

ПЕТРОЛОГИЯ, ГЕОХИМИЯ И МИНЕРАЛОГИЯ

УДК 552.11

РАССЛОЕННЫЙ ПЕРИДОТИТ-ГАББРОВЫЙ ПЛУТОН НУЙЧУА
КАК ПРОЯВЛЕНИЕ ПЕРМСКО-ТРИАСОВОГО МАНТИЙНОГО ПЛЮМА
НА СЕВЕРЕ ВЬЕТНАМА

Г.В. Поляков, Р.А. Шелепаев, Чан Чонг Хоа*, А.Э. Изох, П.А. Балыкин,
Нго Тхи Фьонг*, Чан Куок Хунг*, Буй Ан Ньен*

*Институт геологии и минералогии СО РАН, 630090, Новосибирск, просп. Коптюга, 3, Россия
* Geological Institute of the Vietnamese Academy of Sciences and Technologies, Hanoi, Vietnam*

Приводятся новые данные о возрасте, особенностях состава, условиях формирования и рудно-геохимической специализации расслоенного перидотит-габбрового плутона Нуйчуа, свидетельствующие о его принадлежности к проявлениям пермско-триасового мантийного плюма на территории Северного Вьетнама (южное обрамление платформы Янцзы). В составе плутона выделяются расслоенная и пегматоидная серии основных и ультраосновных пород, характеризующиеся различной рудопродуктивностью (ЭПГ-Cu-Ni — расслоенная серия и Fe-Ti-V — пегматоиды). Получены первые оценки состава исходных расплавов для этих серий.

Расслоенный перидотит-габбровый плутон, пермско-триасовый мантийный плюм, расслоенная и пегматоидная серии, исходные расплавы, рудно-геохимическая специализация, Вьетнам

THE NUI CHUA LAYERED PERIDOTITE-GABBRO COMPLEX AS MANIFESTATION
OF PERMO-TRIASSIC MANTLE PLUME IN NORTHERN VIETNAM

G.V. Polyakov, R.A. Shelepaev, Tran Trong Hoa, A.E. Izokh, P.A. Balykin,
Ngo Thi Phuong, Tran Quoc Hung, and Bui An Nien

New data on the age, composition, formation conditions, and ore-geochemical specialization of the Nui Chua layered peridotite-gabbro complex are reported. They evidence that the complex resulted from the Permo-Triassic mantle plume activity in northern Vietnam (southern framing of the Yangtze Platform). Two series of basic and ultrabasic rocks differing in ore productivity — layered (PGE-Cu-Ni) and pegmatoid (Fe-Ti-V) — have been recognized within the complex. The first estimates of the composition of their parental melts have been obtained.

Layered peridotite-gabbro complex, Permo-Triassic mantle plume, layered and pegmatoid series, parental melts, ore-geochemical specialization, Vietnam

ВВЕДЕНИЕ

Широко известный и относительно хорошо изученный плутон Нуйчуа относится к одноименному комплексу расслоенных перидотит-габбровых массивов Северного Вьетнама (Нуйчуа, Кхаокуэ, Чинанг, Нуйенчу и др.). Геологическое положение этих массивов показано на тектонической схеме (рис. 1). Первоначально они объединялись с гранитами Пиабиок в сложную гипербазит-габбро-гранитную серию Бансанг-Пиабиок поздне триасового возраста [Нгуен Ван Тиен, 1963; Довжиков и др., 1965]. Полученная на ранней стадии изучения комплекса Rb-Sr датировка габброидов плутона Нуйчуа (195 млн лет) [Bui Quang Luon et al., 1985] соответствовала этому возрасту. Однако она базировалась на единичном и не очень надежном определении, которое впоследствии никем воспроизведено не было. Тем не менее до недавнего времени плутон Нуйчуа, как и одноименный комплекс расслоенных массивов в целом, относился к поздне триасовым магматическим образованиям, связанным с рифтогенными структурами мезозойской тектономагматической активизации.

Авторами статьи получены новые данные о возрасте габброноритов массива Нуйчуа по циркону SHRIMP-методом, показавшие 251 ± 3.4 млн лет [Чан Чонг Хоа и др., 2008]. Близкие датировки также получены по гранитам Бансанг и Кимбой комплекса Пиабиок: 250.5 ± 1 (Ar-Ar) и 242 ± 2 млн лет (U-Pb).

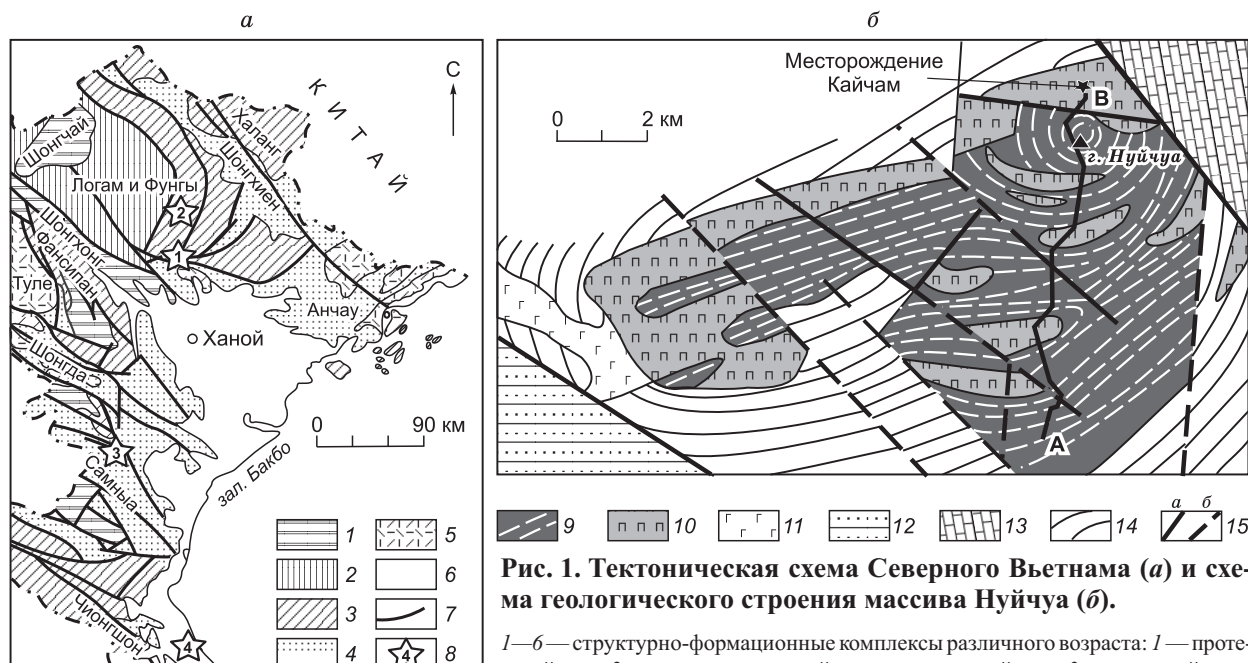


Рис. 1. Тектоническая схема Северного Вьетнама (а) и схема геологического строения массива Нуйчу (б).

1–6 — структурно-формационные комплексы различного возраста: 1 — протерозойские, 2 — позднепротерозойско-раннепалеозойские, 3 — палеозойские, 4 — раннемезозойские, 5 — позднемезозойские, 6 — кайнозойские; 7 — тектонические нарушения; 8 — расслоенные перидотит-габбровые массивы комплекса Нуйчу: 1 — Нуйчу, 2 — Кхаокуэ, 3 — Чинанг, 4 — Нуйенчу; 9 — расслоенная серия пород массива, 10 — пегматоидная серия, 11 — мелкозернистые биотитовые габбро и монцодиориты; 12–14 — вмещающие отложения: 12 — верхнетриасовая толща, 13 — девонские существенно карбонатные отложения, 14 — ордовик-силурийские песчаники и сланцы; 15 — геологические границы: а — достоверные, б — предполагаемые. А–В — линия разреза (см. рис. 2).

Эти согласующиеся между собой данные отвечают пермско-триасовому рубежу. Они соответствуют второму этапу развития Эмейшаньской изверженной провинции (платформа Янцзы) и свидетельствуют о принадлежности комплекса Нуйчу к производным Эмейшаньского мантийного плюма, проявившегося на юге Китайского кратона, включая северо-вьетнамские структуры южного его обрамления, в пермско-триасовую эпоху [Tran Trong Hoa et al., 2004; Изох и др., 2005; Бин-Цюань Чжу и др., 2005; Zhou et al., 2005; Борисенко и др., 2006; Поляков и др., 2006; Zhong et al., 2007; Чан Чонг Хоа и др., 2008]. В Северном Вьетнаме этому рубежу отвечает и бимодальная вулканическая серия зоны Шонгхиен. Возраст риолитов из этой ассоциации в районе Каобанг составляет 248 млн лет [Чан Чонг Хоа и др., 2008]. Таким образом, pluton Нуйчу, как и одноименный комплекс в целом, может быть отнесен к продуктам пермско-триасового внутриплитного магматизма Северного Вьетнама.

ГЕОЛОГИЧЕСКОЕ ПОЛОЖЕНИЕ, СОСТАВ И ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ПЛУТОНА

Плутон Нуйчу — наиболее значительный по размерам (55 км²) и представительный массив расслоенных перидотит-габбровых интрузий Северного Вьетнама — находится в южной части структуры Фунгы, сложенной палеозойскими отложениями. Он залегает в основном среди ордовик-силурийских кварцитов, кремнисто-серицитовых сланцев, кварцевых порфиров и туфопесчаников толщи Фунгы, контактируя, кроме того, на северо-востоке по тектоническому разлому с девонскими сланцами, известняками и песчаниками. На западе интрузив перекрыт молассовыми песчано-сланцевыми и грубообломочными отложениями триасового возраста (см. рис. 1).

Плутон разбит тектоническими нарушениями на несколько блоков и характеризуется сложнодифференцированным внутренним строением [Поляков и др., 1984; Polyakov et al., 1986, 1996; Хоанг Хыу Тхань, 1994; Balykin et al., 1996; Балькин, 2002]. Его основу во всех блоках составляют породы расслоенной серии. Это преимущественно оливиновые габбро, оливиновые габбронориты и троктолиты с прослоями и горизонтами плагиоверлитов, лерцолитов и оливинитов, оливиновых меланогабброноритов, лейкогаббро и анортозитов (рис. 2). В отдельных прослоях и горизонтах этой серии обнаруживается сульфидно-вкрапленная ЭПГ-Cu-Ni минерализация [Поляков и др., 1984, 1999]. Элементы магматической расслоенности и трахитоидности (планпараллельные ориентированные структуры) имеют северо-восточное согласное с вытянутостью массива простирание и крутые падения в центральном и юго-западном блоках. В северо-восточном блоке, где, судя по ряду признаков, находится структурный его центр, те же элементы расслоенности здесь имеют более пологие встречные падения. Соответственно, здесь вскрываются в целом относительно менее меланократовые породы верхней части разреза массива.

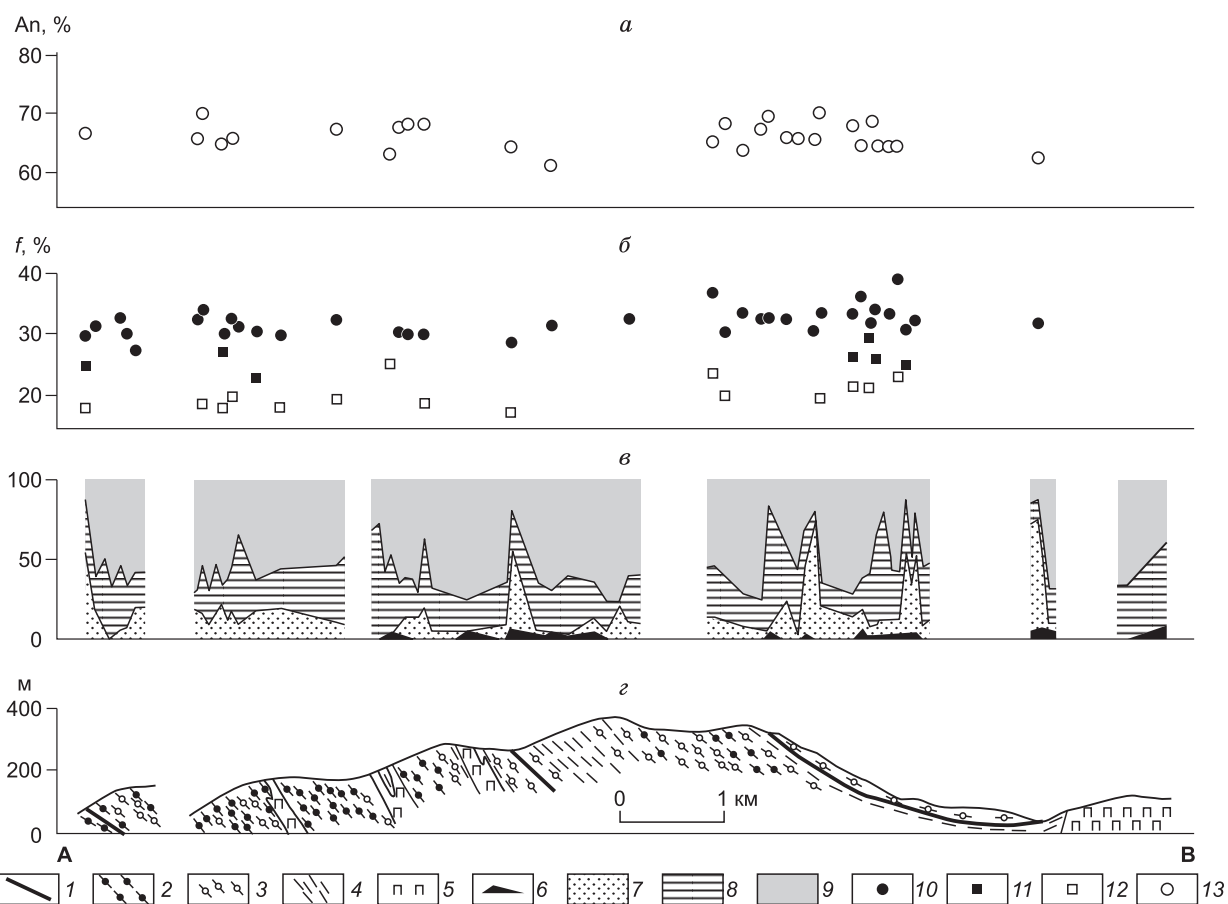


Рис. 2. Составы плагиоклазов (*а*), пироксенов и оливинов (*б*), объемные соотношения минералов в породах (*в*) по геологическому разрезу (*г*) по линии А—В через восточный блок массива Нуйчуа (см. рис. 1).

1 — прослой перидотитов и пироксенитов; 2 — расслоенная серия габброидов с преобладанием в разрезе оливиновых мезо- и меланогабброидов; 3 — расслоенная серия габброидов с преобладанием в разрезе мезо- и лейкогабброидов; 4 — габбро и габбронориты; 5 — пегматоидные пироксениты и габброиды; 6 — рудные минералы (сульфиды, магнетит и ильменит); 7 — оливин; 8 — пироксены; 9 — плагиоклаз; 10—12 — железистость: 10 — оливинов, 11 — ортопироксенов, 12 — клинопироксенов, 13 — содержание анортитового минала в плагиоклазах.

В расслоенной серии, составляющей основу массива, повсеместно встречаются небольшие линзовидные и дайкообразные тела грубозернистых пегматоидных пород, варьирующих в диапазоне от безоливиновых, довольно часто лейкократовых, габбро и габброноритов, до также безоливиновых меланогабброноритов и плагиопироксенитов. В крайней юго-западной части массива такие породы распространены более широко, а в восточном блоке, где они уступают по распространенности породам расслоенной серии, с ними ассоциируют близкие по составу такситовые и грубозернистые габброиды и пироксениты, сопровождающиеся титаномagnetит-ильменитовым оруденением (месторождение Кайчам). Такая ассоциация пород, кроме того, проявлена, но в заметно меньших масштабах, и в других частях массива, в том числе в западном его блоке.

МИНЕРАЛОГО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОРОД РАССЛОЕННОЙ И ПЕГМАТОИДНОЙ СЕРИЙ

Породы расслоенной и пегматоидной серий характеризуются устойчивыми особенностями состава. Наиболее яркой чертой минерального состава пород расслоенной серии является ведущая роль в них оливина, который варьирует по железистости от хризолитов ($f = 27.8\%$) в ультрамафитах до гиалосидеритов ($f = 40.3\%$) в габброидах и характеризуется, в общем, невысокими содержаниями Ni (230—1100 г/т) [Poliakov et al., 1996; Балыкин, 2002]. В породах пегматоидной серии оливин, как правило, отсутствует. Характерны инвертированные пижониты со структурами распада «ельчатого» типа, в которых развиты тонкие ламеллы диопсида. В такситовых габброноритах и пироксенитах часто встречаются крупные лап-

Таблица 1. Средний химический состав оливинов из пород расслоенной серии массива Нуйчуа

Компонент	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	x	s	x	s	x	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	x	s	
FeO*, мас.%	28.65	2.26	26.7	0.91	27.8	28.4	2.19	27.99	1.32	29.19	1.56	30.36	1.88	29.21	1.81	30.19	2.28	30	0.71	
MgO	34.23	2.49	35.17	1.26	33.56	34.19	0.84	35.39	1.54	33.96	1.49	31.8	1.88	34.44	1.5	33.38	1.18	31.99	1.09	
CaO	0.04	0.04	0.02	0.01	0.02	0.02	0	0.02	0.01	0.02	0.01	0.03	0.02	0.02	0.01	0.02	0.01	0.04	0.03	
NiO	0.09	0.02	0.07	0.01	0.06	0.06	0.03	0.08	0.02	0.08	0.03	0.09	0.02	0.08	0.03	0.07	0.02	0.1	0.05	
Ni, г/т	707	170	509	84	462	453	195	597	165	593	211	686	164	629	200	516	139	786	360	
f, %	31.3	2.5	30	1.18	31.6	31.8	2.02	30.6	1.69	32.5	1.71	34.9	2.65	32.3	2.04	33.6	2.32	34.3	1.29	

Примечание. 1—10 — расслоенная серия пород: 1 — лерцолиты и оливиниты, 6 ан.; 2 — меланотроктолиты, оливиновые меланогаббро и меланогаббронориты, 5 ан.; 3 — оливиновые рудные меланогаббронориты, 2 ан.; 4 — рудные меланогабброиды, 4 ан.; 5 — мезократовые троктолиты, оливиновые мезократовые габбро и габбронориты, 36 ан.; 6 — оливинсодержащие мезократовые габбронориты, 30 ан.; 7 — рудные габбронориты, 16 ан.; 8 — лейкократовые оливиновые габбро и габбронориты, 14 ан.; 9 — оливинсодержащие лейкогаббронориты, 5 ан.; 10 — рудные лейкогабброиды, 3 ан. Здесь и далее: x — среднее значение, s — дисперсия.

FeO* — суммарное содержание FeO + Fe₂O₃ в виде FeO.

Таблица 2. Средний химический состав клинопироксенов из различных групп пород массива Нуйчуа

Компонент	1	2		3		4		5		6
	Kp6378	x	s	x	s	x	s	x	s	x
SiO ₂ , мас.%	52.39	52.31	0.61	52.18	0.85	52.27	0.52	52.34	0.95	52.08
TiO ₂	0.85	0.82	0.13	0.82	0.1	0.78	0.17	0.76	0.11	0.65
Al ₂ O ₃	2.6	2.48	0.08	2.55	0.4	2.34	0.3	2.08	0.44	1.78
Cr ₂ O ₃	0.29	0.3	0.04	0.25	0.12	0.27	0.07	0.08	0.1	0.11
FeO*	6.86	6.51	0.86	7.48	1.32	7.38	0.97	9.28	0.93	9.6
MgO	15.7	15.59	0.53	15.74	0.87	15.06	0.56	14.42	0.65	14.21
CaO	21.13	21.02	1.11	20.2	1.99	21.37	0.81	20.04	2.17	20.54
Na ₂ O	0.46	0.31	0.06	0.35	0.06	0.31	0.07	0.23	0.07	0.28
Wo, %	45.5	42	3.42	40.7	5.96	43.7	3.23	38.8	5.67	43
En	44.4	46.9	2.05	46.3	3.7	44	2.07	43.8	2.61	41.3
Fs	10.1	11.1	1.58	13	2.72	12.3	2.08	17.4	3.55	15.7
f	18.4	19.9	1.64	20.2	1.99	21.9	3.08	28.3	3.45	27.6

Примечание. 1—4 — породы расслоенной серии: 1 — плагиолерцолит; 2 — меланократовые оливиновые габбро и габбронориты, 6 ан.; 3 — мезократовые оливиновые габбро и габбронориты, 16 ан.; 4 — лейкократовые оливиновые габбро и габбронориты, 7 ан.; 5, 6 — породы пегматоидной серии: 5 — плагиовестериты, 4 ан.; 6 — мелано- и мезократовые габбронориты, 2 ан.

Таблица 3. Средний химический состав ортопироксенов из различных групп пород массива Нуйчуа

Компонент	1	2		3		4		5	6
	x	x	s	x	s	x	s	x	x
SiO ₂ , мас.%	53.7	54.58	0.47	53.91	0.84	54.11	0.63	53.94	52.83
TiO ₂	0.37	0.32	0.05	0.35	0.12	0.35	0.16	0.2	0.32
Al ₂ O ₃	1.16	1.38	0.11	1.38	0.13	1.2	0.38	1.12	0.98
Cr ₂ O ₃	0.12	0.07	0.05	0.14	0.11	0.15	0.11	0.08	0.1
FeO	16.58	16.44	1	17.83	1.72	16.53	1.29	20.17	22.15
MgO	27.17	26.16	1.13	25.54	1.3	25.91	2.42	23.11	23.12
CaO	1.05	1.72	0.61	1.34	0.58	1.91	2.03	2	0.94
Na ₂ O	0.01	0.02	0.03	0.04	0.05	0.06	0.08	0.01	0.02
Wo, %	2.1	5.1	1.91	3.4	2.18	4.2	1.57	4.7	1.9
En	73	70.2	3.31	69.5	3.32	70.4	3.92	63.6	63.8
Fs	24.9	24.7	1.99	27.1	3.29	25.4	1.59	31.7	34.3
f	25.6	26.7	1.88	28.41	2.78	26.6	1.57	33.2	35.1

Примечание. 1—4 — породы расслоенной серии: 1 — плагиолерцолиты, 2 ан.; 2 — оливиновые меланогаббронориты, 7 ан.; 3 — мезократовые оливиновые габбронориты, 9 ан.; 4 — оливиновые лейкогаббронориты, 5 ан.; 5, 6 — породы пегматоидной серии: 5 — плагиовестериты, 2 ан.; 6 — мезократовые габбронориты, 2 ан.

Таблица 4. Средний химический состав плагиоклазов из различных групп пород массива Нуйчуа

Компонент	1		2		3		4	
	<i>x</i>	<i>s</i>	<i>x</i>	<i>s</i>	<i>x</i>	<i>s</i>	<i>x</i>	<i>s</i>
CaO, мас. %	13.82	0.45	13.59	0.35	13.51	0.57	13.45	0.72
Na ₂ O	3.52	0.3	3.61	3.19	3.74	0.32	3.79	0.21
K ₂ O	0.05	0.03	0.1	0.01	0.06	0.04	0.12	0.02
FeO	0.1	0.08	0.05	0.05	0.05	0.05	0.06	0.05
An, %	68.6	2.11	67.5	2	66.6	2.5	66.5	2.7
Ab	31.1	2.3	32	2.8	33	2.6	32.8	2.6
Or	0.3	0.2	0.5	0.2	0.4	0.2	0.7	0.1

Примечание. 1—3 — расслоенная серия: 1 — оливиновые меланогаббронориты, 4 ан.; 2 — мезократовые оливиновые габбронориты, 10 ан.; 3 — оливиновые лейкогабброиды, 5 ан.; пегматоидная серия: 4 — меланогаббронориты, 3 ан.

чатой формы пойкилитовые кристаллы ортопироксена с аналогичными структурами распада. Обнаружено относительно редкое проявление в породах юго-восточной части массива самостоятельных зерен пижонита. В оливиновых габброноритах расслоенной серии он образует сложные структуры срастания с диопсидом и реже самостоятельные идиоморфные кристаллы. В породах пегматоидной серии также развит претерпевший инверсию пижонит, распавшийся на диопсид ($f = 23—31\%$) и ортопироксен ($f = 38—65\%$). Результаты анализа состава главных породообразующих минералов (табл. 1—4) показали, что клино- и ортопироксены (см. табл. 2, 3) в пегматоидных габброноритах и пироксенитах по сравнению с пироксенами пород расслоенной серии характеризуются более высокой железистостью, но относительно меньшей глиноземистостью, плагиоклазы отличаются заметно большей калиевостью, что отражается в повышенном нормативном содержании в них ортоклаза (см. табл. 4). Изменчивость состава плагиоклаза, оливина и пироксенов иллюстрирует рис. 3.

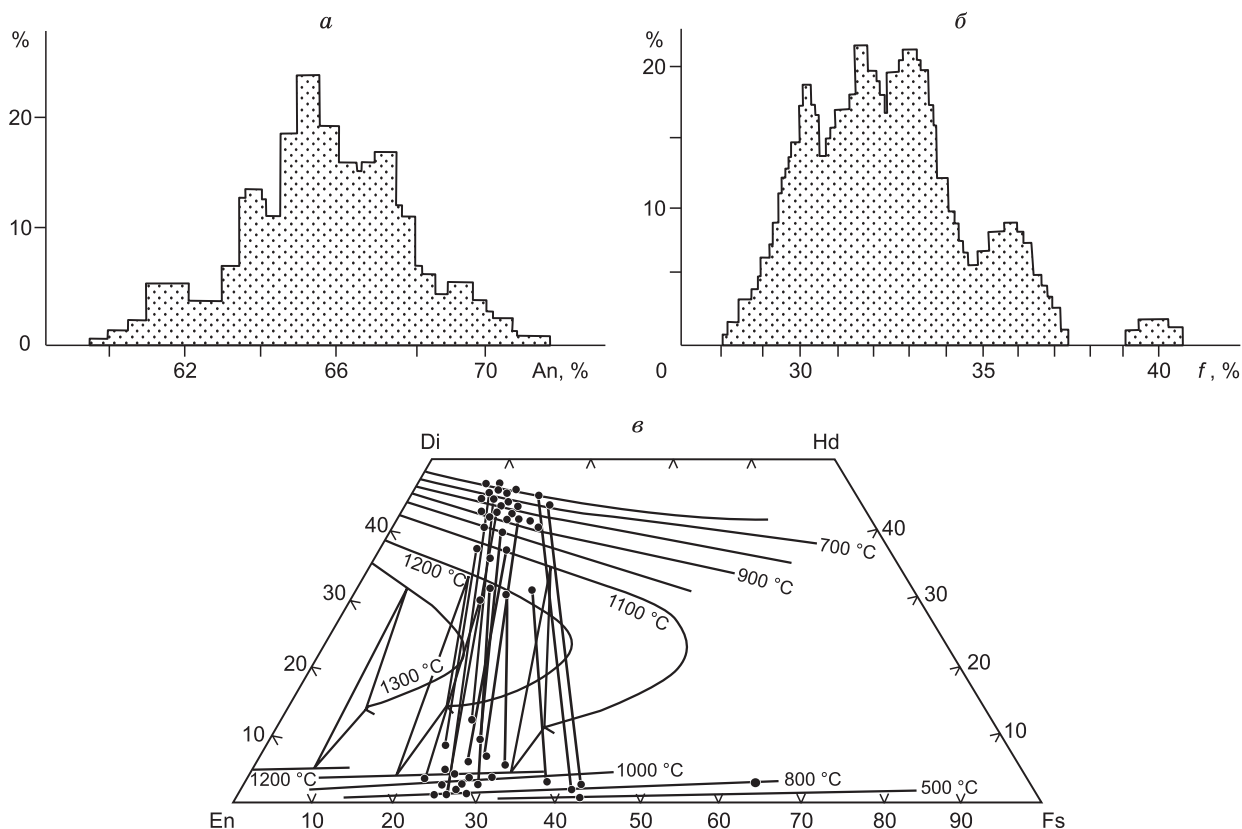


Рис. 3. Характер распределения составов плагиоклазов (а), $n = 131$ ан., оливинов (б), $n = 123$, клино- и ортопироксенов (в), $n = 30$ из пород массива Нуйчуа.

Пироксены пересчитаны по методу Д.Х. Линдсли в координатах $Wo(Di—Hd)—En—Fs$ [Lindsley, 1983]. Изотермы нанесены для $P = 5$ кбар.

Таблица 5. Средний химический состав различных групп пород массива Нуйчуа (мас.%), пересчитанный на сухую основу

Параметр	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Разновидность породы, количество анализов (n)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Породы расслоенной серии											
x	41.29	0.22	5.06	22.67	0.27	24.66	5.22	0.37	0.16	0.06	1. Плагииоцолиты и оливиниты, n = 3
s	1.10	0.11	0.83	1.47	0.06	0.47	1.98	0.32	0.11	0.04	
x	38.92	0.20	3.82	26.26	0.27	26.84	3.34	0.25	0.07	0.04	2. Рудные плагииоцолиты, верлиты и оливиниты, n = 9
s	3.21	0.12	1.47	1.89	0.06	1.38	1.46	0.21	0.09	0.03	
x	40.50	0.21	3.94	23.74	0.27	27.03	3.88	0.28	0.10	0.05	3. Ультрамафиты (средние): 1 + 2, n = 12
s	2.01	0.11	1.47	2.55	0.06	2.23	1.69	0.03	0.03	0.03	
x	45.11	0.22	13.41	13.32	0.20	17.23	9.01	1.08	0.30	0.12	4. Меланотроктолиты и оливиниты меланогаббронориты, n = 5
s	1.52	0.07	1.02	1.98	0.02	1.27	1.34	0.34	0.33	0.11	
x	48.03	0.42	10.30	12.69	0.21	15.88	11.28	0.98	0.13	0.06	5. Меланогаббронориты, n = 5
s	1.10	0.09	1.69	0.69	0.03	0.61	1.24	0.21	0.07	0.08	
x	42.70	0.23	10.72	19.73	0.23	18.26	7.13	0.88	0.08	0.06	6. Рудные меланотроктолиты, оливиниты меланогаббронориты и габбро, n = 10
s	2.71	0.14	2.97	3.26	0.04	5.41	2.42	0.33	0.09	0.07	
x	45.28	0.28	11.45	15.16	0.22	17.65	8.76	0.97	0.15	0.08	7. Субультрамафиты (средние): 4 + 5 + 6, n = 20
s	2.80	0.14	2.62	3.82	0.04	5.99	2.59	0.31	0.19	0.08	
x	44.41	0.21	16.19	14.76	0.17	12.50	10.05	1.50	0.13	0.09	8. Мезократовые троктолиты, оливиниты меланогаббронориты и габбро, n = 24
s	8.03	0.09	4.23	4.04	0.05	4.10	2.44	0.57	0.09	0.08	
x	48.63	0.34	16.36	9.99	0.17	10.60	12.07	1.59	0.16	0.09	9. Мезократовые габбронориты и габбро, n = 45
s	1.43	0.09	1.74	1.78	0.03	2.01	1.88	0.41	0.08	0.07	
x	47.55	0.32	16.95	11.63	0.16	9.47	12.06	1.57	0.16	0.12	10. Рудные мезократовые оливиниты меланогаббронориты, n = 25
s	1.31	0.06	1.77	1.26	0.02	1.85	1.05	0.47	0.15	0.08	
x	48.37	0.30	17.15	9.59	0.17	10.63	11.90	1.63	0.16	0.10	11. Мафиты (средние): 8 + 9 + 10, n = 94
s	1.64	0.10	1.85	1.82	0.02	2.04	1.58	0.43	0.10	0.08	
x	47.77	0.18	22.39	7.42	0.11	7.98	11.73	2.09	0.25	0.06	12. Лейкотроктолиты, лейкократовые оливиниты меланогаббронориты и габбро, n = 15
s	1.17	0.07	1.17	0.86	0.02	1.07	0.82	0.29	0.08	0.07	
x	49.28	0.35	20.38	8.06	0.14	7.31	11.76	2.30	0.30	0.12	13. Лейкогаббронориты и лейкогаббро, n = 11
s	1.40	0.32	0.76	1.31	0.02	0.85	1.31	0.56	0.34	0.12	
x	48.95	0.45	24.30	7.49	0.12	3.33	11.94	2.63	0.69	0.10	14. Анортозиты, n = 8
s	1.50	0.42	3.16	1.68	0.05	2.55	1.20	0.15	0.48	0.09	
x	48.19	0.24	20.20	10.58	0.13	6.70	11.60	2.00	0.29	0.07	15. Рудные оливиниты меланогаббронориты, n = 6
s	1.17	0.06	1.12	2.29	0.03	0.71	1.32	0.24	0.20	0.07	
x	47.71	0.25	27.08	7.49	0.08	1.53	12.31	2.62	0.84	0.09	16. Рудные анортозиты, n = 3
s	0.64	0.14	1.30	0.71	0.05	0.61	1.43	0.25	0.45	0.09	
x	48.91	0.30	22.22	7.11	0.13	6.70	11.94	2.25	0.35	0.09	17. Лейкобазиты (средние): 12 + 13 + 14 + 15 + 16, n = 43
s	1.41	0.28	2.33	1.60	0.03	2.27	1.06	0.42	0.31	0.09	
Породы пегматоидной серии											
x	49.85	0.49	10.27	13.15	0.25	15.04	9.83	0.96	0.10	0.07	18. Пегматоидные вебстериты и меланогаббронориты, n = 4
s	2.01	0.15	1.02	2.14	0.06	1.06	0.87	0.29	0.08	0.06	
x	47.63	0.71	6.79	17.89	0.26	15.53	10.19	0.70	0.14	0.16	19. Пегматоидные рудные вебстериты и меланогаббронориты, n = 7
s	2.33	0.33	3.59	3.14	0.04	3.37	4.22	0.35	0.12	0.22	
x	49.37	0.64	8.19	14.57	0.26	15.64	10.26	0.81	0.13	0.13	20. Субультрамафиты (средние): 18 + 19, n = 11
s	2.10	0.31	3.34	3.04	0.05	2.75	3.41	0.34	0.10	0.18	
x	49.99	0.48	14.91	11.62	0.18	9.70	11.44	1.39	0.14	0.15	21. Пегматоидные мезократовые габбронориты и габбро, n = 7
s	0.90	0.15	2.80	2.58	0.02	2.09	1.20	0.58	0.07	0.03	
x	47.96	0.41	15.15	18.05	0.20	8.25	8.51	1.24	0.14	0.10	22. Пегматоидные рудные габбронориты и габбро, n = 4
s	2.05	0.08	3.13	2.26	0.05	3.53	4.06	0.72	0.10	0.08	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>x</i>	50.56	0.47	15.36	11.90	0.20	9.36	10.53	1.35	0.14	0.13	23. Мафиты (средние): 21 + 22, <i>n</i> = 11
<i>s</i>	1.60	0.14	2.60	2.94	0.05	2.52	2.67	0.60	0.08	0.06	
<i>x</i>	48.56	0.98	15.41	12.91	0.20	7.46	12.24	1.62	0.37	0.24	24. Габброиды эндоконтактной фашии, <i>n</i> = 9
<i>s</i>	1.75	1.03	1.93	3.79	0.05	2.43	2.52	0.35	0.37	0.26	

Дискретность и различия в составе пород расслоенной и пегматоидной серий особенно ярко проявляются при сопоставлении их петрохимических характеристик. Сравнительный анализ последних базируется на более чем 200 принадлежащих авторам оригинальных химических данных, среди которых около 170 и более 30 анализов пород расслоенной и пегматоидной серий соответственно. В табл. 5 приведены усредненные составы различных групп пород той и другой серий.

В многомерном пространстве петрогеохимических признаков методом нелинейной дискриминации (программа VADIC (вариационный анализ, дискриминация и кластеризация) В.В. Хлестова, ИГМ СО РАН, г. Новосибирск) породы выделенных серий разделяются с ошибкой всего в 2 % (рис. 4). На двумерных диаграммах, отражающих соотношения породообразующих и примесных элементов, породы сравниваемых серий наиболее отчетливо различаются на графиках MgO—Al₂O₃, MgO—TiO₂, MgO—Fe₂O₃ (рис. 5). Обращает на себя внимание, что тренды распределения элементов, отвечающие той и другой совокупностям на графиках, как правило, субпараллельны, в разной степени сближаясь с

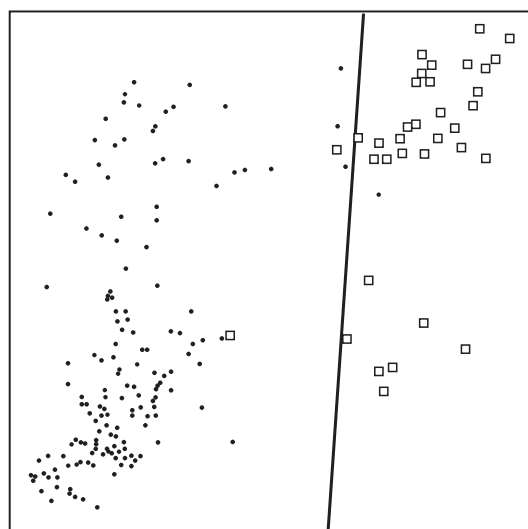


Рис. 4. Нелинейная дискриминация пород расслоенной (черные точки) и пегматоидной (полые квадраты) серий.

Жирная линия — дискриминанта.

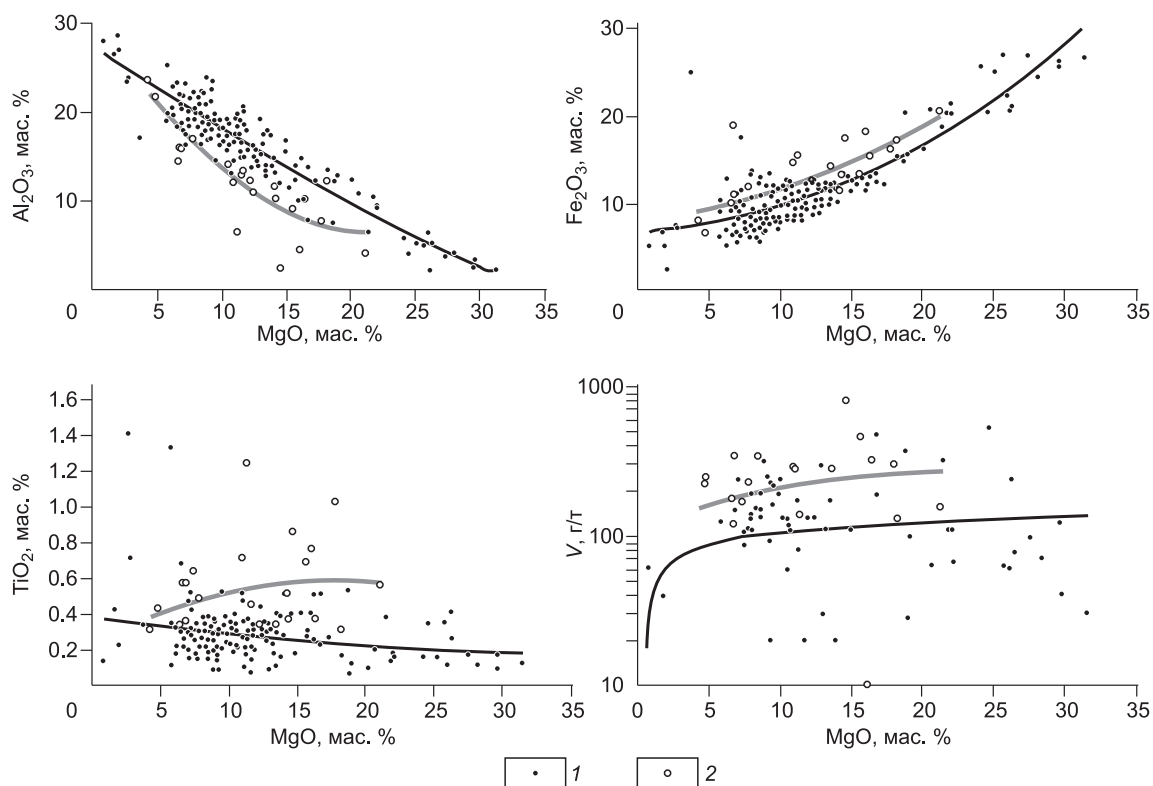


Рис. 5. Соотношения породообразующих и примесных элементов в породах расслоенной (1) и пегматоидной (2) серий.

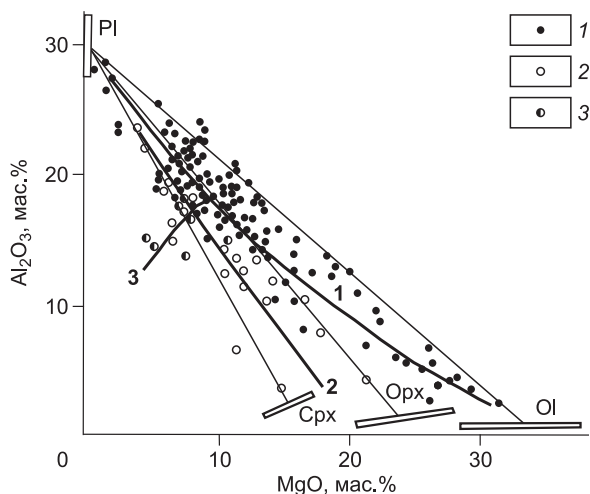


Рис. 6. Химический состав пород массива Нуйчуа в координатах Al_2O_3 — MgO , пересчитанных на сухую основу.

1 — расслоенная серия пород: плагиоклазовые лерцолиты и оливиниты, мелано-, мезо- и лейкократовые оливиновые габбро, габбронориты и троктолиты, оливиновые лейкогаббронориты и анортозиты; 2 — пегматоидная серия пород: плагиоивебстериты и меланогаббронориты, мезо- и лейкократовые габбро и габбронориты; 3 — габброиды эндоконтактовой фации.

На диаграмме отражены вариации состава основных породообразующих минералов: Ol — оливин, Pl — плагиоклаз, Cpx — клинопироксен, Орх — ортопироксен. Сплошными жирными линиями показаны тренды изменчивости состава пород расслоенной (1), пегматоидной (2) и эндоконтактовой (3) серии, тонкими — линии фракционирования Ol-Pl, Орх-Pl, Cpx-Pl.

линиями фракционирования Ol-Pl, Cpx-Pl и Орх-Pl. Это особенно хорошо проявляется на диаграмме MgO — Al_2O_3 (рис. 6). На ней фигуративные точки составов пород расслоенной серии расположены между линиями фракционирования Ol-Pl, и Орх-Pl, тогда как составы пород пегматоидной серии смешиваются в сторону линий фракционирования Орх-Pl и Cpx-Pl. Породы пегматоидной серии характеризуются в целом отчетливо более высокими относительно расслоенной серии содержаниями оксидов железа, титана и ванадия (рис. 7), средний химический состав различных групп пород приведен в табл. 5.

Породы выделенных серий обладают некоторой спецификой распределения в них редких и редкоземельных элементов. Для пород расслоенной серии (табл. 6) отмечается в целом слабо фракционированный положительный характер распределения РЗЭ с вариациями нормированных на хондрит содержаний легких элементов от 2 (La) до 10 (Eu), а тяжелых — от 5 до 7. Лерцолитам и оливиновым меланогабброноритам свойственен выположенный тренд распределения редких и РЗЭ с вариациями нормированных на примитивную мантию содержаний Cs, Th, U, Pb, Sr и P от 1 до 300 (Cs) и от 2 до 5 — остальных элементов [Балыкин, 2002]. Характерен минимум по Nb, Ta, La, Ce, Zr и максимум по Cs, U, Pb, Sr и P.

Рудные минералы в породах расслоенной серии представлены преимущественно сульфидами (пирротин, пентландит и халькопирит) и сульфосолями, состав которых приведен в табл. 7. Менее распространены оксидные минералы магнетит, титаномагнетит и ильменит. Эпизодически встречаются линнеит, полидимит, хизлевудит, арсениды и сульфосоли кобальта и никеля. Сульфидная

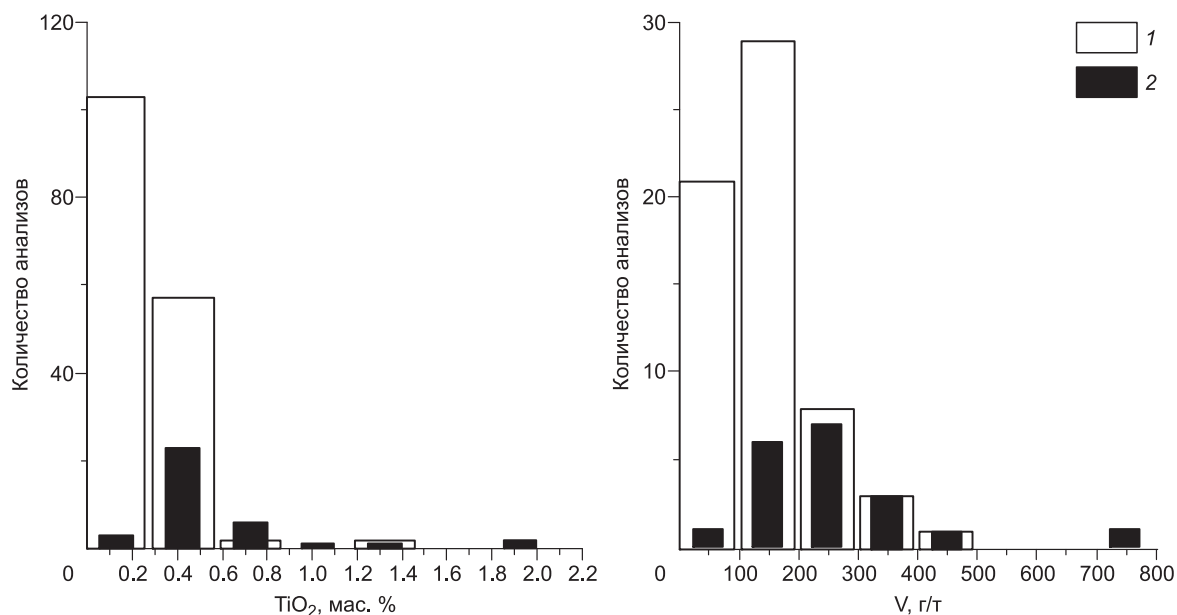


Рис. 7. Гистограммы распределения TiO_2 и V в породах массива Нуйчуа.

Серия: 1 — расслоенная, 2 — пегматоидная.

вкрапленность широко распространена в качестве доминирующей в породах расслоенной серии основного тела плутона. Скважиной LK2, пройденной в основном по верхней части разреза расслоенной серии восточного блока, вскрыты девять обогащенных сульфидами горизонтов. Наиболее часто встречается мелкая равномерно рассеянная вкрапленность сульфидов, состоящая из высоконикелистой (до 1.0 % Ni) разновидности пирротина (50—70 %), высококобальтового (до 4 % Co) пентландита (10—30 %) и халькопирита (10—30 %). Реже обнаруживается смешанный оксидно-сульфидный тип минерализации, представленный сингенетической вкрапленностью пирротина, пентландита и халькопирита, на которую накладываются более поздние магнетит, титаномагнетит и ильменит. Исследование присутствия Ni в оливинах и в самих породах расслоенной серии свидетельствует о том, что содержания Ni в оливинах находятся на одном уровне с породами. Это указывает на концентрацию никеля в обогащенных им сульфидизированных габброидах преимущественно в рудной (сульфидной) фракции, что является благоприятным фактором потенциальной никеленосности расслоенной серии массива. В такситовых и грубозернистых габброидах и пироксенитах пегматоидной серии мелко-вкрапленная рассеянная рудная минерализация, как правило, сочетается с гнездообразными и шпировыми обособлениями халькопирита, магнетита, титаномагнетита и ильменита, достигающими в ряде случаев промышленных концентраций (месторождение Кайчам).

Минерализация ЭПГ, выявленная в породах расслоенной серии [Поляков и др., 1984, 1999], представлена сперрилитом, паоловитом, соболевскитом, майченеритом, состав которых приведен в табл. 8, и другими более редкими минералами Pt и Pd. Платинометаллическая минерализация была установлена авторами в обогащенных сульфидами габброидах и лерцолитах глубоких горизонтов расслоенной серии восточного блока массива, вскрытых скв. LK2 (вблизи вершины горы Нуйчуа) в интервалах 418 м и 438—440 м. Сперрилит, образующий кубические кристаллы размером до 15 мм, находится в ассоциации с никелином, сульфоарсенидами кобальта и майченеритом. Палладиевые минералы обнаружены в сростаниях с сульфоарсенидами и арсенидами кобальта и никеля, а также в виде мелких включений в этих минералах. Повышенные содержания палладия и сурьмы установлены в маухерите, сульфоарсенидах кобальта и никеля и в пентландите, в брейтгауптите они достигают 3.15 %.

Рассмотренные геологические данные и минералого-геохимические особенности пород массива Нуйчуа указывают на наличие в нем двух последовательно сформированных ассоциаций пород: расслоенной и пегматоидной серий (к последней примыкают близкие к ней по составу породы эндоконтактовой фации). Эти серии пород обладают различной руд-

Таблица 6. Петро- и геохимические характеристики некоторых типов пород расслоенной серии массива Нуйчуа

Компонент	Кр6404А	T180	B6115	T175
	1	2	3	4
SiO ₂ , мас. %	42.44	—	48.52	48.95
TiO ₂	0.26	—	0.36	0.32
Al ₂ O ₃	5.35	—	16.73	15.74
FeO*	19.26	—	7.72	9.46
MnO	0.25	—	0.17	0.17
MgO	26.36	—	11.35	12.39
CaO	5.53	—	13.02	11.44
Na ₂ O	0.47	—	1.96	1.47
K ₂ O	0.05	—	0.00	0.03
P ₂ O ₅	0.02	—	0.16	0.03
Ni, г/т	1021	1792	190	149.4
Co	140	179.5	46	45.04
Sc	30	18.19	37	22.16
Cu	1038	1074	57	52.95
Cr	580	174.1	595	555.5
V	—	117	—	199
Rb	0.8	0.96	0.3	1.5
Sr	39	27.71	159	106
Y	6.2	6	9.1	5.89
Zr	4.4	5.15	10.5	4.7
Ta	0.02	0.01	0.02	0.02
Nb	0.2	0.14	0.2	0.3
Cs	1.4	1.84	0.3	0.76
Ba	—	5.12	—	13.18
La	0.35	0.41	0.8	0.58
Ce	1.1	1.09	2.4	1.33
Nd	1	1.05	2.2	1.12
Sm	0.35	0.44	0.84	0.43
Eu	0.2	0.2	0.54	0.46
Gd	0.6	0.69	1.2	0.68
Tb	0.15	0.11	0.24	0.11
Yb	0.66	0.59	0.95	0.58
Lu	0.1	0.1	0.15	0.09
Hf	0.2	0.2	0.3	0.2
Th	0.1	0.05	0.3	0.1
U	0.2	0.02	0.3	0.03
Dy	—	0.92	—	0.91
Ho	—	0.21	—	0.21
Er	—	0.57	—	0.57
Pb	—	2.39	—	1.31
Pr	—	0.18	—	0.2
Tm	—	0.09	—	0.1

Примечание. 1—4 — породы расслоенной серии массива Нуйчуа: 1, 2 — плагиолерцолиты; 3, 4 — оливиновые меланогаббронориты. 1, 3 — выполнены нейтронно-активационным методом в Институте геологии и минералогии СО РАН, Новосибирск [Poliakov et al., 1996]; 2 — ICP-MS методом в Департаменте геологических наук Франклин и Маршал колледже, США; 4 — ICP-MS методом в Департаменте геологических наук Национального Тайваньского университета, г. Тайбэй, Тайвань [Hoang Huu Thanh et al., 2004]. Прочерк — элемент не определялся.

Таблица 7. Химический состав сульфидов и сульфоарсенидов из пород и руд массива Нуйчуа (мас.%)

№ п/п	№ обр.	Fe	Ni	Co	Cu	As	Sb	Se	S	Сумма
1	LK2-167	59.12	0.55	0.08	0.01	He обн.	He обн.	—	39.02	98.78
2	LK2-439	60.02	0.27	0.07	He обн.	»	»	—	38.23	98.59
3	П9	61.94	0.21	0.05	0.01	0.1	—	0.01	37.52	99.84
4	П12	61.07	0.34	0.12	He обн.	0.09	—	0.03	38.07	99.72
5	П14	60.66	0.68	0.03	0.06	0.1	—	0.06	38.84	100.43
6	П25Б	61.18	0.04	0.06	0.01	0.08	—	0.03	37.62	99.02
7	Б5036	59.24	1.01	0.08	0.01	0.12	—	He обн.	38.77	99.23
8	Г1141	59.68	0.74	0.02	0.05	0.05	—	0.02	38.86	99.42
9	Г1444	59.29	0.57	0.21	He обн.	He обн.	—	He обн.	39.37	99.44
10	Г1153	60.07	1.08	0.08	0.02	»	—	»	38.93	100.18
11	Г1154	59.08	0.57	0.08	0.02	0.02	—	»	39.35	99.13
12	LK2-167	31.83	28.51	4.79	0.04	He обн.	He обн.	—	33.55	98.72
13	П9	31.7	32.23	2.46	0.07	0.01	—	0.1	32.72	99.29
14	П12	32.33	31.66	2.21	0.07	0.03	—	0.01	32.42	98.43
15	П14	30.33	33.32	2.13	He обн.	0.15	—	0.06	32.45	98.44
16	П25Б	31.19	30.48	4.03	0.05	0.09	—	0.04	32.64	98.52
17	Кр6404А	34.42	29.51	1.96	0.13	0.07	—	0.04	32.65	98.78
18	Г1141	29.96	33.95	2.34	He обн.	0.02	—	0.05	33.06	99.38
19	Г1144	28.74	22.65	13.4	0.16	He обн.	—	He обн.	34.89	99.84
20	Г1153	29.01	34.28	2.92	0.03	0.03	—	»	33.01	99.28
21	Г1154	27.71	34.25	3.49	0.05	0.02	—	0.06	33.14	98.72
22	П9	30.79	0.03	0.06	34.49	0.07	—	0.07	34.89	100.4
23	П12	30.58	0.64	0.1	33.18	0.07	—	He обн.	34.42	98.99
24	Б5036	30.94	0.01	0.03	34.35	0.06	—	0.06	34.62	100.07
25	Кр6404А	40.94	0.1	0.06	22.6	0.12	—	0.03	35.06	98.91
26	LK2-438	30.43	0.15	0.08	33.64	He обн.	He обн.	—	34.47	98.77
27	LK2-439	30.27	0.03	0.02	34.41	»	»	—	34.05	98.78
28	LK2-167	4.99	11.37	19.67	He обн.	47.53	0.01	—	17.94	101.51
29	LK2-438	4.95	12.55	18.11	»	46.14	0.62	—	18.43	100.8
30	П25Б	3.43	2.49	30.88	0.01	44.57	—	0.2	19.46	101.04
31	LK2-167	0.51	42.5	0.87	0.07	54.44	0.36	—	0.24	98.99
32	LK2-438	1.16	50.77	0.4	0.06	48.39	0.06	—	0.04	100.88
33	LK2-439	40.54	0.01	0.05	23.27	He обн.	He обн.	—	34.66	98.53

Примечание. 1—11 — пирротин; 12—21 — пентландит; 22—27 — халькопирит; 28—30 — кобальтин; 31, 32 — никелин; 33 — кубанит. В 28, 32 установлены повышенные содержания палладия (0.12 и 0.14 мас.% соответственно). Анализы выполнены на электронном микроанализаторе Camebax-Micro в ОИГТМ СО РАН, г. Новосибирск, аналитики О.Н. Майорова, О.С. Хмельникова. Прочерк — элемент не определялся. He обн. — ниже предела обнаружения.

ной специализацией: сульфидной платинометалльно-медно-никелевой в первом случае и оксидной железо-титан-ванадиевой — во втором. Особенности их состава, включая обозначенную выше специфику минералого-геохимических черт, свидетельствуют о генетической их общности и в то же время устойчивых и достаточно существенных различиях, что позволяет предполагать различные исходные для них расплавы. Основываясь на имеющемся весьма представительном петрохимическом материале по выделенным сериям пород, авторы получили первые приблизительные оценки возможных составов, исходных для той и другой серий расплавов.

ОЦЕНКИ СОСТАВОВ ИСХОДНЫХ РАСПЛАВОВ ДЛЯ РАССЛОЕННОЙ И ПЕГМАТОИДНОЙ СЕРИЙ ПОРОД, ИХ РУДНО-ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ

Определение составов исходных расплавов для сложнопостроенных с элементами магматической расслоенности ультрабазит-базитовых плутонов и моделирование способа их образования относятся к числу трудных петрологических задач. В нашем случае проблема усложняется наличием в плутоне Нуй-

Таблица 8. Состав минералов ЭПГ из пород и руд массива Нуйчуа (мас.%)

№ п/п	№ обр.	Pt	Pb	Ni	As	Sn	Sb	Te	Bi	Сумма
1	LK2-418	51.45	0.54	2.4	43.86	—	0.56	—	—	98.81
2	»	52.56	0.67	1.14	43.34	—	0.69	—	0.04	98.44
3	»	—	64.25	—	—	36.74	0.59	—	—	101.58
4	»	—	63.9	—	—	36.77	0.84	—	—	101.51
5	»	0.08	25.37	0.1	—	0.03	1.87	30.77	44.04	102.26
6	»	—	25.32	0.1	—	0.04	2.13	31.55	43.55	102.49
7	»	51.89	1.1	1.59	43.68	0.02	0.41	—	0.12	98.81
8	»	—	65.11	—	—	35.28	2.41	—	—	102.8
9	»	—	3.09	29.3	0.32	0.03	65.2	0.35	0.04	98.33
10	»	0.03	3.15	29.29	0.31	0.02	66.4	0.4	—	99.6
11	LK2-439	—	64.12	—	—	37.02	0.65	—	—	101.79
12	»	—	64.64	—	—	37.19	0.6	—	—	102.43
13	»	0.08	38.3	—	—	0.1	7.11	14.72	41.76	102.07
14	»	0.06	38.55	—	—	0.09	7.18	14.69	41.72	102.29

Примечание. 1, 2, 7 — сперилит; 5, 6 — майченерит; 3, 4, 8, 11, 12 — паоловит; 13, 14 — соболевскит; 9, 10 — брейтгауптит. Анализы выполнены на электронном микроанализаторе Camebax-Micro в ОИГТМ СО РАН, г. Новосибирск, аналитик О.С. Хмельникова. Прочерк — элемент не обнаружен.

чуа и других массивах этого комплекса наряду с расслоенной серией пегматоидной группы пород мафитового и субультрамафитового составов, играющих, как это было показано в предыдущих разделах, существенную роль в его формировании. Вместе с тем пегматоидам основного состава отводится важная роль не только в петрологических, но и в рудно-геохимических моделях формирования расслоенных плутонов [Barnes, Campbell, 1988; MacDonald et al., 1989; Золотухин, 1997; Конников и др., 2002]. Учитывая признаки генетической общности и вместе с тем фазовые отношения пород расслоенной и пегматоидной серий массива Нуйчуа, оценки составов исходных расплавов нами произведены для них отдельно с последующим сопоставлением и обсуждением полученных результатов.

Для оценки состава исходных расплавов расслоенных серий обычно используются средние или среднезвешенные составы расслоенных массивов в целом, либо отдельных наиболее полных их ритмов. Иногда в этих целях привлекаются данные о составе закалочных фаций соответствующих интрузивов. Адекватность полученных таким образом составов реальным ассоциациям пород расслоенной серии нами оценивалась с помощью программного комплекса Pluton, разработанного в Институте геологии и минералогии СО РАН [Лавренчук, 2004].

Основными исходными данными для модельных расчетов являются последовательность появления ликвидусных минералов и их составы, глубина становления интрузива и содержание воды в расплаве.

Для пород расслоенной серии массива Нуйчуа установлен следующий порядок выделения ликвидусных минералов: ОI-РI → Рх. Характерной особенностью пород этой серии является присутствие в них ортопироксенов и инвертируемого пижонита со структурами распада. Давление, при котором происходит становление расслоенной серии, не превышает 2 кбар, так как в эндоконтактной зоне наблюдаются роговики, а вмещающий комплекс пород представлен в общем слабометаморфизованными фациями. Исходный расплав, вероятно, содержал некоторое количество воды, так как в породах расслоенной серии присутствуют в небольших количествах в качестве акцессорных минералов роговая обманка и флогопит.

Если за исходный расплав принять средний состав пород расслоенной и пегматоидной серий массива Нуйчуа в совокупности, то получается последовательность модельных составов пород, изображенная на рис. 8. В этом случае практически по всем основным петрогенным компонентам наблюдаются значительные различия модельных и реальных составов пород массива. Столь же большие отличия получаются при модельных расчетах на основе исходного расплава, отвечающего среднему составу только расслоенной серии пород.

Более удовлетворительные результаты получаются, если в качестве исходного расплава принять умеренно титанистый тип базальтов М001 из пермско-триасового вулканического комплекса соседней с зоной Фунги структуры Шонгхиен. Эти базальты могут рассматриваться в качестве комагматов расслоенных массивов комплекса Нуйчуа, о чем свидетельствует отмечавшаяся во вводной части статьи близость их возраста, а также сходные геохимические характеристики. Результаты анализа мультиэлементных и редкоземельных спектров пермско-триасовых базальтов зоны Шонгхиен и пород расслоенной серии массива Нуйчуа показали, что они обладают сходными геохимическими метками: обогащение крупноионными литофильными элементами (LILE), но обеднение Та и Nb (рис. 9, 10).

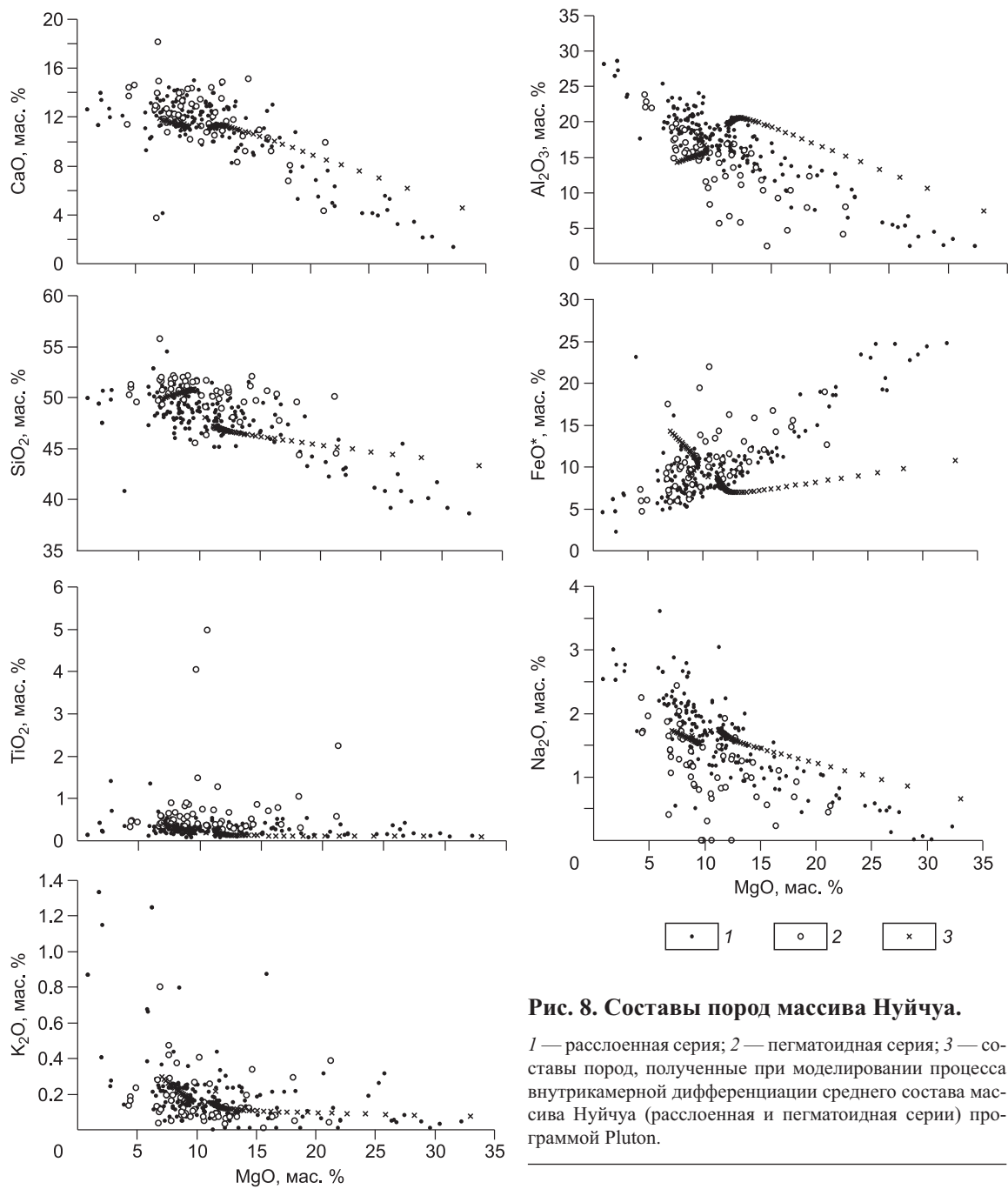


Рис. 8. Составы пород массива Нуйчуа.

1 — расслоенная серия; 2 — пегматоидная серия; 3 — составы пород, полученные при моделировании процесса внутрикамерной дифференциации среднего состава массива Нуйчуа (расслоенная и пегматоидная серии) программой Pluton.

Полученные данные свидетельствуют о том, что базальты зоны Шонгхиен и породы расслоенной серии массива Нуйчуа относятся к одному типу базитов с надсубдукционными геохимическими метками. Вместе с тем для базальтов зоны Шонгхиен характерны отрицательные аномалии по Sr и Eu, тогда

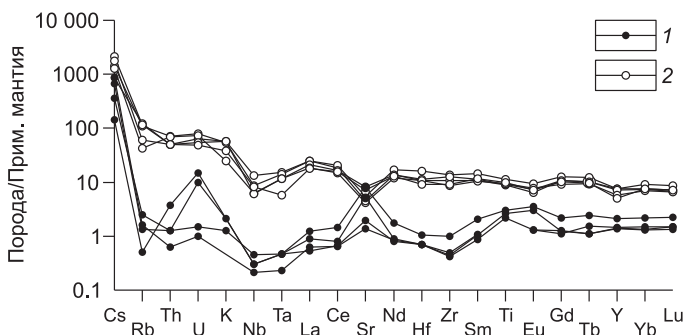
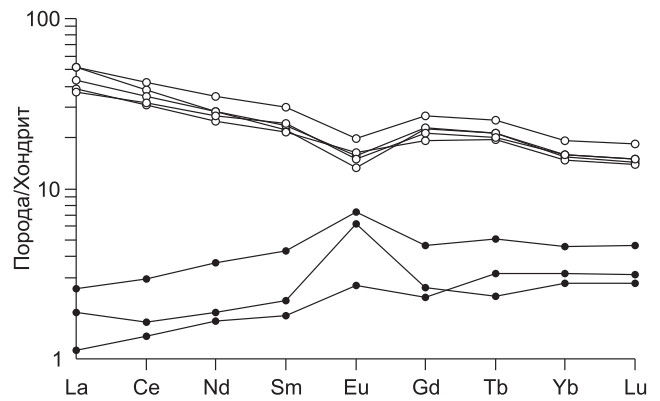


Рис. 9. Мультиэлементные спектры, нормированные на примитивную мантию [Sun, McDonough, 1989], базальтов M001 зоны Шонгхиен и габброидов расслоенной серии массива Нуйчуа.

1 — габброиды, 2 — базальты.

Рис. 10. Спектры распределения РЗЭ, нормированные на хондрит [Rare..., 1984], базальтов М001 зоны Шонгхиен и габброидов расслоенной серии массива Нуйчуа.

Усл. обозн. см. на рис. 10.



деление элементов может быть объяснено фракционированием плагиоклаза в промежуточном очаге. Примером последнего может служить и сам массив Нуйчуа, в котором габброиды обогащены кумулюсным плагиоклазом. Базальты зоны Шонгхиен могут рассматриваться в таком случае как остаточные расплавы, излившиеся из промежуточного очага. Исходный состав магмы в таком очаге должен быть, по всей вероятности, промежуточным между составом базальтов Шонгхиен и ранних кумулятов расслоенной серии массива Нуйчуа.

Модельные расчеты по фракционной кристаллизации расплава, соответствующего базальту М001 (его химический состав и рассчитанный на его основе состав исходного расплава приведены в табл. 9), показывают следующую последовательность выделения ликвидусных фаз: $O1 + P1 \rightarrow P1 + Px$. По нашим наблюдениям, такая последовательность характерна для пород средней и верхней частей массива Нуйчуа. Для того, чтобы данный состав расплава можно было использовать для всей расслоенной серии массива Нуйчуа, в него необходимо добавить 10 % оливина (самого раннего кумулюсного минерала) с

Таблица 9. Химический состав умеренно титанистого базальта зоны Шонгхиен и рассчитанный на его основе предполагаемый состав исходных расплавов для расслоенной и пегматоидной серий массива Нуйчуа (мас.%)

№ п/п	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅
1	49.35	1.14	15.53	10.68	0.20	8.70	10.71	2.11	1.45	0.13
2	38.38	0.00	0.00	25.37	0.00	36.25	0.00	0.00	0.00	0.00
3	48.25	1.02	13.98	12.15	0.18	11.46	9.64	1.90	1.31	0.11
4	49.08	1.40	14.22	13.89	0.00	6.59	10.74	2.18	1.73	0.15

Примечание. 1 — умеренно титанистый базальт (М001) зоны Шонгхиен; 2 — состав раннекумулятивного оливина; 3 — предполагаемый состав исходного расплава для расслоенной серии массива Нуйчуа (состав базальта М001 + 10 % оливина); 4 — предполагаемый состав исходного расплава для пегматоидной серии (состав базальта М001 + 10 % оливина, фракционированный на 30 %).

Таблица 10. Средние составы расслоенной и пегматоидной серий пород массивов комплекса Нуйчуа (мас.%)

Массив	Серия	Параметр	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	n	
Нуйчуа	А	x	47.89	0.29	17.11	10.01	0.17	11.50	11.07	1.65	0.22	0.09	165	
		s	7.71	0.03	26.92	20.92	0.00	34.99	7.51	0.45	0.06	0.01		
	В	x	50.59	0.73	14.22	10.75	0.21	10.19	11.76	1.16	0.24	0.16		24
		s	5.69	0.63	21.56	13.20	0.00	16.09	6.39	0.32	0.14	0.01		
Кхаокуэ	А	x	47.62	0.28	16.35	5.67	0.15	12.52	15.98	1.01	0.22	0.20	98	
		s	2.55	0.05	23.07	9.68	0.00	33.79	8.09	0.31	0.04	0.00		
	В	x	46.77	1.28	14.41	9.94	0.17	5.50	16.66	1.73	0.91	0.35		18
		s	5.29	0.56	14.53	8.91	0.00	6.17	17.77	0.96	0.54	0.03		
Чинанг	А	x	48.43	0.23	18.13	5.80	0.15	11.50	13.76	1.60	0.24	0.16	118	
		s	5.76	0.02	25.64	9.17	0.00	41.93	9.74	0.68	0.06	0.00		
	В	x	49.16	0.53	13.11	6.79	0.15	10.07	16.00	1.39	0.20	0.21		16
		s	3.56	0.08	28.98	4.76	0.00	5.81	11.57	0.57	0.02	0.01		
Нуйенчу	А	x	45.40	0.24	17.40	6.69	0.15	15.98	12.86	0.84	0.25	0.19	47	
		s	7.58	0.04	43.77	6.11	0.00	124.01	22.95	0.26	0.07	0.01		
	В	x	50.72	0.38	11.40	9.70	0.18	11.45	12.48	1.41	0.59	0.20		9
		s	5.21	0.01	10.59	5.59	0.00	11.08	14.76	0.59	0.16	0.01		

Примечание. Серии: А — расслоенная, В — пегматоидная; n — число анализов.

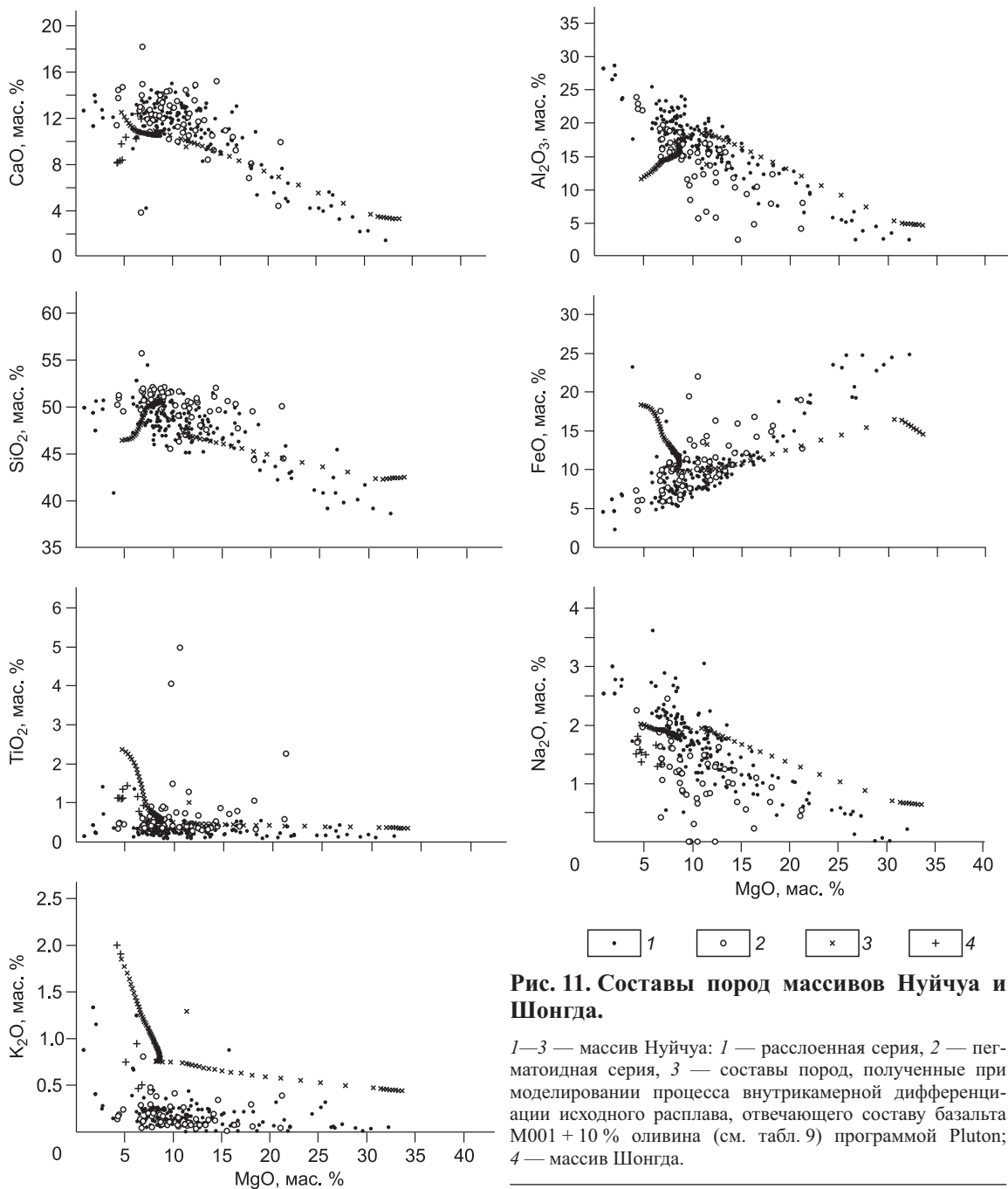


Рис. 11. Составы пород массивов Нуйчуа и Шонгда.

1—3 — массив Нуйчуа: 1 — расслоенная серия, 2 — пегматоидная серия, 3 — составы пород, полученные при моделировании процесса внутрикамерной дифференциации исходного расплава, отвечающего составу базальта M001 + 10 % оливина (см. табл. 9) программой Pluton; 4 — массив Шонгда.

магнезиальностью 70—75 %. Такое допущение вполне реально с учетом большой вероятности увеличения роли ультрамафитов на нескрытых глубоких уровнях массива.

Нами установлено, что при использовании в целях моделирования расплава такого состава образуется последовательность пород, которая по своим петрогенным характеристикам практически совпадает с реально наблюдаемыми породными парагенезами расслоенной серии массива Нуйчуа (рис. 11). При этом модельные составы минералов близки к реально наблюдаемым в породах массива, железистость оливина в породах 28—41 %, расчетная — 20—35 %; основность плагиоклаза в породах массива Нуйчуа 65—75 % анортитового минала, расчетная — 70—77 %. Произведенные расчеты свидетельствуют о том, что в процессе внутрикамерного фракционирования магмы такого состава должны накапливаться остаточные расплавы, обогащенные щелочами. Соответственно, продукты кристаллизации этих расплавов и поздние кумулаты будут приближаться по составу к монцодиоритоидам. Следует заметить, что такие породы обнаруживаются в составе более мелких интрузий-сателлитов в западном эндоконтакте массива Нуйчуа. К ним, в частности, относится исследованный нами массив Шонгда. Породы, отвечающие по химическому составу монцодиоритоидам, присутствуют, кроме того, в составе пегматоидных серий в

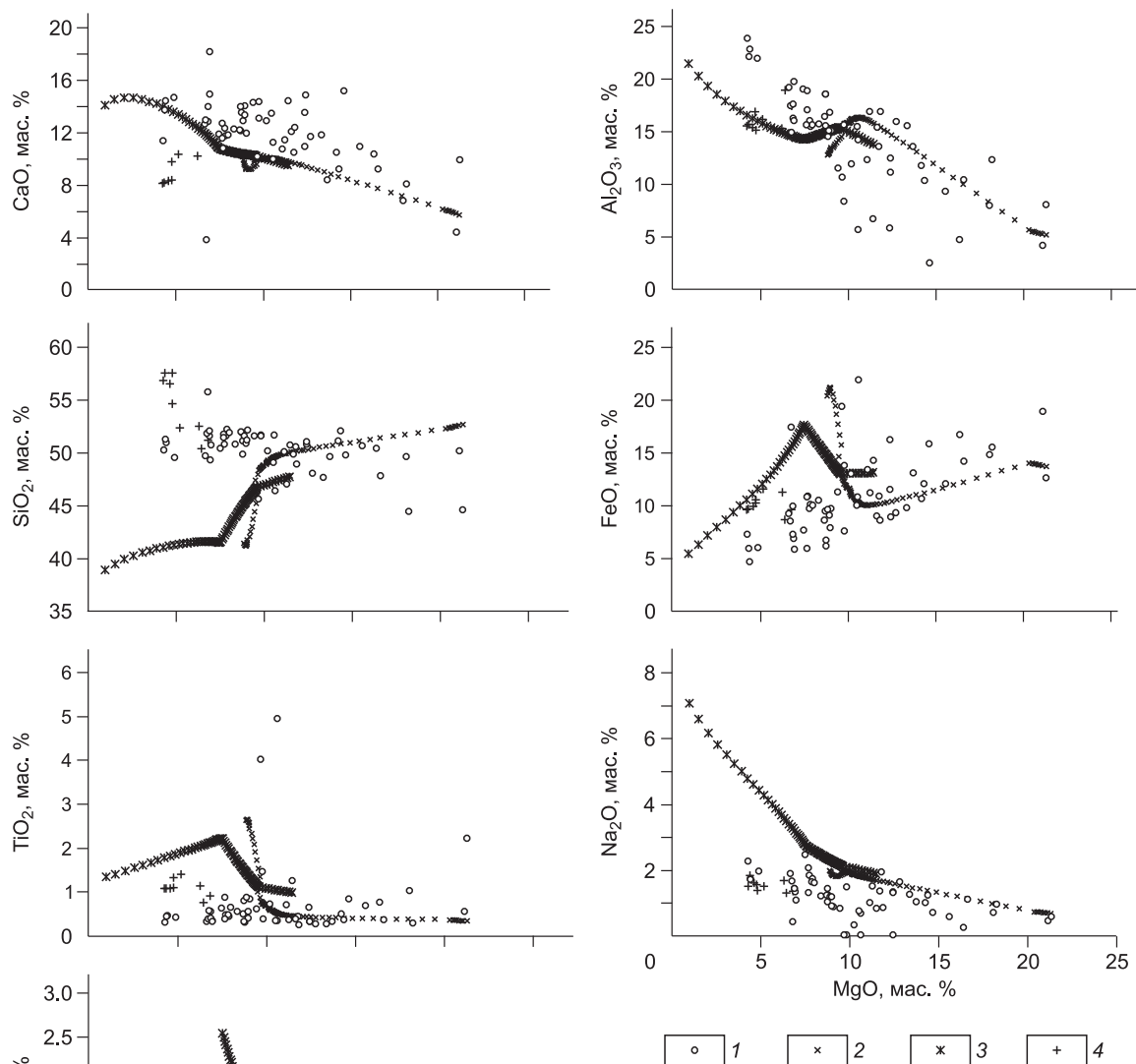


Рис. 12. Составы пород массивов Нуйчуа и Шонгда.

1 — расслоенная серия массива Нуйчуа; 2, 3 — составы, полученные при моделировании процесса внутрикамерной дифференциации исходного расплава, отвечающего составу базальта M001 + 10 % оливина со степенью фракционирования 30 % (см. табл. 9) программой Pluton; 2 — породы, 3 — остаточные расплавы; 4 — массив Шонгда.

ряде других массивов комплекса Нуйчуа (Кхаокуэ, Нуиенчу и др.), что отражается в средних составах пегматоидных серий этих массивов (табл. 10). Расчеты показали также, что в ходе такой дифференциации должно происходить обогащение остаточных расплавов и поздних кумулатов титаном, что объясняет образование в связи с такситовыми и пегматоидными породами восточного блока массива Нуйчуа титаномагнетит-ильменитового месторождения Кайчам.

Нами предпринята попытка моделирования образования в массиве Нуйчуа и пегматоидов. Как отмечалось выше, пегматоидная серия пород этого массива отличается от пород расслоенной серии отсутствием оливина. Моделирование последовательности образования пород расслоенной серии показало, что оливин исчезает при достижении 30 % степени фракционирования исходного расплава обоснованно выше состава. Соответственно, для моделирования пегматоидной серии в качестве исходного принят расплав именно такого состава. Полученный в результате набор составов пород по ряду компонентов (SiO_2 , FeO , K_2O) напоминает реальные породы пегматоидной серии лишь отдаленно, а по ряду других породообразующих оксидов (CaO , MgO , Na_2O , TiO_2) очень близки к ним (рис. 12).

Таким образом, модельные построения подтверждают образование пегматоидной серии пород массива Нуйчуа в связи с его главной, расслоенной составляющей и позволяют отнести ее к производ-

ным поздних остаточных расплавов, эволюционировавших в сторону обогащения их щелочами и титаном. Об этом свидетельствует отмеченное выше появление в составе пегматоидов некоторых массивов комплекса Нуйчуа (Кхаокуэ, Нуйенчу и др.) монцонитоидов. В пегматоидных габброноритах массива Нуйчуа признаки повышенной щелочности проявляются в обогащенности плагиоклазов ортоклазовым компонентом. Вероятно, с пегматоидной серией этого массива могут быть связаны биотитовые габбро и монцодиориты мелких интрузивов-спутников (Шонгда и др.) на западном фланге массива Нуйчуа, выделенных и впервые описанных Э.П. Изохом и Нгуен Ван Тьеном [Довжиков и др., 1965].

Расслоенная серия пород массива Нуйчуа, особенно на глубоких, нескрытых ее уровнях, безусловно, продуктивна, как было показано выше и в более ранних наших публикациях [Поляков и др., 1984, 1999; Poliakov et al., 1996], в отношении сульфидного и малосульфидного платинометалльно-медно-никелевого оруденения. Продукты поздней стадии его становления, включая породы пегматоидной серии как производные остаточных расплавов, характеризуются повышенными содержаниями титана и ванадия, и, соответственно, продуктивны в отношении этих компонентов. С ними связана титаномagnetит-ильменитовая минерализация восточного блока массива Нуйчуа (месторождение Кайчам). Нам представляется весьма актуальной оценка этой минерализации и на ванадий. Аналогичное оруденение можно ожидать в связи с пегматоидными биотитовыми габбро и монцодиоритами западного, менее вскрытого эрозией фланга массива. Рудная перспективность комплекса Нуйчуа возрастает еще в большей степени, если учитывать возможность фракционирования исходных для него расплавов в более глубинных и объемных промежуточных очагах.

Работа выполнена при поддержке РФФИ (гранты 07-05-00825, 08-05-90304-Вьет-а), научной школы № НШ-2715.2008.5, МК-5023.2007.5 и интеграционного проекта СО РАН (6.11).

ЛИТЕРАТУРА

Балыкин П.А. Формационные типы перидотит-габбровых массивов и составы их исходных расплавов: Автореф. дис. ... д.г.-м.н. Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 2002, 44 с.

Бин-Цюань Чжу, Яо-Гуо Ху, Сянь-Ян Чан, Цзинь Се, Чжэн-Вэй Чжан. Крупнейшая магматическая провинция Эмейшань: результат плавления примитивной мантии и субдуцированного слэба // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (9), с. 924—941.

Борисенко А.С., Сотников В.И., Изох А.Э., Поляков Г.В., Оболенский А.А. Пермотриасовое оруденение Азии и его связь с проявлениями плюмового магматизма // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (1), с. 166—182.

Довжиков А.Е., Буй Фу Ми, Василевская Е.Д., Жамойда А.И., Иванов Г.В., Изох Э.П., Ле Динь Хну, Марейчев А.М., Нгуен Ван Тиен, Нгуен Тьонг Три, Гран Дык Лыонг, Фам Ван Куанг, Фам Динь Лонг. Геология Северного Вьетнама. Ханой, Вьетнам, Наука и Техника, 1965, 668 с.

Золотухин В.В. Основные пегматоиды и платиноидное оруденение норильского типа // Геология и геофизика, 1997, т. 38 (6), с. 1096—1105.

Изох А.Э., Поляков Г.В., Хоа Чан Чонг, Балыкин П.А., Фыонг Нго Тхи. Пермотриасовый ультрамафит-мафитовый магматизм Северного Вьетнама и Южного Китая как проявление плюмового магматизма // Геология и геофизика, 2005, т. 46 (9), с. 942—951.

Конников Э.Г., Прасолов Э.М., Мюрер У.П., Кислов Е.В., Орсов Д.А. Роль флюида в формировании «малосульфидной» благороднометалльной минерализации стратифицированных плутонов // Материалы Всероссийской научной конференции «Геология, геохимия и геофизика на рубеже XX и XXI веков», посвященной 10-летию Российского фонда фундаментальных исследований. М., Связь-Принт, 2002, с. 272—273.

Лавренчук А.В. Программа для расчета динамики внутрикамерной дифференциации основной магмы «Pluton» // Вторая Сибирская международная конференция молодых ученых по наукам о Земле, 1—3 декабря 2004 г. (Тез. докл.). Новосибирск, Редакционно-Издательский центр Новосиб. ун-та, 2004, с. 105—106.

Нгуен Ван Тиен. Основные и ультраосновные интрузии Северного Вьетнама и связанные с ними полезные ископаемые: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Л., ВСЕГЕИ, 1963, 17 с.

Поляков Г.В., Чан Куок Хунг, Хоанг Хыу Тхань. Новые данные о рудоносности комплекса Нуйчуа (Северо-Восточный Вьетнам) // Геология и геофизика, 1984 (11), с. 14—22.

Поляков Г.В., Чан Чонг Хоа, Акимцев В.А., Балыкин П.А., Нго Тхи Фыонг, Хоанг Хыу Тхань, Чан Куок Хунг, Буй Ан Ньен, Толстых Н.Д., Глотов А.И., Петрова Т.Е., Ву Ван Ван. Рудно-геохимическая специализация пермотриасовых ультрамафит-мафитовых комплексов Северного Вьетнама // Геология и геофизика, 1999, т. 40 (10), с. 1474—1487.

Поляков Г.В., Изох А.Э., Кривенко А.П. Платиноносные ультрамафит-мафитовые формации подвижных поясов Центральной и Юго-Восточной Азии // Геология и геофизика, 2006, т. 47 (12), с. 1227—1241.

Хоанг Хыу Тхань. Мезозойские расслоенные перидотит-габбровые массивы Северного Вьетнама: Автореф. дис. ... к.г.-м.н. Новосибирск, ОИГГМ СО РАН, 1994, 48 с.

Чан Чонг Хоа, Изох А.Э., Поляков Г.В., Борисенко А.С., Чан Туан Ань, Балькин П.А., Нго Тхи Фыонг, Руднев С.Н., Ву Ван Ван, Буй Ан Ньен. Пермотриасовый магматизм и металлогения Северного Вьетнама в связи с Эмейшаньским плюмом // Геология и геофизика, 2008, т. 49 (7), с. 637—651.

Balykin P.A., Polyakov G.V., Petrova T.E., Hoang Huu Thanh, Tran Trong Hoa, Ngo Thi Phuong, Tran Quoc Hung. Petrology and evolution of the formation of Permian-Triassic mafic-ultramafic associations in North Vietnam // J. Geol., 1996, Ser. B, № 7—8, p. 59—64.

Barnes S., Cambell L.H. Role of late magmatic fluids in Merensky platinum deposits // Geology, 1988, № 6, p. 488—491.

Bui Quang Luan, Nguen Xuan Han, Tran Quoc Hung, Hoang Huu Thanh. Tuoi phong xa va nguoi doc cac da gabroit mien bac Viet Nam // Tap Chi CAC Khoa Hoc Ve Trai Nat, Ha Noi, 1985, v. 7, № 1, p. 19—22 (на вьетнамском языке).

Hoang Huu Thanh, Polyakov G.V., Balykin P.A., Tran Quoc Hung, Ngo Thi Phuong. Island arc nature of the layered intrusions of Nui Chua complex in fold belts of North Viet Nam: evidence from their geochemistry // J. Geol. Ser. B. Ha Noi, 2004, № 24, p. 16—28.

Lindsley D.H. Pyroxene thermometry // Amer. Miner., 1983, № 68, p. 477—493.

MacDonald A.J., Brugmann G.E., Naldrett A.I. Preliminary results of investigations into magma mixing, fractionation and deuteric alteration during formation of PGE-rich Ni-Cu sulfides at Lac des Iles, Ontario, Canada // Eds. M.D. Prendergast, M.J. Jones Magmatic sulfides — The Zimbabwe. Volume. Inst. Mining and Metallurgy, 1987, London, 1989, p. 139—150.

Polyakov G.V., Balykin P.A., Glotov A.I., Tran Quoc Hung, Hoang Huu Thanh, Ngo Thi Phuong. Composition and mineralization of the Mesozoic ultrabasic and ultrabasic-basic complexes in North Vietnam // Proc. 1nd Conference on Geology of Indochina, v. 2, Vietnam, Hochiminh, 1986, p. 715—738.

Poliakov G.V., Balykin P.A., Tran Trong Hoa, Hoang Huu Thanh, Tran Quoc Hung, Ngo Thi Phuong, Petrova T.E., Vu Van Van, Bui An Nien, Tran Tuan Anh, Hoang Viet Hang. Permian-Triassic mafic-ultramafic association of Northern Vietnam (chief Co-editor G.V. Poliakov, Nguyen Trong Yem). Science and Technics «Publishing House», Ha Noi, 1996, 173 p. (на вьетнамском языке).

Rare Earth element geochemistry. Amsterdam; Oxford; New York; Tokyo, Elsevier, 1984, 510 p.

Sun S.S., McDonough W.F. Chemical and isotopic systematics of oceanic basalts: implications for mantle composition and processes / Eds. A.D. Saunders, M.J. Norry. Magmatism in the ocean basins. // Geol. Soc. London, Spec. Publ., 1989, v. 42, p. 313—345.

Tran Trong Hoa, Hoang Huu Thanh, Tran Tuan Anh, Ngo Thi Phuong, Hoang Viet Hang. Permian-Triassic high-titanium basaltoid associations of the Song Da rift. Material composition and geodynamic forming conditions // J. Geol., 1998, Ser. B, № 244, p. 7—15.

Tran Trong Hoa, Tran Tuan Anh, Ngo Thi Phuong, Izokh A.E., Polyakov G.V., Balykin P.A., Chin-Ying Lan, Hoang Huu Thanh, Bui An Nien, Pham Thi Dung. Gabbro-syenite associations of East Bac Bo structures: evidences of intra-plate magmatism? // J. Geol., 2004, Ser. B, № 23, p. 12—29.

Zhong Hong, Zhu Wei-Guang, Chu Zhu-Yin, He De-Feng, Song Xie-Yan. Shrimp U-Pb geochronology, geochemistry, and Nd-Sr isotopic study of contrasting granites in the Emeishan large igneous province, SW China // Chem. Geol., 2007, № 236, p. 112—133.

Zhou M.F., Robinson P.T., Leshner C.M., Keays R.R., Zhang C.J., Malpas J. Geochemistry, petrogenesis, and metallogenesis of the Panzhihua gabbroic layered intrusion and associated Fe-Ti-V-oxide deposits, Sichuan Province, SW China // J. Petrol., 2005, № 46, p. 2253—2280.

*Рекомендована к печати 24 октября 2008 г.
А.С. Борисенко*

*Поступила в редакцию
31 июля 2008 г.*