

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ КОНТИНЕНТАЛЬНЫХ И ОКЕАНИЧЕСКИХ ПЛАТОБАЗАЛЬТОВЫХ МАГМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ (данные по расплавленным включениям)

В.А. Симонов, С.В. Ковязин, Ю.Р. Васильев, Дж. Махони*

Институт геологии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия

** School of Ocean and Earth Science and Technology, University of Hawaii, Honolulu, USA*

На основе новых результатов исследования расплавленных включений в минералах установлены физико-химические и геохимические параметры платобазальтовых магматических систем Сибирской платформы и района плато Онтонг Джава (Тихий океан). Рассмотренные расплавы обладают повышенной железистостью, что является их отличительной особенностью по сравнению с магматизмом срединно-океанических хребтов (СОХ). Сравнительный анализ данных по включениям показал сходство континентальных и океанических платобазальтовых магматических систем, значительно отличающихся от магматизма СОХ и внутриплитных океанических островов. Кристаллизация океанических платобазальтов происходила при более низких температурах и давлениях по сравнению с параметрами на Сибирской платформе. Информация по включениям свидетельствует о значительных процессах эволюции расплавов Сибирской платформы и о. Малаита в отличие от магм бассейна Науру с более устойчивыми геохимическими параметрами. Наиболее фракционированные магмы с высокой железистостью, низкими температурами, повышенными содержаниями редких и редкоземельных элементов установлены для магматических систем о. Малаита (плато Онтонг Джава).

Расплавленные включения, платобазальты, Сибирская платформа, плато Онтонг Джава.

PHYSICOCHEMICAL PARAMETERS OF CONTINENTAL AND OCEANIC PLATEAU-BASALT MAGMATIC SYSTEMS (from data on melt inclusions)

V.A. Simonov, S.V. Kovyazin, Yu.R. Vasil'ev, and J. Mahoney

Based on new results of study of melt inclusions in minerals, the physicochemical and geochemical parameters of plateau-basalt magmatic systems of the Siberian Platform and Ontong Java, Pacific, have been established. The studied melts are enriched in Fe, which differs them from the magmatic melts of mid-ocean ridges (MOR). A comparative analysis of data on inclusions showed a similarity of continental and oceanic plateau-basalt magmatic systems, differing considerably from those of MOR and within-plate oceanic islands. Crystallization of oceanic plateau basalts took place at lower temperatures and pressures as compared with such rocks of the Siberian Platform. The data on inclusions evidence that the melts of the Siberian Platform and Malaita Island underwent a serious evolution in contrast to magmas of the Nauru Basin with more stable geochemical parameters. The most fractionated low-temperature high-Fe magmas with elevated contents of trace and rare-earth elements have been revealed for Malaita Island (Ontong Java Plateau).

Melt inclusions, plateau basalts, Siberian Platform, Ontong Java Plateau

ВВЕДЕНИЕ

Платобазальтовые магматические системы, образующие крупнейшие провинции на Земле [1] (рис. 1), привлекают пристальное внимание многочисленных исследователей. Об этом свидетельствует то, что на последнем Международном геологическом конгрессе (Флоренция, Италия, 2004) данным проблемам была посвящена целая секция — Session „G10.08 — Large igneous provinces“. На этой секции был представлен устный доклад [2], в котором приведены материалы по сравнительному анализу континентальных и океанических платобазальтов на примере сибирских траппов и базальтов плато Онтонг Джава в Тихом океане. Часть материалов, прозвучавших на геологическом конгрессе и касающихся расплавленных включений, используется в данной статье. В последнее время с помощью анализа расплавленных включений нам удалось дополнительно получить значительный объем новой информации по платобазальтовым (континентальным и океаническим) магматическим системам. Таким образом, в отличие от предыдущих публикаций авторов по этой проблеме [2—6], в которых сопоставлялись главным образом петрохимические и геохимические особенности пород, основой работы послужили новые оригинальные данные по расплавленным включениям в минералах из базальтов Сибирской платформы и плато Онтонг Джава.

Сибирская платформа является уникальным регионом развития траппового магматизма (рис. 2). В составе магматических комплексов интрузивные и вулканогенные образования играют равную роль [7, 8]. Последние сосредоточены в основном в северо-западном секторе платформы (Тунгусская синеклиза). Вся площадь развития вулканогенных пород разделена на ряд провинций (Маймеча-Котуйская, Каменская, Путоранская, Норильско-Хараелахская и другие), для каждой из них характерен свой разрез толщи. В Маймеча-Котуйской провинции преобладают щелочно-ультраосновные и щелочно-основные

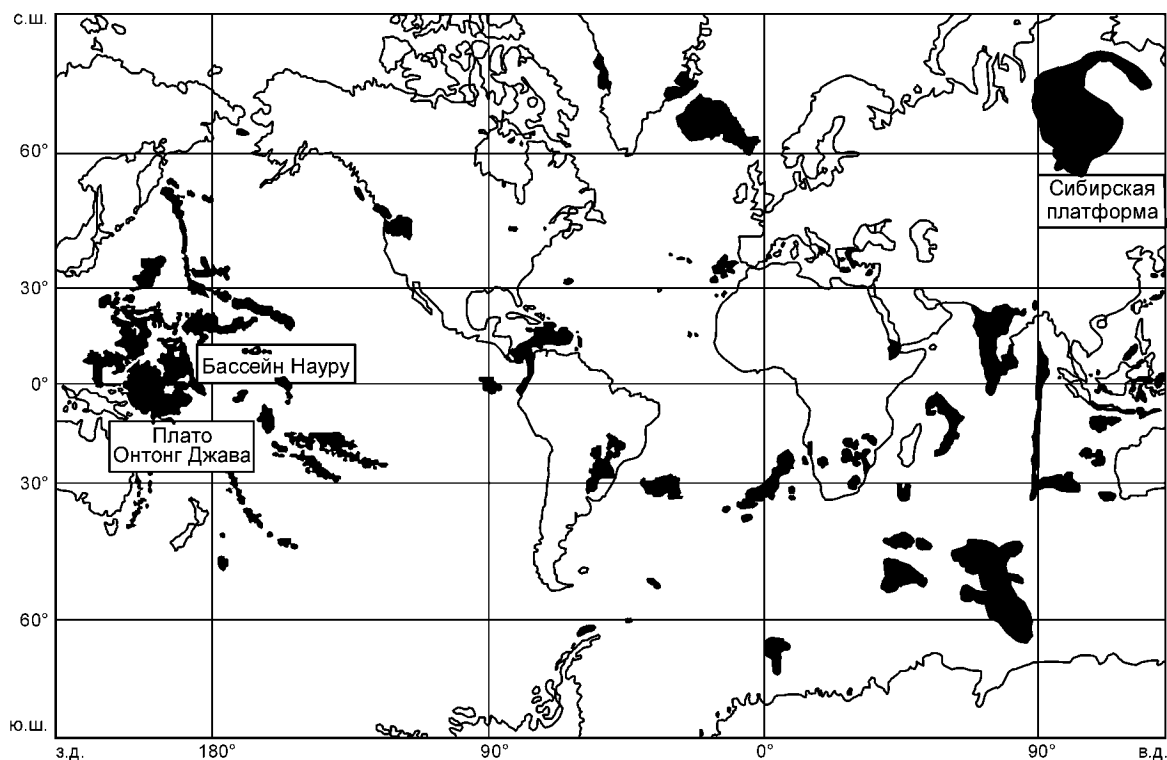


Рис. 1. Расположение платобазальтовых комплексов (темное) района плато Онтонг Джава—бассейна Науру и Сибирской платформы среди крупнейших магматических провинций Земли.

Схема составлена на основе данных из работы [1].

породы, но в центральной части разреза располагаются тыквиемская и онкучанская свиты, сложенные преимущественно толеитовыми базальтами. В Каменской провинции в значительном количестве присутствуют трахибазальты, а в Путоранской и Норильско-Хараелахской породы от низкокальциевых до субщелочных пикритов сосредоточены в нижней половине разреза. В верхних частях этих разрезов преобладают однообразные по составу толеитовые базальты. Такое распределение пород объясняется динамикой развития магматических процессов. Появление крупных объемов лав, обогащенных щелочами и образующих дифференцированные ряды, связывается с так называемым „рифтогенным“ этапом, а излияния огромных объемов однообразных по составу толеитовых расплавов приурочены к „платобазальтовому“ этапу. Именно к этому этапу относятся базальты ханнамакитской свиты, детально изученные нами в разрезе около оз. Лама в западной части плато Путорана. Здесь в крутых обрывах южного берега в приустьевой части р. Омон-Юрях снизу вверх обнажаются базальты аянской (280 м), полный разрез ханнамакитской (450 м) и низы неракарской свит (250 м). Изученные нами образцы, в которых были детально рассмотрены расплавные включения в минералах, отобраны из покрова базальтов в центральной части разреза ханнамакитской свиты, сложенной преимущественно толеитовыми базальтами, характеризующими второй этап траппового магматизма.

Крупнейшая провинция платобазальтового магматизма в Тихом океане, сопоставимая по своим масштабам с траппами Сибирской платформы, представлена в настоящее время океаническим плато Онтонг Джава, сопряженным с ним бассейном Науру и Соломоновыми островами (рис. 3). Этому региону посвящено значительное количество публикаций, рассматривающих геологические, петрологические и геохимические особенности платобазальтовых комплексов [2—6, 9—15]. Нами были исследованы образцы пород, полученные в результате глубоководного бурения во время 61-го рейса бурового судна „Гломар Челенджер“ в бассейне Науру [5, 16], а также образцы, отобранные одним из авторов статьи (Дж. Махони) на о. Малаита (Соломоновы о-ва). Фундамент этого острова близок по своим характеристикам к коре плато Онтонг Джава и считается, что часть Соломоновых о-вов входит в состав южной окраины этого плато [14]. В ходе исследования каменного материала были изучены составы базальтов, базальтовых стекол, клинопироксенов и проведены исследования расплавных включений в образцах из скв. 462А, пробуренной в бассейне Науру (см. рис. 3). В случае образцов из базальтовых серий о. Малаита основное внимание было уделено анализу минералов и расплавных включений.

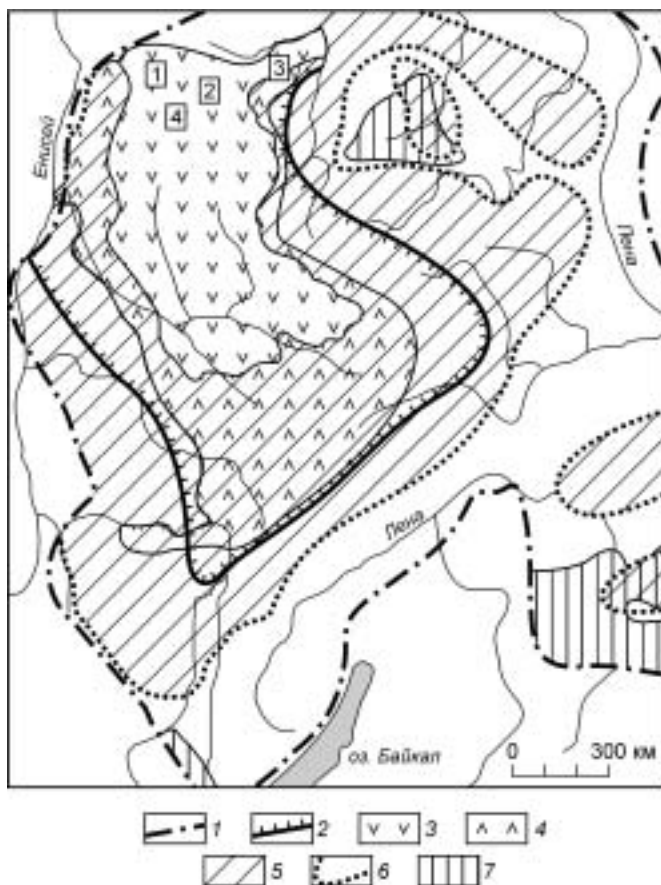


Рис. 2. Схема распространения траппов на Сибирской платформе.

1, 2 — границы: Сибирской платформы (1) и Тунгусской синеклизы (2); 3—5 — области преобладающего развития базальтов (3), туфогенных толщ (4) и интрузивных (силлы, дайки) траппов (5); 6 — границы развития интрузивных траппов; 7 — выходы кристаллического фундамента. Цифрами обозначены главные вулканогенные провинции северо-западной части Сибирской платформы: 1 — Норильско-Харалахская, 2 — Путранская, 3 — Маймеча-Котуйская, 4 — Тунгусская. Схема построена на основе данных из работы [8].

При обработке полученных по расплавленным включениям результатов с целью сравнительного анализа использовались оригинальные данные авторов по составам пермотриасовых траппов Сибирской платформы [4, 17], базальтов Срединно-Атлантического хребта (САХ) [18] и информация по магматическим комплексам внутриплитных океанических островов и гайотов [19—22], а также опубликованные материалы по породам плато Онтонг Джава (скв. 803, 807) [12, 13], бассейна Науру [6, 16] и о. Малаита [14].

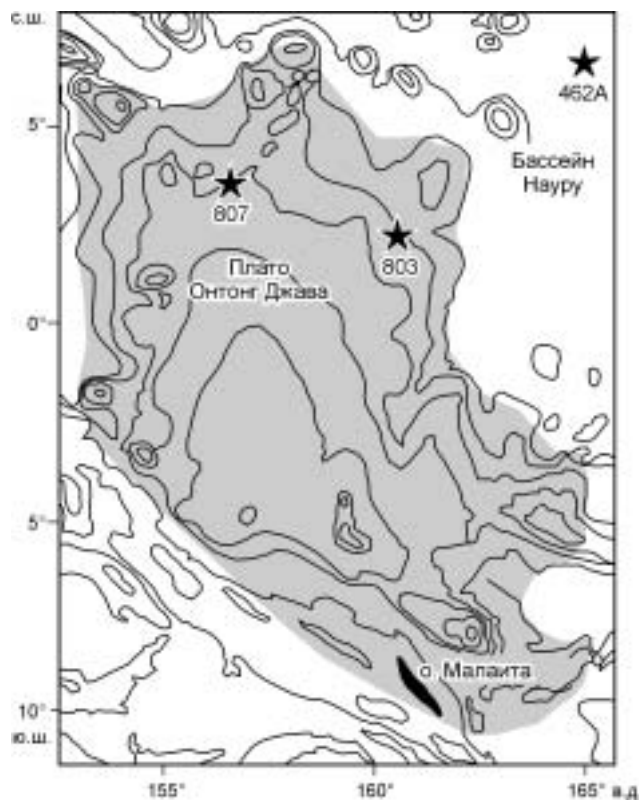
МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

При исследовании физико-химических параметров формирования базальтовых серий, имеющих, с одной стороны, значительный воз-

раст, а с другой — кристаллизовавшихся в подводных условиях, большие затруднения вызывают вторичные изменения пород. Во многих случаях даже использование устойчивых редких элементов оставляет значительную долю неопределенности при интерпретации результатов валового анализа базальтов для реконструкции особенностей магматических систем. В этом отношении существенную помощь могут оказать исследования первичных магматогенных минералов и сохранившихся в них расплавленных включений, которые несут прямую информацию о параметрах древних магматических систем. При этом необходимо отметить, что исследования расплавленных включений также имеют свои ограничения и трудности. Во-первых, для того чтобы найти включения, подходящие для последующих экспериментов, необходимо просмотреть десятки, а иногда и сотни образцов. Это связано с тем, что при вторичных процессах большинство минералов существенно преобразуются и соответственно уничтожаются включения, но в значительной части даже свежих минералов изначально вообще не содержатся включения. Во-вторых, в ходе экспериментов при высоких темпе-

Рис. 3. Расположение плато Онтонг Джава, бассейна Науру и о. Малаита в районе Онтонг Джава—Науру (Тихий океан).

Звездочками показаны скважины глубоководного бурения, данные по исследованию образцов из которых были использованы в работе. Схема построена с использованием материалов [13].



ратурах (свыше 1000 °С) большая часть включений в клинопироксенах и в плагиоклазах уничтожается — взрываются сами включения, проплавляется по трещинам минерал и т. п. В результате пригодными для последующего анализа на микрозонде остаются единичные включения. Еще большие трудности возникают при подготовке включений на ионный зонд. Здесь необходимы только крупные (более 30—40 мкм) включения, которые в экспериментах сохранятся крайне редко, а для отдельных образцов вообще удастся подготовить 1—2 включения.

Расплавные включения исследовались в высокотемпературной термокамере с инертной средой [23]. Эксперименты с включениями при высоких температурах проводились по опубликованной ранее методике [24, 25]. Составы гомогенизированных расплавных включений и вмещающих их минералов установлены на рентгеновском микроанализаторе „Сameбах-Місro“. Все экспериментальные исследования расплавных включений проведены в ОИГТМ СО РАН (г. Новосибирск). Содержания редких, редкоземельных элементов в расплавных включениях определены методом вторично-ионной масс-спектрометрии на ионном микроанализаторе IMS-4f в Институте микроэлектроники РАН (г. Ярославль) по методике, опубликованной в работе [26].

Обработка полученных результатов по расплавным включениям с целью реконструкции условий магматических систем проводилась с использованием программ, моделирующих основные параметры эволюции расплавов от условий генерации первичных магм до их кристаллизации. Применялись расчеты по программам PETROLOG [27], а также согласно методам [28] и [29].

КЛИНОПИРОКСЕНЫ

Составы клинопироксенов чутко реагируют на изменение геохимических свойств расплавов, поэтому эти минералы являются хорошими индикаторами особенностей магматических систем. Были изучены составы клинопироксенов, в которых исследовались включения из базальтовых пород бассейна Науру и о. Малаита. Представительные анализы минералов приведены в табл. 1. Данные по пироксенам из пород Науру опубликованы ранее [6].

Клинопироксены из пород о. Малаита резко отличаются не только от пироксенов бассейна Науру, но и от минералов из базальтов других океанических структур высокими содержаниями железа (15,5—28,8 мас.%), характерными для ферроавгитов. Рассматривая значения других элементов (SiO₂ 50,1—51,7; TiO₂ 0,32—0,86; Al₂O₃ 0,63—1,6, реже до 6,11; MgO 5,2—18,4; CaO 10,1—18,0; Na₂O 0,1—1,2 мас.%), видим, что практически по всем компонентам изученные пироксены также хорошо соответствуют ферроавгитам. Часть пироксенов имеют низкие содержания (4,1—5,2 мас.%) кальция, что соответствует пижонитам, но низкие (пижонитовые — 6,9 мас.%) значения этого элемента есть в пироксенах бассейна Науру [9] и в субкальциевых авгитах (8 мас.%) о. Малаита наряду с высокими содержаниями FeO (28 мас.%). Таким образом, среди пироксенов из долеритов о. Малаита, в которых были изучены включения, преоблада-

Таблица 1. Представительные анализы минералов (мас.%) из пород Сибирской платформы и о. Малаита

№ п/п	№ образца/ анализа	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма
1	1/2	48,57	0,05	32,52	0,00	0,44	0,02	0,20	16,54	2,22	0,05	100,61
2	2/4	47,58	0,04	32,90	0,00	0,47	0,00	0,17	17,05	1,85	0,04	100,11
3	3/5	47,17	0,04	33,14	0,00	0,50	0,02	0,18	16,91	1,81	0,03	99,80
4	4/6	50,34	0,02	31,04	0,00	0,45	0,03	0,22	15,39	2,81	0,07	100,36
5	4/7	48,92	0,02	30,42	0,01	0,46	0,00	0,21	15,68	2,54	0,07	98,34
6	5/8	50,14	0,04	31,12	0,00	0,43	0,00	0,22	15,05	2,89	0,10	100,00
7	6/9	50,29	0,04	31,39	0,00	0,44	0,01	0,22	15,36	2,75	0,10	100,60
8	6/10	49,12	0,03	31,43	0,00	0,43	0,02	0,22	15,01	2,91	0,08	99,24
9	2/5	50,44	0,45	1,01	0,00	21,57	0,58	11,68	14,38	0,21	0,00	100,32
10	3/8	51,14	0,32	0,83	0,00	23,49	0,51	18,39	4,12	0,07	0,00	98,88
11	3/12	50,58	0,34	0,72	0,00	27,49	0,69	14,85	4,87	0,07	0,00	99,62
12	4/15	50,13	0,51	1,09	0,00	23,16	0,58	9,34	15,08	0,23	0,00	100,11
13	5/18	50,25	0,42	0,72	0,00	25,87	0,64	16,37	5,27	0,10	0,00	99,63
14	5/19	50,51	0,39	0,63	0,00	28,76	0,68	13,64	5,24	0,08	0,00	99,93
15	6/25	51,21	0,65	1,51	0,00	15,79	0,42	12,25	18,04	0,26	0,00	100,12
16	6/26	51,01	0,69	1,59	0,00	15,46	0,48	13,05	17,10	0,28	0,00	99,66

Примечание. 1—8 — плагиоклазы из пород Сибирской платформы, 9—16 — клинопироксены из пород о. Малаита.

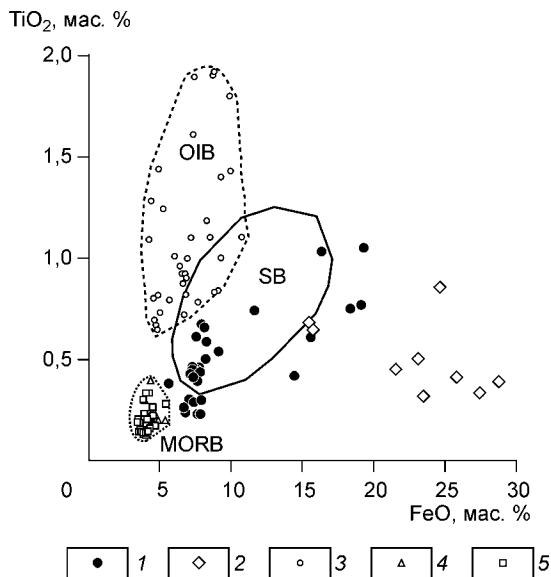


Рис. 4. Диаграмма TiO_2 — FeO для клинопироксенов.

1—5 — клинопироксены: из базальтов бассейна Науру (1), о. Малаита (2, плато Онтонг Джава), OIB — внутриплитных океанических островов (Гавайские острова и т. п.) и гайотов Тихого океана (3), Срединно-Атлантического хребта (4 — E-MORB, 5 — N-MORB). Поля клинопироксенов из толеитовых базальтов Сибирской платформы (SB) и из базальтов срединно-океанических хребтов (MORB). Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием материалов [18, 19, 22, 30].

дают высокожелезистые ферроавгиты и субкальциевые авгиты. По этим характеристикам рассмотренные породы о. Малаита отличаются от траппов Сибирской платформы и других платобазальтовых провинций.

На диаграмме TiO_2 — FeO (рис. 4) клинопироксены из базальтов Науру располагаются главным образом в поле минералов из толеитовых базальтов Сибирской платформы, но есть более железистые и менее титанистые разновидности. Первые ассоциируют с некоторыми пироксенами из пород о. Малаита, а вторые приближаются к дан-

ным по пироксенам из базальтов САХ. Эти особенности отражают двойственную природу магматических систем бассейна Науру, основой которых является внутриплитный платобазальтовый магматизм, на который оказывают влияние геодинамические процессы развития срединно-океанического хребта. Клинопироксены из базальтовых пород о. Малаита обладают высокой железистостью и по этому параметру (кроме двух анализов) резко отличаются от всех других пироксенов. В целом, изученные клинопироксены из района плато Онтонг Джава —бассейн Науру хорошо отличаются как от минералов из лав срединно-океанических хребтов, так и от пироксенов из пород океанических островов, обладая при этом определенными чертами сходства с клинопироксенами из толеитов Сибирской платформы (см. рис. 4).

РАСПЛАВНЫЕ ВКЛЮЧЕНИЯ

В нашем распоряжении имеется обширная коллекция толеитовых базальтов Сибирской платформы, но, несмотря на тщательный просмотр десятков пластинок, приготовленных из перспективных образцов, расплавные включения удалось найти только в единичных случаях. Наиболее представительные данные получены для обр. Л2-42. В плагииоклазе этого образца первичные расплавные включения (3—40 мкм) располагаются прямолинейными полосами по зонам роста. Формы включений — плоские таблички. По внутреннему содержанию можно выделить два типа: двухфазовые (светлое стекло + круглый газовый пузырек) и многофазовые (светлое стекло + светлые кристаллические фазы + несколько темных округлых фаз, часть из которых является газовыми пузырьками). Установлен широкий интервал температур гомогенизации включений: 1190—1240 °С. Представительные анализы гомогенизированных включений приведены в табл. 2.

Расплавные включения (преобладающие размеры — 5—15 мкм) во вкрапленниках клинопироксена из базальтов бассейна Науру обычно равномерно располагаются в центре кристаллов и являются первичными. Формы включений округлые с некоторой огранкой. Включения многофазовые: светлые кристаллики + коричневатые и черные фазы. В ходе экспериментов в термокамере полная гомогенизация включений наблюдалась в диапазоне температур от 1130 до 1160 °С. Составы гомогенизированных расплавных включений (наиболее представительные данные получены по обр. 21-1) опубликованы в предыдущей работе [6].

При детальном просмотре значительного количества образцов из базальтовых серий о. Малаита (Соломоновы о-ва, южная окраина плато Онтонг Джава) расплавные включения удалось найти только в клинопироксенах из среднекристаллических (размеры кристаллов плагииоклаза и пироксена до 3 мм) долеритов (обр. ML-476). Первичные расплавные включения (5—40 мкм) располагаются равномерно по минералу. Формы включений угловатые с элементами огранки — прямолинейные границы соответствуют граням кристаллов пироксена-хозяина. Включения многофазовые: светлые кристаллики + стекло + газовый пузырек + мелкая темная (рудная?) фаза. В ходе экспериментов полная гомогенизация включений наблюдалась в диапазоне температур от 1120 до 1155 °С (см. табл. 2).

Сравнение температур гомогенизации расплавных включений в плагииоклазах из базальтов Сибирской платформы, полученных экспериментально, с рассчитанными по программе PETROLOG [27] ликвидусными температурами показало, что при давлениях 1 кбар большая часть значений попадает в интервал ошибок термометра (рис. 5). При этом было установлено, что параметры кристаллизации плагииоклазов

Таблица 2. Представительные анализы гомогенизированных расплавных включений (мас.%) в минералах из пород Сибирской платформы и о. Малаита

№ п/п	№ образца/ анализа	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	T _{гом}
1	1/3	51,55	0,66	16,32	0,01	10,84	0,17	6,65	11,63	2,41	0,48	100,71	1190
2	1/5	50,98	0,60	16,00	0,04	10,62	0,14	6,75	11,23	2,70	0,63	99,69	1190
3	2/6	49,91	1,20	15,42	0,01	11,43	0,22	7,17	11,57	2,19	0,50	99,62	1240
4	2/7	49,49	1,31	14,90	0,03	11,98	0,23	7,30	11,58	2,16	0,47	99,45	1240
5	3/8	50,87	1,05	14,70	0,01	10,71	0,17	6,59	11,33	2,64	0,51	98,58	1195
6	3/9	49,61	1,35	14,34	0,02	11,84	0,17	7,22	11,21	2,27	0,44	98,47	1230
7	4/10	51,01	0,75	14,91	0,01	11,38	0,18	7,18	10,90	2,52	0,61	99,44	1200
8	4/11	50,41	0,67	15,00	0,00	11,09	0,16	6,88	10,88	2,43	0,55	98,06	1200
9	4/12	50,49	0,71	14,58	0,02	11,71	0,21	7,10	10,96	2,48	0,66	98,92	1200
10	4/13	48,97	0,80	15,49	0,05	10,55	0,21	7,20	10,69	2,61	0,98	97,55	1200
11	4/14	50,62	0,61	14,71	0,02	11,19	0,23	6,86	10,84	2,60	0,63	98,31	1200
12	5/15	52,74	0,51	15,18	0,01	10,07	0,16	6,23	10,93	2,87	0,66	99,35	1200
13	5/20	52,64	0,50	14,86	0,02	10,27	0,14	6,30	11,03	2,82	0,67	99,25	1200
14	5/21	52,70	0,53	14,72	0,04	10,56	0,16	6,18	10,87	2,95	0,68	99,39	1200
15	5/22	53,35	0,52	15,25	0,00	10,11	0,20	6,21	10,82	2,80	0,70	99,95	1200
16	6/26	52,18	0,53	16,83	0,01	9,40	0,17	5,70	11,26	2,80	0,67	99,56	1190
17	6/27	52,31	0,43	16,09	0,00	9,19	0,12	5,46	11,10	3,04	0,65	98,39	1190
18	6/28	51,59	0,46	15,55	0,06	9,71	0,19	5,95	11,02	2,88	0,70	98,10	1190
19	6/30	52,24	0,62	16,03	0,00	9,55	0,16	5,74	11,06	3,13	0,67	99,19	1190
20	6/31	52,27	0,58	16,23	0,03	9,68	0,18	5,68	11,24	2,90	0,74	99,52	1190
21	4/35*	49,55	0,87	15,77	0,02	11,34	0,17	7,06	11,31	2,19	0,46	98,75	1200
22	4/36	50,02	0,93	15,81	0,02	11,00	0,17	6,60	11,25	2,16	0,46	98,42	1200
23	5/37	49,11	0,78	15,68	0,02	11,46	0,13	7,49	10,75	1,95	0,22	97,59	1220
24	5/38*	49,73	0,80	15,42	0,02	11,54	0,15	7,32	10,73	1,93	0,23	97,87	1220
25	2/6	53,66	0,88	10,21	0,00	15,49	0,30	4,47	8,15	3,45	0,60	97,21	1120
26	2/7	53,00	0,67	9,16	0,00	17,46	0,31	3,41	7,54	3,15	0,66	95,38	1120
27	3/9	48,56	1,96	10,31	0,00	17,37	0,42	5,83	8,53	2,52	1,44	96,94	1155
28	3/10	50,29	1,65	11,13	0,00	15,72	0,33	5,48	7,84	2,73	1,77	96,94	1155
29	3/11	50,33	1,87	12,15	0,00	14,59	0,29	5,39	8,01	3,71	0,43	96,78	1155
30	4/16	50,69	1,04	7,28	0,00	22,76	0,48	3,95	8,67	2,43	0,42	97,70	1135
31	4/17*	51,90	1,02	7,27	0,00	22,44	0,50	4,87	8,94	2,26	0,44	99,64	1135
32	5/20	49,21	0,96	7,51	0,00	19,37	0,49	8,03	7,08	2,43	0,33	95,41	1145
33	5/21	49,52	1,15	8,16	0,00	19,22	0,42	5,05	8,49	2,75	0,41	95,16	1145
34	5/22*	50,94	1,12	8,51	0,00	19,71	0,37	4,93	8,48	2,95	0,43	97,44	1145
35	5/32	51,23	1,30	11,13	0,00	16,07	0,31	5,28	8,47	3,58	0,46	97,83	1130
36	5/24	49,03	1,01	8,17	0,00	18,66	0,38	7,65	8,00	2,17	0,39	95,46	1130
37	6/28	54,56	0,74	10,41	0,00	14,73	0,31	4,53	8,23	3,25	0,64	97,40	1120
38	6/29	54,97	0,29	7,07	0,00	16,54	0,45	5,95	9,76	1,68	0,64	97,34	1120

Примечание. 1—24 — включения в плагиоклазах из пород Сибирской платформы (обр. Л2-42); 25—38 — включения в клинопироксенах из пород о. Малаита (обр. ML-476). T_{гом} — температура гомогенизации включений.

* Включения, в которых определены содержания редких, редкоземельных элементов и воды.

не показывают заметного влияния воды. В случае бассейна Науру аналогичное сравнение показало, что при давлениях 0,5 кбар, что соответствует современной глубине океана на месте бурения скв. 462А — около 5100 м [19], значительная часть расчетных температур выше температур гомогенизации, что может свидетельствовать о повышенном содержании воды в расплаве [31]. В то же время, как будет показано далее, прямые замеры содержания воды в расплавных включениях с помощью ионного зонда говорят о сухости расплавов. Расчеты по программе PETROLOG при более низких давлениях (до 0,1 кбар) в

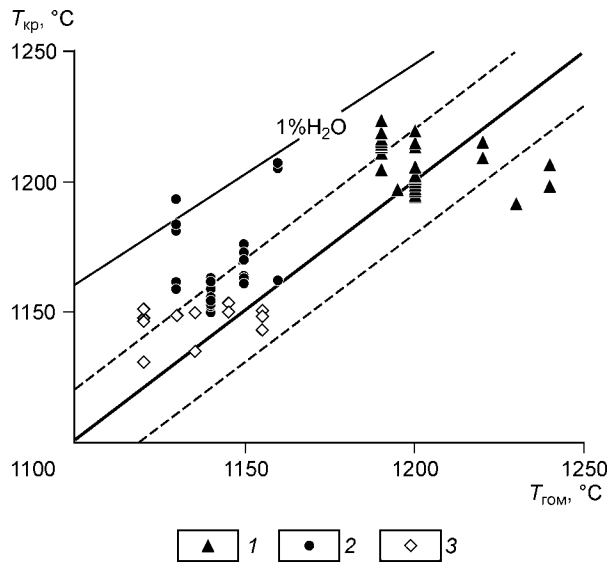


Рис. 5. Соотношение температур гомогенизации расплавных включений ($T_{\text{гом}}$) в минералах с расчетными температурами ($T_{\text{кр}}$) кристаллизации.

1—3 — расплавные включения: в плагиоклазах из толеитовых базальтов Сибирской платформы (1 — обр. Л2-42), в клинопироксенах из базальтовых пород бассейна Науру (2 — 21-1) и о. Малаита (3 — ML-476). Расчет температур проводился для давлений 1 кбар (Сибирская платформа) и 0,1 кбар в присутствии воды (Науру и Малаита) по программе PETROLOG [27]. Штриховые линии — пределы точности использованных термометров. 1 % H_2O — линия расплавов, содержащих 1 мас.% H_2O [31].

для составов расплавных включений в клинопироксенах из пород о. Малаита свидетельствуют, что при давлениях 1 кбар значительная часть расчетных температур выше температур гомогенизации, что может говорить о существенных значениях воды в расплаве [31]. Однако с помощью ионного зонда установлены незначительные содержания воды в расплавных включениях. Расчеты по программе PETROLOG при более низких давлениях (до 0,1 кбар) показывают гораздо лучшую сходимость с экспериментальными данными по включениям — большинство значений попадают в пределы ошибок термометра (см. рис. 5). Эти данные, как и в случае бассейна Науру, могут свидетельствовать о кристаллизации рассмотренных пироксенов при низких давлениях.

присутствия воды показывают гораздо лучшую сходимость с экспериментальными данными по включениям (см. рис. 5), что говорит о формировании рассмотренных базальтовых серий в бассейне с существенно меньшими глубинами, чем современные. Расчеты по программе PETROLOG

Расплавные включения в плагиоклазах из базальтов Сибирской платформы обладают близкими температурами гомогенизации с включениями из пород САХ, хорошо отличаясь повышенными значениями железа (рис. 6). По железистости они соответствуют расплавным включениям из бассейна Науру, но отличаются по температуре гомогенизации. По соотношению температур гомогенизации с железистостью расплавные включения в клинопироксенах Науру существенно отличаются от включений в пироксенах из базальтов срединно-океанических хребтов как нормальных (N-MORB), так и обогащенных (E-MORB) типов; они характеризуются большим содержанием железа и существенно меньшими температурами. Еще большими отличиями от расплавов САХ обладают расплавные включения в пироксенах о. Малаита. При этом данные по расплавам о. Малаита хорошо согласуются с результатами изучения расплавных включений в пироксенах базальтов бассейна Науру, формируя фактически единый тренд снижения температур расплавов с ростом их железистости (см. рис. 6). Таким образом, отчетливо выясняется связь составов расплавов и пироксенов — явно более железистые минералы о. Малаита кристаллизовались из более низкотемпературных расплавов с повышенным содержанием FeO.

В целом приведенные выше данные о корреляции составов расплавных включений с температурами их гомогенизации и с составами пироксенов-хозяинов, а также о соотношении расчетных и экспериментальных параметров могут служить независимыми критериями достоверности полученных нами результатов изучения расплавных включений в минералах из платобазальтовых пород Сибирской платформы и района плато Онтонг Джава—Науру.

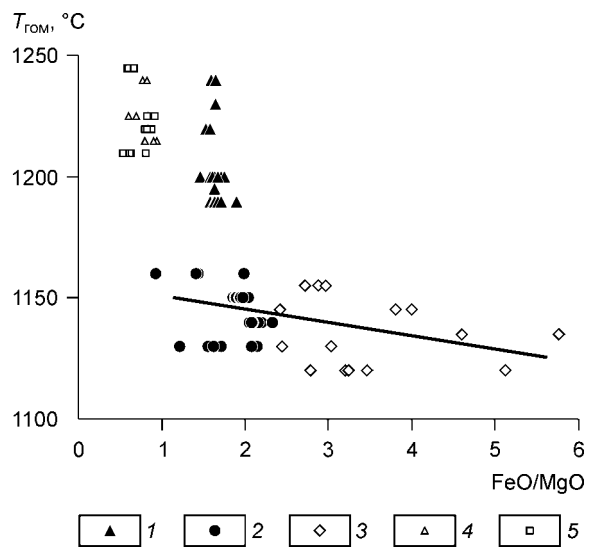


Рис. 6. Диаграмма $T_{\text{гом}}$ —FeO/MgO для расплавных включений.

1—5 — расплавные включения: в плагиоклазах из толеитовых базальтов Сибирской платформы (1), в клинопироксенах из базальтовых пород бассейна Науру (2), о. Малаита (3) и Срединно-Атлантического хребта (4 — E-MORB, 5 — N-MORB). $T_{\text{гом}}$ — температуры гомогенизации расплавных включений. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием материалов [18].

Рис. 7. Диаграмма $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} - \text{SiO}_2$ для расплавных включений.

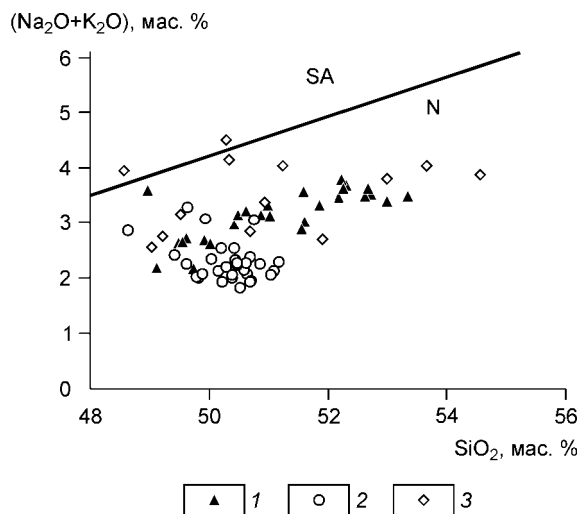
1—3 — расплавные включения: в плагиоклазах из толеитовых базальтов Сибирской платформы (1), в клинопироксенах из базальтовых пород бассейна Науру (2) и о. Малаита (3). Породы нормальной щелочности (N) и субщелочные (SA).

По содержанию щелочей рассмотренные включения из континентальных и океанических платобазальтовых пород относятся к породам нормальной щелочности (рис. 7), и подавляющее их большинство располагается в поле толеитовых серий. Таким образом, при исследовании платобазальтового магматизма с помощью расплавных включений мы не учитываем субщелочные и щелочные комплексы, широко развитые на Сибирской платформе, т. е. характеризуем главным образом второй („платобазальтовый“) этап магматизма.

На диаграммах Харкера [32] оказалось возможным установить некоторые особенности эволюции составов расплавных включений (рис. 8). Наблюдается явное снижение TiO_2 с ростом SiO_2 для расплавов Сибирской платформы, о. Малаита и бассейна Науру. Подобная картина распределения характерна для MgO , в меньшей мере FeO , для которого больше проявлена зависимость от типа магматической серии. Противоположную тенденцию показывает K_2O — рост значений при увеличении SiO_2 . Для Al_2O_3 и CaO нет зависимости от SiO_2 , но проявляются сериальные отличия: максимум FeO и минимальные значения Al_2O_3 и CaO характерны для расплавов о. Малаита, в то время как расплавы Науру по этим параметрам ближе к траппам Сибирской платформы. Точки расплавов бассейна Науру на всех диаграммах образуют компактное поле, ассоциирующее преимущественно с областью N-MORB, в отличие от расплавных включений Сибирской платформы и о. Малаита, которые только по калию ассоциируют с E-MORB, существенно отличаясь (особенно магмы о. Малаита) по всем остальным элементам от базальтов срединно-океанических хребтов.

Анализ составов гомогенизированных расплавных включений в плагиоклазах из платобазальтов Сибирской платформы показал явное снижение TiO_2 (1,4—0,4 мас.%) с ростом K_2O (0,4—0,7 мас.%) и в целом для них характерны более низкие значения титана по сравнению с вмещающими породами. Включения в клинопироксенах из базальтов бассейна Науру, судя по преобладающим значениям титана (1,3—1,8 мас.%) и калия (0,09—0,28 мас.%), соответствуют низкокальциевым нормальным базальтам срединно-океанических хребтов типа N-MORB, располагаясь также в низкокальциевой части поля пород плато Онтонг Джава. В целом по соотношению титана и калия (рис. 9) магматические системы бассейна Науру отличаются от траппов Сибирской платформы. Расплавы о. Малаита, судя по содержанию титана (0,7—1,9 мас.%) и калия (0,3—0,6 мас.%), наиболее близки обогащенным базальтам срединно-океанических хребтов типа E-MORB, попадая при этом в поле базальтов плато Онтонг Джава. По этим параметрам составы включений в пироксенах о. Малаита заметно отличаются от N-MORB с минимальными значениями калия и от базальтовых серий океанических островов (OIB). В общем, расплавы о. Малаита обогащены по сравнению с расплавами Науру калием при близких содержаниях титана (см. рис. 9). В целом на диаграмме $\text{TiO}_2 - \text{K}_2\text{O}$ можно выделить две серии — с относительно высокими значениями (1,5—2 мас.%) TiO_2 и низкотитанистую (0,4—1,4 мас. %). Последняя соответствует траппам Сибирской платформы (второй этап магматизма) и о. Малаита.

Расплавные включения из базальтов Сибирской платформы обладают повышенной железистостью по сравнению с базальтами срединно-океанических хребтов, отличаясь узким интервалом значений FeO/MgO (1,5—1,9), который хорошо согласуется с данными по породам Сибирской платформы. Расплавные включения бассейна Науру обогащены железом (до 13,8 мас.%) и по высоким значениям железистости (FeO/MgO до 2,3) соответствуют базальтам плато Онтонг Джава и части пород Сибирской платформы, резко отличаясь от пород срединно-океанических хребтов. Включения в пироксенах о. Малаита наиболее обогащены железом (до 22,8 мас.%) и по высоким значениям железистости (FeO/MgO до 5,8) явно отличаются от пород срединно-океанических хребтов, океанических островов, плато Онтонг Джава и бассейна Науру. Причем, если на диаграмме $\text{TiO}_2 - \text{FeO}/\text{MgO}$ для всех отмеченных выше базальтовых серий видна тенденция роста содержания TiO_2 при фракционировании расплавов с увеличением их железистости, то для расплавов о. Малаита отмечается обратная картина — падение титана в ходе их дифференциации (рис. 10).



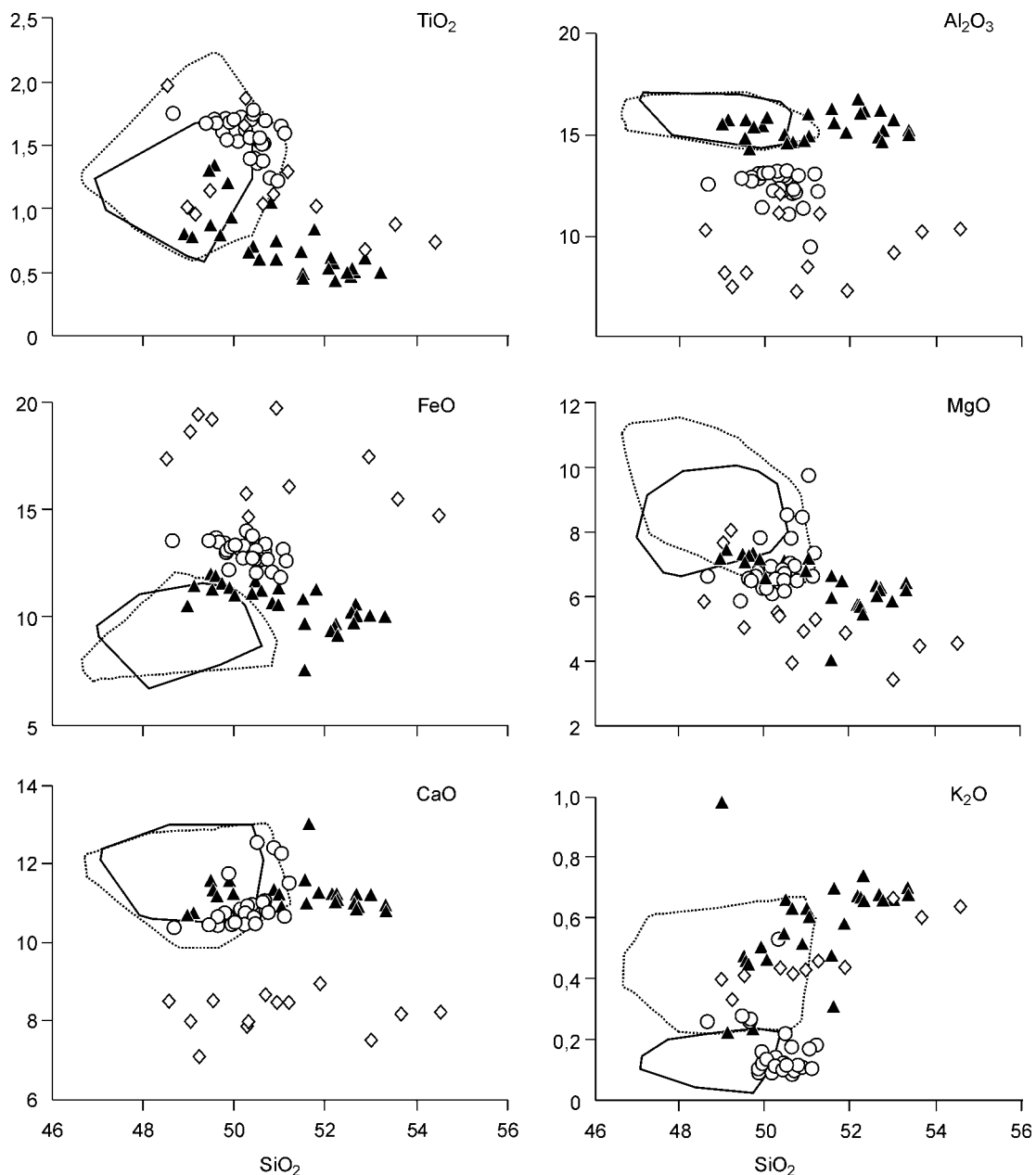


Рис. 8. Диаграммы Харкера для расплавных включений.

Поля базальтовых пород Срединно-Атлантического хребта: типа N-MORB — сплошная линия, типа E-MORB — пунктир. Усл. обозн. см. на рис. 7.

В результате анализа гомогенизированных расплавных включений с помощью ионного зонда оказалось возможным провести прямые исследования геохимии редких, редкоземельных элементов (РЗЭ) и воды в платобазальтовых магмах (табл. 3).

Анализ распределения редких элементов, устойчивых при вторичных процессах (Zr, Y, Nb), показал, что наиболее истощены ими расплавные включения в плагиоклазах Сибирской платформы, ассоциирующие по этим характеристикам со стеклами бассейна Науру. Они находятся в начале трендов прямой зависимости Y и Nb от Zr, характерных для рассмотренных расплавных включений и совпадающих с трендом базальтов плато Онтонг Джава (рис. 11,12). Платобазальты района оз. Лама (Сибирская платформа) по содержанию иттрия и циркония находятся в тесной ассоциации с породами и расплавными включениями Науру, которые в большинстве своем приурочены к полю базальтов Онтонг Джава (см. рис. 11). В сравнении с базальтами Онтонг Джава породы Науру обогащены ниобием, в то время как расплавные включения Науру близки к первым по содержанию этого элемента. По распределению ниобия

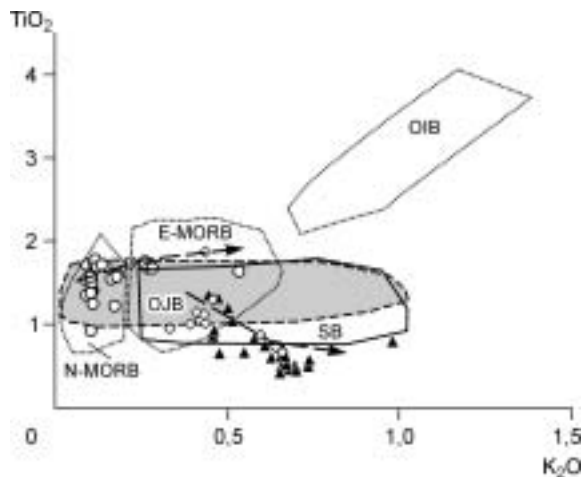


Рис. 9. Диаграмма TiO_2-K_2O для расплавных включений (мас.%).

Поля пород: N-MORB — нормальные базальты Срединно-Атлантического хребта, E-MORB — обогащенные базальты Срединно-Атлантического хребта, OIB — породы внутриплитных океанических островов; OJB — базальты плато Онтонг Джава; SB — базальты Сибирской платформы. Ост. усл. обозн. см. на рис. 7. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием материалов [6, 13, 18, 20].

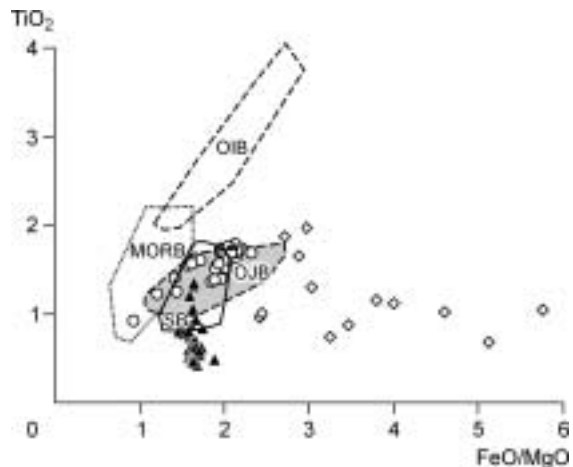


Рис. 10. Диаграмма TiO_2-FeO/MgO для расплавных включений (мас.%).

MORB — нормальные и обогащенные базальты Срединно-Атлантического хребта. Ост. усл. обозн. см. на рис. 7, 9. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием материалов [6, 13, 18, 20].

и циркония базальты региона Онтонг Джава и Науру близки породам из других подводных плато Тихого океана — плато Манихики и поднятия Хесса (см. рис. 12). Включения из пород о. Малаита отчетливо обогащены Zr, Y и Nb по сравнению с включениями Науру и базальтами плато Онтонг Джава, но располагаются на продолжении общего тренда для базальтов Сибири, Науру и Малаиты (см. рис. 11, 12). Особенно это хорошо видно на рис. 12, где отчетливый тренд прямой зависимости значений Nb от содержания Zr связывает в единую линию базальты Малаиты, Онтонг Джава и расплавы из включений Науру с включениями из пироксенов Малаиты с максимальными значениями элементов. В целом породы и расплавные включения Малаиты по содержанию иттрия и циркония хорошо отли-

Таблица 3. Содержание редких, редкоземельных элементов (г/т) и воды (мас.%) в гомогенизированных расплавных включениях в минералах из пород Сибирской платформы и о. Малаита

Элемент	1	2	3	4
Th	0,51	0,40	0,47	0,52
Ba	108,30	92,78	44,27	52,12
Sr	224,41	210,52	68,92	62,22
Cr	113	105	70	43
La	4,86	4,82	7,23	7,71
Ce	11,77	10,64	19,83	21,58
Nd	7,06	6,06	12,69	16,92
Sm	2,04	1,59	4,00	4,84
Eu	0,86	0,70	1,17	1,64
Gd	2,59	2,17	2,86	6,30
Dy	2,41	2,34	4,62	7,39
Er	1,48	1,61	3,64	5,82
Yb	2,06	1,82	4,16	6,43
Y	15,32	15,44	27,86	49,55
Zr	48,18	47,74	128,22	140,47
Nb	2,72	2,59	7,63	8,17
H ₂ O	0,02	0,00	0,06	0,02

Примечание. 1, 2 — включения в плагиоклазах из пород Сибирской платформы; 3, 4 — включения в клинопироксенах из пород о. Малаита.

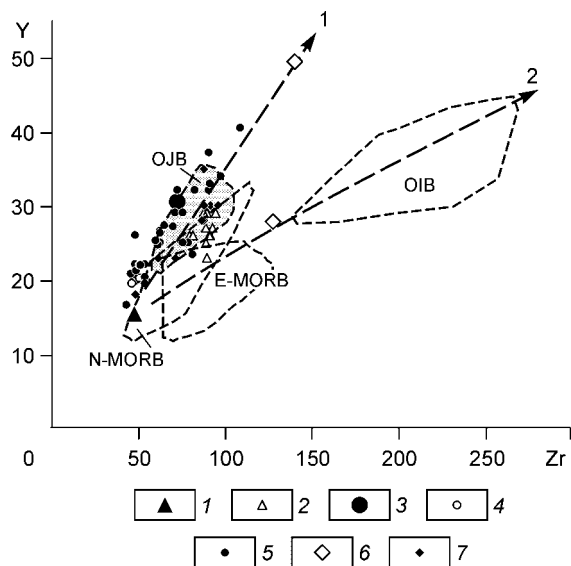


Рис. 11. Диаграмма Y—Zr для расплавных включений, магматических стекол и базальтовых пород (мас. %).

1, 3, 6 — расплавные включения: в плагиоклазах из толеитовых базальтов Сибирской платформы (1), в клинопироксенах из базальтовых пород бассейна Науру (3) и о. Малаита (6); 2, 5, 7 — базальтовые породы района оз. Лама (2, Сибирская платформа), бассейна Науру (5) и о. Малаита (7); 4 — стекла бассейна Науру. Тренды: 1 — платобазальтовые магматические системы, 2 — срединно-океанические хребты + океанические острова. Ост. усл. обозн. см. на рис. 9. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием материалов [6, 13, 14, 18, 21].

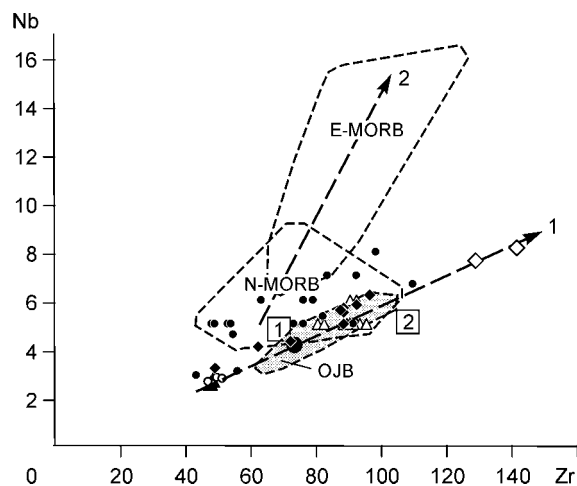


Рис. 12. Диаграмма Nb—Zr для расплавных включений, магматических стекол и базальтовых пород (мас. %).

Цифрами в квадрате обозначены данные по породам океанических плато: 1 — Манихики, 2 — поднятие Хесса. Тренды: 1 — платобазальтовые магматические системы, 2 — срединно-океанические хребты. Ост. усл. обозн. см. на рис. 11. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием материалов [6, 12—14, 18, 21].

породам не только Онтонг Джава, но и базальтам из других подводных плато Тихого океана — плато Манихики и поднятия Хесса (см. рис. 12).

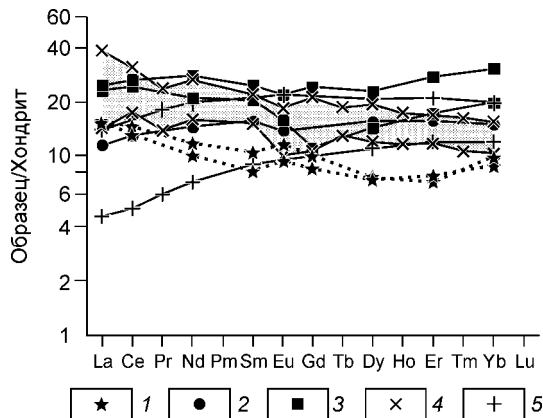
Гомогенизированные расплавные включения в плагиоклазах Сибирской платформы содержат меньше РЗЭ, чем толеитовые базальты из этого региона, но спектры элементов во включениях и в породах близки по общей направленности — идет накопление легких лантаноидов по сравнению с тяжелыми (рис. 13). По этим особенностям включения из пород Сибирской платформы отличаются от включений Науру и о. Малаита, а также от пород N-MORB и плато Онтонг Джава (см. рис. 13, 14). По характеру распределения РЗЭ расплавные включения в клинопироксенах бассейна Науру близки к хондритовому типу, располагаясь в полях базальтов плато Онтонг Джава и N-MORB. Спектры РЗЭ расплавных включений в пироксенах о. Малаита также близки к хондритовому типу и обогащены практически всеми компонентами по сравнению с включениями в пироксенах бассейна Науру и базальтами плато Онтонг Джава, резко отличаясь от N-MORB (см. рис. 14). Обогащенность РЗЭ расплавных включений подтверждает высокую степень дифференцированности расплавов о. Малаита.

Расплавные включения в плагиоклазах из пород Сибирской платформы имеют в основном субгоризонталь-

чаются от базальтовых серий срединно-океанических хребтов типа E-MORB и внутриплитных океанических островов, формирующих другие тренды (см. № 2 на рис. 11, 12). Базальты Малаиты в большинстве своем приурочены к полю пород Онтонг Джава и ассоциируют с N-MORB. По распределению ниобия и циркония базальты Малаиты близки

Рис. 13. Распределение редкоземельных элементов в расплавных включениях и в толеитовых базальтах Сибирской платформы.

1—3 — расплавные включения: в плагиоклазах из толеитовых базальтов Сибирской платформы (1), в клинопироксенах из базальтовых пород бассейна Науру (2) и о. Малаита (3); 4 — границы поля толеитов Сибирской платформы (обозначено серым фоном); 5 — границы поля пород типа N-MORB. Значения элементов нормированы к составу хондрита согласно [33]. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием материалов [34].



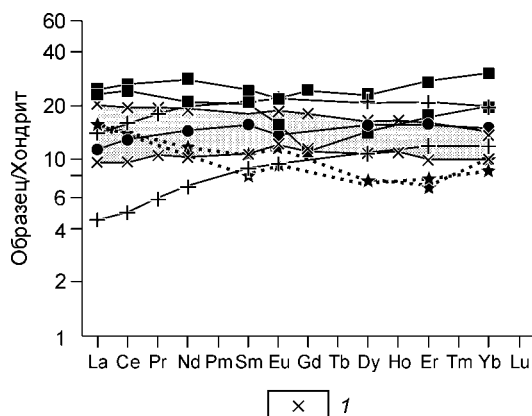


Рис. 14. Распределение редкоземельных элементов в расплавных включениях и в базальтах плато Онтонг Джава.

1 — границы поля базальтовых пород плато Онтонг Джава (обозначено серым фоном). Значения элементов нормированы к составу хондрита согласно [33]. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием материалов [13, 34]. Ост. усл. обозн. см. на рис. 13.

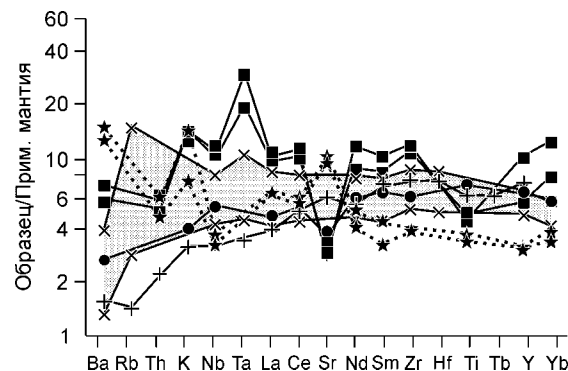


Рис. 15. Спайдер-диаграмма для расплавных включений и базальтов плато Онтонг Джава.

Среднее для N-MORB [35]. Значения элементов нормированы к составу примитивной мантии согласно [36]. Усл. обозн. см. на рис. 14.

по характеру спектров, с одной стороны, близки N-MORB с падением относительных концентраций элементов от Yb к Ba, а с другой — четко прослеживаются вдоль нижней границы поля базальтов Онтонг Джава. По особенностям распределения редких и редкоземельных элементов включения в пироксенах о. Малаита заметно отличаются от включений Науру и от тренда N-MORB и располагаются в основном над верхней границей поля базальтов Онтонг Джава. Спектры расплавов из включений Малаиты отличаются более отчетливым максимумом Ta и минимумами Sr и Ti от базальтов Сибирской платформы (см. рис. 15).

Содержания воды во включениях из пород Сибирской платформы очень низкие (около 0,02 мас.%), меньше, чем во включениях из пироксенов о. Малаита (0,02—0,06 мас.%) и существенно меньше, чем во включениях и стеклах бассейна Науру (0,07—0,18 мас.%) [6], что может свидетельствовать о сухости магматических систем. Во время экспериментов отдельные включения при высоких температурах (свыше 1000 °C) разгерметизировались, что говорит о возможном присутствии летучих, поэтому не исключено, что при нагреве происходила определенная утечка воды.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Проведенные исследования показали хорошие возможности исследования с помощью анализа расплавных включений в минералах платобазальтовых магматических систем как в континентальных, так и в океанических областях. Если для района плато Онтонг Джава—бассейн Науру, судя по доступной литературе и информационным базам в Интернете, нам впервые удалось проанализировать расплавные включения, то для Сибирской платформы составы расплавных включений используются в последнее время весьма активно, но при этом основное внимание уделяется меймечитам, пикритам и субщелочным платобазальтам [23, 31, 37, 38], характерным для первого этапа магматизма. В нашем случае для проведения корректного сравнительного анализа континентальных и океанических платобазальтовых магматических систем необходимо было использовать данные по включениям только из толеитовых платобазальтов Сибирской платформы, характерных для второго этапа.

Сравнивая полученные нами результаты с опубликованной ранее информацией по включениям в минералах из базальтов Сибирской платформы, видим, что по соотношению важнейших петрохимических компонентов (TiO₂—MgO) наши данные по включениям в плагиоклазах из толеитов района оз. Лама полностью попадают в поле включений из платобазальтов плато Путорана на Сибирской платформе (рис. 16), что может служить определенным критерием достоверности наших результатов. Большая часть точек расплавных включений в клинопироксенах из пород района плато Онтонг Джава—бассейн Науру также располагается в этом поле, что подтверждает выводы о сходстве петрохимических свойств континентальных и океанических платобазальтовых магматических систем.

Судя по результатам анализа включений, кристаллизация океанических платобазальтовых расплавов происходила при существенно более низких температурах и давлениях как в случае бассейна Науру,

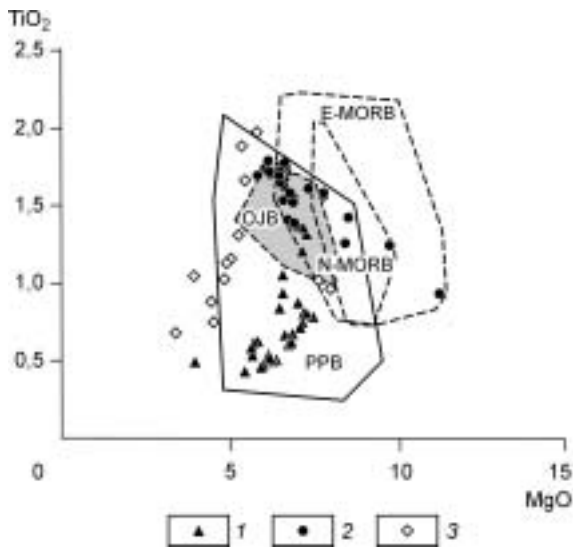


Рис. 16. Диаграмма TiO_2 — MgO для базальтов и расплавных включений (мас.%).

1—3 — расплавные включения: в плагиоклазах из толеитовых базальтов Сибирской платформы (1), в клинопироксенах из базальтовых пород бассейна Науру (2) и о. Малаита (3). Поля пород: PPB — субщелочные платобазальты плато Путорана (Сибирская платформа); OJB — базальты плато Онтонг Джава; N-MORB — нормальные базальты Срединно-Атлантического хребта; E-MORB — обогащенные базальты Срединно-Атлантического хребта. Рисунок построен на основе оригинальных данных с использованием материалов [13, 18, 38].

ваются с ростом давления [38]. Значения оказались очень низкими (до 0,06 в случае бассейна Науру и до 0,02 для о. Малаита), что свидетельствует о невысоких давлениях кристаллизации клинопироксенов — менее 1—3 кбар. Полученные данные, возможно, характеризуют разные этапы магматических процессов, так как этапность магматизма в бассейне Науру и о. Малаита изучена недостаточно.

По соотношению температур гомогенизации с железистостью расплавные включения в клинопироксенах бассейна Науру и о. Малаита формируют фактически единый тренд снижения температур расплавов с ростом их железистости, существенно отличаясь от включений в пироксенах из базальтов срединно-океанических хребтов как нормальных (N-MORB), так и обогащенных (E-MORB) типов и от включений в плагиоклазах из базальтов второго этапа магматизма Сибирской платформы, характеризуюсь большей ролью железа и существенно меньшими температурами.

Петрохимический анализ составов расплавных включений показал определенное различие в трех рассмотренных платобазальтовых магматических системах. Для включений из минералов Сибирской платформы и о. Малаита (южное окончание плато Онтонг Джава) характерны тренды эволюции, показывающие падение TiO_2 , FeO , MgO , рост K_2O и стабильные, но свои для разных серий, значения Al_2O_3 , CaO при увеличении SiO_2 с явным отличием от магматических систем срединно-океанических хребтов по большинству компонентов. В то же время расплавы бассейна Науру на всех диаграммах образуют компактные поля, ассоциирующие преимущественно с областью N-MORB. Эти данные свидетельствуют о том, что в платобазальтовых системах второго этапа на Сибирской платформе и о. Малаита идет дифференциация и эволюция в относительно замкнутых системах, а в расплавах Науру сказывается влияние развивающихся в открытых условиях срединно-океанических систем срединно-океанических хребтов, что не способствует длительным эволюционным процессам.

Данные по геохимии редких элементов, устойчивых при вторичных изменениях, в расплавных включениях свидетельствуют о том, что магматические системы Сибирской платформы, бассейна Науру и о. Малаита достаточно близки между собой, хорошо согласуются с информацией по плато Онтонг Джава и формируют тренды линейной зависимости значений иттрия и ниобия от содержания циркония. Они лишь частично попадают в поле N-MORB и хорошо отличаются от E-MORB и OIB. В то же время для Малаиты устанавливается значительно большее развитие процессов дифференциации магм с максимальным накоплением в остаточных расплавах Zr, Y, Nb. Процессы фракционирования магматических систем о. Малаита не были случайным эпизодом, а происходили непрерывно, о чем свидетельствует прямолинейный тренд прямой зависимости значений ниобия от содержания циркония, протягивающийся через данные по базальтам к точкам расплавных включений с максимальными значениями элементов.

Спектры РЗЭ в гомогенизированных расплавных включениях в плагиоклазах Сибирской платформы близки по общей направленности к спектрам РЗЭ для толеитовых пород из этого региона — идет накопление легких лантаноидов по сравнению с тяжелыми.

Сравнение особенностей распределения РЗЭ в породах показало, что базальты района плато Онтонг Джава — бассейн Науру имеют хондритовый горизонтальный характер и располагаются, в диапазоне легких лантаноидов, между спектрами толеитов Сибирской платформы и N-MORB. Ранее мы предположили, что мощность коры, возрастающая в последовательности срединно-океанический хребет—океаническое плато—континентальная платформа, влияет на процессы геохимической эволюции поднимающихся базальтовых расплавов [6]. Это может быть связано и с разными этапами эволюции плюма. Сравнение данных по РЗЭ в расплавных включениях и в базальтах Сибирской платформы, показывающих

при сходстве общей направленности спектров повышенные содержания всех элементов в породах, свидетельствует о том, что обогащение легкими лантаноидами не является конечным результатом дифференциации расплавов, выраженным в кристаллизующихся в близповерхностных условиях базальтах, а происходило еще в глубинных условиях в обособленных в нижней части континентальной коры плюмовых расплавах.

На основе составов расплавных включений в плагиоклазах из базальтов Сибирской платформы были оценены параметры первичных расплавов, являвшихся исходными для толеитовых магм, сформировавшихся изученные базальтовые серии в районе оз. Лама. Расчетное моделирование по методу [28] показало устойчивые значения глубин — 63—98 км (21—32 кбар) и температур (1400—1540 °С) формирования первичных расплавов. Аналогичные параметры устанавливаются на основе составов расплавных включений в клинопироксенах и для первичных магм о. Малаита: преобладающие значения глубин соответствуют 70—97 км (23—32 кбар), а температуры составляют около 1430—1540 °С. Эти параметры практически совпадают с данными для первичных расплавов бассейна Науру, установленных также на основе расплавных включений с использованием методов [28, 29] — 70—110 км, 1440—1500 °С [6], но существенно выше оценок для первичных расплавов срединно-океанических хребтов. В частности, для САХ с помощью использования различных моделей [28, 39, 40] установлены следующие условия генерации глубинных магм, исходных для нормальных базальтов типа N-MORB: 40—65 км, 1310—1400 °С [18, 28, 41]. Таким образом, превышение температуры составляет 100—150 °С, что соответствует модельным оценкам для плюмовых расплавов [42 и статья А.А. Кирдяшкина и др. в настоящем номере журнала].

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Рассмотренные с помощью анализа включений расплавы Сибирской платформы и района плато Онтонг Джава—бассейн Науру обладают повышенной железистостью и калиевостью при умеренной титанистости, что отражается на составах минералов и является отличительной особенностью плато-базальтовых магматических систем по сравнению с магматизмом срединно-океанических хребтов (см. рис. 4, 6, 8—10).

2. Сравнительный анализ физико-химических и геохимических параметров, полученных с помощью анализа расплавных включений, показал сходство континентальных и океанических платобазальтовых магматических систем, значительно отличающихся от магматизма срединно-океанических хребтов и внутриплитных океанических островов. В то же время установлены специфические особенности рассмотренных платобазальтовых магматических систем.

3. Судя по данным анализа включений, кристаллизация океанических платобазальтовых расплавов бассейна Науру и о. Малаита происходила при существенно более низких температурах и давлениях по сравнению с параметрами второго этапа магматизма на Сибирской платформе.

4. Данные по включениям, показывающие тренды эволюции расплавов Сибирской платформы и о. Малаита, а также компактное распределение геохимических характеристик в расплавах Науру свидетельствуют, что в первом случае (чисто платобазальтовые системы) идет дифференциация в замкнутых системах, а во втором — сказывается влияние развивающихся в открытых условиях спрединга магматических систем срединно-океанических хребтов, что не способствует длительной эволюции.

5. Магматические системы о. Малаита имеют свои специфические характеристики (высокая железистость, низкие температуры, повышенные содержания редких и редкоземельных элементов), позволяющие сделать вывод, что с помощью расплавных включений в данном случае нами были изучены наиболее продифференцированные расплавы, представляющие собой конечные этапы эволюции глубинных магм.

6. Результаты расчетного моделирования, проведенного на основе данных по включениям, свидетельствуют, что первичные расплавы континентальных и океанических платобазальтов формировались при более высокотемпературных условиях и на больших глубинах, чем магмы срединно-океанических хребтов, что подтверждает определяющую роль глубинных плюмов в процессах развития платобазальтовых магматических систем [42—44].

Работа выполнена при поддержке РФФИ (проекты № 04-05-64322, 05-05-64380).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Saunders A.D., Storey M., Kent R.W., Norry M.J.** Consequences of plume-lithosphere interactions // *Magmatism and the causes of continental break-up* (eds. M. Storey et al.). Geol. Soc. Publ., 1992, № 68, p. 41—60.
2. **Simonov V., Zolotukhin V., Vasiliev Yu.R.** Comparative analysis of continental and oceanic plateau basalts: evidence from Siberian traps and Ontong Java plateau basalts // *32nd Int. Geol. Congr.*, 2004, Abs. vol., part. 1, abs. 170-8, p. 798.

3. **Золотухин В.В., Симонов В.А., Альмухамедов А.И. и др.** Петрохимическое сопоставление базальтов Сибирской платформы и плато Онтонг Джава в Тихом океане // *Петрология магматических и метаморфических комплексов*, Вып. 2. Томск, ЦНТИ, 2001, с. 137—141.
4. **Золотухин В.В., Симонов В.А., Альмухамедов А.И. и др.** Сравнительный анализ составов континентальных и океанических платобазальтов (данные по Сибирской платформе и плато Онтонг Джава) // *Геология и геофизика*, 2003, т. 44, № 12, с. 1339—1348.
5. **Симонов В.А., Золотухин В.В., Щека С.А. и др.** Особенности магматизма северо-восточной окраины плато Онтонг Джава (Тихий океан) // *Петрология магматических и метаморфических комплексов*, Вып. 3. Томск, ЦНТИ, 2002, с. 145—148.
6. **Симонов В.А., Золотухин В.В., Ковязин С.В. и др.** Петрогенезис базальтовых серий подводного плато Онтонг Джава—Науру, Тихий океан // *Петрология*, 2004, т. 12, № 2, с. 191—203.
7. **Васильев Ю.Р., Золотухин В.В., Феоктистов Г.Д., Прусская С.Н.** Оценка объемов и проблема генезиса пермотриасового траппового магматизма Сибирской платформы // *Геология и геофизика*, 2000, т. 41, № 12, с. 1696—1705.
8. **Золотухин В.В., Альмухамедов А.И.** Базальты Сибирской платформы: условия проявления, вещественный состав, механизм образования // *Траппы Сибири и Декана: черты сходства и различия*. Новосибирск, Наука, 1991, с. 7—39.
9. **Castillo P., Batiza R., Stern R.J.** Petrology and geochemistry of Nauru basin igneous complex: large-volume, off-ridge eruptions of MORB-like basalt during the Cretaceous (Moberly R., Schlanger S.O. et al.) // *Init. Rep. DSDP, 89: Washington, U.S. Government Printing Office*, 1985, p. 555—576.
10. **Castillo P., Carlson R.W., Batiza R.** Origin of Nauru Basin igneous complex: Sr, Nd and Pb isotope and REE constraints // *Earth Planet. Sci. Lett.*, 1991, v. 103, p. 200—213.
11. **Saunders A.D.** Geochemistry of basalt from the Nauru basin, DSDP Legs 61 and 89: implications for the origin of oceanic flood basalts // *Init. Rep. DSDP*, 1986, v. 89, p. 499—518.
12. **Kroenke L.W., Berger W.H., Janecsek T.R et al.** Proc. Ocean Drill. Progr. Init. Rep., 130, Ocean Drilling Program, College Station, 1991, 1240 p.
13. **Mahoney J.J., Storey M., Duncan R.A. et al.** Geochemistry and geochronology of Leg 130 basement lavas: nature and origin of the Ontong Java Plateau // *Proceedings of the Ocean Drilling Program, Scientific Results*, 1993, v. 130, p. 3—22.
14. **Tejada M.L.C., Mahoney J.J., Neal C.R., Duncan R.A., Hawkins M.P.** Age and geochemistry of basement and alkalic rocks of Malaita and Santa Isabel, Solomon Islands, southern margin of Ontong Java Plateau // *J. Petrol.*, 1996, v. 37, № 2, p. 361—394.
15. **Neal C.R., Mahoney J.J., Kroenke L.W. et al.** The Ontong Java Plateau // *Large igneous provinces: continental, oceanic and planetary flood volcanism. Geophysical monograph. Washington, Amer. Geoph. Union.*, 1997, p. 183—216.
16. **Shcheka S.** Igneous rocks of Deepsea Drilling Project Leg-61, Nauru Basin // *Init. Rep. DSDP*, 1981, v. 61, p. 633—646.
17. **Золотухин В.В., Васильев Ю.Р., Дюжиков О.А.** Многообразие траппов и исходные магмы. Новосибирск, Наука, 1989, 248 с.
18. **Симонов В.А., Колобов В.Ю., Пейве А.А.** Петрология и геохимия геодинамических процессов в Центральной Атлантике. Новосибирск, Изд-во СО РАН, НИЦ ОИГГМ СО РАН, 1999, 224 с.
19. **Петрологические провинции Тихого океана.** М., Наука, 1996, 444 с.
20. **Симонов В.А., Колобов В.Ю., Ковязин С.В.** Петрохимические особенности базальтовых магм в районе тройного сочленения Буве (Южная Атлантика) // *Геология и геофизика*, 1996, т. 37, № 2, с. 86—96.
21. **Симонов В.А., Пейве А.А., Колобов В.Ю., Тикунов Ю.В.** Геохимия и геодинамика базитов в районе тройного сочленения Буве // *Петрология*, 2000, т. 8, № 1, с. 43—58.
22. **Frey F.A., Garcia M.O., Wise W.S. et al.** The evolution of Mauna Kea Volcano, Hawaii: petrogenesis of tholeiitic and alkalic basalts // *J. Geophys. Res.*, 1991, v. 96, № B9, p. 14347—14375.
23. **Соболев А.В., Слущкий А.Б.** Состав и условия кристаллизации исходного расплава сибирских меймечитов в связи с общей проблемой ультраосновных магм // *Геология и геофизика*, 1984, № 12, с. 97—110.
24. **Симонов В.А.** Петрогенезис офиолитов (термобарогеохимические исследования). Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 1993, 247 с.
25. **Sobolev A.V., Danyushevsky L.V.** Petrology and geochemistry of boninites from the North Termination of the Tonga Trench: constraints on the generation conditions of primary high-Ca boninite magmas // *J. Petrol.*, 1994, v. 35, p. 1183—1211.
26. **Соболев А.В.** Включения расплавов в минералах как источник принципиальной петрологической информации // *Петрология*, 1996, т. 4, № 3, с. 228—239.

27. **Danyushevsky L.V.** The effect of small amounts of H₂O on crystallisation of mid-ocean ridge and backarc basin magmas // *J. Volc. Geotherm. Res.*, 2001, v. 110, № 3—4, p. 265—280.
28. **Schilling J.-G., Ruppel C., Davis A.N. et al.** Thermal structure of the mantle beneath the equatorial Mid-Atlantic Ridge: inferences from the spatial variation of dredged basalt glass compositions // *J. Geophys. Res.*, 1995, v. 100, № B6, p. 10057—10076.
29. **Shen Y., Forsyth D.W.** Geochemical constraints on initial and final depths of melting beneath mid-ocean ridges // *J. Geophys. Res.*, 1995, v. 100, № B2, p. 2211—2237.
30. **Шевко А.Я.** Пироксены траппов как показатели их петрогенезиса (северо-запад Сибирской платформы): Автореф. дис. ... канд. геол.- мин. наук. Новосибирск, ОИГТМ СО РАН, 2002, 24 с.
31. **Соболев А.В.** Проблемы образования и эволюции мантийных магм: Автореф. дис. ... д-ра геол.- мин. наук. М., ГЕОХИ РАН, 1997, 50 с.
32. **Интерпретация геохимических данных** / Ред. Е.В. Скляров. М., Интермет Инжиниринг, 2001, 288 с.
33. **Boynnton W.V.** Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies // *Rare earth element geochemistry*. N.Y., Elsevier, 1984, p. 63—114.
34. **Шараськин А.Я.** Тектоника и магматизм окраинных морей в связи с проблемами эволюции коры и мантии. М., Наука, 1992, 163 с.
35. **Saunders A.D., Tarney J.** Geochemical characteristics of basaltic volcanism within back-arc basins / Eds. B.P. Kokelaar, M.F. Howells // *Marginal basin geology* (Spec. Publ. Geol. Soc. London), 1984, v. 16, p. 59—76.
36. **Rollinson H.R.** Using geochemical data: evaluation, presentation, interpretation. N.Y., Longman Scientific and Technical, 1993, 352 p.
37. **Рябчиков И.Д., Соловова И.П., Когарко Л.Н. и др.** Термодинамические параметры генерации меймечитов и щелочных пикритов Маймеча-Котуйской провинции (по данным изучения расплавленных микровключений) // *Геохимия*, 2002, № 11, с. 1139—1150.
38. **Рябчиков И.Д.** Механизмы и условия магмообразования в мантийных плюмах // *Петрология*, 2003, т. 11, № 6, с. 548—555.
39. **Klein E.M., Langmuir C.H.** Global correlations of ocean ridge basalt chemistry with axial depth and crustal thickness // *J. Geophys. Res.*, 1987, v. 92, p. 8089—8115.
40. **Albarede F.** How deep do common basaltic magmas form and differentiate? // *J. Geophys. Res.*, 1992, v. 97, p. 10997—11009.
41. **Симонов В.А., Пейве А.А., Ковязин С.В.** Особенности магматических процессов в зоне трансформного разлома Сьерра-Леоне (Экваториальная Атлантика) // 7-я международная конференция по тектонике плит им. Л.П. Зоненшайна. М., Научный мир, 2001, с. 475—476.
42. **Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Кирдяшкин А.А.** Глубинная геодинамика. Новосибирск, Изд-во СО РАН, филиал „Гео“, 2001, 409 с.
43. **Добрецов Н.Л.** Пермско-триасовый магматизм и осадконакопление в Евразии как отражение мантийного суперплюма // *Докл. РАН*, 1997, т. 354, № 4, с. 497—500.
44. **Альмухамедов А.И., Медведев А.Я., Кирда Н.П.** Сравнительный анализ геодинамики пермо-триасового магматизма восточной и западной Сибири // *Геология и геофизика*, 1999, т. 40, № 11, с. 1575—1587.

*Поступила в редакцию
20 января 2005 г.*