

**ПЕТРОХИМИЧЕСКОЕ РАЗНООБРАЗИЕ ТРАППОВ ВОСТОЧНОЙ ПЕРИФЕРИИ
ТУНГУССКОЙ СИНЕКЛИЗЫ**

М.Д. Томшин, А.Г. Копылова, О.А. Тянь

Институт геологии алмаза и благородных металлов СО РАН, 678980, Якутск, просп. Ленина, 39, Россия

Излагаются результаты петро- и геохимического изучения траппов бассейна р. Моркока-Мархарата и проводится их сравнение с пермотриасовыми базитами других регионов Сибирской платформы. Установлено, что распространенные в восточной половине Тунгусской синеклизы пермотриасовые трапповые интрузивы выполнены тремя петрохимически различающимися типами базитовых расплавов. Они, последовательно сменяя друг друга во времени, внедрялись в пределах одного тектономагматического цикла. Каждая из выделенных групп интрузий имеет свои, свойственные только ей, геохимические нюансы, заложенные в момент магмогенерации и сохраняемые в процессе эволюционных преобразований. Они не зависят от объема внедрившегося расплава, размаха внутрикамерной дифференциации в интрузивах, характера преобразования магмы в ходе глубинного фракционирования на пути в современную камеру, а также положения относительно магмоконтролирующих структур и в пределах Тунгусской синеклизы.

Толейтовый расплав, дифференциация, траппы, силлы, магматиты, долериты, офитовая и пойкилофитовая структуры, петрохимический тип.

**PETROCHEMICAL DIVERSITY OF TRAPS ON THE EASTERN PERIPHERY
OF THE TUNGUSKA SYNECLISE**

M.D. Tomshin, A.G. Kopylova, and O.A. Tyan

Results of petro- and geochemical study of traps in the basin of the Morkoka-Markharata River are reported. The traps are compared with Permo-Triassic basites from other regions of the Siberian Platform. Permo-Triassic trap intrusions in the eastern Tunguska syncline are made up of three petrochemically different types of basic melts. They successively intruded during the same tectonomagmatic cycle. Each of the intrusive groups has its proper geochemical specifics originated during the magma generation and preserved throughout evolutionary transformations up to the emplacement of magma in a modern chamber. This specifics does not depend on the volume of intruded melt, scale of intrachamber differentiation in the intrusions, character of transformation of magma during its deep-level fractionation on the path to a modern chamber, and position of the intrusions relative to magma control zones within the Tunguska syncline.

Tholeiitic melt, differentiation, traps, sills, magmatites, dolerites, ophitic and poikilophitic textures, petrochemical type

ВВЕДЕНИЕ

Новые представления о возникновении огромных объемов толейтовых магм под влиянием плюмов [1, 2 и др.] возобновили интерес к траппам Сибирской платформы. С позиции плюмовой тектоники объясняется пространственно-временная последовательность образования и внедрения базальтовой магмы [3, 4]. В ряде последних работ предприняты попытки объяснить имеющееся петрохимическое разнообразие сибирских траппов латеральной зональностью от центра платформы к ее периферии, обусловленной приуроченностью конкретных объемов расплава к определенным структурам в связи с плюм-тектоникой [4, 5]. Поэтому для выяснения причин появления петрохимически различных типов интрузивов нами ранее [6] было проведено комплексное петрохимическое и петрофизическое изучение базитов восточной части Тунгусской синеклизы в пределах Вилуйско-Котуйской магмоконтролирующей зоны. Последняя является крупной структурой, с которой связано поступление в пермотриасовое время огромных масс толейтовых магм и формирование мощных (до 500 м) дифференцированных интрузий. Среди распространенных здесь траппов были выделены три группы магматитов, различающиеся по геохимическим и петрофизическим характеристикам. Причиной появления этих групп магматитов могут быть как особенности образования расплава в областях магмогенерации, так и фракционирование расплава в процессе его перемещения и внедрения в долгоживущих магмоконтролирующих зонах. Большие мощ-

ности интрузивов в пределах Виллойско-Котуйской зоны также способствуют появлению различных петрохимических породных типов (в понимании Г.Д. Феокистова [7]) в результате дифференциации магмы во внутрикамерной обстановке. Поэтому, чтобы снять фактор влияния процессов дифференциации на появление различных петрохимических породных групп, были изучены удаленные от тектонически-активных зон территории на периферии синеклизы, где располагаются маломощные недифференцированные трапповые sill в областях затухания магматической деятельности. Один из таких участков располагается в низовьях р. Моркока. Результаты петро- и геохимического изучения траппов в этом районе представляют предмет настоящей работы.

ПЕТРОГРАФО-ГЕОХИМИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ТРАППОВ

Исследуемые трапповые sill располагаются в бассейне р. Моркока-Мархарата (рис. 1). Вмещающими для них являются карбонатные породы ордовика и кембрия, которые на контакте с интрузиями слабометаморфизованы. На водораздельных участках, когда интрузии бронируют возвышенности, в подножии отдельных пластовых залежей отмечаются верхнекарбонные песчаники и алевролиты, кото-

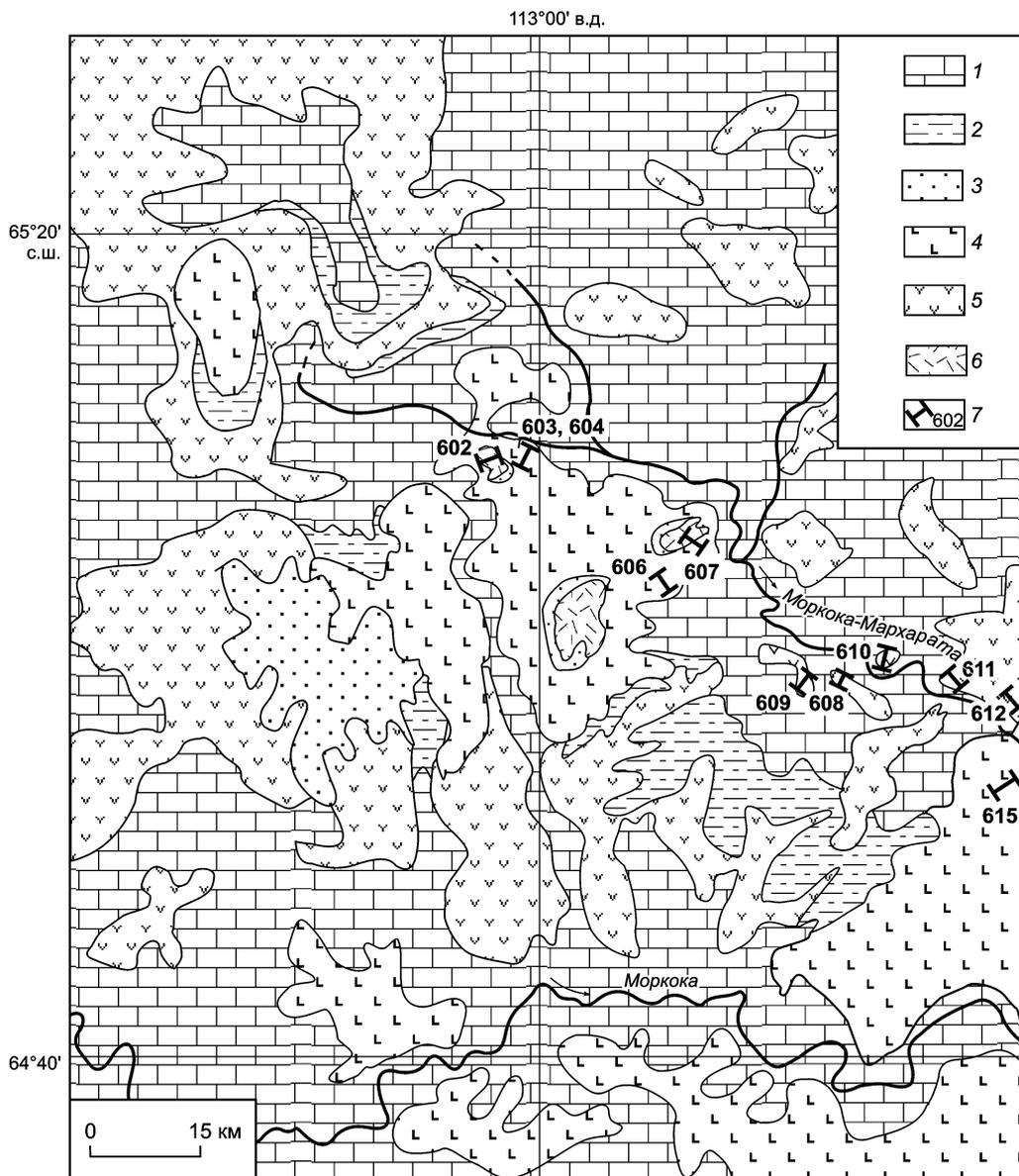


Рис. 1. Схематическая геологическая карта бассейна р. Моркока-Мархарата, выполненная по материалам геолого-съёмочных работ Амакинской ГРЭ (2000 г.).

1 — карбонатные отложения ордовика и кембрия; 2 — верхнекарбонные песчаники и алевролиты; 3 — нерасчлененные перм-триасовые отложения песчаников и аргиллитов; 4—6 — трапповые sill: первого (4), второго (5) и третьего (6) петрохимических типов; 7 — номера обнажений.

рые часто приобретают облик роговиков, а в западинах кровли наблюдаются блоки нерасчлененных пермокарбонных образований. Южнее и восточнее данного района траптовые интрузии перекрыты юрскими отложениями. Прямые геологические данные свидетельствуют о позднепермском—триасовом возрасте магматитов. Установленные случаи взаимного пересечения силлов говорят о том, что магматическая деятельность была неоднократной, а растянутой во времени. Мощность силлов не более 30—45 м. В ходе изучения интрузивных тел в естественных обнажениях, анализа петрографического, минералогического и геохимического составов пород удалось разделить распространенные здесь траппы на три петрохимических типа.

Таблица 1. Химический состав плагиоклазов в долеритах траптовых интрузивов бассейна р. Моркока-Мархарата, мас.%

№ п/п	№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Сумма	An
1	603-1	52,76	0,09	28,83	0,56	12,3	4,32	0,26	99,08	60
2	606-1	55,13	0,15	27,77	0,77	9,9	5,98	0,36	100,03	47
3	606-3	58,03	0,10	26,27	0,60	8,6	6,66	0,48	100,72	40
4	607-5	51,31	0,09	29,88	0,70	12,7	4,9	0,20	99,75	58
5	607-7	48,66	0,09	31,69	0,55	14,9	2,86	0,24	98,94	73
6	607-8	52,04	0,11	28,94	0,56	11,6	4,94	0,34	98,48	55
7	»	50,67	0,11	30,49	0,50	13,1	3,36	0,24	98,45	67
8	615-1	55,6	0,11	25,89	0,53	8,5	6,61	0,39	97,65	41
9	»	47,6	0,08	31,72	0,78	15,2	2,62	0,10	98,05	76
10	»	55,16	0,14	27,2	1,38	9,7	5,42	0,28	99,25	49
11	615-12	49,2	0,08	30,9	0,63	14,4	3,11	0,11	98,38	71
12	618-1	47,31	0,02	32,44	0,22	16,0	1,8	0,10	97,87	83
13	618-4	46,63	0,06	32,76	0,53	16,8	1,98	0,05	98,81	82
14	618-5	51,93	0,09	28,6	0,78	12,3	4,33	0,21	98,28	60
15	618-7	47,13	0,04	33,1	0,50	16,4	1,72	0,04	98,95	84
16	606-5	46,73	0,02	33,54	0,57	15,9	2,15	0,04	98,99	80
17	608-1	53,61	0,10	28,82	0,95	11,7	5,08	0,25	100,47	55
18	»	48,33	0,06	29,79	0,71	13,7	4,39	0,15	97,07	63
19	608-5	50,8	0,05	31,26	0,54	14,0	3,56	0,10	100,32	68
20	»	48,33	0,04	31,26	0,44	15,3	2,76	0,09	98,2	75
21	609-1	47,32	0,05	32,8	0,61	16,3	2,35	0,06	99,49	79
22	609-2	46,81	0,03	33,02	0,65	16,1	2,05	0,09	98,77	81
23	609-3	46,57	0,04	34,78	0,48	16,7	1,43	0,04	100,08	86
24	610-5	49,44	0,04	31,34	0,65	14,7	3,3	0,11	99,61	71
25	610-1	46,22	0,03	33,01	0,42	17,0	1,17	0,03	97,87	89
26	»	46,31	0,05	33,93	0,49	16,5	2,37	0,17	99,79	79
27	610-2	51,71	0,10	28,35	0,69	12,7	4,34	0,16	98,04	61
28	»	45,59	0,05	33,8	0,42	16,7	1,79	0,06	98,44	83
29	611-9	46,89	0,06	31,6	0,70	16,3	2,48	0,06	98,06	78
30	611-11	51,78	0,09	28,87	0,72	12,8	3,56	0,18	98,04	66
31	612-4	52,28	0,06	28,51	0,60	12,6	3,98	0,18	98,23	63
32	612-8	53,37	0,10	28,2	0,69	11,8	4,38	0,20	98,77	59
33	612-10	48,04	0,05	31,26	0,69	15,3	2,62	0,10	98,1	76
34	602-3	54,62	0,11	26,37	0,57	9,98	6,23	0,35	98,23	46
35	602-5	55,22	0,09	26,88	0,62	9,5	6,35	0,36	99,03	44
36	»	52,29	0,12	29,89	0,62	11,3	6,29	0,24	100,69	49
37	607-1	54,77	0,09	26,95	0,68	10,6	5,4	0,27	98,77	51
38	»	54,28	0,16	27,56	0,64	10,5	4,88	0,29	98,33	53
39	607-3	51,09	0,07	29,02	0,74	13,2	4,3	0,18	98,59	62

Примечание. 1—16 — первый петрохимический тип (ПТ); 17—33 — второй ПТ; 34—39 — третий ПТ. В табл. 1—4 приведены наиболее представительные анализы минералов, выполненные на микрозонде Camebax-Micro в ИГАБМ СО РАН (г. Якутск). Для каждого обнажения анализы проб в таблицах располагаются от кровли силлов к их подошве.

Рис. 2. Гистограмма изменения состава (мас.%) плагиоклаза в долеритах интрузивов.

a — первого, *б* — второго, *в* — третьего петрохимических типов.

К **первому петрохимическому типу** относится большинство интрузивов района. Выполнены они однообразными среднезернистыми долеритами, переходящими в контактовых зонах в мелко- и тонкозернистые разновидности. Дифференциация вещества в маломощных залежах проявлена слабо. Преобладающая структура пород — пойкилоофитовая. Основной породообразующий минерал долеритов — плагиоклаз, количество которого изменяется от 45 до 52 %. Доминирующая форма минерала — удлиненные призмы и лейсты, реже таблитчатые индивиды. Плагиоклаз слабо зонален и полисинтетически сдвойникован. По составу (табл. 1) он отвечает лабрадору (An_{57-75}), реже встречаются его более кислые (An_{40-49}) и основные (An_{80-84}) разновидности (рис. 2, *a*). Пироксен занимает 27—35 % объема породы. Он представлен авгитом ($Wo_{34-41}En_{39-45}Fs_{16-27}$), образующим крупные ойкокристаллы неправильной формы. Иногда отмечаются его высокожелезистые разновидности — ферроавгиты ($Wo_{40}En_{25}Fs_{35}$). Содержание железа в минерале варьирует в пределах 8—19 %, но в большей части проанализированных зерен его доля 10—15 % (табл. 2, рис. 3). Среднее количество титана в пироксенах 0,97 %, при разбросе значений от 0,66 до 1,5 %. Минерал в незначительной степени замещен амфиболом и хлоритом. Оливин в долеритах присутствует в количестве 2—5 % обычно в виде мелких (до 0,2—0,3 мм)

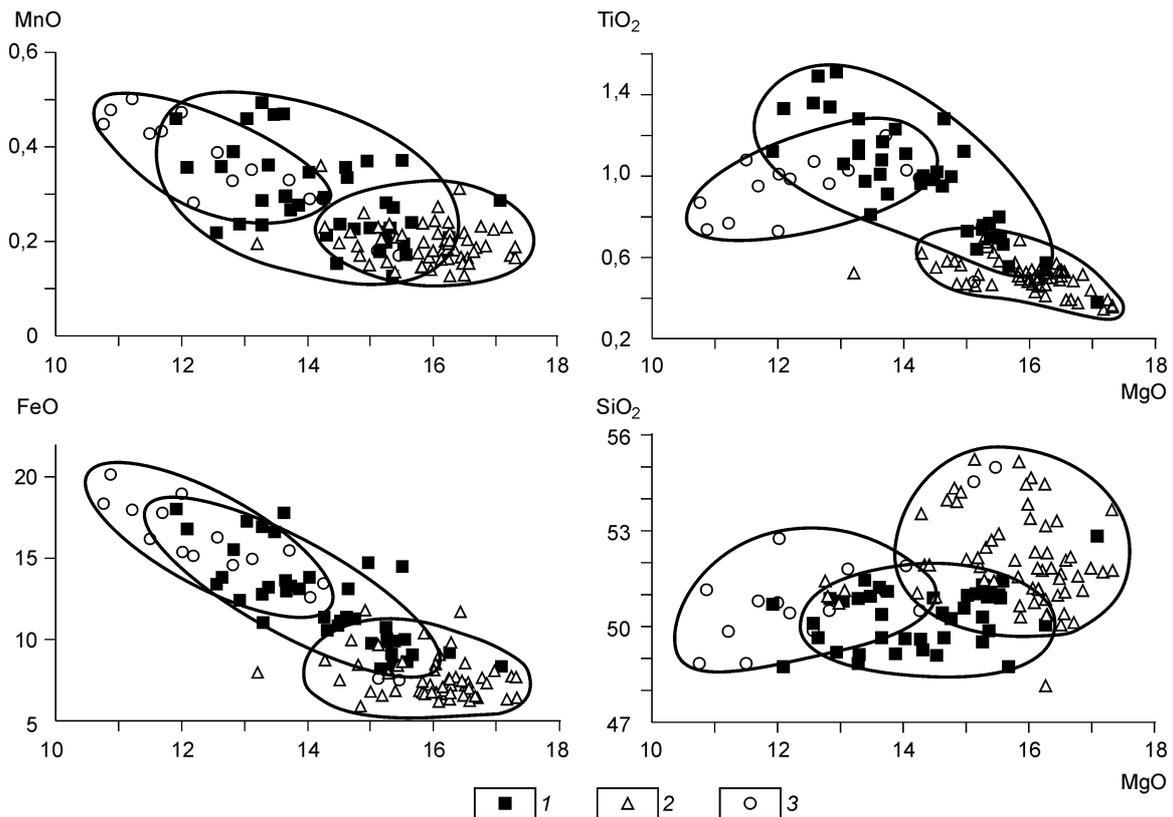
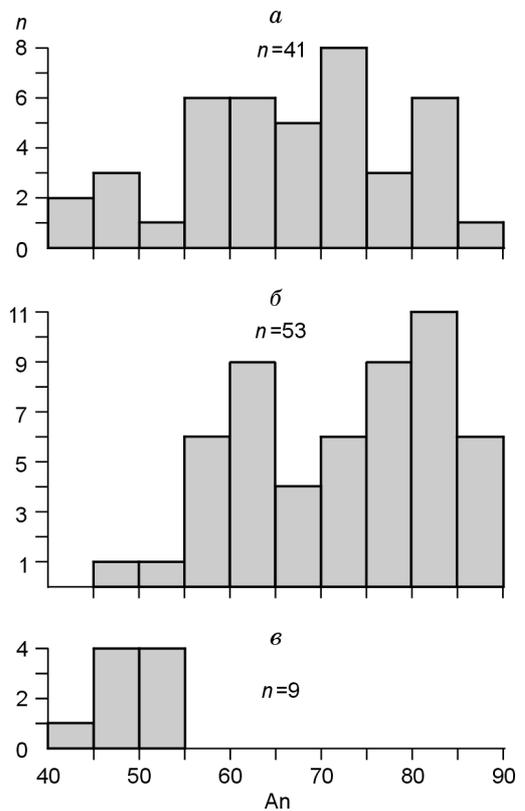


Рис. 3. Поля распространения оксидов (мас.%) в пироксенах из долеритов трех петрохимических типов:

1 — первый, 2 — второй, 3 — третий.

Таблица 2.

Химический состав пироксенов в долеритах трапповых интрузивов бассейна р. Моркока-Мархарата, мас. %

№ п/п	№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Сумма	Wo	En	Fs
1	603-1	50,37	1,08	1,76	0,02	13,62	0,30	13,65	18,14	98,93	38	40	22
2	»	50,95	0,81	1,15	0,00	16,62	0,47	13,48	15,56	99,03	33	40	27
3	»	50,89	0,98	2,18	0,25	10,87	0,15	14,48	19,22	99,02	40	42	18
4	606-3	49,21	1,51	2,89	0,23	12,41	0,24	12,93	18,74	98,15	40	39	21
5	606-5	51,46	0,97	1,53	0,01	13,23	0,36	13,38	18,35	99,30	39	39	22
6	607-3	51,79	1,03	1,30	0,01	14,95	0,35	13,12	17,48	100,02	37	38	25
7	607-5	50,01	0,85	1,39	0,00	19,84	0,50	8,17	17,97	98,72	40	25	35
8	607-7	50,81	1,06	1,51	0	17,26	0,46	13,04	16,67	100,8	34	38	28
9	607-8	50,7	1,12	1,62	0	18,02	0,46	11,92	15,94	99,78	34	36	30
10	615-1	51,43	0,66	2,47	0,60	8,64	0,17	15,58	19,41	98,95	41	45	14
11	615-12	49,12	1,28	3,37	0,25	11,04	0,24	13,29	19,44	98,04	42	40	18
12	618-1	50,88	1,34	1,33	0,05	15,55	0,39	12,83	15,68	98,05	34	39	27
13	618-4	50,90	0,69	1,58	0,07	10,02	0,20	15,54	18,63	97,63	39	45	16
14	618-7	50,99	0,80	1,49	0,00	14,47	0,37	15,51	15,53	99,15	32	45	23
15	609-2	53,95	0,58	1,7	He опр.	9,98	0,22	14,69	18,91	100,1	40	43	17
16	»	54,2	0,56	1,28	»	11,82	0,26	14,91	17,11	100,2	36	44	20
17	609-3	53,9	0,47	2,66	»	5,89	0,17	14,84	20,47	99,43	45	45	10
18	»	55,23	0,46	1,24	»	9,66	0,23	15,13	18,85	100,8	40	44	16
19	609-5	52,1	0,47	2,74	»	6,78	0,15	15	20,4	97,63	44	45	11
20	610-3	52,90	0,58	2,13	0,15	8,62	0,21	15,51	18,89	99,01	40	46	14
21	610-5	53,65	0,37	1,46	0,44	7,69	0,19	17,31	17,99	99,10	37	50	13
22	610-10	52,08	0,58	2,94	0,81	6,86	0,18	15,77	19,72	98,93	42	47	11
23	611-8	52,71	0,47	2,72	0,91	6,83	0,14	15,40	20,32	99,49	43	46	11
24	611-9	53,16	0,54	3,24	0,99	7,55	0,16	16,25	18,89	100,77	40	48	12
25	612-1	51,08	0,53	2,63	0,47	6,99	0,20	16,56	19,56	98,02	41	48	11
26	612-4	51,49	0,49	2,84	0,83	6,57	0,15	16,48	19,73	98,58	41	48	11
27	612-10	50,65	0,69	1,68	0,10	10,38	0,24	15,85	18,44	98,02	38	45	17
28	602-1	50,43	0,99	1,44	0,05	15,16	0,28	12,19	17,65	98,18	38	37	25
29	»	49,87	1,07	1,24	0,00	16,28	0,39	12,57	18,02	99,45	39	34	27
30	602-3	50,51	0,96	1,46	0,03	14,57	0,33	12,82	18,30	98,98	38	38	24
31	»	48,84	0,87	1,26	0,00	18,36	0,45	10,76	17,52	98,06	37	32	31
32	602-5	50,75	0,73	1,02	0,00	18,99	0,47	12,00	16,83	100,79	35	34	31
33	»	49,85	0,77	1,02	0,06	17,97	0,50	11,22	17,31	98,69	37	33	30
34	607-1	51,14	0,74	0,86	0,01	20,16	0,48	10,87	16,02	100,28	34	32	34

Примечание. 1—14 — первый петрохимический тип (ПТ); 14—27 — второй ПТ; 28—34 — третий ПТ.

округлых зерен. Сравнительно редко встречаются и более крупные его выделения размером до 1—2 мм. Состав минерала изменяется от хризолита (Fa₂₇) до гортонолита (Fa₆₃). Уверенно фиксируется два его максимума (рис. 4,а) в магнезиальной (Fa₂₅₋₃₅) и более железистой (Fa₅₀₋₅₅) областях. Оливин содержит до 0,75 % MnO, 0,2—0,3 % CaO и незначительную примесь окиси никеля — от нулевых значений до 0,65 % (табл. 3). Наиболее магнезиальные разности оливина замещаются серпентином, в основном же по нему развивается боулингит. Окиснорудные минералы представлены титаномагнетитом, реже встречается ильменит. Общее их количество в долеритах достигает 5—7 %. Для титаномагнетита характерны как скелетная, так и таблитчатая формы кристаллов, тогда как для ильменита — исключительно последняя. Содержание титана в титаномагнетите изменяется в пределах 16—26 %, а в ильмените оно составляет 50—51 % (табл. 4). Для титаномагнетита пород данного петрохимического типа характерно наиболее высокое содержание магния.

Химический состав долеритов показывает, что они сформированы из расплавов толеитовой серии, нормально насыщенных кремнекислотой и щелочами (табл. 5). Из особенностей химического состава

Рис. 4. Гистограмма изменения состава (мас.%) оливина в долеритах интрузивов:

a — первого, *б* — второго, *в* — третьего петрохимических типов.

следует отметить повышенное содержание окиси титана, которое в отдельных интрузивах превышает 2 %, и суммарного железа (иногда >15 %), но в целом он типичен для траппов Сибирской платформы [8] и сопоставим по большинству петрохимических оксидов (табл. 6) со средневзвешенными значениями мощных дифференцированных интрузий Вилуйско-Котуйской зоны [6, 9, 10]. Близки они с последними и по содержанию микроэлементов, особенно сидерофильных. В группе литофильных элементов количества Zr, Y и Yb типичные для основных пород, а Ba и Sr — резко пониженные.

Интрузивы **второго петрохимического типа** внедрялись во вторую стадию активизации пермотриасового тектономагматического цикла. В обнажениях наблюдается пересечение ими магматитов первого типа. Расплав, сформировавший рассматриваемые интрузивы, несет следы докамерной кристаллизации, а именно, долериты, их выполняющие, имеют порфировый облик за счет гломеропорфировых скоплений и отдельных порфировых кристаллов раннего плагиоклаза, в них постоянно присутствует ранний магнезиальный оливин. Преобладающая структура пород офитовая, чем они также отличаются от долеритов первого типа. На гистограмме (см. рис. 2,б) хорошо видна доминирующая роль плагиоклаза ранней стадии кристаллизации (сравни с рис. 2,а), отвечающего по составу лабрадор-битов-

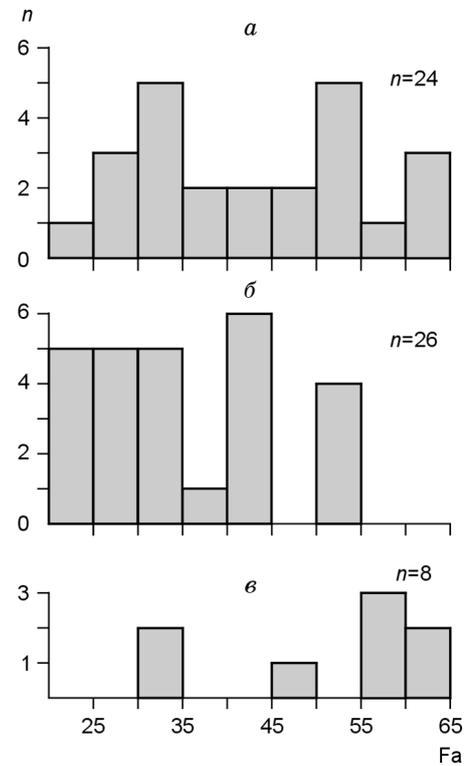


Таблица 3. Химический состав оливинов трапповых интрузивов бассейна р. Моркока-Мархарата, мас. %

№ п/п	№ пробы	SiO ₂	FeO	MnO	MgO	CaO	NiO	Сумма	Fa
1	607-7	35,35	42,54	0,63	20,26	0,03	0,65	99,46	54
2	607-8	34,80	48,42	0,75	16,24	0,22	0,10	100,53	62
3	615-1	35,41	43,09	0,43	20,89	0,24	0,00	100,06	53
4	»	35,37	44,01	0,45	20,09	0,25	0,08	100,25	55
5	618-5	36,70	34,21	0,35	29,01	0,27	0,04	100,58	39
6	»	38,56	26,29	0,28	35,42	0,28	0	100,83	29
7	618-4	35,56	43,63	0,55	20,09	0,27	0,07	100,17	54
8	618-1	35,07	39,89	0,46	24,03	0,29	0,00	99,74	48
9	615-5	39,09	24,03	0,20	36,76	0,31	0,16	100,55	27
10	»	38,99	23,78	0,25	36,44	0,30	0,00	99,76	27
11	608-2	39,69	23,96	0,37	34,71	0,37	0,24	99,34	28
12	609-1	39,95	20,19	0,64	37,34	0,33	0,37	98,82	23
13	»	39,60	21,29	0,41	36,09	0,37	1,52	99,28	25
14	609-2	39,11	27,54	1,04	32,28	0,27	0,45	100,69	32
15	609-3	37,04	36,07	0,52	24,97	0,28	0,09	98,97	44
16	610-1	38,49	26,55	0,35	34,19	0,32	0,10	100,00	30
17	610-5	39,70	20,51	0,21	39,45	0,33	0,14	100,34	22
18	611-11	39,21	26,44	0,34	33,34	0,28	0,10	99,71	30
19	612-4	38,46	30,57	0,33	30,87	0,32	0,08	100,63	35
20	»	39,04	24,78	0,29	34,30	0,33	0,00	98,74	29
21	»	35,06	41,61	0,53	22,59	0,26	0,08	100,13	50
22	612-8	37,53	34,15	0,39	27,11	0,28	0,06	99,52	41
23	612-10	35,56	42,92	0,49	19,73	0,24	0,05	98,99	54
24	602-5	38,59	25,56	0,46	31,80	0,31	0,33	97,05	31
25	607-1	33,59	47,49	0,67	17,62	0,34	0,02	99,73	59
26	»	33,87	50,29	0,71	16,50	0,35	0,06	101,78	62
27	»	35,12	42,67	0,60	21,92	0,33	0,07	100,71	52
28	»	35,99	38,99	0,57	24,39	0,33	0,14	99,79	47
29	607-2	34,39	45,86	0,69	19,40	0,32	0,01	100,67	56

Примечание. 1—10 — первый петрохимический тип (ПТ); 11—23 — второй ПТ; 24—29 — третий ПТ.

Таблица 4. Химический состав титаномагнетитов и ильменитов в долеритах трапповых интрузивов р. Моркока-Мархарата, мас.%

№ п/п	№ пробы	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	FeO	SiO ₂	MnO	MgO	CaO	Сумма	Минерал
1	603-1	23,96	1,93	0,12	68,69	0,07	0,39	2,33	0,00	97,50	Ti-Mt
2	603-3	24,88	1,82	0,06	68,66	0,10	0,43	1,62	0,02	97,60	»
3	615-1	21,04	1,59	0,08	70,91	0,05	0,43	1,21	0,06	95,38	»
4	615-5	22,94	1,48	0,43	70,78	0,07	0,43	1,05	0,01	96,81	»
5	618-4	21,82	1,80	0,07	70,29	0,05	0,40	1,88	0,01	96,31	»
6	»	18,39	1,76	0,04	74,10	0,06	0,42	1,16	0,01	95,95	»
7	618-7	18,23	1,49	0,06	74,21	0,11	0,37	1,17	0,00	95,65	»
8	607-7	18,24	2,05	0,08	73,59	0,07	0,37	1,87	0,00	96,27	»
9	»	20,80	1,58	0,01	69,32	1,18	0,46	2,45	0,03	95,94	»
10	607-8	22,79	1,71	0,05	70,84	0,06	0,41	1,86	0,00	97,72	»
11	»	50,52	0,38	0,04	46,66	0,00	0,43	2,43	0,01	100,48	Ilm
12	615-5	51,51	0,27	0,00	46,02	0,00	0,46	1,58	0,00	99,85	»
13	609-2	19,39	1,71	0,20	74,38	0,04	0,39	0,70	0,01	96,84	Ti-Mt
14	610-1	19,59	2,07	0,03	73,38	0,05	0,41	1,57	0,00	97,11	»
15	611-8	23,14	1,46	0,02	71,08	0,08	0,49	1,42	0,00	97,69	»
16	611-9	23,68	1,87	0,03	70,48	0,02	0,43	1,67	0,02	98,19	»
17	»	23,79	1,93	0,01	70,22	0,06	0,41	1,70	0,02	98,15	»
18	712-8	24,61	1,78	0,01	69,58	0,05	0,46	1,08	0,00	97,58	»
19	609-3	50,07	0,30	0,01	48,10	0,00	0,42	1,37	0,00	100,27	Ilm
20	»	49,30	0,28	0,00	47,91	0,00	0,44	1,25	0,03	99,22	»
21	609-5	50,75	0,31	0,00	48,60	0,00	0,38	0,82	0,01	100,87	»
22	610-1	50,46	0,28	0,04	47,89	0,00	0,48	1,44	0,01	100,60	»
23	611-9	51,44	0,36	0,02	45,48	0,00	0,46	2,34	0,03	100,13	»
24	602-1	23,15	1,44	0,00	70,39	0,04	0,51	0,81	0,06	96,36	Ti-Mt
25	602-3	27,15	1,86	0,04	59,68	3,61	1,02	0,46	0,36	94,19	»
26	602-5	24,29	1,70	0,04	65,78	0,37	0,64	1,38	0,01	94,22	»
27	607-1	25,91	1,49	0,06	69,29	0,09	0,58	0,99	0,00	98,41	»
28	»	25,22	1,68	0,18	68,99	0,12	0,48	1,04	0,00	97,71	»

Примечание. 1—12 — первый петрохимический тип (ПТ); 13—23 — второй ПТ; 24—28 — третий ПТ.

ниту (An₇₅₋₉₀), тогда как для внутрикамерной обстановки характерен лабрадор (An₅₅₋₆₅). Клинопироксен относится к более магнезиальному и менее железистому авгиту (Wo₃₃₋₄₃En₄₄₋₅₀Fs₁₀₋₁₉), чем в базитах первого типа (см. табл. 2 и рис. 3). Отличительной чертой минерала является повышенная кремнекислотность (50,65—55,23 % SiO₂), высокая хромистость (вплоть до 1 % Cr₂O₃) и максимально низкая титанистость (0,37—0,69 % TiO₂). Все породы рассматриваемых интрузий оливинсодержащие. Количество оливина увеличивается от 3 % в кровлевых частях силлов до 5—6 % в приподошвенных участках. По составу минерал ранних стадий кристаллизации отвечает хризолиту — Fa₂₃₋₂₉, а основного внутрикамерного этапа — гиалосидериту (Fa₃₂₋₅₄). Установлено, что доминируют магнезиальные разности оливина, особенно в сравнении с минералом из пород интрузий первого петрохимического типа (см. табл. 3 и рис. 4,б) и преобладают они в верхней половине силлов. По магнезиальным разностям оливина иногда развивается серпентин-магнетитовый агрегат, в основном же минерал замещен боулингитом, а наиболее железистые его разности — иддингситом. Титаномагнетит в офитовых долеритах образует преимущественно скелетные формы и доля его невелика, не более 2,5 %. Для ильменита характерны таблитчатые кристаллы в количестве до 1 %. Характер изменения состава минералов виден из табл. 4.

По химическому составу магматиты данного петрохимического типа, как и предыдущие, относятся к расплавам толеитовой серии, нормально насыщенным кремнекислотой и слабо недосыщенным щелочами. Они наследуют основные черты предшествующих им интрузивов, хотя различия между ними существуют (см. табл. 5). Эти отличия отчасти приобретены в ходе фракционирования в глубинной обстановке, фиксируемой появлением минералов ранней кристаллизации — основного плагиоклаза, магнезиальных оливина и клинопироксена. Расплав, формирующий тела второго петрохимического типа, богат кремнекислотой, кальцием, магнием и редкими элементами, сопутствующими раннекристаллическим фазам, Ni, Cr и др. В то же время в них наблюдается снижение количества титана, суммарного железа,

Таблица 5. Средние химические составы долеритов трапозов интрузивов бассейна р. Моркокса-Мархарата

Компонент	Первый петрохимический тип							Второй петрохимический тип							Третий петрохимический тип		
	Облажение							Облажение							Облажение		
	603	604	606	607a	615	618	σ	608	609	610	611	612	σ	602	6076	σ	
SiO ₂ , мас.%	47,88	47,15	47,97	47,79	48,64	49,03	0,81	48,64	49,21	49,26	49,64	49,56	0,66	47,18	47,00	1,23	
TiO ₂	2,12	2,13	1,79	1,92	1,48	1,52	0,24	1,13	1,18	1,12	1,05	1,03	0,10	3,26	3,11	0,71	
Al ₂ O ₃	15,62	13,92	14,06	15,17	15,95	15,62	0,91	14,80	14,78	15,40	15,77	15,64	0,53	11,74	10,77	0,49	
Fe ₂ O ₃	5,15	6,12	5,62	4,22	5,60	5,34	1,44	3,26	3,98	4,77	4,31	5,08	1,10	5,07	6,38	0,96	
FeO	8,60	9,45	8,55	9,42	7,11	7,50	1,53	8,27	7,80	7,04	6,96	6,02	1,05	11,89	10,87	0,83	
MnO	0,22	0,20	0,24	0,21	0,19	0,19	0,03	0,17	0,18	0,23	0,23	0,18	0,03	0,28	0,27	0,01	
MgO	6,00	6,49	6,95	6,66	7,13	6,74	0,59	8,24	8,04	7,91	7,88	7,74	0,37	5,52	6,39	0,77	
CaO	9,48	10,15	10,93	10,32	10,37	10,66	0,59	11,32	11,14	11,34	11,33	11,75	0,38	10,39	11,00	0,69	
Na ₂ O	2,58	2,42	2,12	2,44	2,35	2,32	0,23	1,94	1,96	1,86	1,89	1,88	0,12	2,36	2,22	0,11	
K ₂ O	0,54	0,67	0,55	0,50	0,45	0,43	0,11	0,37	0,48	0,43	0,41	0,41	0,05	0,54	0,52	0,06	
P ₂ O ₅	0,23	0,24	0,21	0,21	0,17	0,30	0,06	0,14	0,14	0,14	0,12	0,14	0,01	0,23	0,25	0,02	
H ₂ O	0,67	0,73	0,75	0,36	0,46	0,42	0,25	0,88	0,44	0,35	0,18	0,30	0,31	0,48	0,82	0,28	
F	0,05	0,05	0,05	0,05	0,03	0,03	0,01	0,04	0,03	0,05	0,01	0,02	0,02	0,09	0,05	0,02	
Сумма	99,57	99,84	100,02	99,41	99,94	100,11	—	99,70	99,57	100,03	99,79	99,75	99,78	99,75	99,67	—	
Ni, г/т	64	97	98	82	109	97	18,90	104	98	98	99	105	100	25	57	16,58	
Co	48	50	58	53	49	43	5,72	49	53	47	51	49	49	53	64	6,99	
Cr	108	141	163	107	107	117	45,50	194	190	187	184	195	191	29	59	10,08	
V	232	260	265	247	246	210	37,40	216	226	235	229	217	223	592	540	202,63	
Sc	35	36	39	37	37	34	3,53	37	37	38	36	38	37	55	56	6,24	
Ba	132	140	150	112	106	110	28,84	89	92	92	104	97	95	144	120	24,30	
Sr	164	173	163	152	146	134	20,94	139	130	128	133	132	133	130	108	14,02	
Zr	130	150	127	135	109	103	21,84	84	87	90	93	85	87	156	175	29,11	
Y	30	30	27	29	22	19	5,14	21	23	21	23	20	21	37	35	5,22	
Yb	3,3	3,6	3,5	3	3	3,1	0,33	2,6	2,8	3	2,8	2,7	2,7	4,6	4,6	0,43	
n	3(5)	3(3)	3(6)	4(6)	6(12)	5(8)	—	4(10)	3(5)	3(6)	6(8)	4(12)	20(41)	3(5)	1(2)	—	

Примечание. n — количество химических анализов, в скобках — спектральных, X — среднее, σ — среднеквадратичное отклонение. Все анализы выполнены в химико-аналитической и спектральной (эмиссионно-спектральный метод) лабораториях ИГАБМ СО РАН, г. Якутск.

Таблица 6.

Средний химический состав траппов, мас. %

Оксид	1	2	3	4
SiO ₂	49,01	51,55	49,35	48,43
TiO ₂	1,51	1,04	2,26	1,48
Al ₂ O ₃	15,04	14,96	13,44	15,35
Fe ₂ O ₃	4,73	3,93	5,84	3,59
FeO	8,01	6,53	9,27	9,39
MnO	0,21	0,18	0,26	0,19
MgO	6,57	6,97	5,30	6,18
CaO	10,92	10,90	9,54	10,69
Na ₂ O	2,24	2,04	2,41	2,18
K ₂ O	0,53	0,81	0,75	0,73
P ₂ O ₅	0,16	0,13	0,24	0,13
H ₂ O	0,83	0,74	0,66	—
П.п.п.	0,16	0,21	0,30	—
F	0,04	0,04	0,05	—
Сумма	99,97	99,99	99,67	98,34
<i>n</i>	135	104	18	57

Примечание. 1—3 — траппы Вилюйско-Котуйской зоны, по [6] (1 — первый ПТ, 2 — второй ПТ, 3 — третий ПТ); 4 — средний состав траппов Сибирской платформы, по [8]; прочерк — отсутствует информация.

фосфора и связанных с ними V, Zr, Y и Yb. В долеритах второго петрохимического типа существенно уменьшается щелочность и вместе с ней содержание Ba и Sr. Рассматриваемые магматиты характеризуются монотонным распределением микроэлементов в разрезах конкретных тел и близкими средними их содержаниями.

Интрузивы **третьего петрохимического типа** менее распространены. Они немногочисленны, преимущественно располагаются в кровлевых частях тел первого и второго типа, например, в случае с обнажениями 602 и 603 (см. рис. 1) или в обнажении 607, выполненном интрузиями первого и третьего петрохимических типов. По своему геологическому положению они наиболее молодые среди базитов пермотриасового тектономагматического цикла. Долериты этих интрузий имеют трахитоидный облик и несут свои индивидуальные петрохимические и геохимические признаки, позволяющие выделить их в самостоятельную группу.

Данные интрузивы сложены в основном средне- и крупнозернистыми разностями пород. Преобладающий тип структуры — офитовый в сочетании с габбро-офитовым. Основным минералом долеритов является плагиоклаз (48—53 %). Он образует длинные лейсты, часто ориентированные параллельно контактам интрузива, что и обуславливает трахитоидный облик пород. Состав минерала (см. табл. 1 и рис. 2,в) соответствует андезину (An₄₄₋₅₁). По плагиоклазу развивается серицит и карбонаты, а вблизи мезостазисных участков — ортоклаз. Моноклинный пироксен, доля которого в долеритах не превышает 30 %, представлен изометричными зернами, столбчатыми и призматическими кристаллами. Пироксен отвечает железистой разности авгита (Wo₃₄₋₃₈En₃₂₋₃₇Fs₂₆₋₃₃). Для него характерны (см. рис. 3) более низкие значения окиси магния (10,76—12,82 %), алюминия (1,02—1,26) и хрома (близкие к нулю), чем в пироксенах из долеритов двух первых петрохимических типов. Клинопироксен в той или иной степени замещен хлоритом, уралитовой роговой обманкой и биотитом. Оливин наблюдается в единичных зернах и соответствует гортонолиту (Fa₅₅₋₆₅). Отличительной чертой пород рассматриваемых интрузий является большое количество титаномагнетита (до 10 %) и отсутствие ильменита. Для титаномагнетита характерны высокая титанистость (23,15—27,15 % TiO₂), железистость (59,68—70,39 % FeO) и марганцовистость (0,48—1,02 % MnO), а его глиноземистость и магнезиальность заметно ниже, чем в минерале из долеритов интрузивов первых двух типов (см. табл. 4). Следует подчеркнуть, что в титаномагнетите отмечены включения темно-зеленой шпинели.

В базитах данного петрохимического типа установлены самые высокие содержания титана (см. табл. 5), суммарного железа, V, Sc, Zr, Y, Yb и минимальные значения кремнекислоты, глинозема, магния, Ni и Sr.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Приведенная выше информация дает основание для разделения трапповых интрузивов, распространенных в долине р. Моркока-Мархарата, на три типа. Наличие в породах интрузивов второго типа

Таблица 7. Сравнение средних химических составов выделенных петрохимических типов интрузивов

Тип	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	FeO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	t _{0,01}
I—II	4,99	3,98	0,60	2,71	2,76	8,37	7,03	8,64	3,57	2,70
I—III	1,69	4,06	12,07	0,13	6,54	2,45	0,52	0,56	0,79	2,79
II—III	3,43	6,03	14,16	2,06	9,40	5,63	2,37	6,87	3,76	2,82
	Ni	Cr	V	Sc	Ba	Sr	Zr	Y	Yb	
I—II	1,04	9,09	2,76	1,03	4,96	5,17	8,86	4,22	10,72	2,64
I—III	8,71	7,55	4,38	7,93	1,67	4,41	3,56	5,34	7,02	2,68
II—III	9,76	27,36	7,93	7,75	4,47	1,69	6,68	7,55	11,27	2,68

Примечание. $t_{0,01}$ — критическое значение коэффициента Стьюдента при 99 %-ном уровне значимости.

раннемагматических минералов (лабрадор-битовнита, хризолита и максимально магнезиального авгита) свидетельствуют о том, что магма, формировавшая рассматриваемые интрузии, какое-то время фракционировала в докамерной обстановке, где и приобрела часть своих отличительных геохимических признаков. В то же время высокую кремнекислотность, низкие значения железистости, титанистости, фосфористости и микроэлементов V, Zr, Y и Yb, даже в сравнении со средним траппом Сибирской платформы [8], нельзя связывать только с процессами кристаллизационной дифференциации в докамерных условиях. Более того, ранняя кристаллизация магнезиальных фаз (оливина и клинопироксена) в докамерной обстановке предполагает их частичное удаление из расплава в придонные части развивающихся магматических систем, что приводит к снижению доли магния в расплаве [11]. В данном же случае, наоборот, наблюдается увеличение в расплаве количества оксидов магния и кальция. Следует подчеркнуть, что интрузивы первого петрохимического типа по своим химическим показателям близки в целом среднему траппу. Резко отличается своей высокой железистостью и титанистостью, а также низкой кремнекислотностью и глиноземистостью магма, сформировавшая интрузивы третьего петрохимического типа.

Статистическая проверка значимости различий средних химических составов в выделенных петрохимических типах с использованием простого, но достаточно надежного критерия Стьюдента показала, что с достаточно высокой степенью вероятности они различаются по содержанию TiO₂, FeO, MgO и сопутствующим им микроэлементам Cr, V, Zr, Y, Yb (табл. 7). Кроме того, для второго типа прослеживается значимое отличие от двух других по содержанию SiO₂, щелочей, бария, а для третьего — Al₂O₃, Ni, Sc. Если первый петрографический тип — это „средний трапп“, то второй — низкотитанистый, магнезиальный с пониженным содержанием щелочей и третий — высокотитанистый, высокожелезистый, с низким значением глиноземистости.

Сравнение результатов изучения траппов бассейна р. Моркока-Мархарата с траппами Виллюйско-Котуйской зоны [6] позволило установить наличие среди них однотипных петрохимических групп, имеющих близкие значения составов минералов, идентичность структур пород и сопоставимые значения порообразующих оксидов (см. табл. 6), особенно для магматитов первого и третьего типов. Более сложный характер эволюции магмы, формирующей интрузии второго типа, наложил свои отпечатки на поведение петрогенных оксидов. Однако в целом видна общая особенность магматитов этого типа, выразившаяся в максимально низких значениях TiO₂, общего Fe и в тенденции к увеличению долей MgO и SiO₂. Анализ информации ранних работ А.М. Виленского, Б.В. Олейникова и др. [9, 10] позволил констатировать, что описанные в них интрузии также можно отнести к разным петрохимическим группам. Более того, нами установлено, что часть из них (интрузии Улахан-Вава, Холломолох, Нинимэ) имеют сложное строение и состоят из двух самостоятельных тел, сформированных расплавом второго и третьего петрохимических типов. Учитывая сказанное в сочетании с данными [6], следует, что в целом в восточной половине Тунгусской синеклизы в формировании трапповых интрузивов принимали участие три последовательно сменяющие друг друга во времени петрохимических типа базитовых расплавов: нормальный (соответствующий среднему траппу, по [8]), магнезиально-кальциевый и железисто-титанистый. С учетом имеющейся информации по северу синеклизы [6, 10] (в работе не рассматривается норильская группа магнезиальных интрузий) и по западу платформы [4, 7] очевидно, что рассматриваемые петрохимические типы интрузивов имеют более широкое распространение и сохраняют свои особенности в пространстве. Поэтому заключение о региональной зональности, изложенное в работе [4] и построенное на средних значениях петрогенных оксидов траппов того или иного региона, отражает лишь преобладание определенного петрохимического типа трапповых интрузивов на данной территории. Исходя из сказанного, причину геохимического разнообразия траппов нужно искать не в региональной зональности, обусловленной приуроченностью к тому или иному магмоконтролирующему типу структур, поскольку такой приуроченности не наблюдается, а, с учетом характера до- и внутрикамерной дифференциации, в

особенностях возникновения базитовых расплавов в областях магмогенерации либо в последовательности выплавления различных петрохимических типов магм.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Распространенные в восточной половине Тунгусской синеклизы пермотриасовые трапповые интрузии выполнены тремя петрохимически различающимися типами базитовых расплавов. Они, последовательно сменяя друг друга во времени, внедрялись в пределах одного тектономагматического цикла.

2. Каждая из выделенных групп интрузий имеет свои, свойственные только ей геохимические нюансы, заложенные в момент магмогенерации и сохраняемые в процессе эволюционных преобразований. Они не зависят от объема внедрившегося расплава, размаха внутрикамерной дифференциации в интрузивах (в том числе в протяженных на сотни километров силах), характера преобразования магмы в ходе глубинного фракционирования на пути в современную камеру и положения относительно магмоконтролирующих структур в пределах Тунгусской синеклизы.

Авторы выражают благодарность В.В. Золотухину и А.И. Зайцеву за обсуждение результатов исследований и полезные советы, а также рецензенту А.И. Альмухамедову за конструктивные замечания, которые были учтены при доработке статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Добрецов Н.Л., Кирдяшкин А.Г., Гладков И.Н. Проблемы глубинной геодинамики и моделирование мантийных плюмов // Геология и геофизика, 1993, т. 34, № 12, с. 5—24.
2. Зоненшайн Л.П., Кузьмин М.И. Глубинная геодинамика Земли // Геология и геофизика, 1993, т. 34, № 4, с. 3—12.
3. Добрецов Н.Л. Пермотриасовый магматизм и осадконакопление в Евразии как отражение суперплюма // Докл. РАН, 1997, т. 354, № 2, с. 220—223.
4. Шарапов В.Н., Васильев Ю.Р., Прусская С.Н. Петрохимические характеристики интрузивных траппов западной части Сибирской платформы и региональная зональность их состава // Геология и геофизика, 2001, т. 42, № 9, с. 1299—1313.
5. 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.
6. Томшин М.Д., Лелюх М.И., Мишенин С.Г. и др. Схема развития траппового магматизма восточного борта Тунгусской синеклизы // Отечественная геология, 2001, № 5, с. 19—24.
7. Феоктистов Г.Д., Ротман А.Я., Владимирова Б.М. и др. Петрохимия базит-ультрабазитовых формаций палеозоя—мезозоя Сибирской платформы. Новосибирск, Наука, 1999, 149 с.
8. Кутолин В.А. Проблемы петрохимии и петрологии базитов. Новосибирск, Наука, 1972, 208 с.
9. Олейников Б.В., Саввинов В.Т., Погудина М.А. Основные типы трапповых интрузивов среднепалеозойской и верхнепалеозойской—нижнемезозойской трапповых формаций зоны сочленения Тунгусской и Вилуйской синеклиз // Геология и геохимия базитов восточной части Сибирской платформы. М., 1973, с. 4—75.
10. Виленский А.М. Петрология интрузивных траппов севера Сибирской платформы. М., Наука, 1967, 271 с.
11. Олейников Б.В., Томшин М.Д. Глубинная дифференциация магм платформенных базитов // Докл. АН СССР, 1976, т. 231, № 1, с. 177—180.

*Рекомендована к печати 18 июня 2004 г.
Г.В. Поляковым*

*Поступила в редакцию 16 апреля 2003 г.,
после доработки — 5 мая 2004 г.*