

ОСОБЕННОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ РАЗНОВОЗРАСТНЫХ МЕЙМЕЧИТ-ПИКРИТОВЫХ АССОЦИАЦИЙ ИЗ РАЗНОСТРУКТУРНЫХ РЕГИОНОВ СИБИРИ И ДАЛЬНЕГО ВОСТОКА

Ю.Р. Васильев^{1,2}, М.П. Гора¹

¹ФГБУН Институт геологии и минералогии им. В.С. Соболева СО РАН, пр. Академика Коптюга 3, г. Новосибирск, 630090; e-mail: meimech@igm.nsc.ru

²ФГАОУВО Новосибирский государственный университет, ул. Пирогова 2, г. Новосибирск, 630090

Поступила в редакцию 13 января 2015 г.

Анализ геолого-тектонической обстановки образования и обширной аналитической информации, характеризующей меймечит-пикритовые ассоциации в разновозрастных и разноструктурных районах Сибирской платформы (Сибирского кратона), Сихотэ-Алиня (зоны перехода континент – океан) и Камчатки (островной дуги), показал, что минералого-петрографические и петрохимические признаки сходства этих образований определяются близостью Р-Т параметров развития магматических систем в условиях консолидированной мощной литосферы на глубинах алмазоносных фаций. Определяющим фактором образования изученных ассоциаций в этих регионах являются геодинамические процессы, приводящие к консолидации литосферной мантии и ее способности, вследствие этого, реагировать на последующую активизацию созданием глубинных зон проницаемости. Генерация исходных высокомагнезиальных расплавов происходила при высоких (до 1700°C) температурах при частичном плавлении в различной степени метасоматически измененного и деплетированного мантийного субстрата. Судя по изотопным характеристикам, исходный гомогенный расплав достаточно быстро поднимался в верхние горизонты земной коры и концентрировался в промежуточных очагах, где кристаллизовался оливин. В дальнейшем гетерогенный (L + Ol) расплав проявился в виде туфо-лавовой толщи и субвулканических интрузивных тел. Таким образом, процесс формирования меймечит-пикритовых ассоциаций протекал по единой схеме, что привело к образованию сходных по химизму и структурному рисунку порфиroidных пород с высоким содержанием вкрапленников магнезиального оливина. Судя по составам расплавных включений в оливинах, исходные расплавы изученных ассоциаций были высокомагнезиальными, но различались между собой по содержанию других петрогенных оксидов и, главным образом, по количеству и распределению примесных элементов. Установленные различия объясняются генерацией исходных высокомагнезиальных расплавов в условиях континентальной или океанической литосферы.

Ключевые слова: меймечит-пикритовые ассоциации, геодинамическая обстановка формирования, Сибирская платформа, Сихотэ-Алинь, Камчатка.

ВВЕДЕНИЕ

Повышенный интерес к пикритовому магматизму, проявившийся у многих петрологов в последние годы, связан с возможностью решения ряда проблемных вопросов генерации и эволюции исходных высокомагнезиальных глубинных расплавов в различных геодинамических обстановках.

Примерами пикритового магматизма, сформировавшегося в разноструктурных регионах, могут быть крупнообъемные проявления разнофациальных, преимущественно лавовых пород меймечит-пикритовых ассоциаций севера Сибирской платформы (Маймеча-Котуйская провинция), Сихотэ-Алиня и Камчатки.

Эти ассоциации сформировались в условиях кратона, переходной зоны континент – океан и островодужья. Несмотря на образование в разные временные эпохи и в разных геодинамических условиях, породы меймечит-пикритовых ассоциаций этих регионов обладают удивительным внешним сходством и близким минеральным и петрохимическим составом. Обычно это вулканогенные порфиroidные породы, состоящие на 40–70 % из вкрапленников магнезиального оливина и в различной степени раскристаллизованной в клинопироксен основной массы, стекловатый базис которой замещен серпентин-хлоритовым агрегатом. В небольшом количестве присутствуют биотит, хромшпинне-

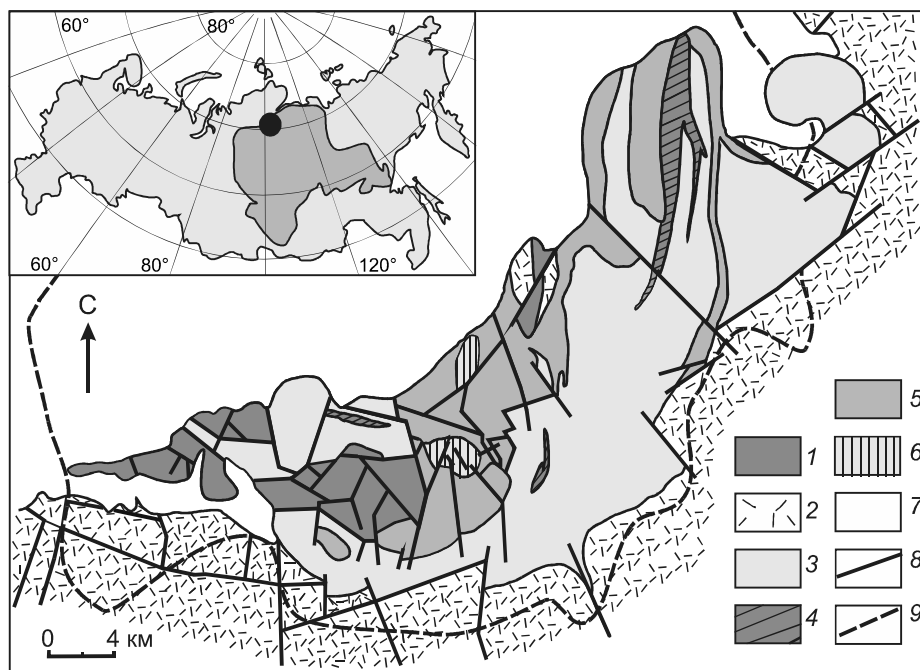


Рис. 1. Расположение пород меймечит-пикритовой ассоциации Маймечы-Котуйской провинции в западной части Гулинского вулcano-плутона, по [8].

1 – породы меймечит-пикритовой ассоциации (меймечинская свита); 2 – пермо-триасовые вулканические образования (базальты, трахибазальты, андезиты и др.); 3–6 – породы Гулинского плутона: 3 – дуниты; 4 – пироксениты; 5 – породы щелочного комплекса; 6 – карбонатиты; 7 – четвертичные и мезозойские отложения Енисей-Хатангской впадины; 8 – тектонические нарушения; 9 – граница Гулинского плутона по данным аэромагнитной съемки.

лиды, титаномагнетит, апатит, перовскит, сульфиды и т. д. Для всех этих пород характерно отсутствие видимых проявлений полевых шпатов и фельдшпатовидов. Судя по минеральному и химическому составу, эти породы по существующей классификации следует именовать пикритами, а меймечитами, как рекомендует петрографический кодекс, следует называть только крупнопорфировые высокотитанистые разновидности, встречающиеся в бассейне р. Маймечи (Маймечы-Котуйская провинция) и имеющие необычайно высокие содержания некогерентных и редкоземельных элементов [22]. В названии и тексте статьи мы используем термин «меймечит-пикриты», как обобщающий, подчеркивающий особенности их состава и широко применяемый в литературе.

Обобщение большого объема оригинального и литературного материала выявило близость физико-химических параметров генерации и эволюции магматических систем, продуцирующих меймечит-пикритовые ассоциации. При этом генерируемые высокомагнезиальные исходные расплавы существенно различаются между собой по содержанию примесных элементов, что сохраняется и в породах. Эти признаки сходства и различия теснейшим образом связаны с

процессами геолого-тектонического развития регионов, где проявлены эти ассоциации.

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ ПО ГЕОЛОГИИ МЕЙМЕЧИТ-ПИКРИТОВЫХ АССОЦИАЦИЙ

Меймечит-пикритовая ассоциация составляет основной объем меймечинской свиты, которая, по мнению многих исследователей [2, 8, 9, 40 и др.], венчает разрез мощной (до 4.5 км) вулканогенной толщи пестрого состава в Маймечы-Котуйской провинции щелочно-ультраосновного магматизма. Маймечы-Котуйская провинция располагается на севере Сибирского кратона в бассейнах рек Маймечи и Котуя. Вулканогенная толща, в строении которой принимают участие разнообразные по составу преимущественно лавовые породы от толеитов до меймечитов, протягивается в виде полосы шириной до 40 км вдоль юго-восточного борта Енисей-Хатангского рифта примерно на 250 км. В центральной части этого поля вулканические прорваны Гулинским щелочно-ультраосновным плутоном. Значительная часть вулканогенной толщи и Гулинского плутона ступенчато сброшена и перекрыта молодыми отложениями (рис. 1)

История геологического развития Маймечы-Котуйской магматической провинции тесно связана с

общей структурной активизацией Енисей-Хатангского рифта. Этот рифт на севере Сибирского кратона, по-видимому, заложенный еще в рифее, активизировался в пермо-триасовый период времени, к которому, как известно, относится максимальное развитие магматизма на Сибирской платформе [7].

Пространственно породы меймечит-пикритовой ассоциации сосредоточены в юго-западной части Гулинского плутона в бассейне реки Маймечи, где они на современном эрозионном срезе занимают площадь порядка 60 км² (рис. 1) и представлены преимущественно лавами, в меньшем объеме пирокластическими образованиями, а также разнообразными дайками и диатремами. Для лавовых потоков и дайковых тел характерно неравномерное (струйчатое или полосчатое) распределение кристаллов оливина и увеличение степени раскристаллизации основной массы к центральным частям. Мощность лавовой толщи меймечитов оценивается разными исследователями от 600 до 2000 м [8, 56]. Две скважины, пробуренные на глубину 400 м, из лавовой толщи не вышли.

Время излияния меймечитов оценивается по соотношению ⁴⁰Ar/³⁹Ar в биотите в 246 ± 1.2 млн лет назад [47]. Судя по временным оценкам [51] и геологическим наблюдениям (меймечиты залегают на эродированной поверхности Гулинского плутона и содержат ксенолиты дунитов), формирование меймечит-пикритовой ассоциации оторвано от общего магматического процесса провинции на 4.5 млн лет [3].

Породы меймечит-пикритовой ассоциации Сихотэ-Алиня, по мнению С.А. Щеки [41], располагаются вдоль, так называемой, «меймечитовой» линии, которая фиксирует глубинную границу ханкайского фундамента, перекрытую палеозойским чехлом. Не исключено, что эта линия соответствует границе Ханкайского супертеррейна с Сихотэ-Алинской складчато-надвиговой системой [21]. При этом в зоне перехода континент – океан происходит «коллизонная» аккреция коро-мантийных блоков и формирование аккреционных призм [5, 23]. Этот сложный геолого-тектонический процесс сопровождался магматизмом, в том числе меймечит-пикритовым.

Проявления меймечит-пикритов Сихотэ-Алиня известны в нескольких участках (рис. 2), где они представлены туфо-лавовой толщей, многочисленными силами, дайками и диатремами. По внешнему виду они действительно похожи на одноименные породы Сибирской платформы. Усилиям ряда исследователей [6, 10, 17, 23, 28, 29, 41 и др.] породы ассоциации довольно полно изучены, и по ним имеется аналитический материал, сопоставимый по уровню с данными по меймечит-пикритам Сибирской платформы.

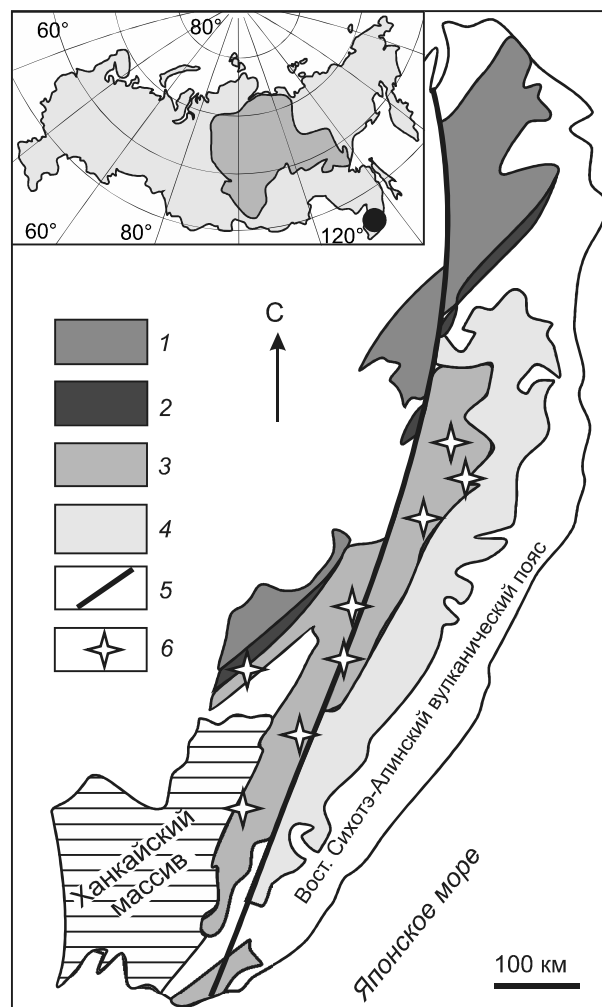


Рис. 2. Расположение проявлений пород меймечит-пикритовой ассоциации в Сихотэ-Алине на тектонической схеме по [18].

1–2 – аккреционный клин Хингано-Охотской активной континентальной окраины; 1 – амурский комплекс, 2 – киселевско-маноминский комплекс; 3 – юрский аккреционный комплекс Сихотэ-Алиня; 4 – раннемеловой терригенный прогиб; 5 – тектонические нарушения; 6 – участки проявлений пород меймечит-пикритовой ассоциации.

Время проявления меймечит-пикритовой ассоциации относится к верхней юре–нижнему мелу. Меймечиты из трубки взрыва около села Ариадное имеют возраст 159–157 млн лет, определенный К-Аг методом в обломке керсутита [1], а возраст меймечитов Барахтинского проявления Сихотэ-Алиня составляет 134.4 ± 1.0 млн лет [23].

В иной геотектонической обстановке, а именно, в условиях активной континентальной окраины и развивающихся островных дуг происходило формирование меймечит-пикритовой ассоциации Камчатки. По существующим представлениям [20, 26, 38 и

др.], краевая активизированная часть Охотоморской континентальной плиты вовлекалась в формирование островной дуги, существенно увеличивая мощность ее отдельных блоков. В тектоническом плане район проявления меймечит-пикритовых ассоциаций, сформировавшихся в меловое–палеогеновое время, имеет сложную покровно-складчатую структуру и представляет собой фрагменты Ачайваям-Валагинской палеодуги [36].

Проявления ультраосновного вулканизма сконцентрированы в восточных хребтах Камчатки (рис. 3). По результатам геологических наблюдений, проведенных различными исследователями [14, 16, 25, 27, 42 и др.], образования меймечит-пикритовых ассоциаций представлены лавами, пирокластическими образованиями, дайками различной мощности и протяженности, диатремами. Так в хребте Тумрок ультраосновные вулканиды образуют систему даек и пластовых залежей. В бассейне реки Правая Щапина, в северной части Валагинского хребта, щелочно-ультраосновной комплекс представлен мощной пятисотметровой толщей пирокластических и лавовых образований меймечитов, нефелинитов и лампроитовидов, которые сопровождаются дайками того же состава.

Абсолютный возраст, определенный К-Аг методом по флюопиту в пикритовых дайках и силлах, составляет 70–88 млн лет [16], а возраст дайки лампроитовидов из щелочно-ультраосновного вулканического комплекса в бассейне р. Правой Щапиной составляет 67 млн лет [27].

СОСТАВ ПОРОД И ВКЛЮЧЕНИЙ В ОЛИВИНАХ

Средние составы пород изученных меймечит-пикритовых ассоциаций приведены в табл. 1, а в табл. 2 даны некоторые оригинальные анализы меймечитов Маймеча-Котуйской провинции. Статистическая обработка имеющихся выборок показала, что по таким

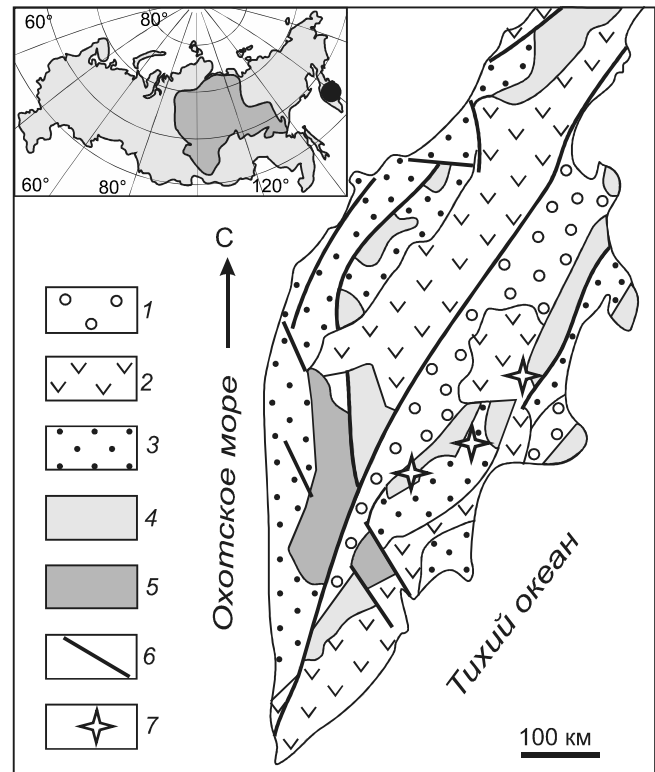


Рис. 3. Расположение проявлений пород меймечит-пикритовой ассоциации Камчатки на тектонической схеме по [20].

1 – миоцен-четвертичные терригенные комплексы; 2 – позднекайнозойские (олигоцен-четвертичные) вулканические образования; 3 – меловые и палеогеновые, преимущественно терригенные комплексы; 4 – мел-палеогеновые кремнисто-вулканогенные тектонические покровы; 5 – допозднемеловые метаморфические комплексы; 6 – тектонические нарушения; 7 – участки проявлений пород меймечит-пикритовой ассоциации.

компонентам, как MgO и CaO, значимых различий не наблюдается, в то время как все три группы изученных пород различаются по содержаниям SiO₂, TiO₂, MnO и P₂O₅. Наиболее отчетливо различия проявились

Таблица 1. Средние содержания петрогенных оксидов (в мас. %) в породах меймечит-пикритовых ассоциаций различных регионов.

Компонент	Маймеча-Котуй		Сихотэ-Алинь		Камчатка	
	Среднее	Ст. откл.	Среднее	Ст. откл.	Среднее	Ст. откл.
SiO ₂	40.96	0.76	43.53	1.97	44.95	1.29
TiO ₂	2.64	1.03	1.45	0.77	0.30	0.09
Al ₂ O ₃	3.35	1.35	5.55	1.55	5.59	2.00
FeOобщее	13.68	1.42	13.21	1.60	10.73	1.23
MnO	0.20	0.04	0.23	0.05	0.17	0.03
MgO	31.06	7.24	29.26	6.86	31.09	5.47
CaO	6.55	3.04	5.78	2.49	6.22	2.33
Na ₂ O	0.34	0.46	0.55	0.74	0.27	0.26
K ₂ O	0.70	0.65	0.31	0.35	0.51	0.83
P ₂ O ₅	0.35	0.17	0.05	0.07	0.18	0.10
Количество анализов	108		40		130	

Таблица 2. Состав меймечитов Маймеча-Котуйской провинции.

Компонент	3009-8	3009-9	3008-14	3008-9	3009-7	3008-13	3008-6
SiO ₂	41.19	40.85	40.87	41.22	41.92	41.21	40.75
TiO ₂	1.78	1.97	2.64	1.89	1.74	1.85	2.33
Al ₂ O ₃	2.23	2.37	3.04	2.28	2.18	2.22	2.35
FeОбщее	12.34	13.34	13.78	12.84	13.36	11.72	13.41
MnO	0.18	0.21	0.22	0.22	0.19	0.20	0.17
MgO	36.85	35.87	33.36	36.40	36.00	36.71	35.14
CaO	4.05	4.86	5.00	4.64	3.78	4.69	5.30
Na ₂ O	0.08	0.11	0.13	0.07	0.11	0.12	0.13
K ₂ O	0.11	0.11	0.08	0.03	0.10	0.05	0.08
P ₂ O ₅	0.21	0.21	0.31	0.23	0.16	0.24	0.29
Сумма	99.01	99.90	99.42	99.82	99.54	99.01	99.95
Cu	47	46	60	55	48	49	64
Zn	17	15	39	22	14	23	43
Co	141	139	126	137	154	134	128
V	127	159	202	129	125	156	163
Ni	2027	2095	1626	1934	2018	2100	1825
Sr	308	311	411	303	299	192	365
Rb	2.4	2.5	3.1	0.9	2.2	2.2	3.1
Ba	175	240	222	132	148	56	162
Pb	0.042	0.020	0.067	0.027	0.014	0.043	0.054
Nb	38	34	43	30	35	31	35
Zr	158	165	246	169	156	161	206
Y	9.5	10.0	13.7	10.1	9.2	9.7	12.3
Sc	15.9	17.5	20.8	16.9	16.2	16.6	18.1
Ta	2.34	2.28	2.84	2.01	2.13	1.95	2.26
U	0.54	0.39	0.65	0.49	0.54	0.47	0.52
Th	2.94	2.64	3.40	2.68	2.82	2.46	2.82
Hf	3.50	3.72	5.44	3.85	3.46	3.60	4.69
Li	3.63	3.88	6.13	2.40	3.06	2.87	2.60
W	0.153	0.191	0.090	0.179	0.436	0.172	0.068
La	31.8	27.9	36.0	26.5	30.7	26.6	28.8
Ce	64.7	58.9	76.1	53.9	65.1	56.8	63.2
Pr	7.39	7.28	9.70	6.87	7.40	7.01	7.76
Nd	29.8	31.0	42.2	29.5	30.2	30.1	34.3
Sm	5.22	5.55	7.70	5.48	5.09	5.41	6.71
Eu	1.42	1.55	2.16	1.53	1.42	1.52	1.84
Gd	3.85	4.08	5.60	4.11	3.76	3.94	5.03
Tb	0.466	0.500	0.656	0.499	0.455	0.490	0.620
Dy	2.35	2.63	3.51	2.65	2.33	2.49	3.25
Ho	0.384	0.423	0.555	0.422	0.370	0.399	0.497
Er	0.92	0.97	1.27	0.98	0.90	0.92	1.20
Tm	0.112	0.119	0.161	0.116	0.103	0.109	0.136
Yb	0.61	0.66	0.92	0.69	0.56	0.67	0.75
Lu	0.083	0.091	0.119	0.093	0.080	0.088	0.100

Примечание. Главные элементы (в 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).

в количествах титана – камчатские вулканы являются самыми низкотитанистыми среди всех пород представленных ассоциаций, а самыми высокотитанистыми – меймечит-пикриты Маймеча-Котуйской провинции. По количествам алюминия породы Сихотэ-Алиня и Камчатки близки, значимо отличаясь от меймечит-

пикритов Маймеча-Котуйской провинции, а содержания суммарного железа в породах Камчатки меньше, чем в породах из ассоциаций других регионов.

Достаточно широкий разброс в этих породах наблюдается по содержанию щелочей, от первых процентов до полного исчезновения, что объясняет-

ся серпентинизацией и хлоритизацией стекловатого базиса. Значимых различий между группами по сумме щелочей не наблюдается, но при этом камчатские меймечит-пикриты существенно отличаются от сихотэ-алинских меньшими содержаниями Na_2O , а в Маймеча-Котуйской провинции породы содержат больше K_2O , чем меймечит-пикриты Сихотэ-Алиня.

Сравнительный анализ состава породообразующих минералов показал, что минералы из пород изученных ассоциаций по своему составу близки. В меймечит-пикритах Сибирской платформы состав оливинов попадает в интервал 83–93 ат. % Fo, с явным преобладанием магниальных разновидностей, в оливинах из сихотэ-алинских пород содержание форстерита меняется от 83 до 90 ат. %, а для оливинов Камчатки этот интервал составляет 85–94 ат. % (рис. 4). Для оливинов всех изученных пород характерны примеси NiO (до 0.4 мас. %), Cr_2O_3 (до 0.2 мас. %), CoO, MnO, CaO. Клинопироксены из пород этих ассоциаций имеют также сходные составы, которые соответствуют диопсид-авгиту (рис. 5). При этом для клинопироксенов из меймечит-пикритов Сибирской платформы характерно повышенное содержание TiO_2 (до 5 мас. %). В оливинах и основной массе изученных пород присутствуют хромшпинелиды, составы которых для Маймеча-Котуя и Сихотэ-Алиня также близки, с некоторым повышением содержания глинозема в минералах Сихотэ-Алиня (рис. 6).

Изучение составов первичных расплавных включений из оливинов этих пород показало, что они, образуя с составами пород единый тренд, отличаются от них более низким содержанием MgO и, соответственно, несколько иным распределением петрогенных элементов. Следует отметить, что в расплавных включениях всегда присутствуют достаточно высокие ко-

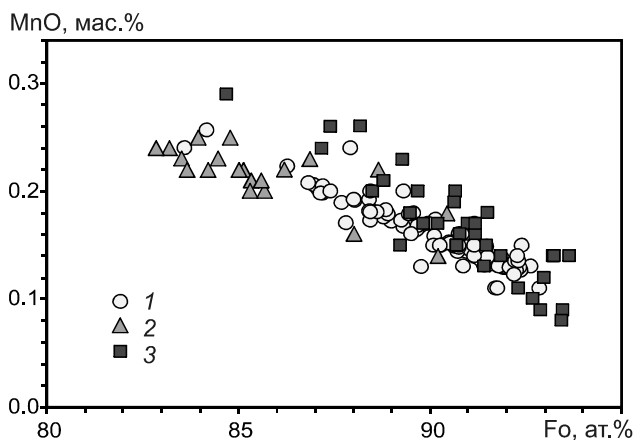


Рис. 4. Состав оливинов из меймечит-пикритов Маймеча-Котуйской провинции (1), Сихотэ-Алиня (2) и Камчатки (3).



Рис. 5. Состав клинопироксенов из меймечит-пикритов Маймеча-Котуйской провинции (1), Сихотэ-Алиня (2) и Камчатки (3).

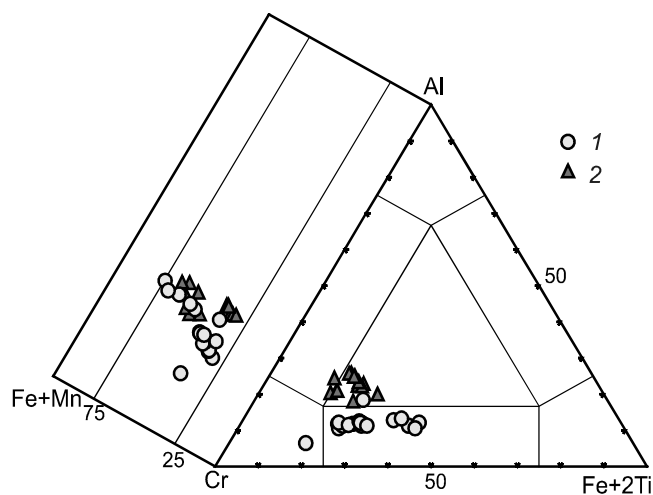


Рис. 6. Состав аксессуарных хромшпинелидов из меймечит-пикритов Маймеча-Котуйской провинции (1) и Сихотэ-Алиня (2).

личества щелочей (Na_2O ; K_2O , мас. %: в Маймеча-Котуйской провинции 1.2–3.3; 0.96–3, в Сихотэ-Алине 1.5–3.2; 0.2–0.7, на Камчатке 0.9–4.8; 0.1–5.2).

Максимально контрастно различия как пород, так и расплавных включений изученных ассоциаций проявились в содержаниях примесных элементов. Установлено, что количество некогерентных элементов в расплавных включениях всегда несколько выше, чем в породах соответствующих ассоциаций, но характер их распределения близок к таковому для пород [4]. Максимальные содержания практически всех некогерентных элементов присутствуют в породах и расплавных включениях Маймеча-Котуйской провинции, а минимальные – в меймечит-пикритах Камчатки. При этом характер распределения элементов в

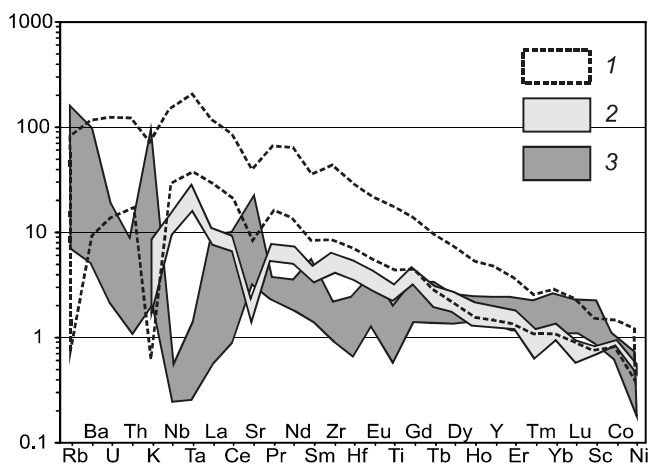


Рис. 7. Спайдер-диаграммы для меймечит-пикритов Маймеча-Котуйской провинции (1), Сихотэ-Алиня (2) и Камчатки (3). Содержания элементов нормированы к составу примитивной мантии, по [49].

породах Маймеча-Котуя и Сихотэ-Алиня близок, в то время как для Камчатки он иной (рис. 7). Как видно на рисунке, в породах Маймеча-Котуйской провинции наблюдаются максимумы для Nb и Ta и минимумы для K и Sr. Меймечит-пикриты Сихотэ-Алиня демонстрируют на спайдер-диаграммах спектры, подобные спектрам для пород Маймеча-Котуйской провинции. Это согласуется с представлениями некоторых исследователей о внутриплитном проявлении меймечит-пикритового магматизма этого региона [29]. Противоположный характер распределения максимумов и минимумов на спайдер-диаграммах (минимумы для Nb, Ta, Zr и максимумы для K и Sr) наблюдается для меймечит-пикритов Камчатки.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Особенности петро- и геохимических составов пород меймечит-пикритовых ассоциаций, близких по структурному рисунку и минеральному составу, объясняются геологической историей развития регионов, в которых они формировались.

Известно, что на огромной территории Сибирской платформы присутствуют не только проявления пермо-триасового траппового магматизма, которые преобладают, но также трубки и дайки кимберлитов и щелочно-ультраосновные интрузивные и вулканические образования. Последние сосредоточены в Маймеча-Котуйской провинции, тяготея к юго-восточному борту Енисей-Хатангского рифта. Глубинная структура Сибирского кратона на протяжении многих лет изучалась различными геолого-геофизическими методами [7, 15, 44 и др.]. Сложный вещественный состав литосферной мантии для Сибирской платфор-

мы установлен по результатам изучения глубинных ксенолитов из кимберлитовых трубок и щелочных базальтоидов, а также по данным численного физико-химического моделирования [39, 45, 48, 54 и др.]. По аналогии с сопряженными районами кимберлитового магматизма предполагается, что такое же сложное строение имеет литосферная мантия и в районе Маймеча-Котуйской провинции.

Формирование щелочно-ультраосновного магматизма Маймеча-Котуйской провинции теснейшим образом связано с тектоническими процессами, происходившими в зоне Енисей-Хатангского рифта и сопряженных районах. Эта тектоническая активизация проявилась и в постмагматический период, когда часть Гулинского плутона и вулканогенной толщи были ступенчато смещены по разломам в бортовой зоне рифта, а оставшаяся часть денудирована. Дальнейшая активизация этого района, особенно в бассейне реки Маймечи, сопровождалась перемещением блоков пород и возникновением меймечит-пикритового вулканизма. Лавовые потоки меймечитов заполняли депрессионную структуру, располагаясь на денудированной поверхности дунитов Гулинского плутона и нижележащих пермо-триасовых вулканитов [3].

Характер генерации, эволюции и особенностей состава расплава, исходного для меймечит-пикритовой ассоциации провинции, был и остается предметом обсуждения многих исследователей. Впервые эти особенности были отмечены В.С. Соболевым с соавторами [35]. Работы в этом направлении в дальнейшем проводились и другими исследователями [19, 24, 52 и др.]. На протяжении многих лет проблемой меймечит-пикритового магматизма занимался А.В. Соболев [30, 32–34, 55 и др.]. На основании петролого-геохимического и термомеханического численного моделирования им предложена концептуальная модель магматизма Сибирской платформы, в том числе Маймеча-Котуйской провинции. В этой модели генерация исходного высокомагнезиального расплава происходила на глубинах не менее 200 км, в литосферной мантии, корни которой, вероятно, погружались до 300-километровых глубин. Мантийный перидотитовый субстрат, метасоматизированный карбонатно-силикатным расплавом, продуктом низких степеней плавления рециклированной океанической коры, плавился при температурах 1550–1730°C. В результате генерировался исходный расплав, отвечающий щелочному пикриту, с присущими ему петро- и геохимическими особенностями. Он поднимался в верхние горизонты земной коры, концентрируясь в промежуточных очагах.

Соотношения изотопов стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.703–0.7042), близкие к мантийным, свидетельствуют о по-

чти полном отсутствии ассимиляционных процессов, а это, в свою очередь, говорит о быстром подъеме гомогенного ультраосновного расплава [43, 46, 53 и др.]. Кристаллизация оливина в промежуточном очаге, судя по результатам изучения расплавных включений, начиналась при высоких температурах [19, 24, 30, 32, 34, 35, 55 и др.]. Дальнейшее падение температуры сопровождалось изменением состава оливина и состава расплавных включений в нем от щелочных пикритов и пикробазальтов в сторону щелочных базальтов и фойдитов, что свидетельствует о потенциальной возможности дифференциации исходного расплава. На поверхность изливался гетерогенный расплав (L + Ol), где и происходила кристаллизация клинопироксена при более низких температурах.

В иных геодинамических условиях проявился меймечит-пикритовый магматизм Сихотэ-Алиня – в зоне перехода континент–океан. По мнению исследователей этого региона, Сихотэ-Алинь представляет собой область активного и разнообразного, преимущественно мезозойского магматизма, возникшего в результате сложных геодинамических процессов [12]. В этой зоне перехода взаимодействие пассивной окраины континента и океанической плиты сопровождалось процессами коллизии с элементами субдукции. При этом происходило дробление океанической литосферы и увеличение мощности блоков континентальной окраины с образованием жесткой аккреционной призмы сложного строения, что подтверждается геофизическими данными [21]. Л.А. Изосов [13] полагает, что эту структуру можно считать молодой континентальной литосферой, способной образовать разломы мантийного заложения. Именно к таким структурам и приурочены проявления меймечит-пикритового магматизма в позднеюрское–раннемеловое время [1, 23].

Судя по результатам изучения петролого-геохимических особенностей пород и расплавных включений в оливинах, можно утверждать, что генерация исходных расплавов этих ассоциаций происходила в условиях, сопоставимых с условиями образования аналогичных пород на Сибирской платформе, т.е. при частичном плавлении мантийного субстрата на больших глубинах и при высоких температурах. Глубинность очагов генерации исходных расплавов косвенно подтверждается находками алмазов в пикритовых брекчиях [11, 13], а высокие температуры плавления и состав исходных расплавов были установлены при изучении первичных расплавных включений в оливинах из пород меймечит-пикритовой ассоциации [29]. Проведенное нами [4] обобщение петро-геохимических материалов по меймечит-пикритовым ассоциациям Сихотэ-Алиня и их сравнительный анализ с

меймечит-пикритовыми проявлениями Сибирской платформы выявили удивительное сходство по распределению примесных элементов (рис. 7), что явно свидетельствует о генерации расплавов меймечит-пикритовых ассоциаций Сихотэ-Алиня в континентальной литосфере, хотя количество малых элементов в меймечит-пикритах Сихотэ-Алиня значительно меньше, чем в породах Маймеча-Котуйской провинции. Исходный расплав был близок к высокомагнезиальным пикробазальтам, а тренд его возможной дифференциации лежит в области пород нормальной щелочности от пикробазальтов до андезибазальтов. Судя по изотопным данным ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.7025–0.7037), приведенным в работе И.П. Войновой [5], и внешнему облику пород, можно утверждать, что процесс формирования меймечит-пикритовой ассоциации Сихотэ-Алиня был подобен процессу образования меймечит-пикритов Сибирской платформы.

Известно, что проявления верхнемеловых меймечит-пикритовых пород на Камчатке сосредоточены в зоне восточных хребтов (Валагинский, Тумрок, Кумроч), на Озерновско-Валагинском отрезке Ачай-Ваям-Валагинской палеодуги, формирование которой происходило при взаимодействии активной окраины континентальной плиты с океанической плитой. Валагинский сегмент палеодуги, по геофизическим данным, имел более мощную земную кору, чем смежные районы, что сыграло важную роль при аккреционных процессах [20, 38]. В результате субдукции за счет блоков континентальной коры происходило формирование консолидированной литосферы, имеющей значительную мощность и способной реагировать на последующие движения образованием сверхглубоких разломов [26]. Возникновение очагов генерации исходных расплавов, формировавших меймечит-пикритовую ассоциацию Камчатки, на больших глубинах, в области океанической литосферы, подтверждается находками в ультраосновных туфах термобарофильных минералов, часть из которых отвечает алмазносным парагенезисам [26, 27]. Изучение первичных расплавных включений в оливинах и проведенные расчеты также свидетельствуют о том, что исходные расплавы для этой ассоциации продуцировались при высоких давлениях (40–50 кбар) и температурах (1600–1700°C) при частичном плавлении мантийного субстрата и отвечали по составу высокомагнезиальному трахибазальту [31, 50]. Исходный расплав, судя по изотопии стронция ($^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 0.7032–0.7038), практически не взаимодействовал с окружающими породами [37, 50], что можно объяснить быстрым подъемом в верхние горизонты земной коры, где происходило его накопление в промежуточных очагах. В этих очагах кристаллизовался оливин. Судя по результатам

изучения расплавных включений в оливинах, с изменением температуры кристаллизации состав расплава менялся от высокомагнезиального и низкощелочного к умереннощелочному. На поверхности он формировал потоки и разнообразные субвулканические тела. Если по внешнему облику, минеральному составу и содержанию MgO породы меймечит-пикритовой ассоциации Камчатки близки к породам этих ассоциаций других изученных регионов, то по содержанию и распределению примесных элементов они существенно отличаются, подчеркивая островодужную природу данной ассоциации.

Исходя из вышеизложенного, следует, что определяющим фактором образования меймечит-пикритовых ассоциаций в разноструктурных регионах являются геодинамические процессы, приводящие к консолидации литосферной мантии и ее способности генерировать высокомагнезиальные расплавы, продуцирующие при тождественном развитии магматических систем близкие по облику и минеральному составу породы.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изученные разновозрастные меймечит-пикритовые ассоциации, сформировавшиеся в регионах с различной историей геологического развития, представлены близкими по минералого-петрохимическому составу и структурному рисунку породами. Общность этих признаков объясняется близостью параметров генерации и эволюции магматических систем, а именно: 1) зарождение магматических очагов и генерация исходных расплавов происходили в условиях консолидированной литосферы, способной реагировать на последующую активизацию возникновением глубинных зон проницаемости; 2) находки алмазов и высокобарических минеральных парагенезисов, а также численное моделирование позволяют считать, что генерация исходных расплавов происходила на больших глубинах, соответствующих Р-Т параметрам алмазоносной фации; 3) состав исходных расплавов, по результатам изучения первичных расплавных включений в оливинах, был высокомагнезиальным; 4) формирование пород ассоциаций происходило по общей схеме: генерация исходных высокомагнезиальных расплавов – быстрое внедрение гомогенного расплава в верхние горизонты земной коры и концентрация в промежуточных очагах – кристаллизация вкрапленников магнезиального оливина – излияние на поверхность расплава с большим количеством вкрапленников оливина.

Кроме перечисленной общности признаков имеются определенные различия между породами ассоциаций, наиболее полно они проявились в количе-

ственном содержании и распределении примесных элементов. Установленные различия объясняются генерацией исходных высокомагнезиальных расплавов в условиях континентальной или океанической литосферы.

Работа выполнена при поддержке министерства образования и науки Российской Федерации.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Баскина В.А., Лебедев В.А., Томсон И.Н. Внутриплитные вулканы в мезозойских складчатых толщах Сихотэ-Алиня // Докл. РАН. 2005. Т. 404, № 6. С. 788–792.
2. Бутакова Е.Л., Егоров О.С. Маймечит-Котуский комплекс щелочных и ультраосновных формаций // Петрография Восточной Сибири. М.: Изд-во АН СССР, 1962. Т. 1. С. 417–589.
3. Васильев Ю.Р., Гора М.П. Геология Меймечитов севера Сибирской платформы // Докл. РАН. 2012. Т. 445, № 3. С. 299–302.
4. Васильев Ю.Р., Гора М. П. Меймечит-пикритовые ассоциации Сибири, Приморья и Камчатки // Геология и геофизика. 2014. Т. 55, № 8. С. 1211–1225.
5. Войнова И.П. Магматические комплексы аккреционной системы как индикаторы характера аккреции (Центральный Сихотэ-Алинь): Материалы конф. Тектоника, глубинное строение и геодинамика Востока Азии: III Косыгинские чтения. Хабаровск: ИТИГ ДВО РАН, 2001. С. 181–189.
6. Врожек А.А. Меймечит-пикритовый комплекс Бикинского прогиба: Тез. докл. Геология, магматизм и рудогенез зоны перехода от континента к океану. Владивосток: ДВНЦ АН СССР, 1978. С. 84–86.
7. Долматова И.В., Пешкова И.Н. Модель рифтовой деструкции северной палеоокраины Сибирского континента (Енисей-Хатангский прогиб) // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2001. № 7. С. 30–33.
8. Егоров О.С. Ийолит-карбонатитовый плутонизм. Л.: Недра, 1991. 260 с.
9. Жук-Почекутов К.А., Гладких В.С., Леонтьев Л.Н. Ассоциация щелочных базальтоидов – базальтов Маймечит-Котуской вулканно-плутонической формации // Петрология и геохимические особенности комплексов ультрабазитов, щелочных пород и карбонатитов. М.: Наука, 1965. С. 50–90.
10. Зимин С.С., Старков Г.Н., Шека С.А. и др. О находке меймечитов в Главном антиклинории Сихотэ-Алиня // Тез. докл. Вопросы геологии и рудоносности Дальнего Востока. Владивосток, 1965. С. 12–18.
11. Иванов В.В., Колесова Л.Г., Ханчук А.И. и др. Находка алмазов в юрских породах меймечит-пикритового комплекса Сихотэ-Алинского орогенного пояса // Докл. РАН. 2005. Т. 404, № 1. С. 72–75.
12. Иволга Е.Г., Романовский Н.П., Гурович В.Г. и др. К вопросу о глубинном строении области сочленения Сихотэ-Алинской и Северо-Сахалинской складчатых структур // Тихоокеан. геология. 2013. Т. 32, № 5. С. 78–88.
13. Изосов Л.А. Ультраосновная-щелочная формация япономорской зоны перехода континент-океан: проблемы геологии и алмазоносности // Региональные проблемы. 2013. Т. 16, № 2. С. 5–10.
14. Колосков В.А., Флеров Г.Б., Коваленко Д.В. Позднемело-

- вые-палеоценовые магматические комплексы Центральной Камчатки: геологическое положение, особенности вещественного состава // Тихоокеан. геология. 2009. Т. 28, № 4. С. 16–34.
15. Лишневецкий Э.Н., Дистлер В.В., Егоркин А.В. Новые данные о глубинном строении Норильского рудного района // Бюлл. Моск. о-ва испытателей природы. Отд. геол. 2006. Т. 81. Вып. 4. С. 27–33.
 16. Марковский Б.А., Ротман В.К. Геология и петрология ультраосновного вулканизма. Л.: Недра, 1981. 247 с.
 17. Мартынюк М.В. Соотношение эффузивного и интрузивного магматизма в мезо-кайнозойской истории Восточно-Сихотэ-Алинского синклинория (в пределах Анюйского блока): Автореф. дис. ... канд. геол.-минер. наук. Новосибирск: ИГ СО АН СССР, 1972. 28 с.
 18. Натальин Б.А., Фор М. Геодинамика восточной окраины Азии в мезозое // Тихоокеан. геология. 1991. № 6. С. 3–23.
 19. Панина Л.И., Моторина И.В. Меймечиты, щелочные пикритовые порфириды и меланефелиниты Сибири: условия кристаллизации, родоначальные магмы, источники // Геохимия. 2013. № 2. С. 122–144.
 20. Петрищевский А.М. Тектоническая интерпретация плотностных неоднородностей в земной коре и верхней мантии Камчатки // Тихоокеан. геология. 2006. Т. 25, № 1. С. 31–46.
 21. 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.
 22. Петрографический кодекс России. Магматические, метаморфические, метасоматические, импактные образования. Изд. второе. С-Пб.: Изд-во ВСЕГЕИ, 2008. 200 с.
 23. 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. Петропавловск-Камчатский: ИВиС ДВО РАН, 2009. Т. 2. С. 467–470.
 24. Рябчиков И.Д., Когарко Л.Н., Соловова И.П. Физико-химические условия магмообразования 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.
 25. Селиверстов В.А., Цикунов А.Г. Меймечиты северной части Валагинского хребта (Восточная Камчатка) // Докл. АН СССР. 1974. Т. 217, № 2. С. 424–427.
 26. Селиверстов В.А., Колосков А.В., Лапутина И.П. и др. Первые данные о составе минералов глубинных включений в меймечитах Камчатки // Докл. АН СССР. 1984. Т. 278, № 4. С. 949–953.
 27. 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.
 28. 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.
 29. Симонов В.А., Приходько В.С., Ковязин С.В. и др. Петрогенезис меймечитов Сихотэ-Алиня (данные по расплавленным включениям) // Тихоокеан. геология. 2014. Т. 33, № 6. С. 34–49.
 30. 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.
 31. Соболев А.В., Каменецкий В.С., Кононкова Н.Н. Новые данные по петрологии и геохимии ультрамафических вулкаников Валагинского хребта (Восточная Камчатка) // Геохимия. 1989. № 12. С. 1694–1709.
 32. Соболев А.В., Каменецкий В.С., Кононкова Н.Н. Новые данные по петрологии сибирских меймечитов // Геохимия. 1991. № 8. С. 1084–1095.
 33. Соболев А.В. Включения расплавов в минералах как источник принципиальной петрологической информации // Петрология. 1996. Т. 4. С. 228–239.
 34. Соболев А.В., Соболев В.С., Кузьмин Д.В. и др. Механизм образования сибирских меймечитов и природа их связи с траппами и кимберлитами // Геология геофизика. 2009. Т. 50, № 12. С. 1293–1334.
 35. Соболев В.С., Панина Л.И., Чепуров А.И. О температурах кристаллизации минералов в меймечитах по результатам гомогенизации расплавных включений // Докл. АН СССР. 1972. Т. 205, № 1. С. 201–204.
 36. Цуканов Н.В., Сколотнев С.Г., Коваленко Д.В. Новые данные о составе островодужных вулкаников восточных хребтов Камчатки // Докл. РАН. 2008. Т. 418, № 3. С. 372–377.
 37. Цуканов Н.В., Сколотнев С.Г. Новые данные по изотопному составу магматических комплексов палеодуг Восточной Камчатки // Докл. РАН. 2010. Т. 434, № 5. С. 656–660.
 38. Чехович В.Д., Сухов А.Н., Кононов М.В. и др. Геодинамика северо-западного сектора Тихоокеанского подвижного пояса в позднемеловое – раннепалеогеновое время // Геотектоника. 2006. № 4. С. 37–62.
 39. Шарапов В.Н., Чудненко К.В., Мазуров М.П. и др. Физико-химическое моделирование метасоматической зональности литосферы под кратонами Сибирской платформы // Геология и геофизика. 2009. Т. 50, № 12. С. 1428–1442.
 40. Шихорина К.М. Вулканические образования Маймеча-Котуйской провинции // Карбонатиты и щелочные породы севера Сибири. Л., 1970. С. 5–14.
 41. Щека С.А. Меймечит-пикритовый комплекс Сихотэ-Алиня // Докл. АН СССР. 1977. Т. 234, № 2. С. 444–447.
 42. Эрлих Э.Н., Шанцер А.Е., Кутыев Ф.Ш. Меймечиты Восточной Камчатки // Изв. АН СССР. Сер. геологическая. 1971. № 2. С. 3–9.
 43. Arndt N., Lehnert K., Vasilev Y. Meimechites – highly magnesian lithosphere-contaminated alkaline magmas from deep subcontinental mantle // Lithos. 1995. V. 34(1-3). P. 41–59.
 44. Artemieva I.M., Mooney W.D., Perchuc E. et al. Processes of lithosphere evolution: new evidence on the structure of the continental crust and uppermost mantle // *Tectonophysics*. 2002. V. 358, N 1–4. P. 1–15.
 45. Ashchepkov I.V., Vladykin N.V., Ntafflos T. Et al. Regularities and mechanism of formation of the mantle lithosphere structure beneath the Siberian Craton in comparison with other cratons // *Gondwana Research*. 2013. V. 23, N 1. P. 4–24.
 46. Carlson R.W., Czamanske G., Fedorenko V. et al. A comparison of Siberian meimechites and kimberlites: implications

- for the source of high-Mg alkalic magmas and flood basalts // *Geochem. Geophys. Geosys.* 2006. N 7. Q11014, doi:10.1029/2006GC001342.
47. Dalrymple G.B., Czamanske G.K., Fedorenko V.A. et al. A reconnaissance Ar-40/Ar-39 geochronological study of ore-bearing and related rocks, Siberian Russia // *Geochim. Cosmochim. Acta.* 1995. V. 59, N 10. P. 2071–2073.
 48. Dobretsov N.L., Kiryashkin A.A., Kiryashkin A.G. et al. Modelling of thermochemical plumes and implications for the origin of the Siberian traps // *Lithos.* 2008. V. 100. P. 66–92.
 49. Hofmann A.W. Chemical differentiation of the Earth: the relationship between mantle, continental crust, and oceanic crust // *Earth and Planetary Science Letters.* 1988. V. 90. P. 297–314.
 50. Kamenetsky V.S., Sobolev A.V., Joron J.-L. et al. Petrology and Geochemistry of Cretaceous Ultramafic Volcanic from Eastern Kamchatka // *J. Petrol.* 1995. V. 36, N 3. P. 637–662.
 51. Kamo S.L., Czamanske G.K., Amelin Yu. Et. al. Rapid eruption of Siberian flood-volcanic rocks and evidence for coincidence with the Permian-Triassic boundary and mass extinction at 251 Ma // *Earth and Planetary Science Letters.* 2003. V. 214. P. 75–91.
 52. Kogarko L.N., Ryabchikov I.D. Geochemical evidence for meimechite magma generation in the subcontinental lithosphere of Polar Siberia // *Journal of Asian Earth Sciences.* 2000. V. 18. P. 195–203.
 53. 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 // *Mineralogy and Petrology.* 2007. V. 89. P. 113–132.
 54. Sobolev N.V., Logvinova A.M., Zedgenizov D.A. et al. Mineral inclusions in microdiamonds and macrodiamonds from kimberlites of Yakutia: a comparative study // *Lithos.* 2004. V. 77, N 1–4. P. 225–242.
 55. Sobolev S.V., Sobolev A.V., Kuzmin D.V. et al. Linking mantle plumes, large igneous provinces and environmental catastrophes // *Nature.* 2011. V. 477. P. 312–316.
 56. Vasiliev Yu.R., Zolotukhin V.V. The Maimecha-Kotui alkaline-ultramafic province of the northern Siberian platform, Russia // *Episodes.* 1995. V. 18. N 4. P. 155–164.

Рекомендована к печати А.В. Колосковым

Yu.R. Vasiliev, M.P. Gora

The peculiarities of the formation of different aged meimechite-picrite associations in the regions with diverse structure (Siberia and the Far East)

The analysis of geological and tectonic setting of the formation and extensive analytical data characterizing meimechite-picrite associations of different ages and different structures in the areas of the Siberian Platform (Siberian craton), the Sikhote-Alin Mountains (transition zone continent - ocean) and Kamchatka (island arc) showed that the mineralogical-petrographic and petrochemical characteristics of the similarity of these formations are determined by the affinity of the P-T parameters of the development of magmatic systems in terms of consolidated thick lithosphere at the depths of diamond facies. The decisive factor in the formation of the studied associations in these regions are geodynamic processes leading to consolidation of the lithospheric mantle, and thus its ability to respond to the subsequent activation by creating deep zones of permeability. Generation of the initial high-magnesian melts occurred at high (up to 1700°C) temperatures with partial melting in different degrees of metasomatic modified and depleted mantle sources. Based on the isotopic characteristics the initial homogeneous melt rapidly intrude in the upper horizons of the earth's crust and is concentrated in the intermediate chamber, where olivine crystallized. Then the heterogeneous (L + Ol) melt appeared as tuff-lava strata and subvolcanic intrusive bodies. Thus, the formation process of meimechite-picrite associations followed a single scheme that has led to the formation of similar chemical composition and texture porphyritic rocks with a high content of phenocrysts magnesian olivine. Based on the composition of melt inclusions in olivines, the initial melts of the studied associations were high magnesian, but differ in the content of petrogenic oxides and, mainly, in the amount and distribution of impurity elements. The established differences are explained by the generation of the initial high magnesian melts in the conditions of continental or oceanic lithosphere.

Keywords: meimechite-picrite associations, geodynamic setting of formation, Siberian Platform, Sikhote-Alin, Kamchatka.