

## ГАББРОИДЫ ЗОНЫ МЕЛАНЖА ГЛАВНОГО УРАЛЬСКОГО РАЗЛОМА

На Южном Урале интрузивные образования габброидов известны широко. Часть из них была изучена (Нуралинский и Миндякский массивы) и материалы по ним опубликованы [Рудник, 1965; Булыкин, 1977; Савельева, Денисова, 1983; Денисова, 1984, 1985 а, 1985 б; Смирнов, 1995; Перцев, Савельева, 1997; Ковалев и др., 1998; Ферштатер и др., 2000; Савельев и др., 2001; и др.]. Другие так и остались не изученными.

В процессе выполнения данной работы нами изучено 11 комплексов, пять из которых сконцентрированы в пределах Миндякской площади, а остальные шесть в других частях трехсоткилометрового пояса ГУР (рис. 1).

Самым северным является известный **Нуралинский габброидный массив** [Рудник, 1965], который сложен главным образом роговообманковыми габбро с полосчатой текстурой перемежающихся лейкократовых, мезократовых и меланократовых разновидностей, а также горнблендитов, габбродиоритов и диоритов. Согласно химическому составу (табл. 1), породы массива в основном отвечают известково-щелочным базитам, иногда с нормативным кварцем, и субщелочным базитам с нормативным нефелином. Им свойственна повышенная роль всех легких REE и редких щелочей (Rb, Cs), а также стронция и бария. Другие редкие и рассеянные элементы, включая тугоплавкий хром, присутствуют в обедненных количествах.

Следующий к югу **Сангалыкский силл** сложен в основном диабазовыми порфиритами, в которых присутствуют небольшие тела мелкозернистых габбро с резкими и постепенными зонами контактов без признаков самостоятельности фаз внедрения последних. В пределах интрузива вскрыт небольшой ( $\approx 10 \times 30$  м) прожилково-вкрапленный штокверк халькопирит-пирротиновой руды, сопровождающийся ареалом хлоритизации.

Габбро и диабазы интрузива так же, как и породы Нуралинского массива, состоят главным образом из плагиоклаза и роговой обманки. По химическому составу эти породы относятся к пересыщенным кремнеземом известково-щелочным базитам. В них повышенные количества редких щелочей, тория и бария. Прочие компоненты, включая и REE, отвечают низким показателям. Подчеркнем вновь, что рассматриваемые известково-щелочные породы имеют низкие количественные значения LREE и стронция, что не свойственно подобным породам. Обращают на себя внимание значительные вариации содержания хрома в породах и меньшие — никеля.

Далее на юг размещается **Илектинский массив**, сложенный габбро и габбро-диабазами. Габбро-диабазы отвечают ранней фазе внедрения расплава,

а габбро — последующей фазе. В минеральном составе названных пород, наряду с плагиоклазом и роговой обманкой, присутствует пироксен — клиноэнстатит. В них всегда есть расчетный оливин, а в некоторых из них — и нормативный нефелин. Следовательно, породы массива отвечают субщелочным оливиновым базальтам (табл. 2).

Петрохимически габбро и габбро-диабазы отличаются незначительно, главным образом, по содержанию в них глинозема и оксида кальция. В габбро систематически понижено содержание глинозема, а оксида кальция, напротив, повышено относительно тех же компонентов в габбро-диабазе. Заметим, что редкие и рассеянные элементы в них имеют более высокие значения, чем в рассмотренных ранее массивах. Особенно отчетливо эта позиция видна на примере REE, редких щелочей и высокозарядных элементов с большим радиусом ионов. Вместе с тем габбро всегда имеют более низкие содержания всех микроэлементов, чем габбро-диабазы.

**Уральский габбро-норитовый комплекс** расположен южнее предыдущих массивов и представлен несколькими разобщенными залежами. Сложены они преимущественно габбро-норитами, среди которых выделяются оливиновые разновидности и вебстериты. Породы неоднородные, с часто меняющимися структурными характеристиками и текстурными рисунками — полосчатые, шпировые с постепенной сменой размерности зерен, меланократовые, мезократовые, лейкократовые, и все они образуют локальные участки без явных признаков закономерности положения их относительно контуров самих залежей.

Минеральный состав, кроме плагиоклаза, представлен гиперстеном, диопсидом и роговой обманкой, иногда присутствует оливин (до 10%). Петрохимически породы отвечают субщелочным оливиновым базитам с нормативным нефелином и иногда лейцитом. Для них характерна высокая магниальность и известковистость (табл. 2). Стабильно повышены содержания редких щелочей (Rb, Cs) и бария. Высокозарядные элементы с большим радиусом ионов (Nb, Ta, Zr, Hf) всегда в низких количествах. Когерентные ванадий, хром, кобальт, никель количественно не стабильны и содержание их, особенно ванадия, более чем в десять раз превышает уровень примитивных океанических базальтов. Следует особо отметить очень низкие содержания в них всех REE.

Следующий к югу **Миндякский участок**, где нами различаются пять комплексов.

Первый комплекс — габбро-диабаз-пироксенитовый гранатсодержащий. Этот комплекс слагают относительно крупные ( $\sim 1,5$  м в диаметре) валуны

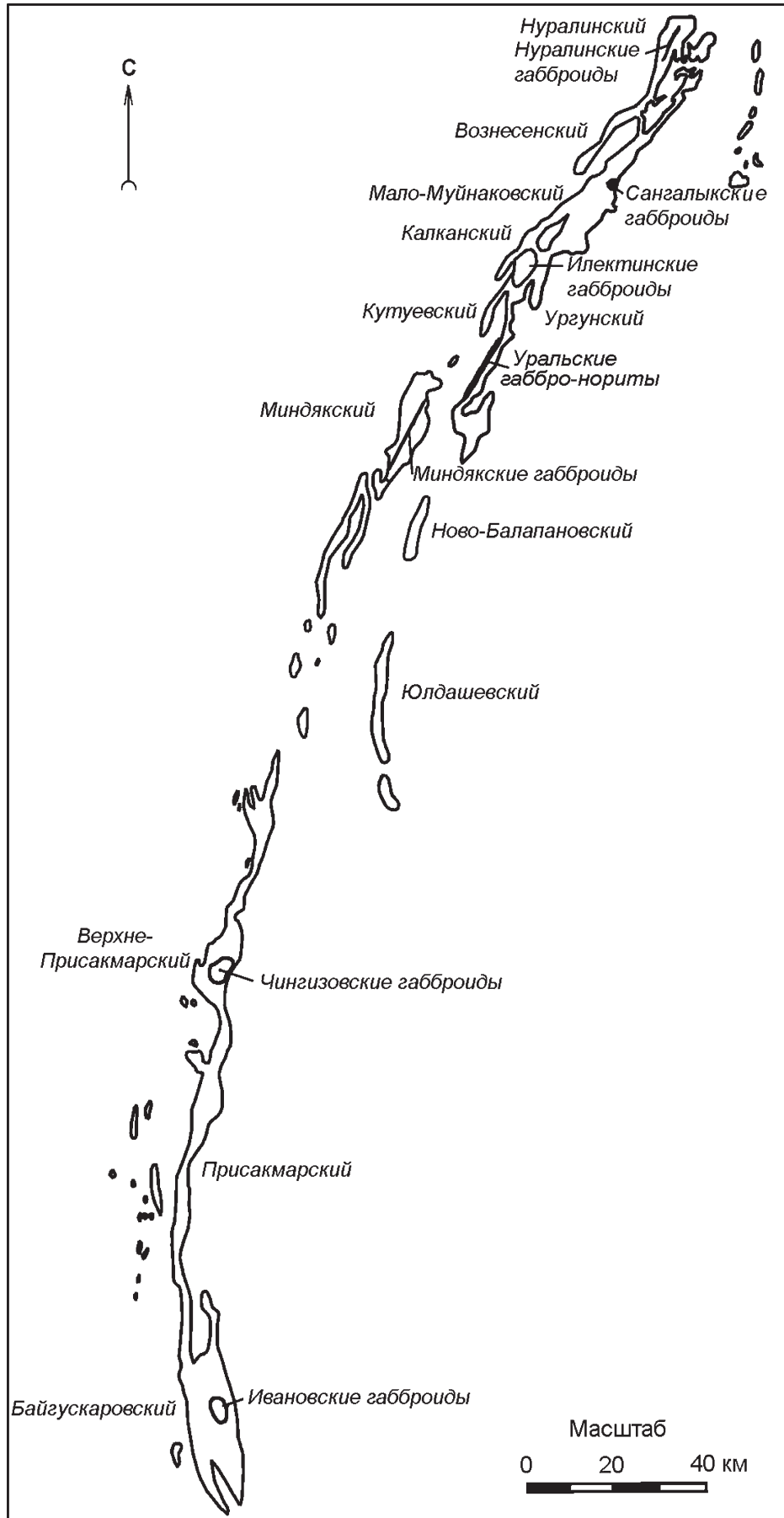


Рис. 1. Схема расположения габбро-гипербазитовых массивов Главного Уральского разлома

## Химические составы пород Нуралинского габброидного массива (1–6) и Сангалыкского интрузива (7–10) (петрогенные компоненты в %, редкие и рассеянные элементы — в ppm)

Компонент	с-34	с-33	с-32	с-30	с-31	с-28	с-56	с-57	с-59	с-61
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
SiO <sub>2</sub>	49,00	46,75	45,25	49,50	45,68	50,63	52,0	53,50	56,0	54,0
TiO <sub>2</sub>	0,08	0,49	0,40	0,36	1,15	0,20	0,46	0,37	0,52	0,40
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	20,03	20,95	20,70	16,10	16,88	2,00	15,0	14,50	15,0	15,40
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,93	1,10	2,80	1,00	4,93	2,07	3,13	2,52	1,62	2,52
FeO	5,17	7,00	7,00	7,18	5,32	2,83	6,11	7,18	5,75	7,18
MnO	0,18	0,20	0,17	0,18	0,16	0,09	0,09	0,13	0,12	0,13
MgO	6,80	6,60	6,80	10,30	7,00	18,00	6,60	6,00	5,00	5,00
CaO	8,80	11,64	8,80	10,51	12,08	22,72	11,36	8,52	9,0	11,36
Na <sub>2</sub> O	2,92	2,36	2,70	2,19	3,77	0,27	2,28	2,97	3,38	1,64
K <sub>2</sub> O	1,44	0,54	2,18	0,18	0,25	0,01	0,12	0,16	0,20	0,56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,21	0,21	0,22	0,12	0,34	0,04	0,20	0,14	0,07	0,03
ППП	1,92	2,34	3,06	2,00	2,60	2,03	3,36	4,18	2,72	1,0
Σ	99,71	100,11	100,17	99,98	100,10	100,02	100,71	100,11	99,58	99,31
Li							1,380	1,991	1,480	1,483
Be	0,57	0,59	0,49	0,36	3,33	0,042	0,080	0,087	0,179	0,081
Sc	23,7	26,7	30,89	41,54	30,30	74,53	34,138	33,967	26,012	36,040
Ti	3891	4619	4813	4024	6084,7	1056,5	2117,205	1739,83	2592,19	1580,47
V	155,2	204	203,8	240,2	254,8	182,7	203,807	225,577	139,811	194,056
Cr	16,58	27,9	12,62	196,1	193,7	1666,7	60,773	122,913	139,811	930,868
Mn	10,41	1309	1085	1132	1152,1	645,0	910,501	925,835	813,714	899,881
Co	19,39	22,69	22,78	31,81	31,17	34,46	32,842	30,637	24,176	39,068
Ni	10,54	24,15	2,97	40,49	25,38	218,6	37,932	35,323	20,801	40,006
Cu	28,67	30,52	54,67	43,52	107,9	5,46	15,857	121,445	15,189	12,278
Zn	120,6	129,7	52,95	64,87	69,61	11,63	18,118	21,637	20,523	43,745
Ga	13,81	13,16	12,62	9,86	18,32	2,57	13,623	11,704	14,901	10,542
Ge	1,24	1,16	1,21	1,25	1,27	1,94	1,309	1,017	1,214	1,317
Rb	4,94	1,69	9,61	3,80	1,15	0,157	0,839	1,120	1,448	4,176
Sr	446,2	53,97	324,8	252,4	513,9	23,78	150,969	72,202	173,091	150,533
Zr	8,14	7,30	12,69	13,64	12,79	3,006	9,979	11,750	27,701	10,676
Nb	1,94	0,87	2,53	0,67	3,50	0,03	0,296	0,632	0,662	0,250
Mo	0	0,24	0	0	0,30	4,0	0,074	0,183	410	0,211
Ag							0,011	0,093	0,023	0,018
Cd	0	0,18	0,18	0,12	0,082	0,034	0,007	0,025	0,010	0,039
Sn	1,3	0,46	1,5	0	0,88	0,13	0,441	0,855	0,525	0,270
Sb	0	0	0	0	0,033	0,187	0,580	0,438	1,240	0,519
Te	0,09	0	0	0	0,010	0,012	н/о	0,008	н/о	0,059
Cs	0,07	0,09	0,07	0,09	0,02	0,006	0,017	0,028	0,026	0,067
Ba	67,85	23,21	142,3	40,32	84,60	8,91	21,075	25,050	31,025	103,457
Hf	0,71	0,56	0,85	0,82	0,55	0,153	0,338	0,354	0,846	0,428
Ta	0,14	0,04	0,11	0,02	0,12	0,006	0,022	0,041	0,037	0,029
W							1,611	1,649	0,221	0,273
Tl	0,03	0	0	0,04	0,008	н/о	0,001	0,002	0,003	0,016
Pb	4,53	6,21	0,69	0,42	1,81	0,20	0,148	0,458	0,562	0,512
Bi	0,02	0,02	0	0,02	0,009	0,004	0,006	0,015	0,007	0,027
Th	0	0	0,07	0,09	0,089	0,001	0,166	0,293	0,393	0,221
U	0,12	0,09	0,17	0,07	0,048	0,011	0,134	0,295	0,196	0,139
Y	20,14	14,34	20,95	15,25	20,47	4,05	9,427	8,232	17,839	7,392
La	6,13	3,83	5,51	5,16	4,882		1,015	1,410	2,267	1,086
Ce	17,33	10,33	16,17	14,06	13,264	1,03	2,702	3,257	6,112	2,892
Pr	2,37	1,59	2,4	1,86	2,09	0,22	0,99	0,420	0,896	0,407

Окончание таблицы 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Nd	13,27	8,83	12,44	8,44	11,06	1,41	2,167	2,025	4,686	2,243
Sm	3,72	2,56	3,82	2,48	3,105	0,556	0,771	0,656	1,618	0,816
Eu	1,16	1,04	1,07	0,74	1,05	0,15	0,327	0,335	0,513	0,343
Gd	3,35	2,96	3,72	2,38	3,84	0,809	1,224	1,045	2,466	1,309
Tb	0,57	0,43	0,65	0,39	0,551	0,132	0,211	0,174	0,401	0,223
Dy	1,79	2,92	4,57	2,84	3,762	0,909	1,574	1,311	2,945	1,606
Ho	0,87	0,53	0,75	0,62	0,799	0,189	0,357	0,308	0,660	0,369
Er	2,4	1,97	2,75	2,41	2,244	0,508	1,073	0,948	1,961	1,094
Tm	0,39	0,28	0,52	0,27	0,317	0,066	0,162	0,147	0,293	0,168
Yb	2,32	2,02	2,43	1,72	2,052	0,392	1,128	1,049	1,996	1,178
Lu	0,51	0,32	0,47	0,31	0,304	0,056	0,173	0,171	0,308	0,178

Таблица 2

**Химические составы пород Илектинского габбро-диабазового массива (1–5)  
и Уральского габбро-норитового комплекса (6–11) (оксиды в %, элементы в ppm)**

Компонент	39/ 2004	42/ 2004	43/ 2004	38/ 2004	40/ 2004	104/ 2004	105/ 2004	114/ 2004	117/ 2004	103/ 2004	106/ 2004
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	50,00	55,10	47,10	48,00	52,10	46,10	44,00	42,00	48,20	46,50	48,00
TiO <sub>2</sub>	0,99	0,26	0,97	0,90	0,68	0,11	0,11	0,10	0,38	0,35	1,58
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	14,00	17,10	12,00	13,50	12,80	19,00	19,00	14,00	17,00	18,18	12,90
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,28	1,00	2,14	2,87	1,34	0,81	1,45	1,10	0,56	1,63	2,94
FeO	6,82	5,00	5,96	7,18	6,47	3,59	3,85	5,40	7,54	3,95	5,03
MnO	0,14	0,14	0,15	0,14	0,18	0,12	0,00	0,13	0,16	0,09	0,11
MgO	7,60	10,20	7,40	9,00	7,00	16,00	15,32	8,30	12,78	12,78	13,26
CaO	11,04	8,50	11,36	10,36	9,94	8,60	10,00	23,10	9,00	8,00	11,20
Na <sub>2</sub> O	2,95	4,05	4,05	3,03	7,00	2,34	1,73	0,50	2,70	2,50	3,71
K <sub>2</sub> O	0,37	1,08	0,85	0,52	0,42	2,24	1,85	0,05	0,25	1,60	0,17
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,30	0,03	0,34	0,31	0,32	0,01	0,01	0,01	0,01	0,05	0,06
ППП	1,70	0,82	2,82	4,80	2,12	1,38	2,78	6,00	0,92	4,04	2,96
∑	100,19	100,14	100,24	100,61	100,00	100,39	100,36	100,35	99,51	99,67	100,61
Be	1,1	0,07	1,23	0,515	0,228	0,07	0	0	0,03	0,141	4,863
Sc	25,08	28,83	25,29	20,91	21,25	31,99	28,67	17,25	32,00	53,74	27,545
Ti	8198	1548	7938	6257,6	2569,8	9703	8757	15,13	12060	2952,50	1493,90
V	115,8	116,4		158,1	128,39	2060	1974	201	3760	186,02	105,931
Cr	237,8	317,03	217,8	210,43	178,72	124,80	310,50	1296	118	537,40	94,20
Mn	1174	1014	782,6	857,6	1059,1	820,70	7767	898,80	1178	1075,30	827,60
Co	33,78	27,24	32,07	35,72	27,78	27,38	27,63	78,09	32,73	46,20	35,00
Ni	121	57,26	106,2	115,64	78,38	117,50	135,80	758	52,64	87,90	85,80
Cu	35,84	11,3	29,3	66,55	26,29	251,60	15,04	153	35,01	60,90	97,50
Zn	111,1	67,69	114,6	73,73	36,34	63,34	14,18	0	46,86	41,50	36,30
Ga	11,57	5,85	10,96	13,04	10,54	17,45	16,44	6,07	27,88	9,03	10,69
Ge	0,75	0,96	1,08	1,202	1,166	5,22	4,59	0,26	9,61	1,34	1,19
Rb	4,19	6,75	5,54	7,85	4,81	14,52	12,74	0	2,63	1,28	7,74
Sr	440,6	79,72	327,1	303,5	195,3	214,50	181,90	16,94	147,10	134,30	236,90
Y	22,77	6,65	23,5	21,66	10,41	4,25	4,48	1,05	10,46	12,303	7,792
Zr	96,22	21,14	94,23	125,16	42,81	3,23	3,71	0	10,46	12,26	10,53
Nb	4,18	0,2	3,87	5,108	1,64	0,11	0,41	0	0,51	0,188	0,654
Mo	0,41	0	0,32	0,823	0,435	0,19	0,27	0	0,17	н/о	н/о
Cd	0,74	0	0,32	0,129	0,063	0,17	0	0,3	0,35	0,068	0,053
Sn	0,97	0,16	1,15	1,278	0,846	0	0	0	0	0,364	0,561
Te	0	0,16	0	0,049	0,046						

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Cs	0,05	0,26	0,19	0,238	0,130	0,13	0,13	0,02	0,02	0,015	0,106
Ba	51,88	115,9	66,72	160,68	114,23	193,80	258,60	12,20	31,07	22,80	148,90
La	10,4	1,2	8,99	10,267	3,574	0,47	0,43	0,02	1,19	0,579	1,070
Ce	27,72	2,55	25,54	27,082	9,396	1,43	1,40	0,19	3,86	2,258	3,108
Pr	3,71	0,28	3,1	3,668	1,308	0,23	0,20	0,04	0,66	0,459	0,488
Nd	17,69	1,54	16,6	17,771	6,464	1,48	1,66	0,20	3,40	3,045	2,633
Sm	4,13	0,66	4,51	4,404	1,711	0,68	0,35	0,28	1,34	1,320	0,872
Eu	1,89	0,27	1,43	1,590	0,603	0,23	0,36	0,11	0,58	0,542	0,333
Gd	4,94	1,01	5,18	5,572	2,353	0,74	0,71	0,18	1,59	2,059	1,332
Tb	0,86	0,16	0,83	0,802	0,357	0,13	0,15	0,05	0,40	0,363	0,202
Dy	5,63	0,78	5,96	5,137	2,411	1,03	1,20	0,28	2,22	2,613	1,392
Ho	0,88	0,3	0,8	1,068	0,518	0,20	0,15	0,07	0,54	0,553	0,298
Er	2,91	1,05	2,99	2,993	1,484	0,57	0,66	0,23	1,44	1,569	0,856
Tm	0,54	0,19	0,53	0,431	0,221	0,07	0,10	0,03	0,28	0,223	0,120
Yb	2,72	0,85	2,23	2,806	1,499	0,66	0,57	0,16	1,78	1,425	0,793
Lu	0,41	0,18	0,42	0,413	0,222	0,09	0,11	0,04	0,24	0,212	0,116
Hf	2,69	0,95	2,83	3,297	1,205	0,15	0,14	0	0,57	0,532	0,333
Ta	0,35	0,03	0,29	0,373	0,132	0,12	0,01	0,01	0,02	0,019	0,033
Tl	0,06	0,03	0,03	0,056	0,025	0,09	0,06	0	0,02	0,0023	0,039
Pb	8,65	3,63	4,58	3,211	1,720	2,13	3,21	0,13	2,32	1,613	0,189
Bi	0,07	0,06	0,06	0,058	0,040	0,03	0,03	0	0,01	0,005	0,039
Th	0,93	0,35	0,85	1,125	0,428	0,05	0,04	0	0,18	0,033	0,137
U	0,39	0	0,39	0,462	0,200	0	0,07	0	0,07	0,021	0,090

в горизонте обломочных пород среди гипербазитов. Есть разные точки зрения на их природу [Денисова, 1984; Савельев и др., 2001; Пушкарев, 2001], но все они недостаточно обоснованы и легко могут быть подвергнуты критике. Объединение названных пород в один комплекс не свидетельствует о генетической их связи в нашем понимании, тем более что по химическим параметрам они существенно отличаются между собой. В данном случае основным фактором их объединения является гранат, который составляет до 30% объема этих пород. Наряду с гранатом в них широко развит клинопироксен типа диопсид-авгита; в пироксенитах, кроме того, присутствует ортопироксен, а в габбро и габбро-диабазе — роговая обманка и плагиоклаз.

По петрохимическому составу все породы относятся к высокоизвестковым и высокомагнезиальным и, соответственно, низкожелезистым разновидностям базитов. В них повышена щелочность и по расчетам присутствуют нормативные нефелин и лейцит. В целом же породы комплекса отвечают субщелочным базитам (табл. 3).

По содержанию редких и рассеянных элементов пироксениты и габброиды заметно различаются: количество редких щелочей (Rb, Cs), стронция, бария в габброидах вдвое и более выше, чем в пироксенитах, но количество когерентных (Cr, Co, Ni) элементов выше в пироксенитах в сравнении с габброидами. Обращают на себя внимание систематически высокие концентрации ванадия в габброидах.

Второй комплекс Миндякского участка представлен габбро-пегматитами гигантокристаллического строения. Отдельные кристаллы темноцветного минерала достигают 30 см по длинной оси при толщине 3–5 см. Они отвечают роговой обманке. Светлая часть породы — измененные полевые шпаты, в основном сосюритовые агрегаты. В интерстициях крупных кристаллов, а иногда и в отсутствие таких крупных выделений, развиты относительно мелкозернистые породы такого же минерального состава, но с зернами бесцветного клинопироксена. В межинтерстициальных пространствах изредка присутствует кварц.

Габбро-пегматитам свойственны высокие содержания глинозема, оксида магния, мелкозернистым разновидностям — высокая калиевоность. Редкие щелочи (Rb, Cs) присутствуют в повышенных количествах, особенно в мелкозернистых разновидностях межинтерстициальных участков. Повышены концентрации когерентных компонентов. Редкие земли присутствуют в очень низких количествах, и, что особенно примечательно — легкие их разновидности имеют более низкие содержания, чем средние и тяжелые (табл. 3).

Третий комплекс — диабаз-габбро-диабазовый — получил особенно широкое развитие у западного основания гор, расположенных западнее пос. Миндяк, сложенных монотонными гарцбургитами и лерцолитами. Комплекс слагает множество небольших блоков, образовавшихся как следствие

**Химические составы пород первого (1–8) и второго (9–11) габброидных комплексов  
Миндякского массива (оксиды в %, элементы — в ppm)**

Компонент	с-80	с-83	6019-2	с-89	С-90	с-94	с-95	6019-4	с-120-1	6120-2	с-121
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	42,10	46,55	42,63	48,85		49,50	50,0	42,80	42,50	38,50	40,50
TiO <sub>2</sub>	0,10	0,27	0,18	0,36		0,40	0,35	1,08	0,27	0,01	0,10
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	16,0	10,30	14,80	16,10		16,20	17,08	15,50	9,20	22,00	19,10
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,57	0,20	0,85	1,15		0,56	0,56	2,30	3,25	0,30	1,00
FeO	6,83	5,20	6,96	6,45		7,54	7,54	7,50	5,75	0,71	2,40
MnO	0,14	0,13	0,14	0,16		0,15	0,16	0,11	0,20	0,16	0,06
MgO	9,60	17,80	15,90	7,00		8,00	8,20	12,00	25,90	1,60	13,60
CaO	22,72	17,60	15,62	14,20		11,36	9,94	17,04	5,26	35,18	16,46
Na <sub>2</sub> O	1,92	1,70	1,08	2,70		2,75	3,68	1,38	0,20	0,86	1,73
K <sub>2</sub> O	0,02	0,50	0,04	0,90		1,75	1,08	0,20	0,05	0,07	1,53
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		0,01	0,01	0,02		0,02	0,01	0,12	0,01	0,01	0,01
ППП	0,10	0,10	1,86	1,58		1,68	1,76	1,54	8,02	0,74	3,04
Σ	100,0	100,36	100,07	99,47		100,33	100,33	100,47	99,90	99,97	99,42
Be	0	0,42	0,112	0,20	0,27	0,08	0,39	0,133	0,07	0,18	0,11
Sc	26,89	28,42	39,601	28,59	25,70	30,48	25,38	89,395	36,5	1,04	16,8
Ti	1302	2362	1420,84	31,15	8850	4089	8613	6597,61	218,9	754,0	649,6
V	147,2	129,0	167,49	233,2		251,4		567,655	393,4	0	176,6
Cr	638,9	483,0	531,66	98,72		117,4		99,261	219,3	0	119,0
Mn	1234,0	1116,0	1278,02	1297,0	982,7	1332,0	105,0	825,03	1435	10,9	464,2
Co	45,45	3744	60,75	31,59	32,17	31,24	31,76	48,02	38,5	3,6	9,6
Ni	226	175,6	295,04	45,59	77,92	53,39	54,57	63,30	545,5	20,5	93,5
Cu	26,01	4,51	173,75	65,72	95,0	67,27	107,5	15,91	7,2	2,0	21,4
Zn		35,39	31,64	51,75	37,39	50,20	70,76	36,67	0	0	1,2
Ga	12,7	9,37	10,74	13,49	13,97	14,41	18,29	10,82	4,7	5,4	33,7
Ge	0,77	0,78	1,24	0,97	4,56	0,68	4,36	1,26	0,85	0,6	11,1
Rb	0	0,88	0,481	12,77	11,03	19,74	18,04	0,94	0,49	1,0	11,36
Sr	77,82	185,6	87,833	516,0	455,3	967,3	1188,0	505,60	2,32	2,0	2,24
Zr	1,05	32,81	3,946	18,02	20,58	31,10	14,69	8,48	0	0	1,2
Nb	0,12	0,65	0,129	0,35	0,95	0,84	3,64	0,660	0,04	0,17	0,26
Mo	0,10	0,15	0,08	0,26	0,42	0,07	0,16	0,05	2,64	0	0,76
Cd	0	0,42	0,068	0	0,05	0,14	0	0,04	0,36	0,08	0,04
Sn	0,09	0,80	0,275	0,8	0,25	0,65	0,65	0,53	1,96	0	0,78
Sb	0	0	0,056	0	0	0,11	0		0	0	0
Te	0,07	0,11		0,12	0,1	0,02	0,02		0,03	0,06	0,09
Cs	0,07	0,11	0,158	1,0	0,47	0,12	1,01	0,06	0,05	0,02	0,34
Ba	27,65	45,48	29,966	231,2	155,5	634,6	700,0	795,86	19,36	21,2	540,4
Hf	0	1,09	0,17	0,58	0,94	1,5	0,77	0,45	0	0,09	0,03
Ta	0,08	0	0,154	0,14	0,02	0,07	0,09	0,16	0,03	0	0,01
W			6,071								
Cd	0	0,42	0,068	0	0,05	0,14	0	0,04	0,36	0,08	0,04
Sn	0,09	0,80	0,275	0,8	0,25	0,65	0,65	0,53	1,96	0	0,78
Sb	0	0	0,056	0	0	0,11	0		0	0	0
Te	0,07	0,11		0,12	0,1	0,02	0,02		0,03	0,06	0,09
Cs	0,07	0,11	0,158	1,0	0,47	0,12	1,01	0,06	0,05	0,02	0,34
Ba	27,65	45,48	29,966	231,2	155,5	634,6	700,0	795,86	19,36	21,2	540,4
Hf	0	1,09	0,17	0,58	0,94	1,5	0,77	0,45	0	0,09	0,03
Ta	0,08	0	0,154	0,14	0,02	0,07	0,09	0,16	0,03	0	0,01
W			6,071								
Tl	0,01	0,03	0,003	0,06	0,03	0	0,01		0	0	0
Pb	0	1,56	0,447	0	3,72	0,78	3,45	0,56	0,17	2,18	3,37

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Bi	0	0,03		0,03	0,01	0,02	0,03	0,06	0	0	0
Th	0	0,14	1,574	0	0,25	0,32	0,12	0,05	0,02	0,06	0
U	0	0,02	0,038	0,07	0,06	0,17	0,16	0,03	0,09	0,04	0,02
Y	3,05	7,74	6,297	10,54	11,38	14,25	10,44	12,10	4,37	0,39	5,01
La	1,61	1,46	5,179	0,56	1,34	2,39	1,37	0,96	0,15	0,19	0,42
Ce	2,84	3,99	11,474	2,48	4,07	5,44	3,85	3,72	0,6	0,63	0,96
Pr	0,34	0,59	1,307	0,44	0,64	0,66	0,65	0,75	0,14	0,1	0,15
Nd	1,27	2,27	5,307	2,54	3,77	3,32	3,28	4,87	1,04	0,42	1,22
Sm	0,57	0,74	0,931	0,91	1,27	1,55	1,12	1,79	0,32	0,18	0,4
Eu	0,55	0,54	0,369	0,77	0,55	0,68	0,62	0,691	0,11	0,12	0,43
Gd	0,6	1,24	1,139	1,75	2,28	2,15	1,87	2,67	0,73	0,15	0,65
Tb	0,04	0,20	0,15	0,47	0,40	0,40	0,38	0,38	0,15	0	0,16
Dy	1,29	1,99	1,17	2,48	2,37	3,92	2,45	2,64	0,98	0,13	1,02
Ho	0,13	0,33	0,26	0,44	0,60	0,67	0,45	0,55	0,29	0,03	0,29
Er	0,53	1,06	0,81	1,47	1,74	1,67	1,59	1,54	0,86	0,09	0,81
Tm	0,06	0,20	0,115	0,20	0,24	0,23	0,19	0,21	0,12	0	0,09
Yb	0,36	1,49	0,851	0,75	1,78	2,76	1,57	1,37	0,8	0,08	0,86
Lu	0,05	0,22	0,121	0,18	0,21	0,25	0,21	0,19	0,13	0	0,07

дробления даек и силлов при меланжировании. В минеральном составе пород преобладает плагиоклаз, в единичных зернах присутствуют микроклин и кварц. Темноцветы представлены ортопироксеном и клинопироксеном и всегда присутствует обыкновенная роговая обманка.

Петрохимически породы комплекса отвечают нормальным субщелочным оливиновым базитам с нормативным нефелином и редко с нормативным лейцитом. Соответственно редкие щелочи также присутствуют в повышенных количествах. Повышены также содержания стронция, бария, тория и ванадия. Все высокозарядные (Nb, Ta, Zr, Hf), за исключением одной пробы, а также когерентные (Sr, Ni) элементы имеют более низкие концентрации относительно примитивных океанических базальтов. Породы комплекса обеднены REE (табл. 4).

Четвертый комплекс — габбро-диабаз-диорит-гранодиоритовый. В основном это тела габбро-диабазов однородного шлирового строения. Шлировые обособления отвечают габбро-диоритам, диоритам, вплоть до гранодиоритов. Последние иногда образуют довольно крупные (до 50 м) обнажения.

В минеральном составе габброидов преобладает плагиоклаз. Ортоклаз широко развит в гранодиоритах. Темноцветы в основном представлены роговой обманкой, нередко в центре выделений последних присутствует моноклинный пироксен. Самостоятельные зерна пироксена отвечают авгиту. Изредка присутствует биотит.

Габбро-диабазы отвечают субщелочным оливиновым базальтам с нормативным нефелином.

Среди микроэлементов повышенными концентрациями характеризуются редкие щелочи (Rb, Cs), радиоактивный Th и щелочноземельные Sr и Ba

(табл. 4). Такие компоненты как Nb и Ta широко варьируют, встречаются и повышенные содержания, а Zr и Hf — стабильно низки. Широкие количественные вариации отмечаются для когерентных компонентов, при этом в отдельных пробах содержание V, Co и Cr превышает или сопоставимо со значениями их в океанических базальтах. Габброиды всегда обеднены средними и тяжелыми REE, а содержания легких разновидностей в одной пробе повышены.

Пятый комплекс — пироксенит-гранит-габбро-диорит-габбровый — визуально сопоставим с Нуралинским. Габброиды полосчатые, лейкократовых, мезократовых и меланократовых разновидностей. Диориты и пироксениты постепенно переходят в габбро. Граниты залегают в габброидах и не имеют интрузивных контактов, а переходы между ними постепенные, но быстрые. По-видимому, граниты являются продуктами камерной дифференциации расплава типа аплит-пегматитового состава.

Плагиоклаз и обыкновенная роговая обманка являются ведущими минералами габброидов. Роговая обманка обычно содержит включения клинопироксена типа диопсида. Последний особенно широко представлен в пироксенитах, где также присутствуют зерна ортопироксена, обыкновенной роговой обманки и плагиоклаза. Есть выделения оливина, полностью замещенного серпентином. Микрограниты состоят из плагиоклаза, микроклина и кварца. В единичных выделениях отмечаются гиперстен и биотит.

Дифференцированный комплекс характеризуется соответственно значительными вариациями химических составов пород (табл. 4). Для основных пород характерны повышенные глиноземистость

**Химические составы пород третьего (1–4), четвертого (5–8) и пятого (9–11) комплексов  
Миндяжского массива (оксиды в %, элементы в ppm)**

Компонент	с-127	с-128	6009-1	6013-7	6006-1	6025-1	6035-1	6035-2	6001-1	6001-3	6036-1
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
SiO <sub>2</sub>	49	49	49	47,8	50,95	44	64,8	52	40,2	55,8	50
TiO <sub>2</sub>	0,4	0,35	0,64	0,68	0,5	0,85	0,3	0,53	1,1	0,43	0,85
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17,1	21,2	14	14,9	14,6	13,1	15,5	14,8	20	18,9	16
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,46	0,92	1	2,2	1,3	4	2,7	6	3	2,1	4,53
FeO	7,54	7,18	8,6	7,9	6,7	7	1,15	2,4	8,6	3,8	6,46
MnO	0,14	0,14	0,17	0,16	0,14	0,19	0,07	0,16	0,14	0,11	0,16
MgO	8	6,04	9,2	8,8	9,4	14,2	4,6	6,8	11,2	6,4	5,6
CaO	10,12	9,04	12,63	10,79	10,22	14,1	1,7	5,68	7,35	5,68	12,5
Na <sub>2</sub> O	4,25	5,79	3,59	4,05	4	0,9	6,3	5,4	3,59	5,4	2,85
K <sub>2</sub> O	0,53	0,5	0,5	0,5	0,55	0,25	0,5	0,06	2,4	0,5	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,03	0,34	0,05	0,06	0,02	0,08	0,14	0,06	0,02	0,01	0,1
ППП	1,12	0,1	0,76	2,2	1,3	1,9	2,1	6,32	1,74	1,5	1
Σ	99,69	100,56	100,14	100,04	99,68	100,57	99,86	100,21	99,94	99,83	100,1
Li			20,48	25,48	15,18	4,9	16,97	27,26	17,1	4,19	11,31
Be	0,37	0,45	0,269	0,261	0,196	0,35	0,605	0,621	0,181	0,494	0,398
Sc	30,43	27,67	33,85	31,78	24,65	45,6	11	34,52	76,83	24,12	31,83
Ti	11725	11132	4566,9	4985,6	2620,4	5129,5	1516,4	3561,3	8260,3	2532,8	6300,2
V	2887	3791	287,1	344	18,74	327,8	78,2	287,3	876,2	186,6	376,9
Cr	109,5	1805	46,78	42,4	107	120,7	15,7	179,12	23,76	66,01	41,57
Mn	1184	995,4	1266,5	1557,5	862,5	1345,3	492,1	1446,7	1236,4	907,3	1555,9
Co	36,54	28,84	37,79	42,4	29,53	41,17	9,93	35,38	51,69	19,12	34,46
Ni	48,81	72,85	51,07	36,42	60,75	76,2	6,47	43,3	30,13	23,94	30,19
Cu	131,4	101,7	114,5	124,9	69,15	77,1	115	24,22	231,57	22,15	233,29
Zn	103,9	38,41	51,81	43,29	34,53	55,8	30,1	45,99	53,94	40,39	55,58
Ga	32,86	38,53	13,99	15,11	0,42	14	12,1	14,32	14,35	12,92	20,7
Ge	12,72	17,11	1,28	1,39	0,944	1,44	0,77	1,85	1,34	1,181	1,709
Rb	4,81	7,79	5,13	4,61	3,01	2,8	7,63	0,657	14,17	8,77	0,3
Sr	789	204,9	599,5	34,6	445,29	371,1	259,8	154,81	287,7	338,6	543,19
Zr	17,68	17,24	28,01	29,08	24,58	34,2	278	24,37	12,52	49,47	38,5
Nb	0,84	0,92	2,11	0,66	0,889	4,46	2,57	0,49	1,18	1,595	0,909
Mo	0,43	0,71	0,22	0,124			0,082	0,032		0,032	0,15
Ag			1,087	0,040	0,026	0,093	0,069	0,031	0,140	0,125	0,130
Cd	0,13	0,01	0,078	0,049	0,031			0,034	0,057	0,031	0,160
Sn	0,33	1,02	0,611	0,517	0,330	0,740	0,550	0,768	0,657	1,023	0,825
Sb			0,034	0,074	0,252	0,146	2,740	3,971	0,357	0,420	4,127
Cs	0,26	0,12	4,53	0,185	0,112	0,112	0,21	0,068	0,427	0,286	0,055
Ba	183,6	46,26	95,53	77,96	98,56	56,99	119,40	46,81	332,31	132,82	15,04
Hf	0,79	0,68	0,97	0,85	0,72	1,24	0,77	0,73	0,532	1,384	15,040
Ta	0,05	0,03	0,387	0,046	0,26	0,448	0,139	0,05		0,099	0,068
W			1,069	0,125	3,561	0,128	0,855	1,105	0,242	0,348	15,948
Tl			0,062	0,004	0,012	0,013	0,028	0,001	0,040	0,030	
Pb	0,48	5,17	0,76	0,55	0,48	1,498	1,389	1,08	1,038	4,261	1,666
Bi	0,05	0,03	0,010	0,012	0,018	0,027	0,086	0,06	0,138	0,026	0,032
Th	0,27	0,32	0,098	0,188	0,495	0,348	1,982	0,255	0,114	1,777	0,306
U	0,03	0,21	0,054	0,197	0,272	0,135	0,285	1,76	0,097	0,927	0,174
Y	12,75	10,72	18,552	12,737	10,504	15,018	5,201	13,131	12,354	11,484	18,626
La	1,84	4,59	3,81	1,12	2,54	5,89	3,58	2,46	1,570	6,168	2,037
Ce	4,56	4,59	10,35	3,35	6,20	16,72	6,91	4,26	5,052	13,876	5,890
Pr	0,59	0,75	1,50	0,54	0,86	2,40	0,81	0,72	0,902	1,745	0,947
Nd	3,81	4,06	7,70	3,07	4,34	11,68	3,19	3,61	5,270	7,780	5,150

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Sm	1,34	1,28	2,28	1,15	1,30	2,94	0,74	1,14	1,866	1,879	1,829
Eu	0,73	0,57	0,83	0,47	0,46	0,99	0,28	0,53	0,701	0,596	0,856
Gd	2,08	1,51	3,12	1,68	1,80	3,44	0,90	1,60	2,461	2,176	2,716
Tb	0,42	0,33	0,48	0,30	0,28	0,49	0,13	0,29	0,375	0,315	0,460
Dy	2,74	2,34	3,36	2,23	1,96	3,32	0,94	2,14	2,538	2,113	3,332
Ho	0,65	0,47	0,71	0,49	0,42	0,68	0,20	0,48	0,516	0,459	0,726
Er	2,06	1,47	2,11	1,47	1,25	1,92	0,59	1,47	1,416	1,370	2,135
Tm	0,33	0,22	0,30	0,22	0,18	0,26	0,09	0,22	0,190	1,430	2,141
Yb	2,20	1,70	2,10	1,50	1,26	1,86	0,61	1,53	0,190	1,430	2,141
Lu	0,30	0,15	0,31	0,23	0,19	0,26	0,09	0,24	0,170	6,220	0,319

и железистость. Примечательно, что в расчетном варианте среди них различают и оливиновые толеиты, и субщелочные, и известково-щелочные базиты. Им свойственны высокие содержания редких щелочей (Rb, Cs, Li), радиоактивных элементов (Th, U) и щелочноземельных — бария и стронция.

Содержание других высокозарядных (Zr, Nb, Hf, Ta) и части когерентных (Cr, Ni) элементов всегда ниже, чем в океанических базальтах, а поведение V и Co двойственно: то ниже, то выше этого уровня. Содержание REE систематически низкое и лишь в одной пробе количество легких их разновидностей от Nd до La постепенно увеличивается.

**Чингизовский комплекс** расположен на широте г. Баймак и представлен несколькими силами и дайками, раздробленными на отдельные разобщенные блоки. Они сложены габбро-норитами мезократового и меланократового вида, интенсивно замещенными вторичными минералами. Главные минералы — плагиоклаз, авгит и гиперстен отмечаются лишь в реликтах. Породы комплекса отвечают натриевым субщелочным оливиновым базальтам с нормативным нефелином, а гиперстеновая составляющая в них отсутствует. Щелочность пород также подчеркивается редкими щелочами (Rb, Cs, Li), особенно высокими содержаниями Cs (табл. 5). Определенно в них повышены количества когерентных элементов группы железа (V, Cr, Co), особенно стабильно — ванадия и кобальта. Концентрации высокозарядных элементов с высокой валентностью (Zr, Nb, Hf, Ta) вдвое (и более) ниже, чем в океанических базальтах. Столь же низкие характеристики свойственны REE.

Наконец, **Ивановский комплекс**, который является самым южным среди изученных. Представлен он так же, как и вышеописанный, дайками и силами, разбитыми на разобщенные блоки. Сложны они шлировыми габбро, габбро-диабазами и габбро-пегматитами. Минералогически в них хорошо выделяются плагиоклазы и роговая обманка, присутствуют диопсид и энстатит, которые имеют реакционные взаимоотношения. Пегматиты — гигантозернистые, у них тот же минеральный состав, но присутствует дополнительно кварц. В целом

породы отвечают известково-щелочным базальтам с довольно низкими абсолютными значениями оксидов натрия и калия (табл. 5). При этом содержания редких щелочей (Rb, Cs, Li) повышены, как и в других рассмотренных комплексах. Также повышено количество бария. Радиоактивные (Th, U) и элементы с высокой зарядностью (Nb, Ta, Zr, Hf) характеризуются низкими содержаниями. Когерентные элементы группы железа (V, Cr, Ni) количественно превышают или сопоставимы с аналогичными компонентами в океанических базальтах. Вместе с тем концентрация хрома из того же ряда в большей части анализов до десяти раз занижена относительно тех же океанических базальтов, но в отдельных пробах его содержание возрастает на два порядка. Более того, в контактовой части габброидов появляются мелкие линзочки хромитовых руд. Факт бесспорно примечателен. Количества REE в породах очень низкие. Кроме того, весьма нестандартно распределение REE: празеодим, тербий и все нечетные элементы тяжелой группы имеют резко заниженные содержания. Известно, что нечетные редкие земли, как в хондритах, так и базальтах, всегда присутствуют в более низких количествах, чем четные, а в группе тяжелых REE они отличаются на порядок. В рассматриваемой группе габброидов эти различия проявились более резко, показывая тем самым геохимическую специфику комплекса. Все эти материалы отражают нестандартную геохимическую ситуацию и свидетельствуют о непростом петрологическом процессе при формировании исходного габброидного расплава.

Итак, рассмотренные интрузивы зоны ГУР характеризуются достаточно хорошо выраженными визуальными различиями — размерами породообразующих кристаллических фаз, их минеральным составом (в частности, амфиболов, пироксена и оливина), структурно-текстурными особенностями (массивные, порфиоровые, шлировые, полосчатые и др.). Все это свидетельствует о различиях в условиях консолидации массивов.

Вместе с тем есть и определенная общность минерального состава пород, слагающих эти массивы.

**Химический состав пород Чингизовского (1–5) и Ивановского (6–9)  
габброидных комплексов (оксиды в %, элементы — ppm)**

Компонент	C-20	C-26	C-27	C-29	C-33	C-10	C-16	C-152	C-153
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
SiO <sub>2</sub>	48,00	47,00	47,40	47,00	48,40	48,30	47,00	47,50	39,00
TiO <sub>2</sub>	0,80	0,72	0,60	0,72	0,88	0,19	0,11	0,01	0,01
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13,80	14,10	16,50	16,80	15,30	20,80	20,00	19,20	17,20
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,75	2,60	1,60	2,00	3,90	1,57	0,70	1,18	1,12
FeO	7,50	7,40	7,80	7,50	7,99	5,00	5,00	5,25	4,88
MnO	0,14	0,15	0,14	0,14	0,14	0,10	0,11	0,12	0,11
MgO	10,20	13,04	9,08	9,94	12,21	15,62	15,05	14,62	18,06
CaO	8,80	10,00	9,80	9,40	6,60	6,00	8,00	8,00	13,00
Na <sub>2</sub> O	4,72	2,80	4,65	5,60	2,80	1,80	1,35	2,70	0,54
K <sub>2</sub> O	1,02	0,02	0,08	0,05	0,02	0,20	0,20	0,23	0,05
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01	0,02	0,01	0,01	0,16
ППП	1,80	2,00	1,96	0,48	1,72	0,09	3,06	0,20	5,08
Σ	99,60	99,84	99,63	99,75	99,97	99,68	100,68	100,48	100,05
Li	5,505	3,662	22,480	24,350	8,074	2,380	4,220		
Be	0,079	0,080	0,193	0,210	0,071	0,159	0,066	0,09	0,18
Sc	28,93	25,55	35,453	38,670	28,640	34,01	90,42	30,61	30,6
Ti	777,86	7041,90	8891,90	9778,90	8074,20	803,60	561,00	1686	2559
V	494,70	474,40	628,50	629,60	456,70	389,60	345,70	321,5	213,9
Cr	158,90	136,80	913,70	352,40	171,10	29,64	1369,40	41,54	86,4
Mn	1967,60	2014,30	2834,80	2730,0	1891,80	2250,6	2119,80	957,4	907,8
Co	43,60	94,10	100,50	43,00	41,50	36,99	36,68	45,1	39,41
Ni	79,10	78,90	111,50	85,50	84,70	105,46	168,06	177,2	154,5
Cu	144,70	118,90	99,50	148,20	155,90	80,11	167,29	171,0	44,36
Zn	49,10	39,90	43,40	47,90	48,50	31,72	26,44	0	0
Ga	12,10	9,11	11,05	12,80	7,71	14,05	9,03	13,0	9,59
Ge	0,951	0,716	0,963	1,155	0,899	1,00	0,853	1,18	1,02
Rb	17,20	1,198	4,606	1,784	3,190	3,293	2,167	3,48	0,65
Sr	149,60	50,91	247,80	117,60	372,50	263,62	263,79	148,8	43,82
Zr	46,40	16,40	70,20	31,60	50,25	13,57	15,08	0	0
Nb	0,881	0,778	0,534	0,631	0,993	0,243	0,099	0,84	0,04
Mo	0,225	0,481	0,377	0,226	0,279	0,168	0,141	0,34	0,38
Ag	0,187	0,101	0,055	0,146	0,152	0,039	0,036		
Sn	0,733	0,664	0,491	0,980	0,557	0,179	0,105	0	0
Sb	0,166	0,178	0,057	0,128	1,127	0,038		0	0
Te	0,103	0,085	0	0	0,116			0,01	0,29
Cs	1,630	0,260	0,599	0,209	0,231	0,305	0,297	0,35	0,26
Ba	226,90	32,940	56,70	33,40	103,60	431,70	193,9	222,6	15,69
Hf	1,498	1,465	0,978	1,064	1,609	0,399	0,411	0	0
Ta	0,076	0,036	0,022	0,049	0,071	0,022	0,024	0,01	0,04
W	0,175	0,504	0,455	0,393	0,347	0,199	0,139		0
Tl	0,186	0,004	0,043	0,010	0,024	0,007	0,001	0	0
Pb	0,703	0,716	1,243	0,661	1,429	1,167	0,088	0	0
Bi	0,023		0,016	0,024	0,054			0	0
Th	0,245	0,209	0,081	0,160	0,244	0,050	0,031	0	0,03
U	0,109	0,099	0,039	0,075	0,135	0,017	0,021	0,03	0,04
Y	20,548	16,369	14,209	16,205	14,046	4,175	2,612	2,35	2,90
La	2,832	2,286	1,242	1,374	2,522	0,828	0,394	0,38	0,60
Ce	8,443	6,623	3,818	4,303	6,850	1,796	0,872	0,95	1,34
Pr	1,337	1,088	0,261	0,722	1,179	0,097	0,059	0,15	0,17
Nd	7,761	6,340	3,773	4,344	6,916	1,229	0,654	0,62	0,88

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Sm	2,674	2,299	1,408	1,658	2,577	0,417	0,264	0,34	0,33
Eu	0,961	0,982	0,578	0,614	1,025	0,365	0,185	0,22	0,22
Gd	3,998	3,406	2,715	2,547	3,546	0,950	0,590	0,41	0,56
Tb	0,663	0,577	0,156	0,451	0,572	0,046	0,030	0,07	0,12
Dy	4,686	4,049	2,732	3,239	3,732	0,815	0,512	0,78	0,80
Ho	1,000	0,857	0,250	0,709	0,753	0,075	0,047	0,10	0,17
Er	3,025	2,539	1,803	2,146	2,199	0,541	0,334	0,46	0,60
Tm	0,433	0,364	0,111	0,304	0,314	0,034	0,022	0,07	0,05
Yb	2,829	2,417	1,790	2,127	2,092	0,562	0,355	0,75	0,37
Lu	0,412	0,347	0,113	0,307	0,317	0,037	0,023	0,060	0,140

Так, сквозным минералом является реакционная роговая обманка, обрамляющая выделения пироксена. Массивы сложены в основном толеитами и субщелочными, а многие — известково-щелочными базитами с низкими кремнекислотностью, железистостью и повышенными значениями извести и оксида магния. Большинству массивов свойственны низкая глиноземистость, низкая и нестабильная титанистость. Обращает на себя внимание переменная щелочность, но в большинстве случаев повышенная калиевоность, при этом всегда повышена роль редких щелочей (Rb, Cs) и низки содержания редких земель.

**Геодинамические условия формирования габброидов.** Химические составы габброидов зоны меланжа ГУР, как следует из изложенного ранее, заметно различаются между собой. При этом во всех комплексах развиты габброиды толеитового, щелочно-базальтового составов, известково-щелочные базиты присутствуют в некоторых из комплексов.

В соответствии с современными представлениями об офиолитовой природе рассматриваемой меланжевой зоны габброидные комплексы ГУР должны были бы по химическим параметрам соответствовать N-MORB, т. е. океаническим базальтам. При этом наличие среди них габброидных комплексов островодужного (известково-щелочного) типа было бы вполне правомерным.

В действительности же среди рассмотренных габброидов, размещающихся в разных частях трехсоткилометрового отрезка меланжевой зоны Южного Урала, отсутствуют габброиды, строго отвечающие по химическому составу N-MORB, что не подтверждает океанические условия их формирования. Известково-щелочные габброиды близки как продуктам активных окраинно-континентальных областей, так и островодужным режимам.

Наиболее показательным химическим компонентом отличия базальтов N-MORB от продуктов иных геодинамических обстановок является титан.

В рассматриваемых габброидах его содержание во всех комплексах низкое, но имеет место определенный разброс его значений. Так, в Чингизовском

комплексе и диабаз-габбро-диабазовом третьем комплексе Миндякского гипербазитового участка содержание оксида титана 0,7–0,8%, что вдвое выше, чем в других комплексах, но в то же время вдвое ниже, чем в N-MORB. Заметим, однако, что в отдельных петрографических типах пород, например, в Нуралинском комплексе, есть довольно высокие показатели оксида титана, но они связаны с мало распространенными и экзотическими по своей природе породами — пегматоидными горнблендитами. Именно в таких пегматоидных разновидностях пород присутствуют относительно повышенные количества фосфорного ангидрида, а в распространенных габброидах его содержание низкое. Таким образом, на известной диаграмме  $TiO_2 - P_2O_5$  фигуративные точки рассматриваемых габброидов занимают области, не соответствующие N-MORB (рис. 2).

Другим важным петрохимическим показателем является щелочность пород, которая в рассматриваемых габброидах почти всегда повышена и, соответственно, большая часть габброидов отвечает субщелочным образованиям, а некоторые из них приближаются к щелочным базальтам. Вместе с тем, присутствуют габброиды (например, Ивановский комплекс), в которых щелочи составляют менее 3%. Основной составляющей щелочности рассматриваемых габброидов является оксид натрия, содержание которого во многих пробах превышает 5% (по массе).

Бесспорно, важным компонентом оценки условий формирования рассматриваемых габброидов является оксид калия. Повышенный относительно N-MORB уровень содержания калия свойственен Илектинскому, Уральскому, а также третьему и четвертому комплексам Миндякского гипербазитового массива. В остальных комплексах, исключая Ивановский, количество оксида калия переменное и достигает в единичных случаях двух процентов. В Ивановском же комплексе содержание оксида калия ничтожно мало (рис. 3).

Итак, приведенные материалы по распределению щелочей в габброидах свидетельствуют об

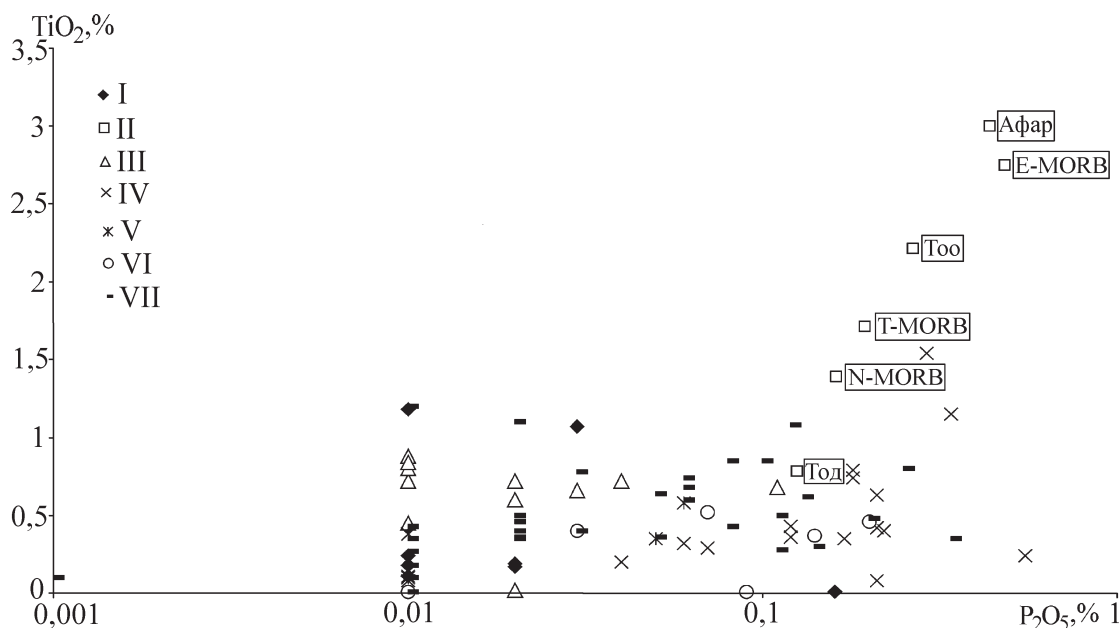


Рис. 2. Диаграмма распределения оксидов фосфора и титана в породах габбро-гипербазитовых массивов зоны ГУР

I — Ивановский комплекс; II — MORB; III — Чингизовский комплекс; IV — Нуралинский массив; V — Уральский габбро-норитовый комплекс; VI — Сангалыкский габброидный интрузив; VII — Миндякский массив; Афар — толеиты переходных обстановок; Тоо — толеиты океанических островов; ТоД — толеиты островных дуг

иных условиях их формирования относительно N-MORB, поскольку последние характеризуются натриевым типом, а габброиды ГУР имеют повышенную калиевость и, следовательно, отвечают субконтинентальным условиям образования. Впервые повышенную калиевость габброидов отметил здесь Г.Б. Ферштатер [2004], сделав заключение о том, что такие комплексы как Кокпектинский, Аккермановский и Кирпичнинский, расположенные в Кемпирсайском и Хабарнинском гипербазитовых массивах, отвечают натриевым, а Восточно-Хабарнинский и Нуралинский — калиевым. Далее им сделан вывод о геодинамических условиях их формирования: натриевая группа «формировалась в зоне перехода океан — континент в связи с задуговым надсубдукционным рифтогенезом (спредингом), а калиевая — в субконтинентальной обстановке».

Важным аргументом доказательства комагматичности интрузивных тел между собой и с вулканогенными фациями является количество в них REE. В рассматриваемых габброидах выявляются значимые вариации в содержании LREE. В частности, в породах Нуралинского и в габбро-диабазовых Илектинского комплексов, а также в гибридных габброидах пятого комплекса Миндякского гипербазитового массива, количество легких редкоземельных элементов повышено (рис. 4) и по своему уровню сопоставимо с континентальными, в том числе с островодужными базальтами. Во всех остальных комплексах LREE имеют стабильно низкие значения, при этом тяжелые (HREE) и средние (MREE) их разновидности имеют разные уровни

тренда в конкретных комплексах, отражая тем самым определенную их самостоятельность. Итак, рассматриваемые комплексы, кроме Илектинского, по низкому уровню легких LREE не отвечают типичным островодужным базальтам.

Заметим, что максимум HREE и MREE с содержаниями, сопоставимыми с океаническими базальтами, характерен для Чингизовского комплекса. Все остальные комплексы габброидов имеют обедненный уровень содержаний рассматриваемых компонентов, при этом характер тренда REE сопоставим с кривой океанических базальтов.

Об участии земной коры в формировании габбро-диабазовой фазы Нуралинского, Илектинского и гибридных габброидов Миндякского массива свидетельствует высокая стронциевость пород. Отметим, что другая часть массивов имеет переменные количества стронция, а в Уральском и Сангалыкском комплексах содержания его низкие и соответствуют обстановке генерации расплава без участия континентальной коры.

При геохимической систематизации магматических образований важными составляющими являются высокозарядные химические элементы. Так, цирконий и гафний в Илектинском массиве обычно, как и во всех других комплексах, имеют более низкие показатели (рис. 3), чем в океанических базальтах, но в габбро-диабазовой фазе они превосходят этот уровень. Другая ассоциация высокозарядных элементов — ниобий и тантал — также характеризуется широким диапазоном количественных вариаций. В отдельных образцах Нуралинского

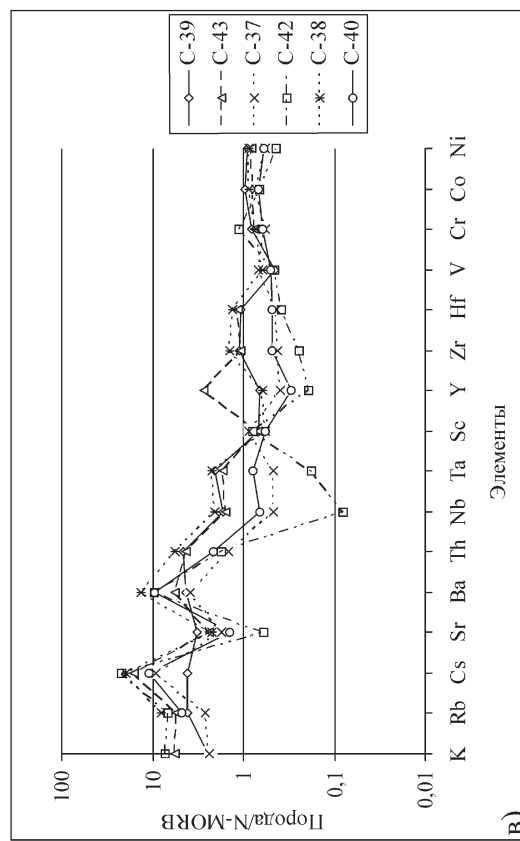
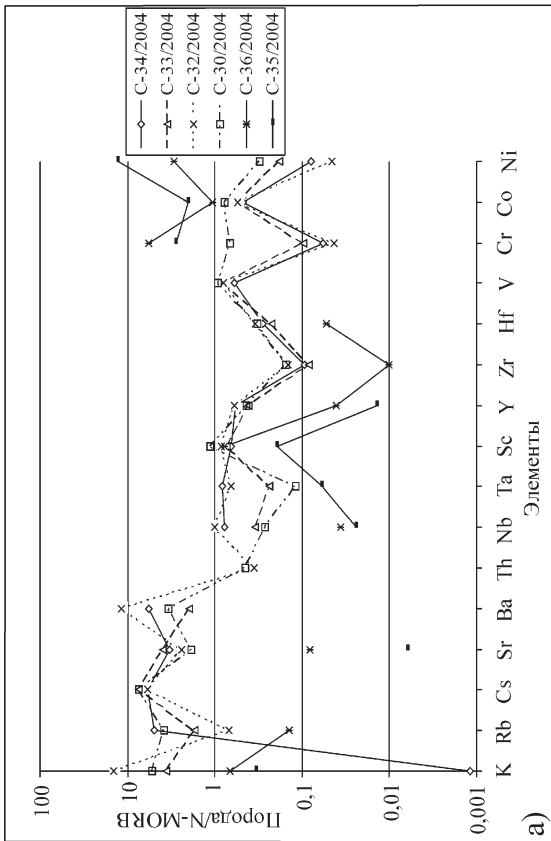
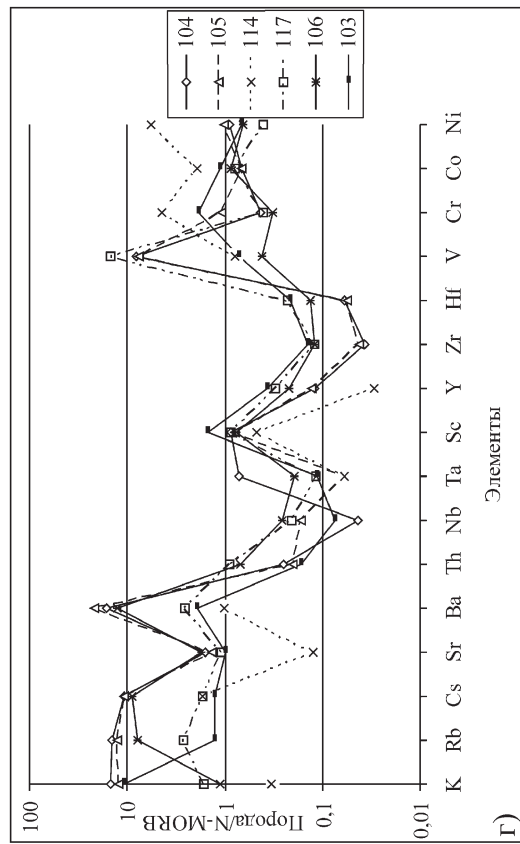
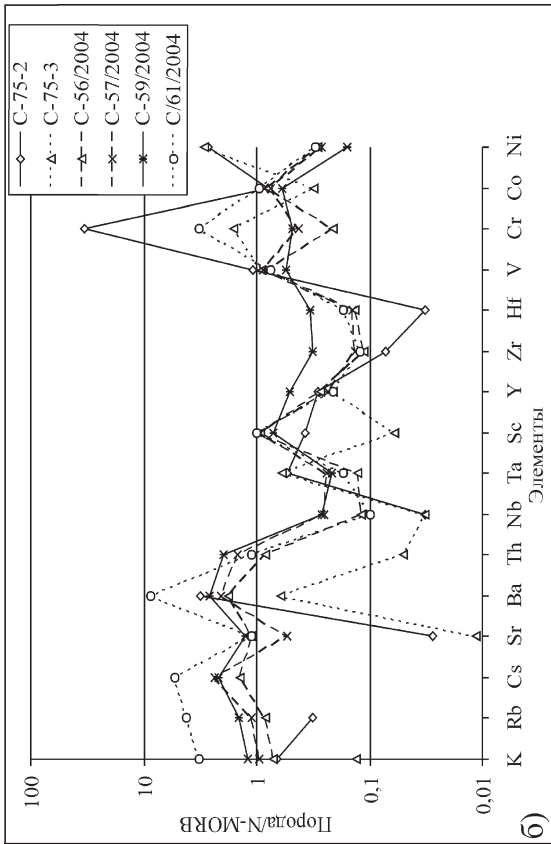


Рис. 3. Распределение микроэлементов, нормализованных по N-MORB, в породах габбро-гипербазитовых массивов Главного Уральского разлома

Массивы и комплексы: а — Нуралинский; б — Сангальский; в — Илектинский; г — Уральский; д — Миндякский комплекс гранатовых пироксенитов первый; е — Миндякский гранат-габбро-диабазовый первый; ж — Миндякский второй; з — Миндякский третий; и — Миндякский четвертый; л — Чингизовский; м — Ивановский

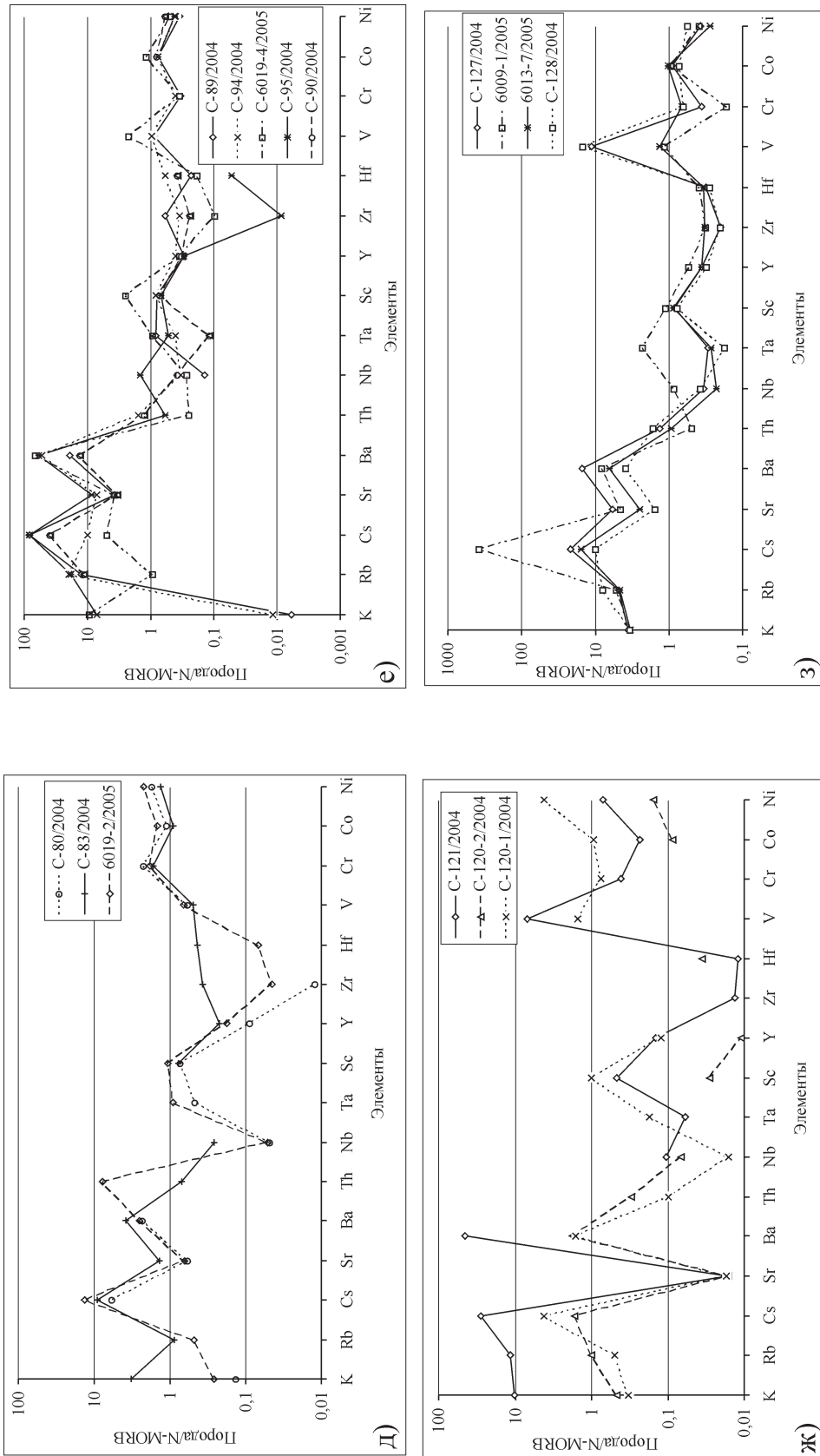


Рис. 3. Продолжение

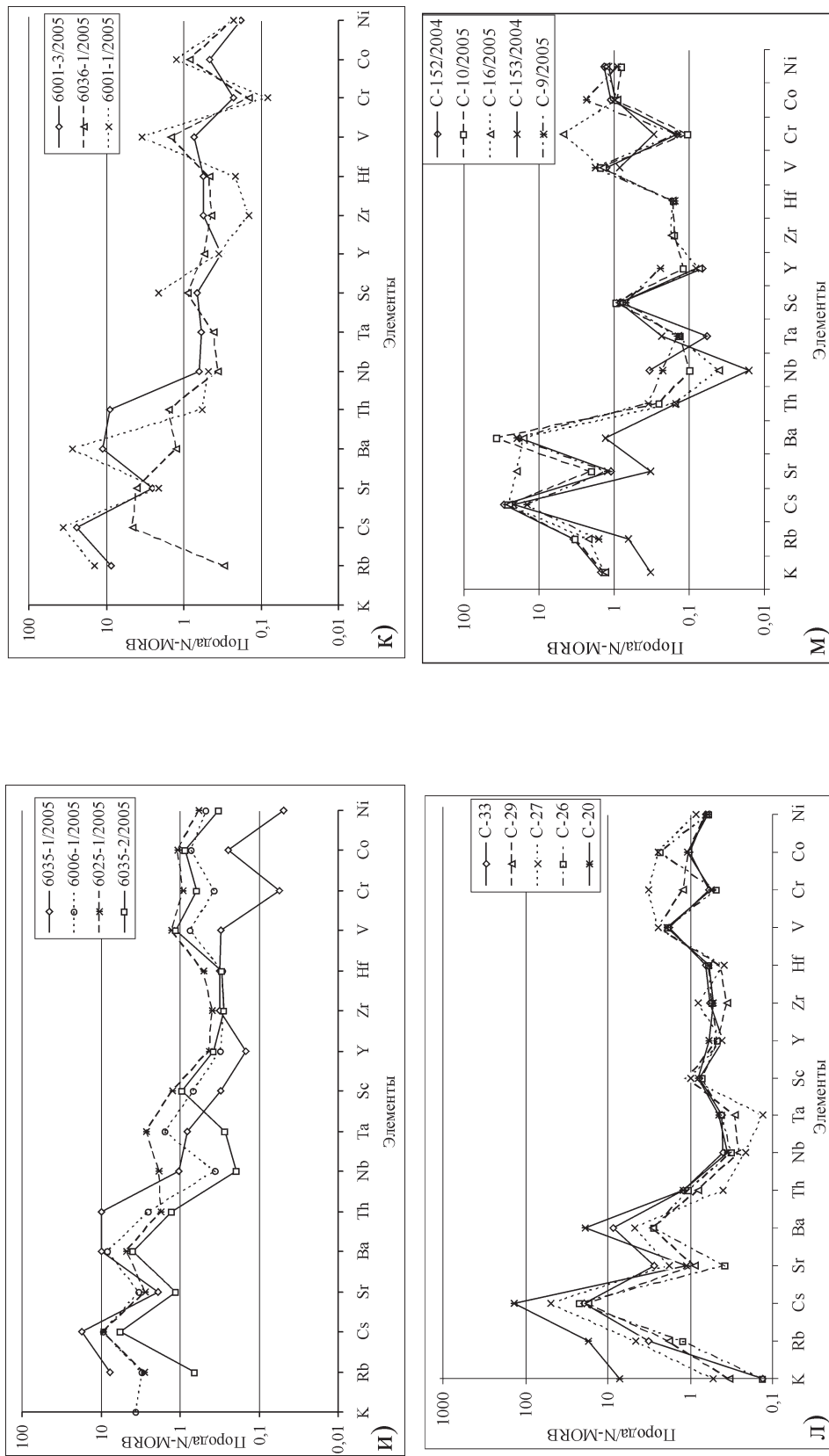


Рис. 3. Окончание

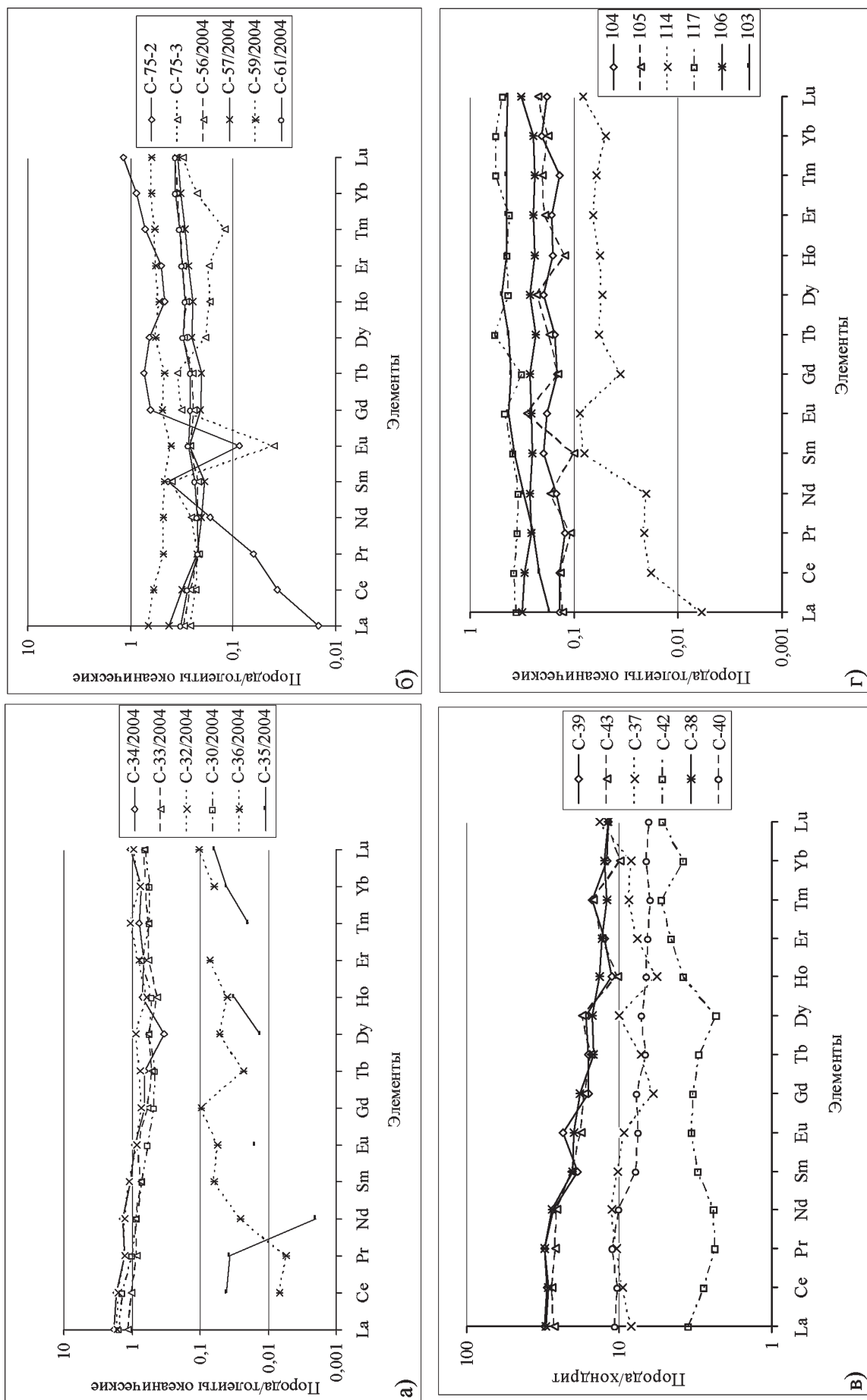


Рис. 4. Распределение REE, нормализованных по океаническим голлитам, в породах габбро-гипербазитовых массивов зоны ГУР

Условные обозначения те же, что и на рис. 3

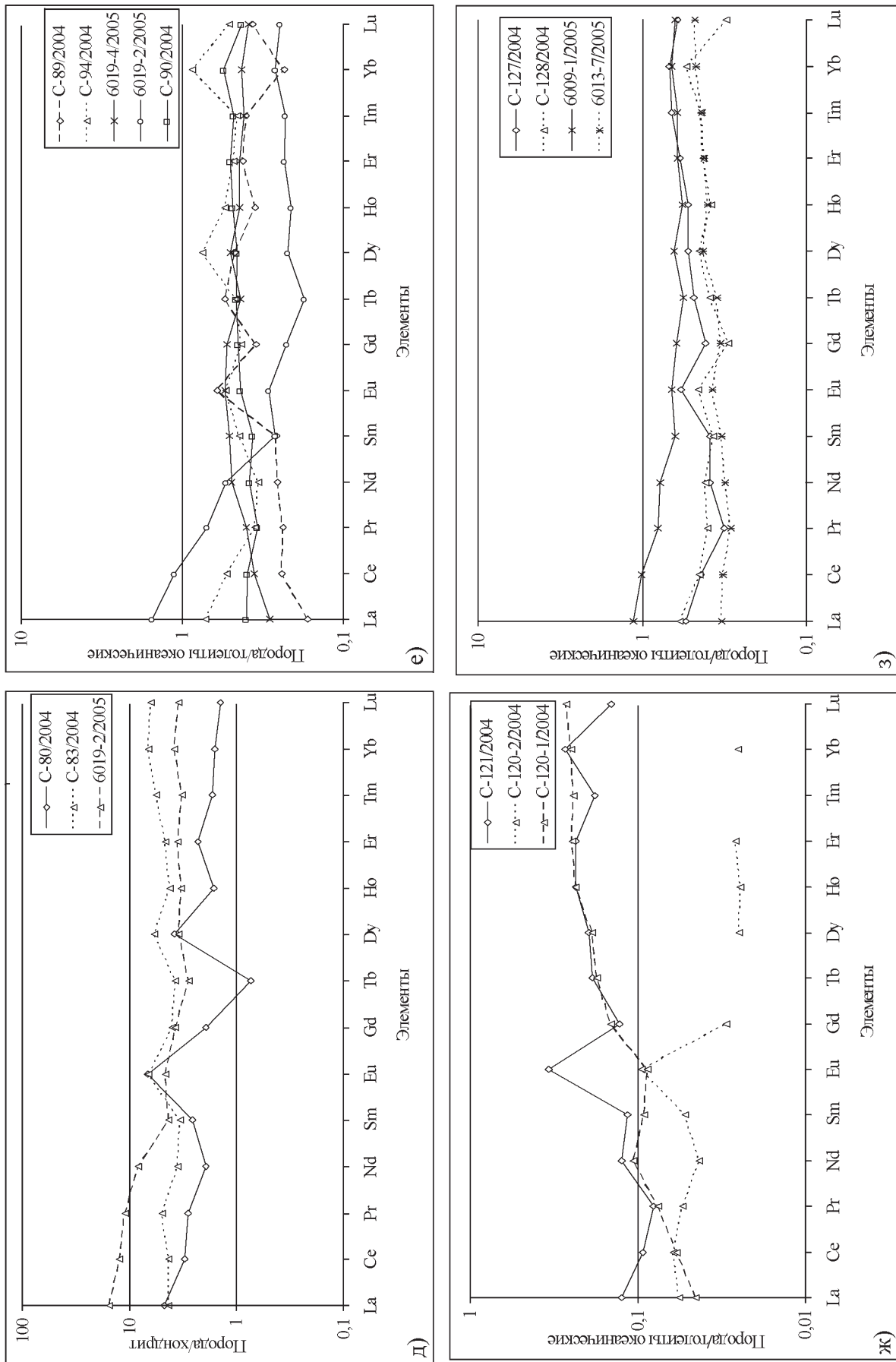


Рис. 4. Продолжение

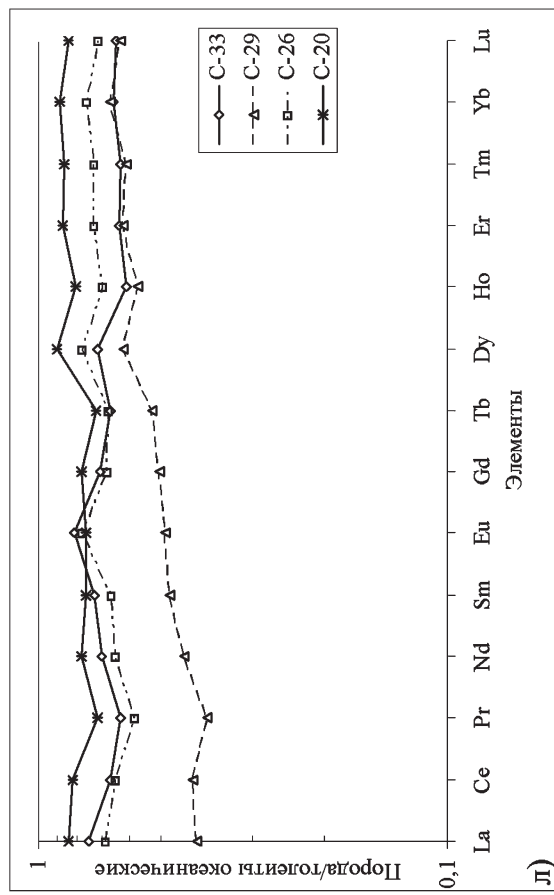
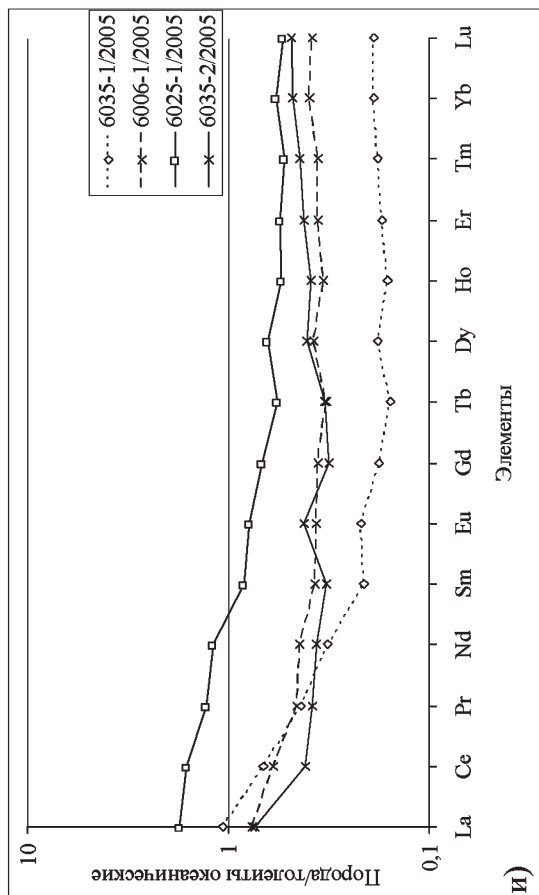
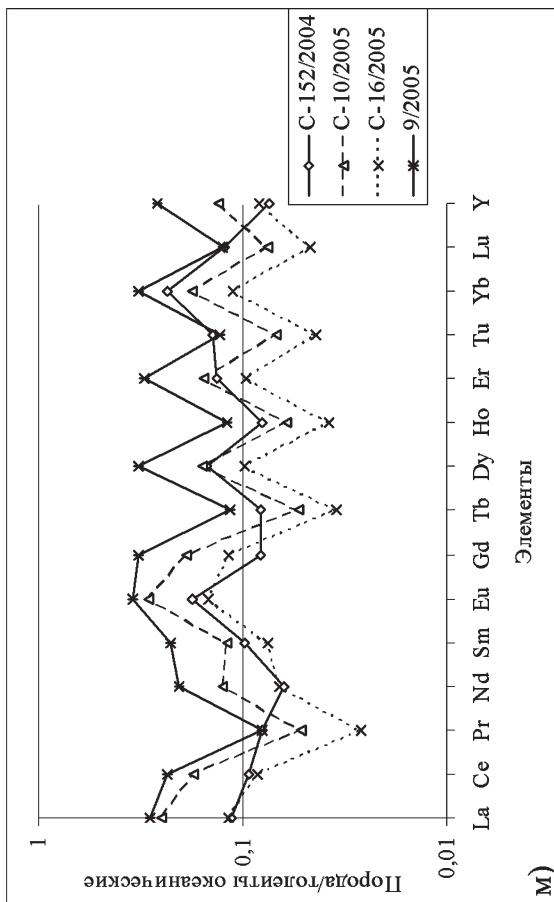
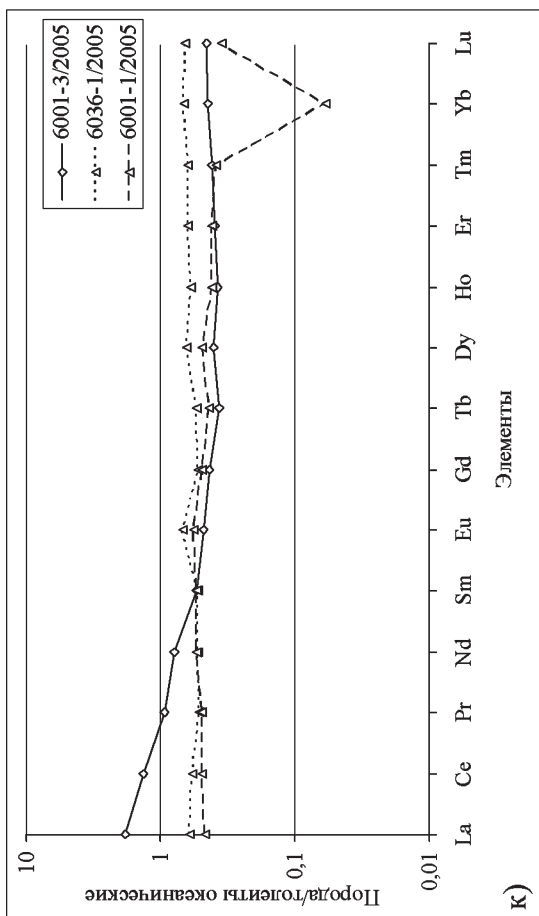


Рис. 4. Окончание

массива, третьего и четвертого комплексов Миндякского участка они превосходят, особенно Та, содержания океанических базальтов (рис. 3). Аналогичная картина характерна габбро-диабазовой фазе Илектинского комплекса (рис. 3). На диаграмме Nb, Zr, Y (по М. Meschede [1986]) все фигуративные точки габброидов Нуралинского, Уральского и пятого комплекса Миндякского гипербазитового массива размещаются за пределами поля N-MORB и IAB, образуя собственный ареал (рис. 5). Другие габброиды в основном концентрируются в полях N-MORB, IAB и WPTB, отражая аналогию с названными петрологическими группами лишь в соотношениях между названными элементами, но отнюдь не в количественных содержаниях.

Концентрации элементов группы переходных металлов — ванадия и кобальта — количественно сопоставимы с содержаниями их в океанических базальтах, а в некоторых случаях значительно превышают этот уровень. Таким когерентным элементом, как хром и никель, свойственны систематически более низкие (в 3–5 раз) содержания относительно океанических базальтов, и лишь в единичных пробах Нуралинского, Илектинского массивов и габброидов Миндякского комплекса они превышают этот уровень. В распределении хрома установлена следующая дополнительная систематическая закономерность: повышенные его концентрации коррелируются с пониженными содержаниями  $\Sigma REE$ , что объясняется степенью окислительности среды минералообразования. Установленная корреляционная зависимость имеет принципиальное значение в формировании хромитовых руд.

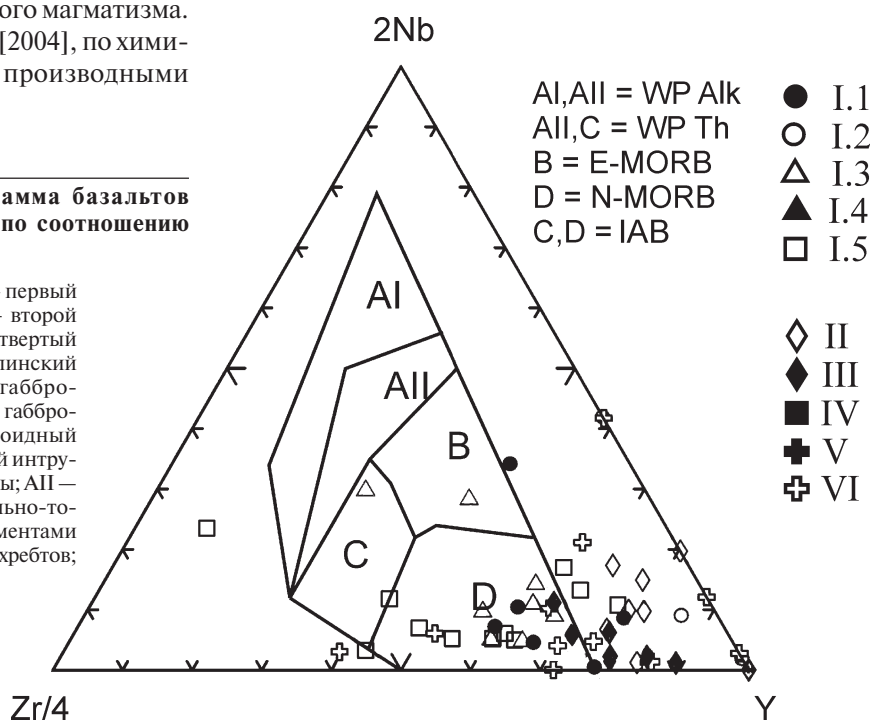
Итак, формирование габброидов меланжевой зоны ГУР трудно увязать по химическому составу пород с производными океанического магматизма. Скорее, как пишет Г.Б. Ферштатер [2004], по химическому составу они могут быть производными

рифтогенеза задуговых областей. Однако надо заметить, что состав рассматриваемых габброидов заметно различается, что может быть связано не только с разными фазами внедрения (например, в Миндякском габброидном массиве два самостоятельных комплекса), но и неодинаковыми составами областей магмогенерации (например, Ивановский натриевый комплекс и Чингизовский субщелочной комплекс, Миндякская группа калий-натриевых комплексов).

В результате проведенных работ не установлена строго обоснованная последовательность формирования всех описанных комплексов, хотя по отдельным фрагментам взаимоотношений она может быть в первом приближении реконструирована. Во-первых, пегматоидные габбро и габбро-диабазы Ивановского комплекса и Миндякского массива достаточно близки по вещественному составу и относятся к натриевой группе. Судя по фрагментарным данным об их взаимоотношениях, образование габбро-пегматитов предшествовало формированию диабаз-габбро-диабазового комплекса Миндякского гипербазитового массива. Последний по вещественному составу сопоставим с Чингизовским комплексом, что служит основанием для объединения их в комагматические образования. Общность химических составов отмечается для Нуралинского массива и пироксенит-габбро-гранитного пятого комплекса Миндякского массива. Надо отметить, что полосчатые разновидности габброидов обоих комплексов как микроскопически, так и визуальнo идентичны. Нуралинскому и Миндякскому массивам по химическому составу близки габброиды Илектинского массива. Все три названных массива, по-видимому, являются комагматич-

**Рис. 5. Классификационная диаграмма базальтов габброидных комплексов зоны ГУР по соотношению некоторых микроэлементов**

I — Миндякский габброидный массив; I.1 — первый комплекс гранатовых пироксенитов; I.2 — второй комплекс; I.3 — третий комплекс; I.4 — четвертый комплекс; I.5 — пятый комплекс; II — Нуралинский габброидный массив; III — Уральский габбро-норитовый комплекс; IV — Чингизовский габброидный комплекс; V — Ивановский габброидный комплекс; VI — Сангалыкский габброидный интрузив; AI — континентально-щелочные базальты; AII — континентально-щелочные + континентально-толеитовые базальты; B — обогащенные элементами примесей базальты срединно-океанических хребтов; C, D — островодужные базальты



ными. Вместе с тем габбро-диабазовая фаза Илектинского массива по геохимическим параметрам является самостоятельной, а геологически она предшествует формированию габброидов.

У нас не было возможности провести определения абсолютного возраста, но согласно предыдущим публикациям, возраст Нуралинского массива оценен U—Pb методом в 399 млн. лет [Ферштатер и др., 2000]. Для гранатовых пироксенитов Миндякского массива тот же метод (для ядер цирконов) показал возраст 467 млн. лет [Savelieva, Saveliev, 1992]. Датировки метаморфически преобразованных внешних зон кристаллов циркона близки к  $410 \pm 5$  млн. лет [Савельев и др., 2001]. Эти данные близки к возрасту  $414 \pm 4$  млн. лет (Sm—Nd изохрона «порода — гранат») по [Scarrow et al., 1999].

**Итак,** рассмотренные габброиды по химическому составу определенно не отвечают примитивным океаническим образованиям, хотя некоторая общность существует — это низкие кремнекислотность, глиноземистость, железистость и стронциевость, а также высокие известковистость и магниальность при условии исключения из анализа известково-щелочных базитов. Именно эта общность и рассмотренные выше особенности распределения рассеянных элементов, флюидонасыщенность, выраженная прежде всего в широком развитии темноцветного минерала — роговой обманки, а также присутствие известково-щелочных базитов и других пород среднего и кислого состава позволяют рассматривать изученные базиты как продукты задугового рифтогенеза с надсубдукционным уровнем магмогенерации.

*Работа выполнена при финансовой поддержке Программы № 4 фундаментальных исследований Отделения Наук о Земле РАН.*

### **Литература:**

- Булъкин Л.Д.** Минералогия и петрология дунит-клинопироксенитовых комплексов в уральских альпийских гипербазитах (массив Нурали) // Минералогия и геохимия гипербазитов Урала. Свердловск, 1977. С. 58—61. (Труды / Ин-т геологии и геохимии УНЦ АН СССР; Вып. 125).
- Денисова Е.А.** Дунит-верлит-пироксенитовые серии лерцолитовых массивов Южного Урала // Докл. АН СССР. 1984. Т. 277, № 3. С. 660—665.
- Денисова Е.А.** Деформационная история ультрабазитового массива Нурали (Южный Урал) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1985 а. № 5. С. 25—36.
- Денисова Е.А.** История деформаций Нуралинского ультраосновного массива (Южный Урал) // Изв. АН СССР. Сер. геол. 1985 б. № 8. С. 25—38.
- Ковалев С.Г., Савельев Д.Е., Сначев В.И.** Полосчатые комплексы гипербазитовых массивов Башкирского Урала: Препринт. Уфа, 1998. 35 с.
- Перцев А.Н., Савельева Г.Н.** Происхождение расчлененной дунит-верлит-пироксенитовой серии в офиолитах массива Нурали на Южном Урале // Петрология. 1997. № 5. С. 541—554.
- Пушкарев Е.В.** Эксплозивные брекчии с включениями высокobarических пород основного и ультраосновного состава в Миндякском лерцолитовом массиве (Башкортостан): состав и петрогенетические следствия // Геология и перспективы расширения сырьевой базы Башкортостана и сопредельных территорий: Мат-лы / 4-я Республ. геол. конф. Т. 1. Уфа, 2001. С. 155—168.
- Рудник Г.Б.** Петрогенезис ультраосновных пород Нуралинского массива на Южном Урале // Соотношение магматизма и метаморфизма в генезисе ультрабазитов. М.: Наука, 1965. С. 68—100.
- Савельев А.А., Бибилова Е.В., Савельева Г.Н. и др.** Гранатовые пироксениты массива Миндяк на Южном Урале: обстановка и возраст формирования // Бюл. МОИП. Отд. геол. 2001. Т. 76, Вып. 1. С. 22—29.
- Савельева Г.Н., Денисова Е.А.** Структура и петрология ультраосновного массива Нурали на Южном Урале. // Геотектоника. 1983. № 1. С. 42—57.
- Смирнов С.В.** Петрология верлит-клинопироксенит-габбровой ассоциации Нуралинского гипербазитового массива и связанное с ним платиноидное оруденение: Автореф... дис. канд. геол.-мин. наук / Ин-т геологии и геохимии УрО РАН, Екатеринбург, 1995. 18 с.
- Ферштатер Г.Б.** О природе силурийско-раннедевонских мафит-ультрамафитовых интрузивов, ассоциированных с офиолитами Южного Урала // Литосфера. 2004. № 4. С. 3—29.
- Ферштатер Г.Б., Котов А.Б., Смирнов С.В. и др.** U—Pb возраст циркона из диорита Нуралинского лерцолит-габбрового массива на Южном Урале // Докл. РАН. 2000. Т. 371, № 1. С. 96—100.
- Meschede M. A.** method of discriminating between different types of middle-ocean ridge basalts and continental tholeiites with the Nb—Zr—Y diagram // Chem. Geol. 1986. No 56. P. 207—218.
- Savelieva G.N., Saveliev A.A.** Relationship between Peridotites and Gabbroic Sequences in the Ophiolites of the Urals and the Lesser Caucasus // Ophioliti. 1992. V. 17, No 1. P. 117—138.
- Scarrow J.H., Savelieva G.N., Glodny J. et al.** The Myndyak paleozoic Iherzolite ophiolite, Southern Urals: Geochemistry and Geochronology // Ophioliti. 1999. V. 24, No 2. P. 239—246.