

ПЕТРОХИМИЯ И НОМЕНКЛАТУРА УЛЬТРАМАФИТОВЫХ И МАФИТОВЫХ ПОРОД ОЛЫСЯ-МУСЮРСКОГО МАССИВА (ПРИПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

М. В. Скрыбин

Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 1 марта 2013 г.

Аннотация. Рассмотрена правомерность расчета нормативного состава интенсивно серпентинизированных пород. Дана петрохимическая характеристика и определена номенклатура исходных ультрамафит-мафитовых образований Олыся-Мусюрского массива (Приполярный Урала). Доказано участие в строении интрузии пород дунит-гарцбургитовой и клинопироксенит-габбровой серий.

Ключевые слова: петрохимия, дуниты, гарцбургиты, клинопироксениты, верлиты, габбро.

Abstract. Validity of the calculation of regulatory intensely serpentinized rocks examined. Petrochemical characteristics and determine the range of initial mafic-ultramafic formations of the Olyssa-Musyur array represented (Subpolar Urals). Participation in the structure of the intrusion harzburgite and dunite-clinopyroxenite-gabbro rock series proved.

Key words: petrochemistry, dunite, harzburgite, clinopyroxenite, wehrlite, gabbro

Введение

Выяснение исходного минерального состава, а тем более закономерностей процессов дифференциации при формировании альпинотипных гипербазитов всегда весьма затруднительно, так как в подавляющем большинстве случаев эти породы претерпели интенсивную серпентинизацию. Подобная проблема касается и определения номенклатуры измененных основных пород, содержавших в своем исходном составе значительные количества оливина.

Так, например, в пределах Уральского гипербазитового пояса средние содержания потерь при прокаливании или кристаллизационной воды в ультрамафитах различных массивов варьируют от 7,46 до 14,14 % масс. (табл. 1), что при теоретической концентрации H_2O^+ в серпентинах 13 % масс. соответствует степени серпентинизации пород 57–100 %. Наблюдаемое в ряде случаев некоторое превышение потерь при прокаливании над теоретическим содержанием кристаллизационной воды в серпентинах обусловлено замещением в этих минералах атомов кислорода в сетке тетраэдров ионами (ОН) и наличием прочно адсорбированной воды на тонкодисперсных фазах с дефектной структурой [2], а также присутствием в породах некоторого количества других летучих компонентов. Такая интенсивность вторичных преобразований

приводит к столь значительной утере информации о первичном минеральном составе ультрамафитовых и оливинсодержащих мафитовых пород, что делает невозможным даже определение на основе детальных минералого-петрографических исследований их номенклатурной принадлежности.

В подобных условиях для определения номенклатурной принадлежности пород обычно используются пересчеты их химических анализов на нормативный минеральный состав [3], правомерность которых может базироваться только на изохимичности процесса серпентинизации. Этому вопросу посвящены многочисленные публикации [4, 5 и др.], и к настоящему времени сформировалось более или менее компромиссное представление о «квазиизохимичности» серпентинизации, сопровождающейся привнесением воды, пропорциональным снижением концентрации остальных петрогенных компонентов и увеличением объема пород.

Наиболее существенным нарушением баланса петрогенных компонентов при этом является, на наш взгляд, изменение соотношения окисного и закисного железа. Так, в результате изучения зависимости окисленности железа от степени серпентинизации ультрамафитовых пород (рис. 1), выявлена статистически значимая с вероятностью более 0,95 прямая линейная корреляционная связь между этими признаками. Рассчитанный наклон линии регрессии этой зависимости в пределах ошибки таков, что в исходных безводных (не сер-

пентинизированных) ультрамафитовых породах железо должно находиться лишь в закисной форме.

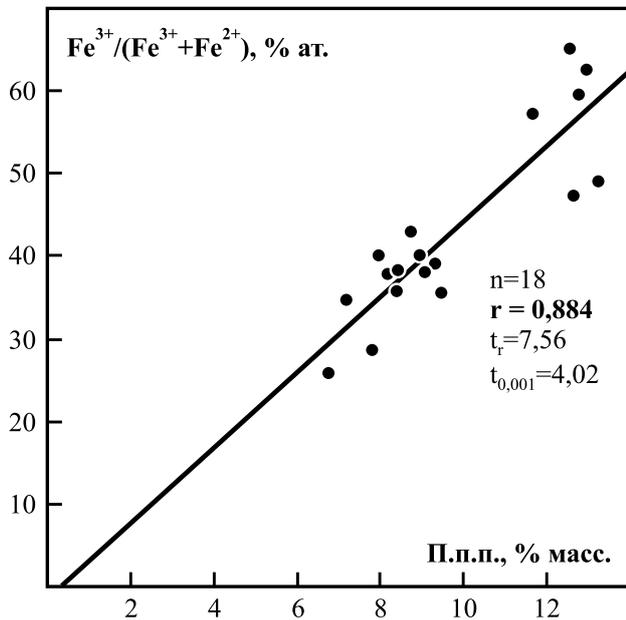


Рис. 1. Зависимость окисленности железа от содержания потерь при прокаливании в ультрамафитах Салатимского массива (Сев. Урал). n – количество анализов, r – коэффициент корреляции, t – критерий Стьюдента

Таким образом, анализ закономерностей возможных изменений химического состава гипербазитов при их серпентинизации позволяет считать правомерным использование нормативного пересчета химических анализов с предварительным переводом Fe_2O_3 в закисную форму для определения исходного состава и номенклатуры измененных ультрамафитов.

Петрохимическая характеристика и номенклатура пород

Породы Олыся-Мусюрского массива, как и все альпинотипные гипербазиты Урала, интенсивно серпентинизированы и обычно содержат менее 25 % объем. реликтовых зерен оливина ($Fe_{91,1-92,7}Fa_{7,3-8,9}$), редко – предельно магнезиального эндиопсида ($En_{68,1-70,1}Wo_{26,3-28,1}Fs_{3,2-4,2}$) [6]. Основная масса сложена тонкозернистым серпентиновым агрегатом (лизардит, антитрит, очень редко хризотил) с единичными чешуйками клинохлора. По распространенности резко доминируют породы с содержанием H_2O^+ 10,05–13,67 % масс., что соответствует степени серпентинизации более 77 %. Менее измененные разновидности (H_2O^+ 3,01–5,92 % масс.) встречаются значительно реже (рис. 2).

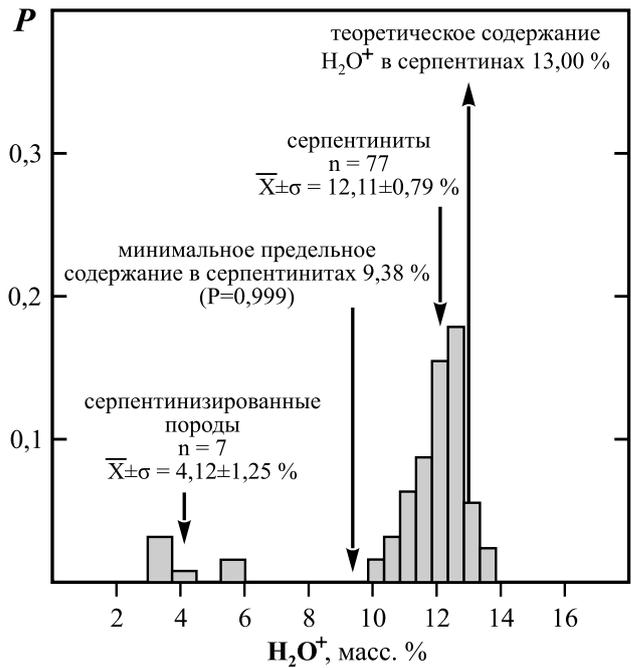


Рис. 2. Гистограмма распределения кристаллизационной воды в породах дунит-гарцбургитовой серии Олыся-Мусюрского массива. P – частота встречаемости, P – уровень значимости, X – среднее арифметическое, σ – среднеквадратичное отклонение

В связи со столь значительными вторичными изменениями по результатам химических анализов (табл. 2, 3) был рассчитан нормативный состав пород, позволяющий подразделить их на две магматические серии: ультрамафитовую и мафитовую (рис. 3).

Породы ультрамафитовой серии характеризуются существенно оливин-гиперстеновым нормативным составом, а их фигуративные точки в системе Ol–Hy–Di ложатся, главным образом, в поле гарцбургитов. Единичные анализы соответствуют по составу дунитам. Нормативный диопсид присутствует редко и его содержание не превышает 2,9 % масс. По своим петрохимическим особенностям (низкие содержания Al_2O_3 , CaO и малая железистость $Fe/(Fe+Mg)=9,5$ % ат.) и нормативному составу описываемые ультрамафитовые образования можно отнести к типичной дунит-гарцбургитовой серии альпинотипных гипербазитов.

Породы мафитовой серии в большей мере соответствуют системе Ol–Di–Pl. Фигуративные точки их нормативного состава ложатся в поля оливиновых клинопироксенитов, верлитов и оливиновых меланогаббро. По химическому составу образования этой серии отличаются от пород дунит-гарцбургитовой серии более высокими содер-

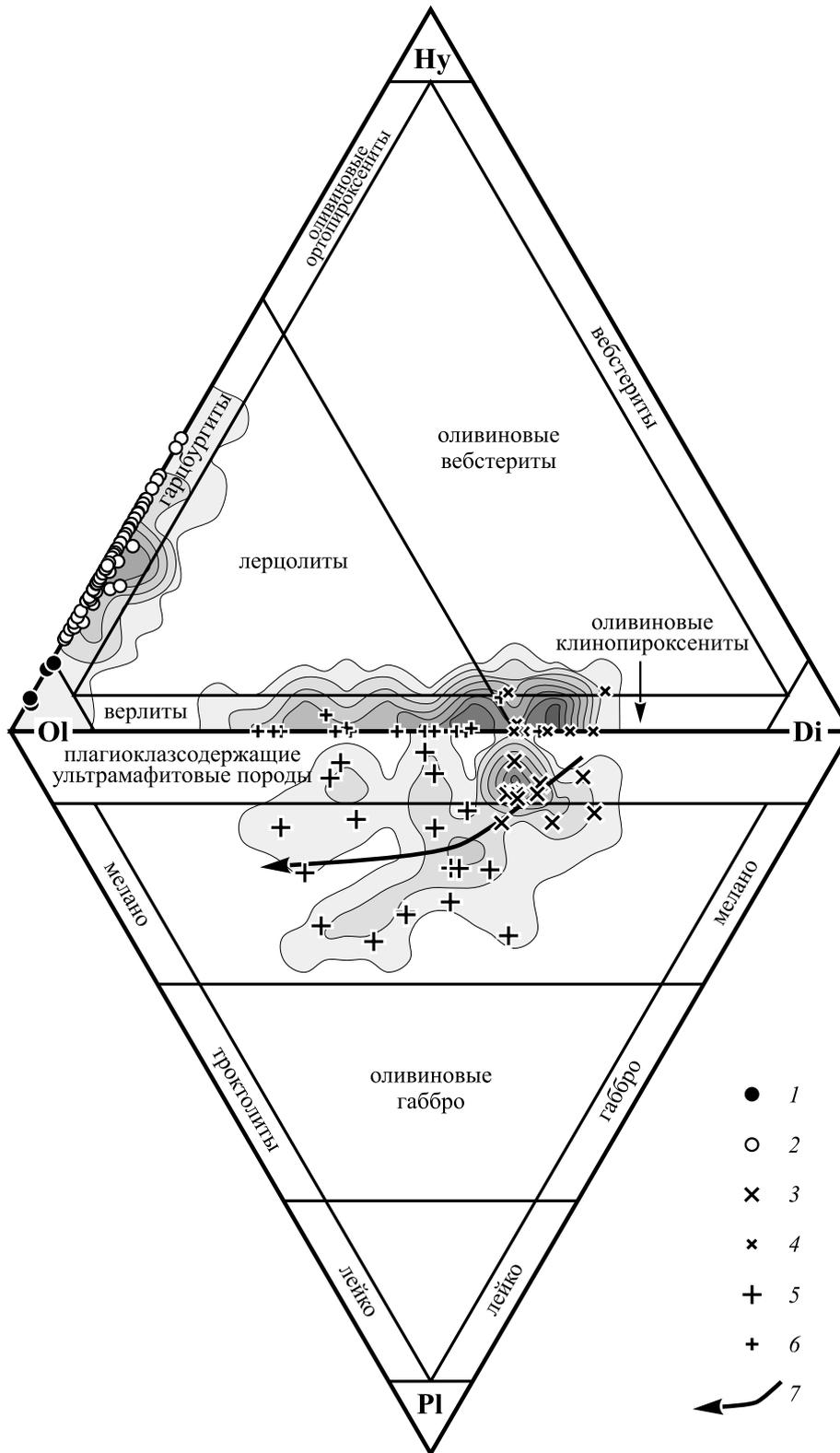


Рис. 3. Нормативный состав и номенклатура ультрамафит-мафитовых пород Олыся-Мусюрского массива. Условные обозначения: 1 – серпентиниты аподунитовые, 2 – серпентиниты апогарцбургитовые и интенсивно серпентинизированные гарцбургиты, 3–4 – серпентинизированные оливиновые клинопироксениты в системах O1-Di-Pl (3) и O1-Nu-Di (4), 5–6 – серпентинизированные верлиты и оливиновые меланогаббро в системах O1-Di-Pl (5) и O1-Nu-Di (6), 7 – направление дифференциации пород серии оливиновые клинопироксениты – оливиновые меланогаббро

Таблица 1

Средний химический состав ультрамафитовых пород
некоторых массивов Уральского гипербазитового пояса, % масс.

Регионы	Южный и Средний Урал															Северный Урал	Приполярный Урал
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15		
Массивы	25	22	40	51	59	74	35	19	31	40	47	96	60	18	84		
n	40,25	41,60	40,03	39,09	40,24	39,04	38,75	39,84	39,53	39,20	36,91	37,46	36,86	39,52	38,23		
SiO ₂	0,08	0,06	0,06	0,05	0,04	0,03	0,06	0,05	0,08	0,03	0,13	0,05	0,05	0,02	0,02		
TiO ₂	1,39	1,48	0,85	0,84	1,42	1,31	0,87	1,44	1,88	1,06	1,04	0,99	1,11	0,75	0,94		
Al ₂ O ₃	–	0,25	–	–	–	0,44	–	0,22	0,37	0,40	0,30	0,29	0,27	0,39	0,39		
Cr ₂ O ₃	4,74	–	–	5,67	6,06	5,31	6,91	–	–	–	–	–	–	3,48	6,39		
Fe ₂ O ₃	3,91	–	–	2,39	1,62	2,14	1,16	–	–	–	–	–	–	4,10	1,49		
FeO _{общ.}	–	7,98	9,96	–	–	–	–	7,97	7,27	8,92	7,60	7,68	6,56	–	–		
NiO	–	0,26	–	–	–	0,14	–	–	–	0,25	0,20	0,25	0,24	0,23	0,28		
MnO	0,12	0,11	0,12	0,10	0,08	0,10	0,10	0,09	0,13	0,07	0,09	0,12	0,10	0,11	0,15		
MgO	40,06	39,35	39,35	38,78	37,86	38,70	38,25	37,15	37,04	37,37	39,81	38,59	39,42	40,73	38,53		
CaO	1,98	1,45	1,24	1,60	0,30	0,42	1,31	0,26	0,68	0,39	0,35	0,51	0,41	0,38	0,34		
Na ₂ O	0,61	0,24	0,45	0,45	0,12	0,07	0,25	0,12	–	–	0,15	0,24	–	<0,50	0,03		
K ₂ O	0,08	0,04	0,06	0,07	0,04	0,04	0,06	0,07	–	–	0,10	0,06	–	<0,05	0,01		
П.л.п.	6,66	7,46	7,68	10,85	11,87	11,98	11,98	12,33	13,03	13,05	13,37	13,83	14,14	9,78	–		
H ₂ O ⁺	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	11,45		
Сумма	99,88	100,28	99,80	99,89	99,65	99,72	99,70	99,32	100,26	100,74	100,26	100,07	99,16	99,49	98,25		
Средняя степень серпентинизации пород, % масс.	51,2	57,4	59,1	83,5	91,3	92,2	92,2	94,8	100	100	100	100	100	75,2	88,1		
Fe/(Fe+Mg), % ат.	10,3	10,2	12,4	9,8	9,5	9,1	9,8	10,7	9,9	11,8	9,7	10,0	8,5	9,1	9,5		
Fe ³⁺ /(Fe ³⁺ +Fe ²⁺), % ат.	52,2	–	–	68,1	77,1	69,1	84,3	–	–	–	–	–	–	43,3	79,4		

Массивы: 1 – Северная Крака, 2 – Нуралинский, 3 – Таловский, 4 – Средняя Крака, 5 – Татищевский, 6 – Успенковский, 7 – Южная Крака, 8 – Куликовский, 9 – Катралинский, 10 – Ишкинский, 11 – Кемтирайский, 12 – Хабаринский, 13 – Халлювский, 14 – Салатинский, 15 – Олыся-Мусюрский; n – количество анализов; для расчета среднего состава по массивам 1–13 использованы аналитические данные из работы [1].

Окончание табл. 2

№ п/п Породы	Серпентиниты аюгарцбургитовые																							
	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	Среднее (n=73)		σ								
№ обр.	2133	2127	2190	2125	2114	2138	2198	2171	2168	2108	2169	2101	2323	020-ОМ	33,7									
№ скв.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–								
Глуб., м	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–								
SiO ₂	36,30	36,85	38,12	37,59	37,76	38,42	37,52	37,44	37,65	39,15	38,32	39,60	40,85	37,88	0,94									
TiO ₂	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01									
Al ₂ O ₃	1,05	0,70	1,29	0,69	0,83	0,85	1,43	1,20	1,13	0,52	1,55	0,73	0,57	1,01	0,31									
Fe ₂ O ₃	6,99	6,84	5,74	5,78	6,77	6,74	6,15	6,57	6,32	6,71	6,24	6,15	6,62	6,41	0,42									
Cr ₂ O ₃	0,41	0,37	0,37	0,40	0,35	0,36	0,34	0,38	0,38	0,37	0,37	0,39	0,34	0,38	0,05									
FeO	1,75	1,50	1,77	1,61	1,31	1,47	1,35	1,08	1,14	1,03	1,34	1,59	0,86	1,44	0,32									
NiO	0,28	0,26	0,29	0,27	0,29	0,28	0,29	0,28	0,29	0,30	0,28	0,28	0,27	0,29	0,01									
MnO	0,15	0,12	0,12	0,14	0,15	0,15	0,13	0,13	0,13	0,14	0,13	0,14	0,23	0,14	0,02									
MgO	38,43	38,41	38,65	38,85	38,34	38,66	38,25	37,77	37,84	39,04	37,26	38,19	38,75	38,11	0,66									
CaO	0,45	0,56	0,71	0,41	0,35	0,39	0,33	0,28	0,18	0,23	0,34	0,27	0,06	0,36	0,18									
Na ₂ O	0,04	0,04	0,09	0,03	0,05	0,04	0,01	0,02	0,05	0,02	0,03	0,05	<0,01	0,03	0,02									
K ₂ O	0,02	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	<0,01	<0,01	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01									
P ₂ O ₅	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	<0,01									
H ₂ O ⁺	12,38	12,60	10,96	12,44	12,31	10,50	12,45	12,70	12,90	11,06	12,07	11,13	10,05	12,12	0,81									
H ₂ O ⁻	1,08	1,16	1,12	1,12	1,16	1,43	0,99	1,77	1,36	0,94	1,40	0,80	0,39	1,22	0,32									
SO ₃	0,04	0,05	0,06	0,04	<0,01	0,03	0,03	0,03	0,04	<0,01	0,04	0,03	<0,01	0,04	0,03									
CO ₂	0,44	0,38	0,59	0,34	0,18	0,33	0,42	0,28	0,37	0,27	0,27	0,26	0,81	0,33	0,17									
F	0,07	0,07	0,06	0,07	0,08	0,07	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	0,08	<0,01	0,07	0,02									
Cl	0,015	0,016	0,012	0,016	0,013	0,014	0,014	0,014	0,013	0,012	0,013	0,013	0,022	0,014	0,002									
Сумма	99,935	99,976	99,992	99,846	99,993	99,794	99,824	100,064	99,923	99,922	99,773	99,753	99,872	99,894	–									
-O=F ₂	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,03	-0,00	-0,03	–									
-O=Cl ₂	-0,003	-0,004	-0,003	-0,004	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,003	-0,005	-0,003	–									
Сумма	99,90	99,94	99,96	99,81	99,96	99,76	99,79	100,03	99,89	99,89	99,74	99,72	99,87	99,86	–									
FeO _{общ.}	8,04	7,65	6,93	6,81	7,40	7,53	6,88	6,99	6,83	7,07	6,95	7,12	6,82	7,21	0,39									
Fe ³⁺ /(Fe ³⁺ +Fe ²⁺), %	78,2	80,4	74,5	76,4	82,3	80,5	80,4	84,6	83,3	85,4	80,7	77,7	87,4	80,1	4,1									
Fe/(Fe+Mg), %	10,5	10,1	9,1	9,0	9,8	9,9	9,2	9,4	9,2	9,2	9,5	9,5	9,0	9,6	0,5									
Hу/(Hу+ОI), %	12,8	15,3	18,4	19,7	20,8	21,9	22,6	23,9	24,6	26,2	28,2	29,7	35,5	23,0	5,1									

Таблица 3

Химический состав пород серии оливиновые клинопироксениты–оливиновые меланогаббро, % масс.

№ п/п	Оливиновые клинопироксениты																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	1–11		12	13	14	15
Породы																	
№ обр.	2162	2139	2158	2157	2146	2349	2159	2160	2161	2156	2155	Среднее (n=11)		2140	2147	2321	2143
№ скв.	–	–	–	–	–	029-ОМ	–	–	–	–	–	σ		–	–	018-ОМ	–
Глуб., м	–	–	–	–	–	19,7	–	–	–	–	–			–	–	13,0	–
SiO ₂	47,32	48,06	45,87	45,55	46,05	47,18	45,79	46,00	45,92	45,27	45,91	0,86		44,56	46,21	44,65	44,69
TiO ₂	0,14	0,15	0,16	0,21	0,27	0,13	0,20	0,18	0,20	0,18	0,15	0,04		0,18	0,32	0,06	0,29
Al ₂ O ₃	2,43	3,49	2,75	3,35	4,64	1,81	2,87	3,08	2,66	3,19	3,86	0,75		3,57	5,75	2,19	10,03
Fe ₂ O ₃	3,66	2,49	3,98	3,89	4,73	3,00	4,16	4,12	4,13	4,97	3,78	0,70		4,71	4,34	2,80	3,54
Cr ₂ O ₃	0,32	0,31	0,28	0,22	0,16	0,30	0,23	0,26	0,25	0,25	0,28	0,05		0,31	0,16	0,39	0,10
FeO	2,96	3,80	3,36	4,42	4,81	2,09	4,31	4,04	3,89	3,38	3,42	0,76		4,27	4,92	1,28	6,01
NiO	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	–		0,03	<0,01	0,03	<0,01
MnO	0,12	0,15	0,16	0,18	0,13	0,14	0,16	0,15	0,13	0,11	0,14	0,02		0,17	0,15	0,13	0,17
MgO	22,36	21,11	22,86	21,49	19,34	26,97	22,80	22,96	23,71	23,20	23,38	1,88		23,64	20,43	26,79	15,23
CaO	16,75	16,44	15,66	16,08	16,59	15,69	14,63	14,88	14,42	14,54	13,81	1,00		13,38	13,66	18,83	17,29
Na ₂ O	0,20	0,19	0,18	0,26	0,14	0,21	0,26	0,18	0,16	0,19	0,20	0,04		0,14	0,49	0,24	0,20
K ₂ O	0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,04	0,01	0,01	0,01	0,01	<0,01	0,01		<0,01	0,03	0,02	0,02
P ₂ O ₅	0,01	0,01	0,01	0,06	0,02	0,03	0,02	0,01	0,01	0,02	0,02	0,01		0,01	0,02	0,02	0,01
H ₂ O ⁺	2,98	3,37	3,90	3,39	2,69	2,14	3,87	3,35	3,74	4,01	4,20	0,62		4,43	2,98	2,17	1,96
H ₂ O ⁻	0,27	0,11	0,35	0,31	0,13	0,10	0,31	0,24	0,29	0,30	0,30	0,09		0,18	0,09	0,17	0,10
SO ₃	0,02	0,02	0,04	0,04	0,02	<0,01	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02	0,01		0,07	0,01	<0,01	0,02
CO ₂	0,10	0,13	0,19	0,36	0,13	0,06	0,21	0,13	0,08	0,18	0,32	0,10		0,17	0,15	0,10	0,17
F	0,11	0,10	0,10	0,10	0,09	<0,01	0,09	0,10	0,10	0,10	0,10	0,03		0,09	0,09	<0,01	0,09
Cl	0,007	0,007	0,008	0,009	0,007	0,006	0,009	0,007	0,007	0,008	0,008	0,001		0,008	0,008	0,007	0,007
Сумма	99,767	99,937	99,858	99,919	99,987	99,936	99,969	99,727	99,737	99,928	99,898	–		99,918	99,808	99,877	99,927
–O=F ₂	-0,05	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,00	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	-0,04	–		-0,04	-0,04	-0,000	-0,04
–O=Cl ₂	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,001	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	-0,002	–		-0,002	-0,002	-0,002	-0,002
Сумма	99,72	99,90	99,82	99,88	99,95	99,94	99,93	99,69	99,70	99,89	99,86	–		99,88	99,77	99,88	99,89
FeO общ.	6,25	6,04	6,94	7,92	9,07	4,79	8,05	7,75	7,61	7,85	6,82	–		8,51	8,83	3,80	9,20
Fe/(Fe+Mg), ат. к-ва	0,136	0,138	0,146	0,171	0,208	0,091	0,165	0,159	0,153	0,160	0,141	–		0,168	0,195	0,074	0,253

жениями CaO, SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, повышенной железистостью, низкими концентрациями MgO, а также значительно меньшей степенью вторичных изменений (H₂O⁺ 1,96–4,43 % масс.). При анализе закономерностей изменения железистости мафитовых пород от их нормативного состава установлена прямая корреляционная связь между содержанием в них нормативного плагиоклаза и отношением Fe/(Fe+Mg) (рис. 4), что свидетельствует о проявлении процессов кристаллизационной дифференциации и накоплении плагиоклазового компонента и железа в остаточном габброидном расплаве. Рассматриваемые мафитовые породы образуют обособленную интрузию, протягивающуюся вдоль северо-западного контакта дунит-гарцбургитового тела, а об их возрастном взаимоотношении свидетельствует присутствие клинопироксенитовых жил в гарцбургитах. По химическим особенностям и нормативному составу мафитовые породы Олыся-Мусюрского массива можно сопоставлять с клинопироксенит-верлит-габбровой серией, также широко распространенной и часто пространственно совмещенной с дунит-гарцбургитовыми образованиями на всем протяжении уральской складчатой системы.

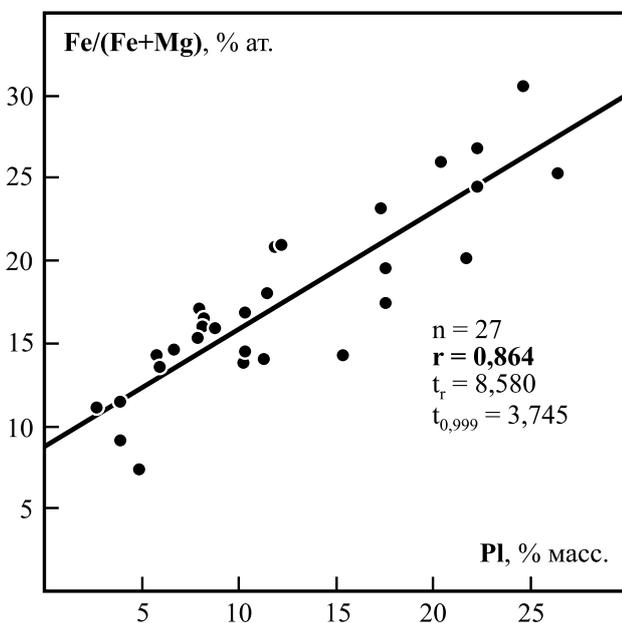


Рис. 4. Зависимость железистости от содержания нормативного плагиоклаза в породах серии оливиновые клинопироксениты – оливиновые меланогаббро Олыся-Мусюрского массива

Выводы

Результаты минералого-петрографических исследований и многочисленные химические анализы пород Олыся Мусюрского массива указывают на их интенсивное вторичное преобразование, связанное с процессами серпентинизации. По закономерностям изменения нормативного состава установлено участие в строении интрузии образований двух магматических серий.

Ультрамафитовые породы по своему составу и петрохимическим особенностям соответствуют дунит-гарцбургитовой серии альпинотипных гипербазитов. Мафитовые породы образуют клинопироксенит-верлит-габбровую серию, формирование которой сопровождалось кристаллизационной дифференциацией с увеличением железистости и накоплением плагиоклазового компонента в остаточном габброидном расплаве.

Петрохимические особенности пород указывают на отсутствие каких-либо признаков генетической связи ультрамафитовых и мафитовых образований, что позволяет предполагать их формирование в результате пространственно совмещенных, но одновременных самостоятельных импульсов магматизма.

ЛИТЕРАТУРА

1. Савельев Д. Е. Геология, петрогеохимия и хроми-тоносность габбро-гипербазитовых массивов Южного Урала / Д. Е. Савельев [и др.]. – Уфа : ДизайнПолиграф-Сервис, 2008. – 320 с.
2. Дир У. А. Породообразующие минералы. Т. 3. Листовые силикаты / У. А. Дир, Р. А. Хауи, Дж. Зусман. – М. : Изд-во Мир, 1966. – 318 с.
3. Соболев Н. Д. Ультрабазиты Большого Кавказа / Н. Д. Соболев. – М. : Госгеоиздат, 1952. – 240 с.
4. Штейнберг Д. С. Серпентинизация ультрабазитов / Д. С. Штейнберг, И. С. Чашухин. – М. : Наука, 1977. – 309 с.
5. Варлаков А. С. Петрология процессов серпентинизации гипербазитов складчатых областей / А. С. Варлаков. – Свердловск, 1986. – 224 с.
6. Скрябин М. В. Гиперсольвус и субсольвус условия кристаллизации шпинелидов в гарцбургитах центральной части Олыся-Мусюрского массива (Приполярный Урал) / М. В. Скрябин // Вест. Воронеж. гос. ун-та. Серия: Геология. – 2012. – № 2. – С. 105–118.

М. В. Скрыбин

Воронежский государственный университет

М. В. Скрыбин, инженер учебно-научно-поискового центра «Поисковая геохимия», аспирант Института геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии ИГЕМ РАН, г. Москва

Тел. 8-920-423-99-23

skr_m@mail.ru

Voronezh State University

M. V. Skryabin, engineer of the Education-and-Science-and-Product center "Search Geochemistry", post-graduate student, Institute of Geology of Ore Deposits, Petrography, Mineralogy and Geochemistry, Russian Academy of Sciences (IGEM RAS)

Tel. 8-920-423-99-23

skr_m@mail.ru