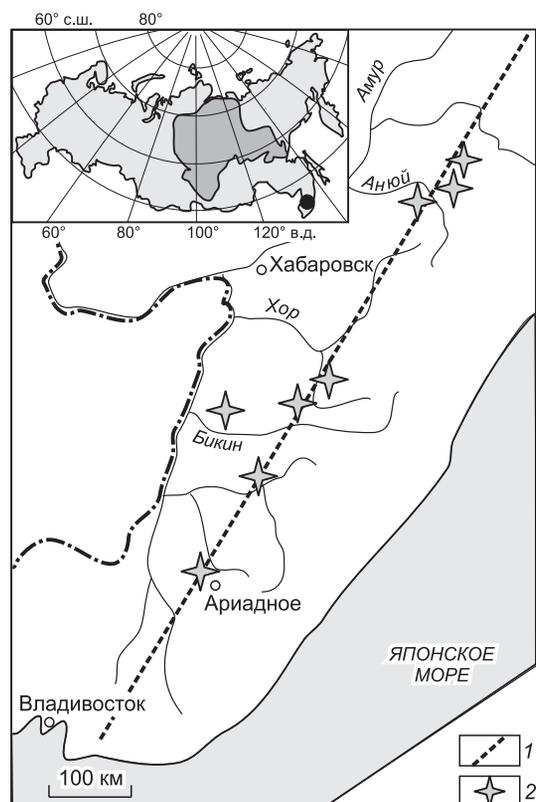


Рис. 1. Геолого-структурное положение пород меймечит-пикритовых ассоциаций в западной части Гулинского плутона, по [Егоров, 1991].

Здесь и далее — на врезке показан район исследования. 1 — четвертичные отложения; 2—4 — породы Гулинского плутона: 2 — карбонатиты, 3 — породы щелочного комплекса, 4 — дуниты; 5 — меймечиты маймечинской свиты; 6 — пермотриасовые вулканические образования (базальты, трахибазальты, андезиты и др.); 7 — тектонические нарушения.

Рис. 2. Схема распространения пород меймечит-пикритовых ассоциаций в Приморье (Сихотэ-Алинь) [Щека, 1977].

1 — «меймечитовая» линия; 2 — участки проявлений меймечит-пикритовых пород.



не превышает 1.5—2.0 м. Для внутреннего строения дайковых тел характерна полосчатая текстура за счет концентрации вкрапленников оливина в центральных частях. Среди дайковых тел выделяются не только меймечиты, но и пикриты, отличающиеся более свежим обликом, наличием примазок стекла в приконтактных зонах и присутствием в основной массе скоплений мелкочешуйчатого биотита [Васильев, Золотухин, 1975].

Следует отметить полное сходство дайковых и лавовых меймечитов по составу минеральных фаз, примесным элементам, а также по степени их серпентинизации. Стекловатый базис у дайковых и лавовых меймечитов полностью замещен серпентин-хлоритовым агрегатом.

Время излияния меймечитов оценивается по соотношению $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ в биотите в 246.0 ± 1.2 млн лет [Dalgumple et al., 1995], а возраст Гулинского плутона, определенный по $^{206}\text{Pb}/^{238}\text{U}$ в бадделеите из карбонатов, являющихся последней фазой становления плутона, составляет 250.2 ± 0.3 млн лет. По нашим представлениям [Васильев, Гора, 2012], основанным на геологических наблюдениях и возрастных датировках, меймечитовый вулканизм был существенно оторван от вулканического процесса Маймеча-Котуйской провинции. Это подтверждается следующими фактами: 1) локальное поле меймечитов расположено в депрессионном понижении, ограниченном разломами; 2) меймечиты частично лежат на эродированной поверхности дунитов Гулинского плутона и содержат ксенолиты дунитов; 3) разрыв во времени между формированием Гулинского плутона, прорывающего вмещающие вулканические породы, и излиянием меймечитов на эродированную поверхность дунитов этого плутона составляет 4.0—4.5 млн лет.

Другое крупное проявление меймечит-пикритовых пород было обнаружено в Приморье, в районе Сихотэ-Алиня. Предполагается, что все известные выходы меймечитов Сихотэ-Алиня в региональном плане располагаются вдоль «меймечитовой» линии северо-восточного простирания, отражающей, по видимому, границу ханкайского фундамента (рис. 2), частично перекрытую палеозойским чехлом [Щека, 1977]. По геофизическим данным этот район имеет сложное геологическое строение, характерное для переходной зоны океан—континент [Петрищевский, 2011; Тимофеев и др., 2012]. Меймечиты ассоциируют, как правило, с небольшими интрузивными телами ультрамафитов и вулканитами основного состава.

Проявления меймечитов располагаются в нескольких участках. В северной части главного антиклинория, в зоне субмеридионального разлома, по развалам в русле ручья С.С. Зимин с соавторами [1965] описали мощную (10—20 м) дайку меймечитов, состоящих на 40—60 % из крупных вкрапленников оливина, погруженных в измененную основную массу с микролитами титанистого авгита и рудной вкрапленностью. На другом участке, в бассейнах рек Ануй, Поди, Гобилли и Джаур, среди вулканогенно-кремнистых образований джаурской свиты юрского возраста М.В. Мартынюк [1972] описал около 20 силлов и дайковых тел меймечитов, меймечит-перидотитов и перидотитов мощностью от десятков сантиметров до ста метров и протяженностью до 1 км. Дайки меймечитов нередко имеют афанитовые эндоконтактные зоны и полосчатое строение центральных частей, обогащенных оливином. Центральные части пластовых тел, как правило, полнокристаллические и по составу соответствуют перидотитам (верлитам), но содержат иногда реликты стекла. Эндоконтактные зоны этих интрузий сложены меймечитами (меймечит-перидотитами), имеющими хорошо выраженные порфиоровые структуры, благодаря обильным вкрапленникам оливина. В строении центральных частей подобных тел отмечаются зоны, обогащенные оливином, располагающиеся параллельно контактам и возникающие, вероятнее всего, в процессе быстрого внедрения гетерогенного расплава. В тех случаях, когда контакты пластин имеют сорванный тектонический характер, в эндоконтактных зонах возникают сильноизмененные (серпентинизированные и карбонатизированные) туфоподобные породы, образующие среди меймечитов линзо-

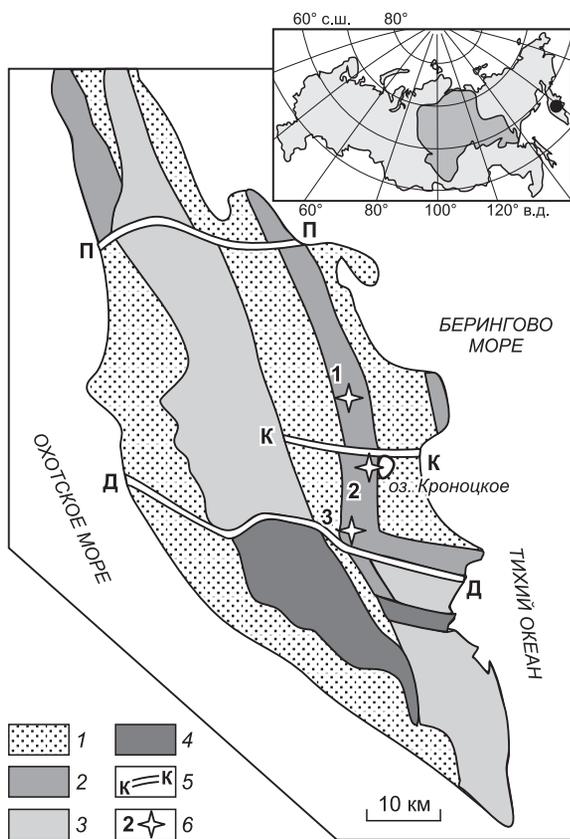


Рис. 3. Геолого-тектоническая схема Камчатки с участками развития ультраосновных вулканитов [Марковский, Ротман, 1981].

1 — прогибы, выполненные палеогеновыми и неогеновыми осадочными породами; 2—4 — поднятия, сложенные: 2 — позднемиоценовыми-палеогеновыми вулканогенными породами, 3 — неогеновыми-четвертичными вулканогенными породами (вулканические дуги), 4 — метаморфическими породами; 5 — главные структурные швы: Д-Д — Диагональный, П-П — Паланский, К-К — Кроноцкий; 6 — участки распространения ультраосновных вулканитов: 1 — хр. Тумрок, 2 — Валагинский хребет, 3 — гора Шаромский Мыс.

видные участки и слои значительной протяженности и переменной мощности. В последние годы изучением ультраосновного вулканизма в бассейнах рек Анюй и Катэн занимались другие исследователи [Симонов и др., 2007, 2014; Приходько и др., 2009].

Возраст меймечитов Барахтинского проявления Сихотэ-Алиня, выполненный с помощью К-Аг метода [Приходько и др., 2009], составляет 134.4 ± 1.0 млн лет.

Еще одна обширная провинция ультраосновного вулканизма была выявлена на Камчатке в 70-е годы прошлого века в районе Восточно-Камчатского хребта [Селиверстов, Цикунов, 1974; Марковский, Ротман, 1981]. В структурном плане эта провинция является частью Камчатского островодужного пояса. Меймечи-

ты образуют мощную туфолавовую толщу, ассоциирующую с валагинской серией позднемиоценового возраста [Марковский, Ротман, 1981; Соболев и др., 1989]. Как правило, ультраосновные вулканиты ассоциируют с интрузивными телами ультрамафитов и габброидов.

Проявления ультраосновного вулканизма сконцентрированы в нескольких участках (рис. 3). На севере, в хр. Тумрок, ультраосновные вулканиты образуют систему даек и пластовых залежей, сложенных массивными пикритами, по краям тел переходящими в брекчии. На Центральном участке, расположенном к северо-западу от оз. Кроноцкого, ультраосновные вулканиты образуют вулканическую толщу и систему изолированных тел, сложенных пикритовыми брекчиями. На третьем участке, в междуречье Камчатки и Правой Щапиной, широко распространены дайки, силлы, диатремы и пластовые тела пикритовых брекчий и туфов. Размеры тел меймечитов изменяются в широких пределах. Так, на толбачинском участке (север провинции) дайка меймечитов имеет протяженность до 5 км при мощности до 100 м. Мощность силлов не превышает 10—30 м, размеры трубок достигают 200×100 м, а видимая мощность стратифицированной толщи равна 250 м [Марковский, Ротман, 1981].

В дайках и силлах нередко наблюдается полосчатое распределение вкрапленников оливина, составляющих от 30 до 70 % объема пород и погруженных в основную массу, состоящую из клинопироксена, рудной вкрапленности, листочков оранжевой слюды и серпентин-хлоритового агрегата, замещающего стекло.

Абсолютный возраст, определенный по флогопиту в пикритовых дайках и силах, составляет 70—88 млн лет [Марковский, Ротман, 1981].

Породы меймечит-пикритовых ассоциаций встречаются также в других регионах, где они представлены отдельными телами или группами тел. Обычно в литературе меймечитами, по аналогии с меймечитами СП, называют крупнопорфировые субвулканические породы с высоким содержанием (50—80 % объема породы) вкрапленников оливина и клинопироксена в основной массе. Отнесение этих пород к меймечитам достаточно условно, так как по существующей классификации они должны именоваться пикритами [Петрографический кодекс..., 2008].

ОСОБЕННОСТИ СОСТАВА ПОРОД МЕЙМЕЧИТ-ПИКРИТОВЫХ АССОЦИАЦИЙ

Следует сразу отметить, что мы рассматриваем породы меймечит-пикритовых ассоциаций, не содержащих явных минеральных фаз фельдшпатоидного и полевошпатового составов. Породы этих ассоциаций из изучаемых регионов обладают внешним сходством и близким минеральным составом, кото-

Таблица 1.

Состав меймечитов Маймеча-Котуйской провинции

Компонент	1985-5	595b	3008-10	3008-16	3008-8	3009-5	1986-11	3008-5	1986-2
SiO ₂ , мас. %	41.01	41.31	40.49	40.98	41.17	41.66	41.39	40.45	41.68
TiO ₂	0.99	1.22	1.91	2.06	1.93	1.94	2.27	2.09	1.72
Al ₂ O ₃	1.34	1.50	2.05	2.11	2.32	2.08	3.05	1.53	1.76
FeO _{общ.}	9.00	10.40	12.93	13.28	13.15	13.61	12.64	13.89	11.35
MnO	0.16	0.17	0.20	0.19	0.19	0.23	0.21	0.22	0.17
MgO	44.16	42.30	37.22	36.79	35.86	36.97	32.17	37.58	39.38
CaO	2.72	2.52	4.12	4.00	4.60	2.90	6.28	3.82	3.46
Na ₂ O	0.04	0.04	0.03	0.06	0.07	0.08	0.20	0.02	0.06
K ₂ O	0.11	0.04	0.06	0.01	0.02	0.09	0.79	0.01	0.04
P ₂ O ₅	0.15	0.16	0.24	0.28	0.24	0.19	0.26	0.23	0.18
Сумма	99.66	99.63	99.24	99.77	99.53	99.73	99.26	99.83	99.80
Cu, г/т	31.2	40.1	67.2	100	20.4	39.7	78.4	61.3	19.8
Zn	26.3	56.5	64.6	104	3.5	8.6	63.8	28.3	2.8
Co	110	146	153	150	130	161	138	145	135
V	80	81	64	145	130	142	171	120	125
Ni	1770	2540	2310	2100	1720	2270	2020	2120	2300
Sr	167	214	277	221	262	248	538	210	174
Rb	3.53	1.33	2.55	0.98	0.19	1.36	26.5	0.30	0.28
Ba	97	78	163	57	185	192	362	65	114
Pb	0.032	0.140	0.097	0.247	0.021	0.013	0.174	0.040	0.013
Nb	17.5	24.0	31.8	28.2	31.3	31.7	45.5	28.5	28.3
Zr	84	120	179	185	177	169	188	182	149
Y	5.3	6.4	9.4	11.0	11.1	9.9	11.1	11.4	8.1
Sc	9.9	12.6	16.5	16.6	17.4	16.2	18.4	16.5	15.2
Ta	1.11	1.45	2.05	1.76	1.95	1.95	2.68	1.81	1.76
U	0.199	0.367	0.484	0.534	0.345	0.443	0.904	0.316	0.40
Th	1.48	1.99	2.50	2.18	2.63	2.53	3.40	2.31	2.15
Hf	1.94	2.66	3.91	4.13	3.74	3.51	4.09	4.11	3.32
Li	2.06	2.15	2.49	2.71	2.57	3.40	3.81	1.02	2.74
W	0.049	0.893	0.138	0.556	0.167	0.532	0.086	0.359	0.487
La	16.6	21.1	26.0	23.4	27.6	26.8	37.8	23.1	23.5
Ce	34.0	44.0	54.8	55.6	56.8	62.3	77.5	51.7	52.7
Pr	4.07	5.32	7.04	6.91	7.04	7.25	8.81	6.58	6.49
Nd	17.2	22.1	30.3	30.4	29.8	30.1	36.6	29.1	27.4
Sm	3.06	3.86	5.70	5.91	5.57	5.38	6.18	5.66	4.77
Eu	0.84	1.06	1.55	1.68	1.57	1.50	1.76	1.62	1.28
Gd	2.33	2.73	3.97	4.49	4.25	4.10	4.69	4.50	3.54
Tb	0.27	0.32	0.48	0.55	0.52	0.49	0.57	0.55	0.42
Dy	1.43	1.68	2.50	2.87	2.68	2.45	2.98	2.95	2.12
Ho	0.23	0.26	0.38	0.46	0.44	0.40	0.47	0.46	0.33
Er	0.55	0.61	0.91	1.08	1.03	0.93	1.10	1.11	0.75
Tm	0.061	0.076	0.117	0.127	0.132	0.112	0.131	0.133	0.092
Yb	0.36	0.44	0.63	0.74	0.71	0.64	0.75	0.77	0.52
Lu	0.050	0.060	0.081	0.092	0.091	0.076	0.100	0.104	0.068

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

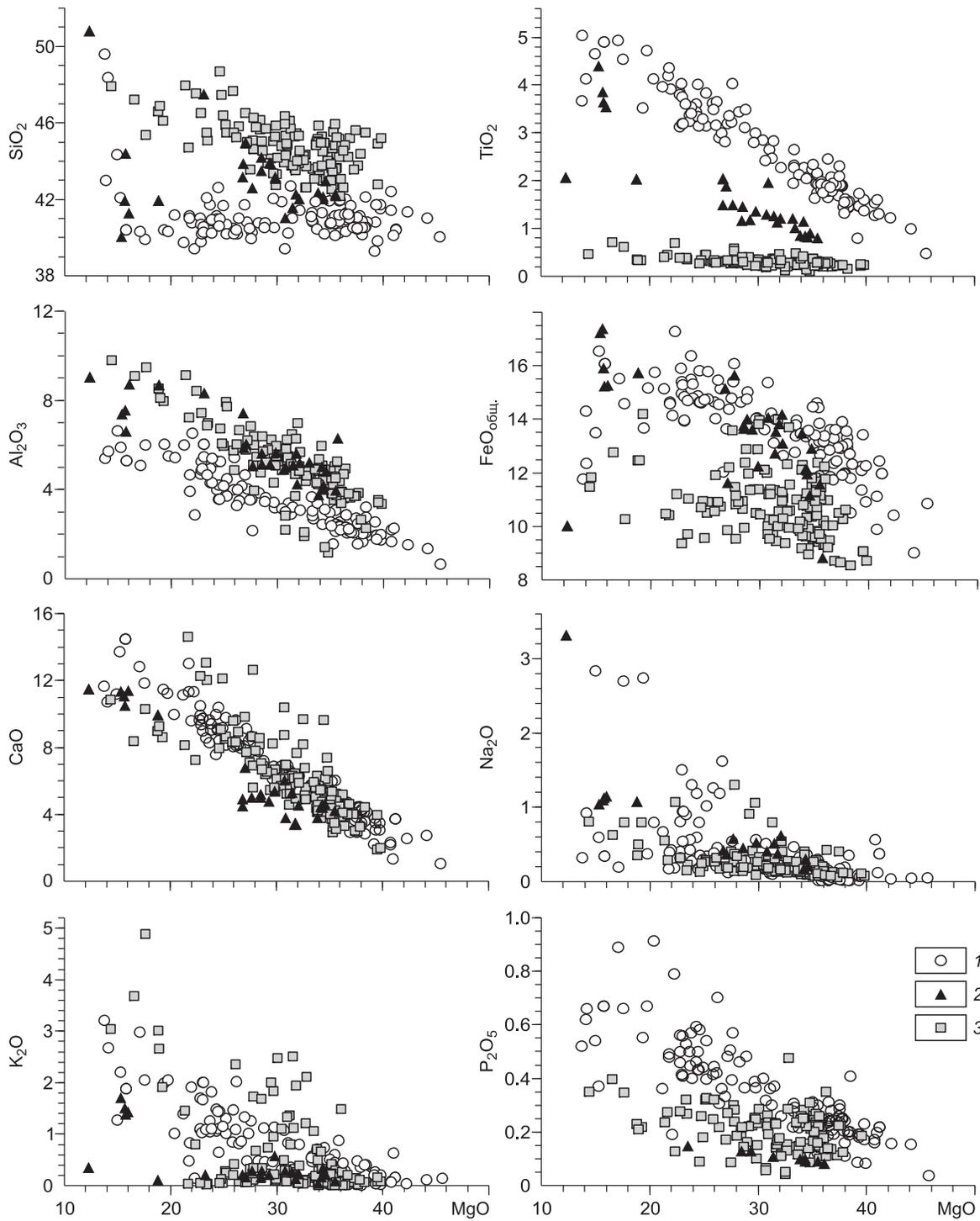


Рис. 4. Вариации содержаний петрогенных компонентов (мас. %) в породах меймечит-пикритовых ассоциаций:

1 — Маймеча-Котуйской провинции, 2 — Сихотэ-Алиня, 3 — Камчатки.

рый достаточно хорошо изучен. На 50—70 % они состоят из вкрапленников магнезиального оливина и клинопироксена в основной массе, состав последнего отвечает авгит-диопсиду. Как акцессории присутствуют биотит, хромшнелид, титаномagnetит, перовскит и сульфиды. Стекловатый базис, как правило, замещен вторичным серпентин-хлоритовым агрегатом.

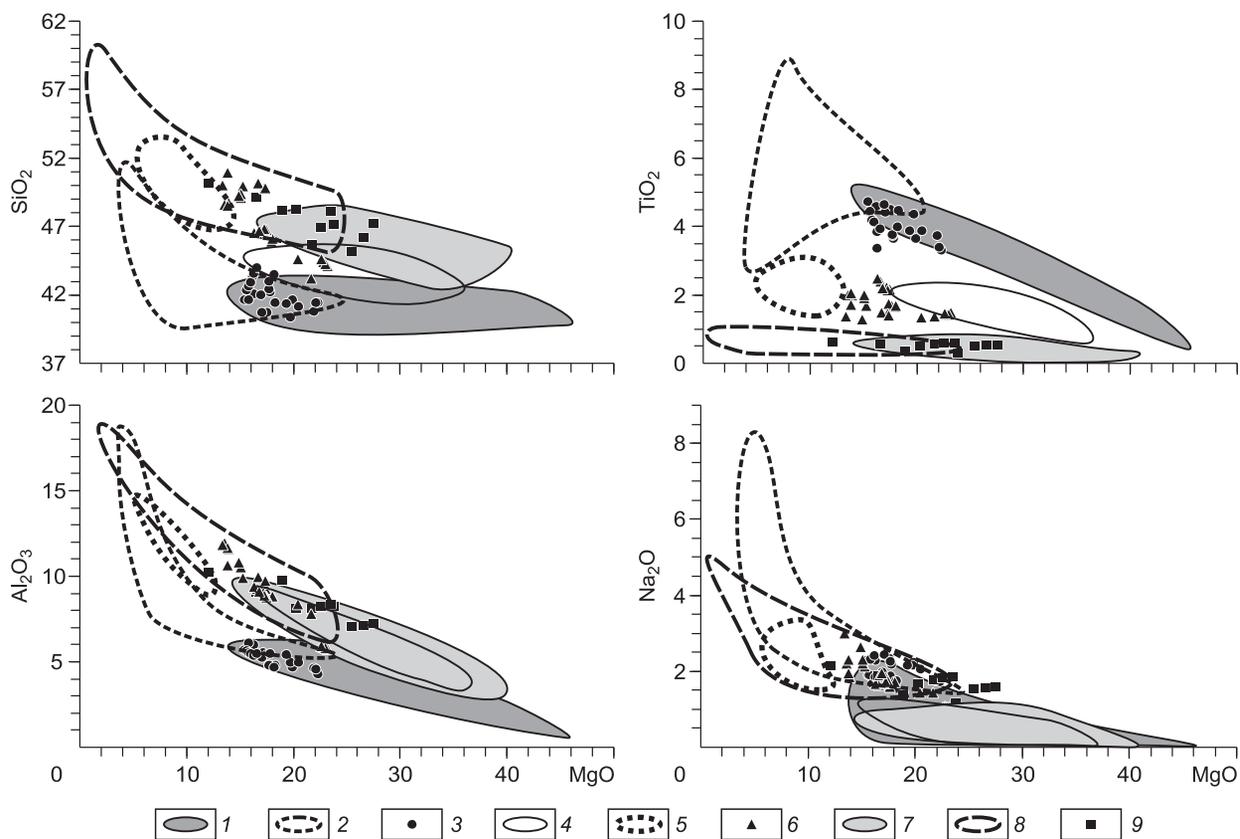


Рис. 5. Вариации содержаний петрогенных компонентов (мас. %) в породах (1, 4, 7), в расплавных включениях из оливинов (2, 5, 8) и в исходных расплавах (3, 6, 9) из меймечит-пикритовых ассоциаций:

1—3 — Маймеча-Котуйской провинции, 4—6 — Сихотэ-Алиня, 7—9 — Камчатки.

Породы рассматриваемых в статье меймечит-пикритовых ассоциаций содержат переменное количество MgO, достигающее иногда 44 мас. %. Примером могут служить наши данные по составу лав меймечитов СП (табл. 1). Для пород меймечит-пикритовых ассоциаций Сихотэ-Алиня и Камчатки также типичны высокие содержания MgO. Такая сверхвысокая магнезиальность пород, по нашему мнению, имеет субъективный характер и связана с отбором и анализом образцов с высоким содержанием вкрапленников оливина.

В статье использован обширный объем информации по составам пород и первичных расплавных включений в оливинах изученных ассоциаций, полученной нами, а также взятой из литературных источников [Жабин, Сурина, 1970; Эрлих и др., 1971; Соболев и др., 1972, 1989, 1991, 2009; Селиверстов, Цикунов, 1974; Щека, 1977; Врожсек, 1978; Марковский, Ротман, 1981; Соболев, Слуцкий, 1984; Arndt et al., 1995, 1998; Kamenetsky et al., 1995; Fedorenko, Czamanske, 1997; Carlson et al., 2006; Колосков и др., 2009; Приходько и др., 2009; Рябчиков и др., 2009; Селиверстов, 2009; Панина, Моторина, 2013; Симонов и др., 2014].

Как можно видеть на рис. 4, по содержаниям петрогенных оксидов породы меймечит-пикритовых ассоциаций разделились на две группы: меймечит-пикриты Маймеча-Котуйской провинции и породы меймечит-пикритовых ассоциаций Приморья и Камчатки. Различия между группами наиболее отчетливо проявились в содержаниях SiO_2 и TiO_2 . Кроме того, менее существенно они различаются по $\text{FeO}_{\text{общ.}}$ и P_2O_5 , а количество CaO и щелочей (Na_2O и K_2O) в этих группах пород примерно одинаково. Меймечит-пикриты Приморья и Камчатки по содержаниям большинства оксидов близки друг другу, различаясь в количестве TiO_2 — камчатские высокомагнезиальные вулканиты являются самыми низкотитанистыми среди всех пород представленных ассоциаций, а самыми высокотитанистыми являются меймечит-пикриты СП.

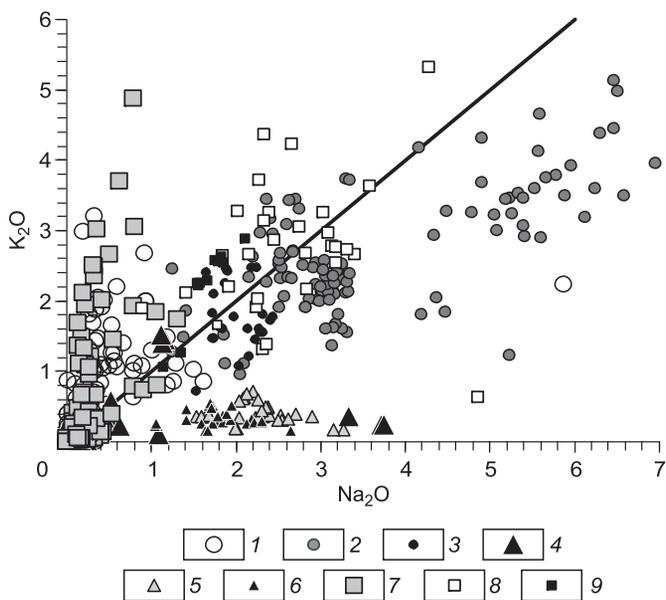


Рис. 6. Соотношение Na_2O и K_2O (мас. %) в породах (1, 4, 7), в расплавных включениях из оливинов (2, 5, 8) и в исходных расплавах (3, 6, 9) из меймечит-пикритовых ассоциаций:

1—3 — Меймечта-Котуйской провинции, 4—6 — Сихотэ-Алиня, 7—9 — Камчатки.

На рис. 5 нанесены поля составов пород и первичных расплавных включений из оливинов, а также точки составов так называемых исходных расплавок. Для пород Меймечта-Котуйской провинции и Камчатки составы исходных расплавок взяты из литературных источников [Соболев и др., 1989, 2009; Kamenetsky et al., 1995], а для пород Сихотэ-Алиня они получены нами с использованием программы PETROLOG [Danyushevsky, Plechov, 2011].

В этом случае за основу пересчетов взяты составы стекол закаленных расплавных включений в оливинах из пород районов рек Анюй и Катен [Симонов и др., 2014].

Составы первичных расплавных включений в оливинах отличаются от составов пород меймечит-пикритовых ассоциаций. Для включений из пород всех ассоциаций отмечается более низкое содержание магния с трендом в сторону его уменьшения и одновременным увеличением количества других оксидов. При этом, естественно, в составах исходных расплавок магнезиальность выше, чем в первичных включениях, что можно видеть на диаграммах (см. рис. 5). Следует отметить во включениях повышенное содержание щелочей по сравнению с их содержанием в породах, из которых щелочи были вынесены при серпентинизации. В расплавных включениях и исходных расплавах из меймечит-пикритов Меймечта-Котуя и Камчатки количество Na_2O и K_2O примерно одинаково. В Сихотэ-Алине при общем более низком содержании щелочей натрия, как правило, преобладает над калием (рис. 6).

Геохимические особенности рассматриваемых пород и расплавных включений в оливинах показаны на рис. 7, где можно видеть четкую положительную корреляцию содержаний MgO с количеством хрома и никеля. Отметим, что повышенные количества этих элементов присутствуют в породах Меймечта-Котуйской провинции. Обратная корреляционная зависимость с содержанием MgO получена для таких компонентов, как V, Sr, Nb, Ta, Zr, Hf (см. рис. 7), и для Cu и Sc. Все эти элементы также преобладают в породах Меймечта-Котуйской провинции. По содержаниям высокозарядных элементов (Nb, Ta, Zr, Hf), имеющих положительную корреляцию с TiO_2 , проявились различия между всеми изученными породными группами. При этом минимальные количества этих компонентов присущи меймечит-пикритам Камчатки, а максимальные — породам СП. В расплавных включениях для примесных элементов сохраняется тот же тренд распределения (см. рис. 7).

Распределение РЗЭ в породах из изученных меймечит-пикритовых ассоциаций приведено на рис. 8, а—в. Из диаграммы следует, что для всех ассоциаций характерны различия в содержаниях редкоземельных элементов, особенно легких. Наиболее насыщены редкоземельными элементами породы Меймечта-Котуйской провинции. Они же максимально обогащены легкими РЗЭ. Сихотэ-алиньские меймечит-пикриты отличаются более низкими содержаниями легких РЗЭ, и в них отмечается слабо выраженный европиевый минимум. Для камчатской меймечит-пикритовой ассоциации наблюдаются разброс в количествах РЗЭ (вероятно, связанный с различными источниками информации) и близкие содержания тяжелых и легких редкоземельных элементов, что на диаграмме проявилось в отсутствии четко выраженного наклона кривой распределения.

На спайдер-диаграммах (см. рис. 8, г—е) показаны спектры распределения микроэлементов в породах из рассматриваемых ассоциаций. Как видно, спектры для пород Меймечта-Котуя и Сихотэ-Алиня характеризуются присутствием максимумов и минимумов для одних и тех же элементов, отличаясь только их количественным содержанием. Хорошо выражены максимумы для Nb, Ta, Ti и минимумы для K и Sr. Для пород Камчатки наблюдается противоположный характер распределения максимумов и минимумов для всех этих элементов. Кроме того, для этих пород проявлены максимумы Rb и Ba и минимумы Th и Zr, что типично для островодужного вулканизма. На спайдер-диаграммах и спектрах распределения РЗЭ (см. рис. 8) содержания элементов во включениях более высокие, чем в породах, но кривые распределения имеют одинаковый рисунок.

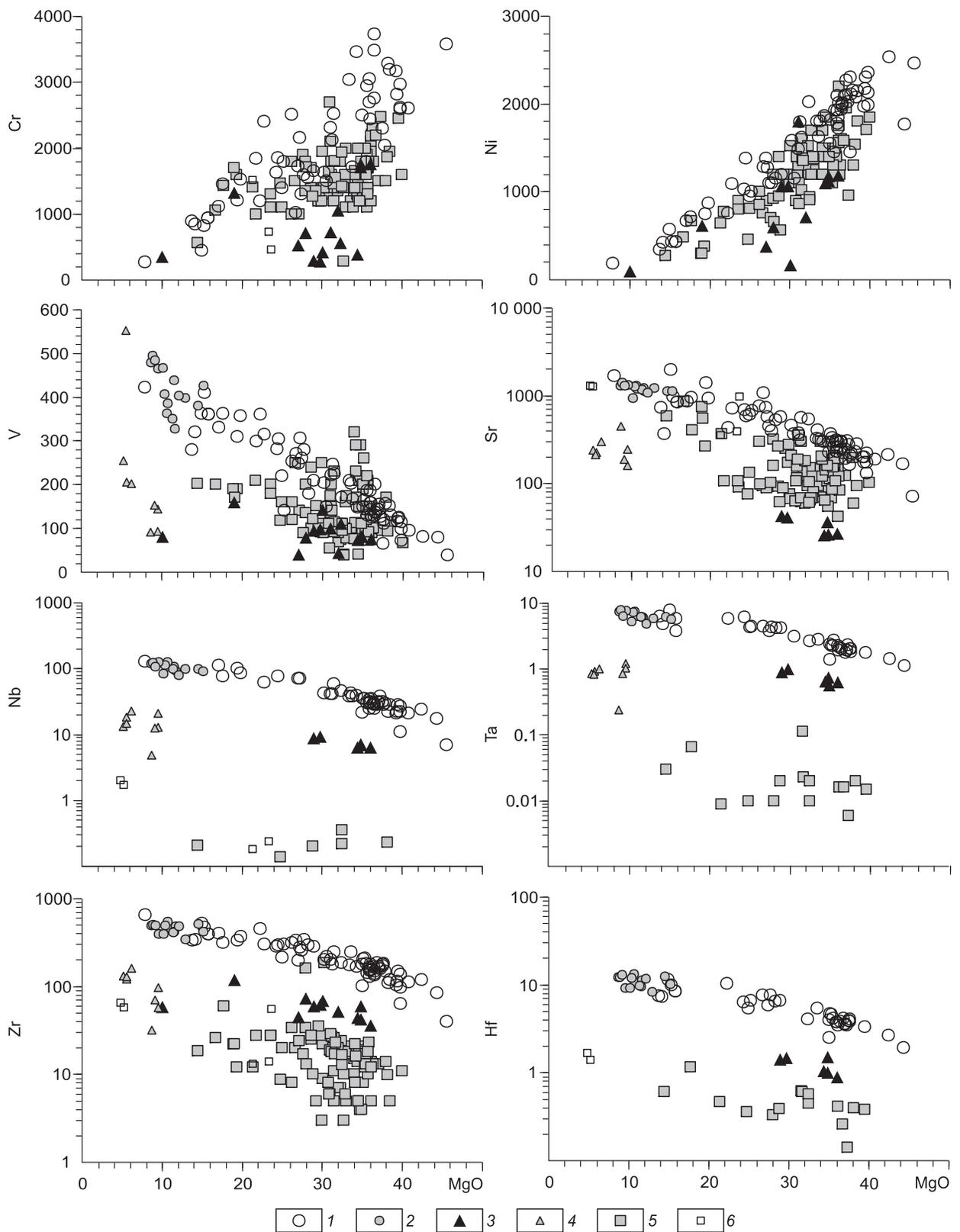


Рис. 7. Вариации содержаний микрокомпонентов (г/т) в породах (1, 3, 5) и расплавных включениях из оливинов (2, 4, 6) из меймечит-пикритовых ассоциаций:

1, 2 — Маймеча-Котуйской провинции, 3, 4 — Сихотэ-Алиня, 5, 6 — Камчатки.

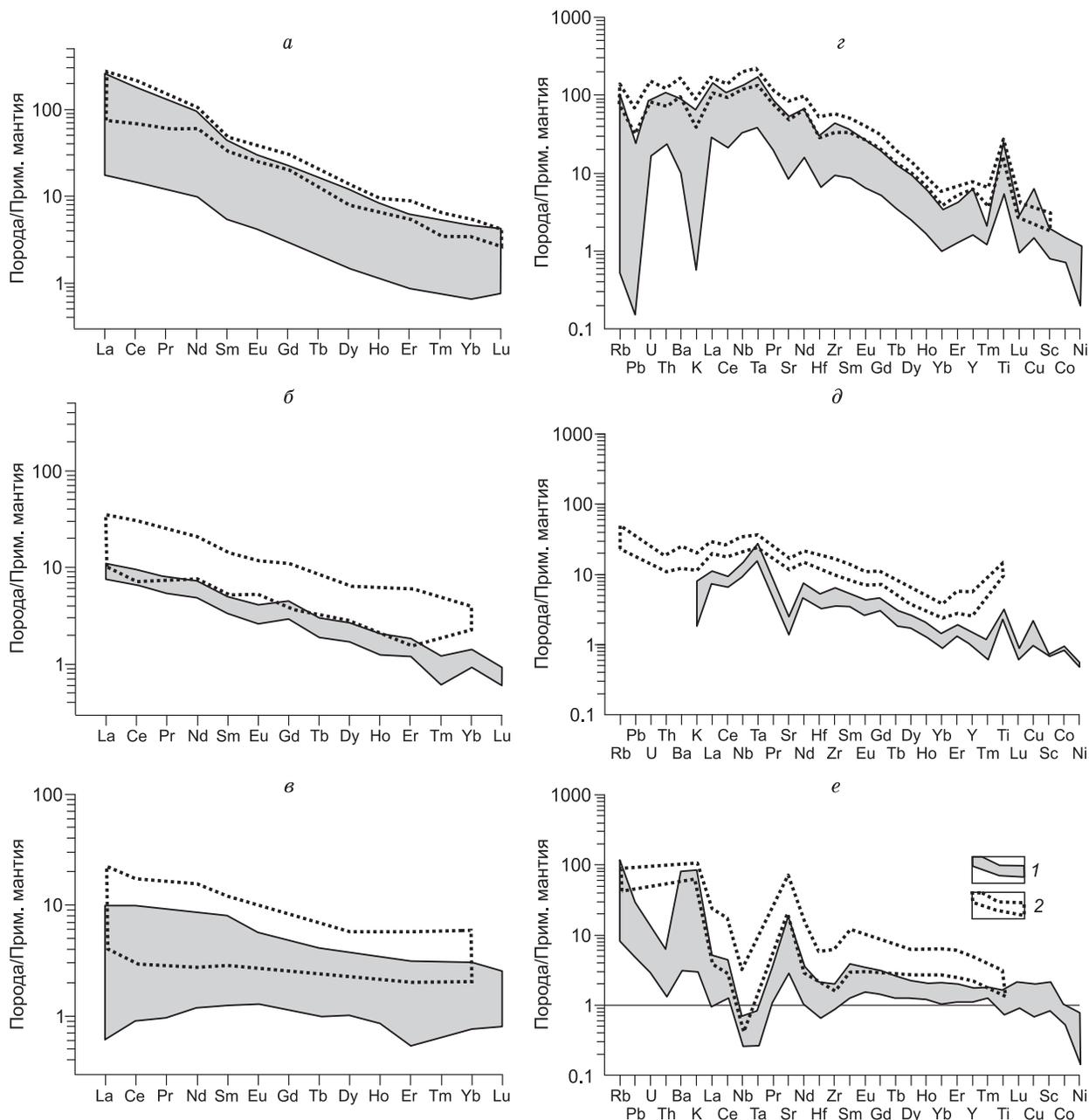


Рис. 8. Характер распределения редкоземельных элементов (а—в) и спайдер-диаграммы (г—е) для пород (1) и расплавных включений в оливинах (2) из меймечит-пикритовых ассоциаций:

а, г — Меймеча-Котуйской провинции, б, д — Сихотэ-Алиня, в, е — Камчатки. Значения элементов нормированы к составу примитивной мантии, по [Hofmann, 1988].

Имеющиеся в литературе [Arndt et al., 1995, 1998; Kamenetsky et al., 1995; Войнова, 2001; Kogarko, Zartman, 2007; Колосков и др., 2009] изотопные характеристики по $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ для изученных меймечит-пикритовых ассоциаций имеют близкий интервал значений (для СП 0.7030—0.7034; в Приморье 0.7025—0.7037; на Камчатке 0.7032—0.7036) и свидетельствуют о незначительной роли ассимиляционных процессов. Величины ϵ_{Nd} имеются только для пород Сибирской платформы и Камчатки. Они существенно различаются между собой (2.8—5.9 в Меймеча-Котуйской провинции и 9.1—10.7 на Камчатке), характеризую различную степень деплетированности мантийного субстрата.

Температуры гомогенизации расплавных включений, взятые из различных литературных источников, сведены в табл. 2. Эти температуры меняются значительно, от 1600 до 1200 °С. При этом установлено, что имеется прямая зависимость температуры от состава оливина-хозяина [Соболев и др., 1991, 2009].

Таблица 2.

**Температуры гомогенизации расплавных включений в оливинах
меймечит-пикритовых ассоциаций различных регионов (°С)**

Литературный источник	Маймеча-Котуйская провинция	Сихотэ-Алинь	Камчатка
[Соболев и др., 1972]	1450 ± 30	—	—
[Соболев, Слуцкий, 1984]	1600—1400	—	—
[Рябчиков и др., 2002]	1385—1370	—	—
[Соболев и др., 2009]	1600—1420	—	—
[Панина, Моторина, 2013]	1600—1450	—	—
[Симонов и др., 2014]	—	1285—1235	—
[Соболев и др., 1989]	—	—	1500—1250
[Kamenetsky et al., 1995]	—	—	1520—1270

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенный комплексный анализ информации одного уровня по вещественному составу пород крупнообъемных меймечит-пикритовых ассоциаций из разных регионов показал, что внешне близкие по структурному рисунку, составу и соотношению породообразующих минералов породы различаются по содержанию петрогенных оксидов и особенно по содержанию и распределению примесных и редкоземельных элементов.

Так, для пород меймечит-пикритовой ассоциации СП (Маймеча-Котуйская провинция), которые наиболее хорошо изучены, характерна недосыщенность SiO_2 , а также отсутствие зависимости магнетиальности от кремнекислотности пород. В них всегда низкие содержания глинозема и очень высокие TiO_2 . Все исследователи отмечают, что породам этой ассоциации свойственны аномально высокие содержания Cr, Ni и некогерентных элементов (Sr, Nb, Zr и др.). Следует подчеркнуть обогащенность этих пород РЗЭ, особенно легкими. Об этом свидетельствуют высокие отношения La/Yb, достигающие 37, что характерно для пород, образующихся при низких степенях плавления обогащенных мантийных субстратов. При общем высоком содержании некогерентных элементов на спайдер-диаграммах отчетливо проявлены минимумы для K и Sr и максимумы для Nb, Ta и Ti, что типично для производных континентального внутриплитного магматизма. Наличие аномалий Ta и Nb относительно крупноионных литофильных элементов позволяет предположить, что их источником, вероятно, являлась рестиговая океаническая кора, которая была рециклирована в мантию.

Сложное строение литосферной мантии под Сибирским кратоном установлено по результатам изучения глубинных ксенолитов ультрамафитовых пород из кимберлитовых трубок и щелочных базальтов, а также подтверждено результатами численного физико-химического моделирования [Sobolev et al., 2004; Шарапов и др., 2009, 2013; Ashchepkov et al., 2013]. В.С. Соболев первым высказал предположение, что аномальная обогащенность некогерентными элементами меймечит-пикритовых пород Маймеча-Котуйской провинции связана с частичным высокотемпературным плавлением метасоматически измененного мантийного субстрата. В дальнейшем И.Д. Рябчиков пришел к выводу, что процесс генерации исходного расплава мог быть стадийным в области мантийного плюма [Рябчиков, 2003; Рябчиков и др., 2009]. А.В. Соболевым и С.В. Соболевым с коллегами [Соболев и др., 2009; Sobolev et al., 2011] на основании петролого-геохимического и термомеханического численного моделирования предложена более сложная модель магматизма СП, в том числе Маймеча-Котуйской провинции. Они считают, что мантийная высокотемпературная струя транспортировала часть древней рециклированной океанической коры, которая продуцировала карбонат-силикатные расплавы, метасоматизировавшие корни сибирской литосферы. Обобщенный и проанализированный нами материал, изложенный выше, показал, что исходным расплавом для пород этой ассоциации был щелочной пикрит с содержанием MgO до 24 мас. %. Обогащенность этого расплава некогерентными элементами является результатом сложного процесса высокотемпературного (выше 1600 °С) частичного плавления глубоких горизонтов метасоматически измененной литосферной мантии.

Породы меймечит-пикритовых ассоциаций Сихотэ-Алиня, внешне сходные с аналогичными породами Маймеча-Котуя, имеют с ними как черты сходства, так и различия по вещественному составу. Они неотличимы по количеству таких петрогенных оксидов, как CaO, Na_2O , K_2O , но в них присутствуют повышенные содержания SiO_2 , Al_2O_3 и железа. Количество TiO_2 в этих породах, а также других некогерентных элементов существенно меньше. Содержания РЗЭ в них по сравнению с содержаниями в аналогичных породах СП ниже, отношения La/Yb меньше и составляют 7.7—8.2. Важно подчеркнуть, что при более низком количестве всех несовместимых элементов характер их распределения (а именно наличие минимумов и максимумов на спайдер-диаграмме) повторяет рисунок, присущий меймечит-пикритам Маймеча-Котуйской провинции. Определенное сходство составов пород этих ассоциаций

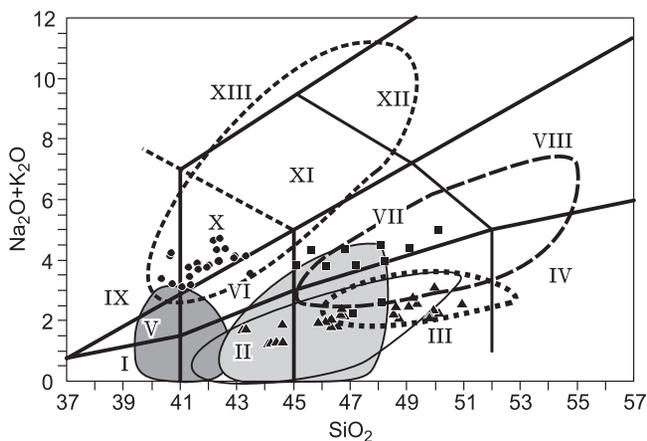


Рис. 9. Диаграмма $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{—SiO}_2$ (мас. %) для пород, расплавных включений из оливинов и исходных расплавов из меймечит-пикритовых ассоциаций Маймеча-Котуйской провинции, Сихотэ-Алиня и Камчатки.

Усл. обозн. см. на рис. 5. Поля на диаграмме: I — пикриты, II — ультраосновные пикробазальты; III — базальты, основные пикробазальты; IV — андезитобазальты; V — умеренно щелочные пикриты; VI — умеренно щелочные пикробазальты; VII — трахибазальты; VIII — трахиандезитобазальты; IX — щелочные пикриты; X — щелочные пикробазальты; XI — щелочные базальты; XII — фонотефриты; XIII — фойдиты.

позволяет некоторым исследователям рассматривать меймечит-пикритовый магматизм Сихотэ-Алиня как внутриплитный [Симонов и др., 2014], хотя по другим данным район проявления ультраосновного вулканизма в Приморье характеризуется сложным строением, где сочленяются континентальные и океанические плиты [Петрищевский, 2011; Тимофеев и др., 2012] и проявляются сложные процессы спрединга и субдукции [Войнова, 2001]. Можно предполагать, что процесс магмообразования был также высокотемпературным и происходил при более высоких степенях плавления мантийного субстрата, чем в районе Маймеча-Котуйской провинции, что согласуется с более низкими содержаниями некогерентных элементов в породах Приморья. Исходный расплав соответствовал по составу ультраосновному пикробазальту нормальной щелочности. Находки микроалмазов в пикритовых брекчиях меймечит-пикритовой ассоциации Сихотэ-Алиня косвенно могут свидетельствовать о глубинности очагов генерации исходных расплавов [Иванов и др., 2005].

Породы меймечит-пикритовой ассоциации Камчатки содержат близкие с породами Сихотэ-Алиня количества глинозема, железа и других петрогенных оксидов, но при этом для них характерны наиболее низкие содержания TiO_2 и крупнозарядных катионов (Nb, Ta и др.). Отношения La/Yb в этих породах (0.4—4.2) также самые низкие из всех рассматриваемых групп. Максимумы и минимумы на спайдердиаграмме имеют противоположные значения по сравнению с соответствующими диаграммами для пород СП и Сихотэ-Алиня: минимумы проявлены для Th, Nb, Ta, Zr, Ti, а максимумы — для Rb, Ba, K и Sr, что типично для островодужного магматизма. В породах этой ассоциации по сравнению с породами Маймеча-Котуйской провинции более высокие значения ϵ_{Nd} , что, вероятно, является следствием их образования из более деплетированного мантийного источника. Исходные расплавы для этой ассоциации продуцировались при высоких давлениях (30—50 кбар) и температурах (1500—1700 °C), вероятно, при частичном плавлении мантийного лерцолита, и отвечали по составу высокомагнезиальному трахибазальту [Соболев и др., 1989; Kamenetsky et al., 1995]. Находки в ультраосновных туфах термобарофильных минералов, часть из которых отвечает алмазоносным парагенезисам, могут свидетельствовать о глубинности процесса магмообразования и достаточно сложном составе мантийного субстрата [Селиверстов и др., 1984; Селиверстов, 2009]. Хотя к находкам такого рода следует относиться с осторожностью, так как они могут быть связаны с загрязнением проб при дроблении [Соболев, 1979] или с привнесением минералов из сопряженных участков [Соболев и др., 2013].

На диаграмме $(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})\text{—SiO}_2$ (рис. 9) нанесены поля составов пород, стекол первичных расплавных включений в оливинах и точки рассчитанных исходных расплавов. Помимо различия в составах исходных расплавов для всех изученных ассоциаций, на этой диаграмме можно увидеть тренды их изменения, происходящего в ходе кристаллизационной дифференциации. И хотя в конечном итоге эти расплавы дали сходные по составу и фаціальным проявлениям породы — меймечит-пикриты, при определенных условиях их дальнейшая эволюция могла привести к образованию целого спектра пород. Для Маймеча-Котуйской провинции родоначальный высокомагнезиальный расплав, отвечающий щелочному пикриту, в процессе кристаллизации оливина дает эволюционный тренд от щелочных пикритов и пикробазальтов до щелочных базальтов и даже фонотефритов и фойдитов. Для Сихотэ-Алиня этот тренд лежит в области пород нормальной щелочности от ультраосновных пикробазальтов до андезитобазальтов. Эволюция исходного расплава для пород Камчатки прослеживается от высокомагнезиальных и низкощелочных пород к умеренно щелочным — трахибазальтам и трахиандезитобазальтам. Не исключено, что вулканические и интрузивные проявления, встречающиеся совместно с меймечит-пикритовыми ассоциациями в этих провинциях, сформировались из близких по составу исходных расплавов. Возможность образования мафит-ультрамафитовых комплексов при эволюции пикритоидных расплавов подтверждается также работами других исследователей [Симонов и др., 2010; Поляков и др., 2013; Хромых и др., 2013; Школьник и др., 2013].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, сравнительный анализ вещественного состава сходных по минеральному составу и структуре меймечит-пикритов, сформировавшихся в регионах с различной геологической историей развития — в условиях кратона (Маймеча-Котуйская провинция), в зоне перехода океан—континент (Сихотэ-Алинь) и островодужья (Камчатка), выявил, что породы этих ассоциаций различаются между собой по содержанию некоторых петрогенных оксидов и особенно по содержанию и распределению некогерентных и редкоземельных элементов.

Все эти породы, судя по результатам термобарогеохимических исследований и расчетов, являются производными глубинных высокотемпературных (более 1600 °С) и высокомагнезиальных исходных расплавов, возникающих в результате частичного плавления в различной степени деплетированного метасоматически измененного мантийного субстрата на разных глубинах литосферной мантии. Так, для Маймеча-Котуйской провинции исходный расплав был близок к щелочному пикриту, для Сихотэ-Алиня — к основному пикробазальту нормальной щелочности, а на Камчатке выплавлялись расплавы, соответствующие, судя по соотношению кремнезема и суммы щелочей, высокомагнезиальным трахибазальтам (см. рис. 9). В дальнейшем исходные расплавы этих ассоциаций не испытали контаминации, что подтверждается значениями величин отношения $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$. В конечном итоге из этих расплавов возникли внешне похожие субвулканические и вулканические породы, относимые к меймечит-пикритовым ассоциациям. Особенности составов пород, сформировавшихся из различного исходного расплава, нашли свое отражение главным образом в содержании малых, особенно некогерентных элементов. Максимальные содержания всех примесных элементов присущи породам Маймеча-Котуйской провинции, в породах Сихотэ-Алиня этих элементов существенно меньше, хотя характер распределения их очень близок к меймечит-пикритам СП. В меймечит-пикритовых породах Камчатки содержания большинства примесных элементов близки к Сихотэ-Алинским, но характер их распределения кардинально отличается.

Проведенный нами анализ показал, что исходные расплавы рассмотренных меймечит-пикритовых ассоциаций дают разнонаправленные эволюционные тренды и при определенных условиях, вполне вероятно, могут формировать ряды интрузивных и вулканических мафит-ультрамафитовых образований различной щелочности.

Авторы благодарны О.М. Туркиной за замечания и рекомендации, сделанные в процессе подготовки рукописи к печати, а также А.В. Соболеву за содействие при получении аналитических данных в Институте химии им. Макса Планка.

Работа выполнена при поддержке Министерства образования и науки РФ и по плану НИР ИГМ СО РАН.

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., 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.

Войнова И.П. Магматические комплексы аккреционной системы как индикаторы характера аккреции (Центральный Сихотэ-Алинь) // Тектоника, глубинное строение и геодинамика востока Азии. III Косыгинские чтения. Хабаровск, ИТиГ ДВО РАН, 2001, с. 181—189.

Врожсек А.А. Меймечит-пикритовый комплекс Бикинского прогиба // Геология, магматизм и рудогенез зоны перехода от континента к океану. Владивосток, ДВНЦ АН СССР, 1978, с. 84—86.

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

Жабин А.Г., Сурина Н.П. Петрология даек, силлов и трубок взрыва Маймеча-Котуйской провинции. М., Наука, 1970, 204 с.

Жук-Почекутов К.А., Гладких В.С., Леонтьев Л.Н. Ассоциация щелочных базальтоидов — базальтов Маймеча-Котуйской вулканно-плутонической формации // Петрология и геохимические особенности комплексов ультрабазитов, щелочных пород и карбонатитов. М., Наука, 1965, с. 50—90.

Зимин С.С., Страхов Г.Н., Щека С.А., Погорелова М.Г. О находке меймечитов в Главном антиклинории Сихотэ-Алиня // Вопросы геологии и рудоносности Дальнего Востока. Владивосток, Дальневосточный филиал изд-ва АН СССР, 1965, с. 12—18.

Иванов В.В., Колесова Л.Г., Ханчук А.И., Акаткин В.Н., Молчанова Г.Б., Нечаев В.П. Находка алмазов в юрских породах меймечит-пикритового комплекса Сихотэ-Алиньского орогенного пояса // ДАН, 2005, т. 404, № 1, с. 72—75.

Колосков В.А., Флеров Г.Б., Коваленко Д.В. Позднемеловые-палеоценовые магматические комплексы Центральной Камчатки: геологическое положение, особенности вещественного состава // Тихоокеанская геология, 2009, т. 28, № 4, с. 16—34.

- Марковский Б.А., Ротман В.К.** Геология и петрология ультраосновного вулканизма. Л., Недра, 1981, 247 с.
- Мартынюк М.В.** Соотношение эффузивного и интрузивного магматизма в мезокайнозойской истории Восточно-Сихотэ-Алинского синклиория (в пределах Анюйского блока): Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Новосибирск, ИГГ СО АН СССР, 1972, 28 с.
- Панина Л.И., Моторина И.В.** Меймечиты, щелочные пикритовые порфириды и меланефелиниты Сибири: условия кристаллизации, родоначальные магмы, источники // Геохимия, 2013, № 2, с. 122—144.
- Петрищевский А.М.** Гравитационная модель сочленения континентальной и океанической коры в Сихотэ-Алине // Вестн. КРАУНЦ, Науки о Земле, 2011, № 1, вып. 17, с. 11—22.
- Петрографический кодекс** России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Издание второе / Ред. Л.Н. Шарпенюк. СПб., Изд-во ВСЕГЕИ, 2008, 200 с.
- Поляков Г.В., Толстых Н.Д., Мехоношин А.С., Изох А.Э., Подлипский М.Ю., Орсов Д.А., Колотилина Т.Б.** Ультрамафит-мафитовые магматические комплексы Восточно-Сибирской докембрийской металлогенической провинции (южное обрамление Сибирского кратона): возраст, особенности состава, происхождения и рудоносности // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (11), с. 1689—1704.
- Приходько В.С., Петухова Л.Л., Солдатов А.И.** Меймечиты Сихотэ-Алинской покровно-складчатой системы: область распространения, возраст, мантийные источники и геохимическая специализация // Вулканизм и геодинамика. Материалы IV Всероссийского симпозиума по вулканологии и палеовулканологии. Т. 2. Петропавловск-Камчатский, ИВиС ДВО РАН, 2009, с. 467—470.
- Рябчиков И.Д.** Механизмы и условия магнообразования в мантийных плюмах // Петрология, 2003, т. 11, № 6, с. 548—555.
- Рябчиков И.Д., Когарко Л.Н., Соловова И.П.** Физико-химические условия магнообразования в основании Сибирского плюма по данным исследования расплавленных микровключений в меймечитах и щелочных пикритах Маймеча-Котуйской провинции // Петрология, 2009, т. 17, № 3, с. 311—323.
- Селиверстов В.А.** Термобарофильные минеральные парагенезисы алмазоносного щелочно-ультраосновного вулканического комплекса Восточной Камчатки // Вестн. КРАУНЦ, Науки о Земле, 2009, № 1, вып. 13, с. 10—30.
- Селиверстов В.А., Цикунов А.Г.** Меймечиты северной части Валагинского хребта (Восточная Камчатка) // Докл. АН СССР, 1974, т. 217, № 2, с. 424—427.
- Селиверстов В.А., Колосков А.В., Лапутина И.П., Филосова Т.М., Чубаров В.М.** Первые данные о составе минералов глубинных включений в меймечитах Камчатки // Докл. АН СССР, 1984, т. 278, № 4, с. 949—953.
- Симонов В.А., Щека С.А., Ковязин С.В.** Физико-химические параметры формирования пикрит-меймечитовых комплексов Сихотэ-Алиня // Ультрабазит-базитовые комплексы складчатых областей, Иркутск, Изд-во ИргТУ, 2007, с. 246—250.
- Симонов В.А., Приходько В.С., Ковязин С.В., Тарнавский А.В.** Условия кристаллизации дунитов Кондерского платиноносного щелочно-ультраосновного массива, юго-восток Аланского щита // Тихоокеанская геология, 2010, т. 29, № 5, с. 82—93.
- Симонов В.А., Приходько В.С., Ковязин С.В., Котляров А.В.** Петрогенезис меймечитов Дальнего Востока (данные по расплавленным включениям) // Тихоокеанская геология, 2014, т. 33, № 4, с. 31—41.
- Соболев А.В., Слуцкий А.Б.** Состав и условия кристаллизации исходного расплава сибирских меймечитов в связи с общей проблемой ультраосновных магм // Геология геофизика, 1984 (12), с. 97—110.
- Соболев А.В., Каменецкий В.С., Кононкова Н.Н.** Новые данные по петрологии и геохимии ультрамафических вулканитов Валагинского хребта (Восточная Камчатка) // Геохимия, 1989, № 12, с. 1694—1709.
- 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.** Новая опасность дезинформации в результате засорения проб посторонними минералами и техническими продуктами // Зап. ВМО, 1979, ч. 108, вып. 6, с. 691—695.
- Соболев В.С., Панина Л.И., Чепуров А.И.** О температурах кристаллизации минералов в меймечитах по результатам гомогенизации расплавленных включений // Докл. АН СССР, 1972, т. 205, № 1, с. 201—204.
- Соболев Н.В., Логинова А.М., Николенко Е.И., Лобанов С.С.** Минералогические критерии алмазоносности верхнетриасовых россыпей северо-восточной окраины Сибирской платформы //

Геология и геофизика, 2013, т. 54 (8), с. 1162—1178.

Тимофеев В.Ю., Ардюков Д.Г., Соловьев В.М., Шибяев С.В., Петров А.Ф., Горнов П.Ю., Шестаков Н.В., Бойко Е.В., Тимофеев А.В. Межплитные границы Дальневосточного региона России по результатам GPS измерений, сейсморазведочных и сейсмологических данных // Геология и геофизика, 2012, т. 53 (4), с. 489—507.

Хромых С.В., Владимирова А.Г., Изох А.Э., Травин А.В., Прокопьев И.Р., Азимбаев Е., Лобанов С.С. Петрология и геохимия габброидов и пикритоидов Алтайской коллизионной системы герциниды: свидетельства активности Таримского плума // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (10), с. 1648—1667.

Шарапов В.Н., Чудненко К.В., Мазуров М.П., Перепечко Ю.В. Физико-химическое моделирование метасоматической зональности литосферы под кратонами Сибирской платформы // Геология и геофизика, 2009, т. 50 (12), с. 1428—1442.

Шарапов В.Н., Перепечко Ю.В., Кузнецов Г.В., Сорокин К.Э. К проблеме определения глубины образования и состава базитового расплава в верхней мантии // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (3), с. 390—409.

Шейнманн Ю.М. Очерки глубинной геологии. М., Недра, 1968, 231 с.

Школьник С.И., Беличенко В.Г., Резницкий Л.З. Высокомагнезиальные пикрит-базальтовые ассоциации Тункинского террейна (Байкал-Хубсугульский регион) как индикатор спрединга окраинного бассейна // Геология и геофизика, 2013, т. 54 (2), с. 203—218.

Щека С.А. Меймечит-пикритовый комплекс Сихотэ-Алиня // Докл. АН СССР, 1977, т. 234, № 2, с. 444—447.

Эрлих Э.Н., Шанцер А.Е., Кутыев Ф.Ш. Меймечиты Восточной Камчатки // Изв. АН СССР. Сер. геол., 1971, № 2, с. 3—9.

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 // Contr. Miner. Petrol., 1998, v. 133, № 3, p. 297—313.

Ashchepkov I.V., Vladykin N.V., Ntaflou T., Downes H., Mitchell R., Smelov A.P., Alymova N.V., Kostrovitsky S.I., Rotman A.Ya, Smarov G.P., Makovchuk I.V., Stegnitsky Yu.B., Nigmatulina E.N., Khmelnikova O.S. Regularities and mechanism of formation of the mantle lithosphere structure beneath the Siberian Craton in comparison with other cratons // Gondwana Res., 2013, v. 23, № 1, p. 4—24.

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, № 10, p. 2071—2073.

Danyushevsky L.V., Plechov P. Petrolog 3: integrated software for modeling crystallization processes // Geochem. Geophys. Geosyst., 2011, v. 12, № 7, Q07021.

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.

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.

Kamenetsky V.S., Sobolev A.V., Joron J.-L., Semet M.P. Petrology and geochemistry of Cretaceous ultramafic volcanic from Eastern Kamchatka // J. Petrol., 1995, v. 36, № 3, p. 637—662.

Kogarko L.N., Zartman R.E. A Pb isotope investigation of the Guli massif, Maymecha-Kotuy alkaline-ultramafic complex, Siberian flood basalt province, Polar Siberia // Miner. Petrol., 2007, v. 89, p. 113—132.

Sobolev N.V., Logvinova A.M., Zedgenizov D.A., Seryotkin Y.V., Yefimova E.S., Floss C., Taylor L.A. Mineral inclusions in microdiamonds and macrodiamonds from kimberlites of Yakutia: a comparative study // Lithos, 2004, v. 77, № 1—4, p. 225—242.

Sobolev S.V., Sobolev A.V., Kuzmin D.V., Krivolutsкая 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.

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.