

DOI 10.24412/2949-4052-2024-1-35-51

УДК 552.321.6

АМИНЕВСКИЙ МАФИТ-УЛЬТРАМАФИТОВЫЙ МАССИВ (ВОСТОЧНО-УРАЛЬСКАЯ МЕГАЗОНА, ЮЖНЫЙ УРАЛ): ГЕОЛОГИЯ, ПЕТРОГРАФИЯ И ПЕТРОХИМИЯ

© Савельев Дмитрий Евгеньевич

Государственное бюджетное научное учреждение

«Академия наук Республики Башкортостан»;

Институт геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской Академии наук», г. Уфа, Российская Федерация

Аннотация. В статье рассмотрено геологическое строение Аминевского мафит-ультрамафитового массива, описаны петрографические особенности слагающих его пород, проведен анализ петрохимических данных по основным и ультраосновным породам массива, а также охарактеризовано распределение редкоземельных элементов. Показано, что в строении массива ведущая роль принадлежит полностью серпентинизированным ультрамафитам, метаморфизованным в антигоритовой фации, которые сопоставляются с эпидот-амфиболитовой фацией регионального метаморфизма. Сделан вывод о том, что петрографические и геохимические особенности свидетельствуют о том, что протолитом для антигоритовых серпентинитов служили гарцбургиты офиолитового типа. Для серпентинитов массива характерны очень низкие содержания всех «базальтоидных» оксидов (CaO, Al₂O₃, TiO₂, щелочей) и высокие - тугоплавких компонентов (MgO, Ni, Cr), что позволяет сопоставить их с реститами от частичного плавления верхнемантийного субстрата. Породы верлит-клинопироксенит-габбровой ассоциации по геохимическим особенностям сопоставимы с аналогичными образованиями, присутствующими в офиолитовых габбро-ультрабазитовых массивах. Низкая титанистость, преимущественно известково-щелочной состав и низкое содержание редкоземельных элементов указывают на сходство изученных пород с мафитами островных дуг — дифференциатами расплавов от довольно высоких степеней частичного плавления пиrolита.

Ключевые слова: ультрамафиты, мафиты, офиолиты, рестит, частичное плавление, Аминевский массив, Южный Урал

AMINEVSKY MAFIC-ULTRAMAFIC MASSIF (EAST URALIAN MEGAZONE, THE SOUTHERN URALS): GEOLOGY, PETROGRAPHY AND PETROCHEMISTRY

© Savelyev Dmitry Evgenievich

State budgetary scientific institution

"Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan",

Summary. This paper examines the geological structure of the Aminevsky mafic-ultramafic massif, describes the petrographic features of its constituent rocks, analyzes petrochemical data on the basic and ultrabasic rocks of the massif, and characterizes the distribution of rare earth elements. It is shown that the leading role in the structure of the massif belongs to completely serpentized ultramafic rocks, metamorphosed in the antigorite facies, which are compared with the epidote-amphibolite facies of regional metamorphism. It is concluded that petrographic and geochemical features indicate that ophiolite-type harzburgites served as the protolith for the antigorite serpentinites. Serpentinites of the massif are characterized by very low contents of all "basaltoid" oxides (CaO, Al₂O₃, TiO₂, alkalis) and high contents of refractory components (MgO, Ni, Cr), which allows them to be compared with restites from partial melting of the upper mantle source. The rocks of the wehrlite-clinopyroxenite-gabbro association are comparable in geochemical features to similar formations present in ophiolitic gabbro-ultrabasic massifs. Low titanium content, predominantly calc-alkaline composition and low content of rare earth elements indicate the similarity of the studied rocks with island arc mafic rocks which were crystallize from melts of rather high degrees of partial melting of pyrolite.

Key words: ultramafic rock, mafic rock, ophiolite, restite, partial melting, Aminevsky massif, Southern Urals

Введение. Аминеvский мафит-ультрамафитовый массив приурочен к границе Магнитогорской мегазоны с Арамильско-Сухтелинской зоной Восточно-Уральского поднятия. Одним из дискуссионных вопросов является геодинамическая интерпретация комплексов Арамильско-Сухтелинской зоны, которые по мнению некоторых исследователей тектонически надвинуты в северо-восточном направлении на структуры Восточно-Уральского поднятия, а в раннепалеозойские время представляли восточный фланг Магнитогорской мегазоны, совместно образуя единый активно развивающийся бассейн океанического типа [1, 2, 3]. Известно, что очень ценной для палеогеодинамических реконструкций является офиолитовая ассоциация, представляющая собой фрагмент древней океанической коры и верхней мантии [1, 4]. Основными задачами настоящей работы являются следующие: 1) оценка формационной принадлежности мафит-ультрамафитовой ассоциации Аминеvского массива на основе геолого-петрографических данных и петрохимических характеристик и 2) определение геодинамической обстановки образования основных и ультраосновных пород изученной ассоциации.

Результаты. Геологическое строение массива. Аминевский массив в плане представляет собой вытянутое в меридиональном направлении тело шириной от 0,5 км на юге до 3 км на севере, длиной около 10 км, его площадь составляет 22 км² (рис. 1).

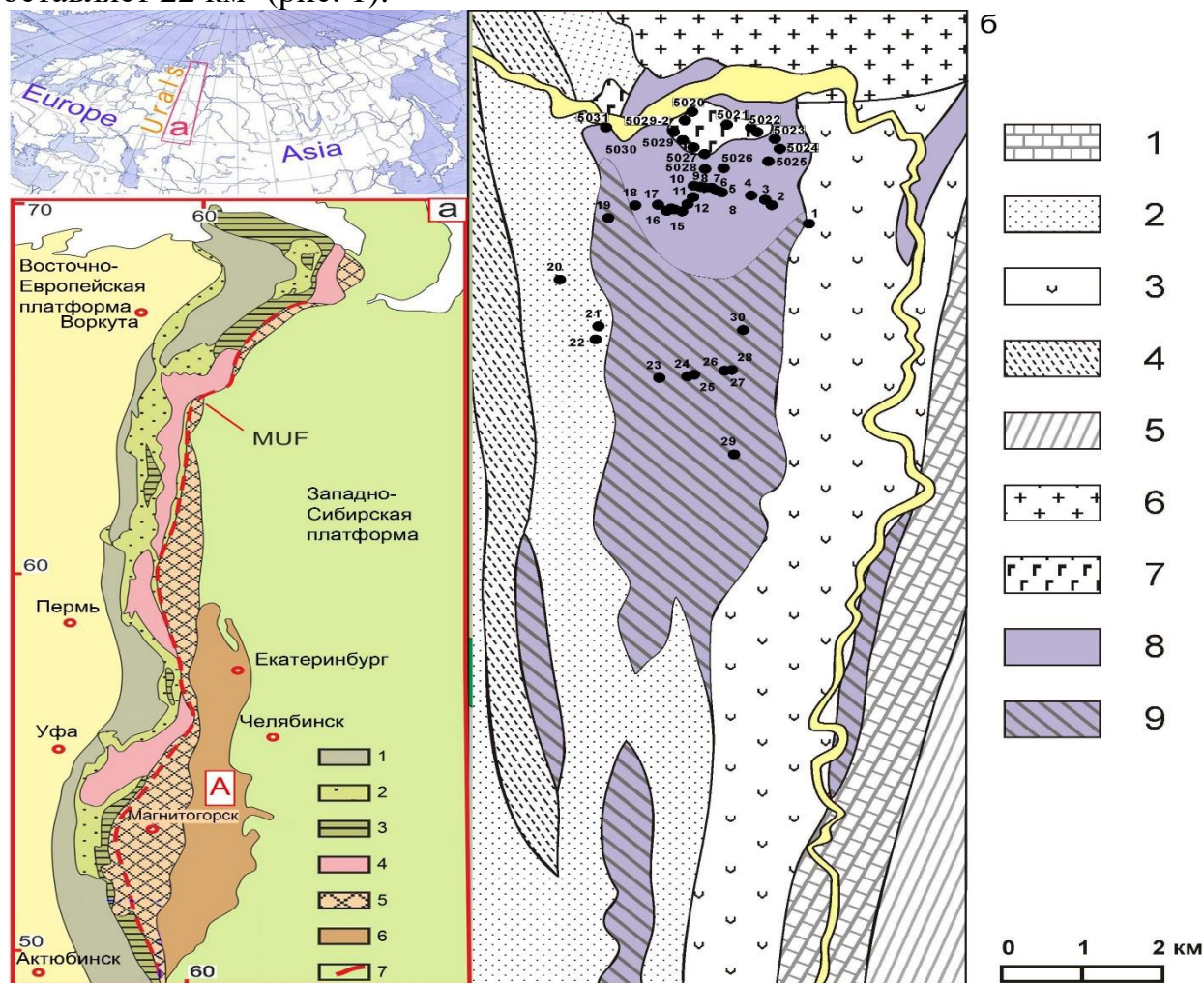


Рис. 1 – Расположение и схема геологического строения района Аминевского массива

где: а – по В.Н.Пучкову [1, 6]; б – по А.В.Моисееву и др. (2002 г.), Н.С.Кузнецову и др. (2011 г.) с упрощениями.

Условные обозначения – а: 1 – Предуральский краевой прогиб, 2 – Западноуральская зона шельфовых осадочных пород, 3 – Западноуральская зона батинальных осадочных пород, 4 – Центрально-Уральская зона (рифей), 5 – Тагило-Магнитогорская мегазона, 6 – Восточно-Уральская мегазона, 7 – зона Главной сутурной зоны Урала («Главный Уральский разлом»); б: 1 – сосновская толща (C_{1ss}): полимиктовые песчаники, алевролиты, глинистые и углеродистые сланцы, известняки, в том числе – мраморизованные, 2 – краснокаменная толща (D_{3kr}): лавы, лавобрекчии, туфы вулканитов от базальтового до риодацитового состава, как щелочных, так и нормальной щелочности, 3 – сухтелинская толща (D_{2-3sh}): песчаники, гравелиты, алевролиты, конгломераты, ксенотуфы пеплового состава, прослой углеродисто-глинистых сланцев, туфов основного состава, 4 – булатовская толща (S_{1-2bl}): сланцы углеродисто-кремнистые углеродисто-глинисто-кремнистые, углеродисто-известковисто-глинистые, 5 – шеметовская толща (O_{2sm}): лавы и туфы базальтов, прослой кремнистых

туффитов и яшмоидов, 6 – гранитоиды Вандышевского массива, 7 – габброиды, 8 – серпентиниты антигоритовые, 9 – тальк-серпентиновые, тальк-карбонатные, хлорит-серпентиновые породы по ультрабазитам. Примечание: далее в тексте четырехзначные номера даны с литером «Пл», а двузначные – с литером «Ам».

В северной части он срезается гранитами Вандышевского массива, на юге – резко сужается, переходя в цепочку изолированных линз. Вмещающие породы представлены преимущественно вулканогенными отложениями вишневской толщи нижнего девона [5]. На западе, на протяжении около 5 км, ультрамафиты контактируют с кремнистыми и углеродисто-глинисто-кремнистыми сланцами брюховской толщи (S_{1-2}).

Массив делится на две части дорогой Уйское - Кидыш, примерно по этой же линии проходит и геологическая граница, разделяющая менее измененную (серпентинитовую) северную часть и южную, интенсивно переработанную гидротермальными процессами.

Различия в геологическом строении отражены также и в рельефе северного и южного блоков. Северная часть приподнята, слабо залесена, характеризуется более расчлененным рельефом и лучшей обнаженностью. Южная часть, напротив, относительно ровная, слабо обнаженная.

По геофизическим данным северный блок характеризуется наличием положительной аномалии силы тяжести, рассчитанная вертикальная мощность ультрамафитов достигает 500 м (Турбанов и др., 1975 г.). Магнитное поле над массивом неоднородно, что обусловлено широкими вариациями содержания в ультрабазитах вторичного магнетита. Южная часть сложена преимущественно серпентин-карбонатными породами, макроскопически светло-зелеными, желтовато-зелеными средне- и крупнозернистыми. Сложены они карбонатом - брейнеритом (40-75%), антигоритом (до 30%), тальком (до 25%), актинолитом (до 5%), тремолитом (до 3%), хлоритом (до 10%). Реже встречаются карбонатные, тальк-карбонатные породы.

В северной части преимущественным развитием пользуются массивные антигоритовые серпентиниты с мелкопластинчатой структурой. Диагностическими пиками для минералов группы серпентина является экзотермический пик при температуре 815-830°C, при этом для породообразующего антигорита таковым является эндотермический пик в диапазоне температур 750-790°C, хризотил диагностируется по эндотермическому пику в интервале 700-740° (рис. 2).

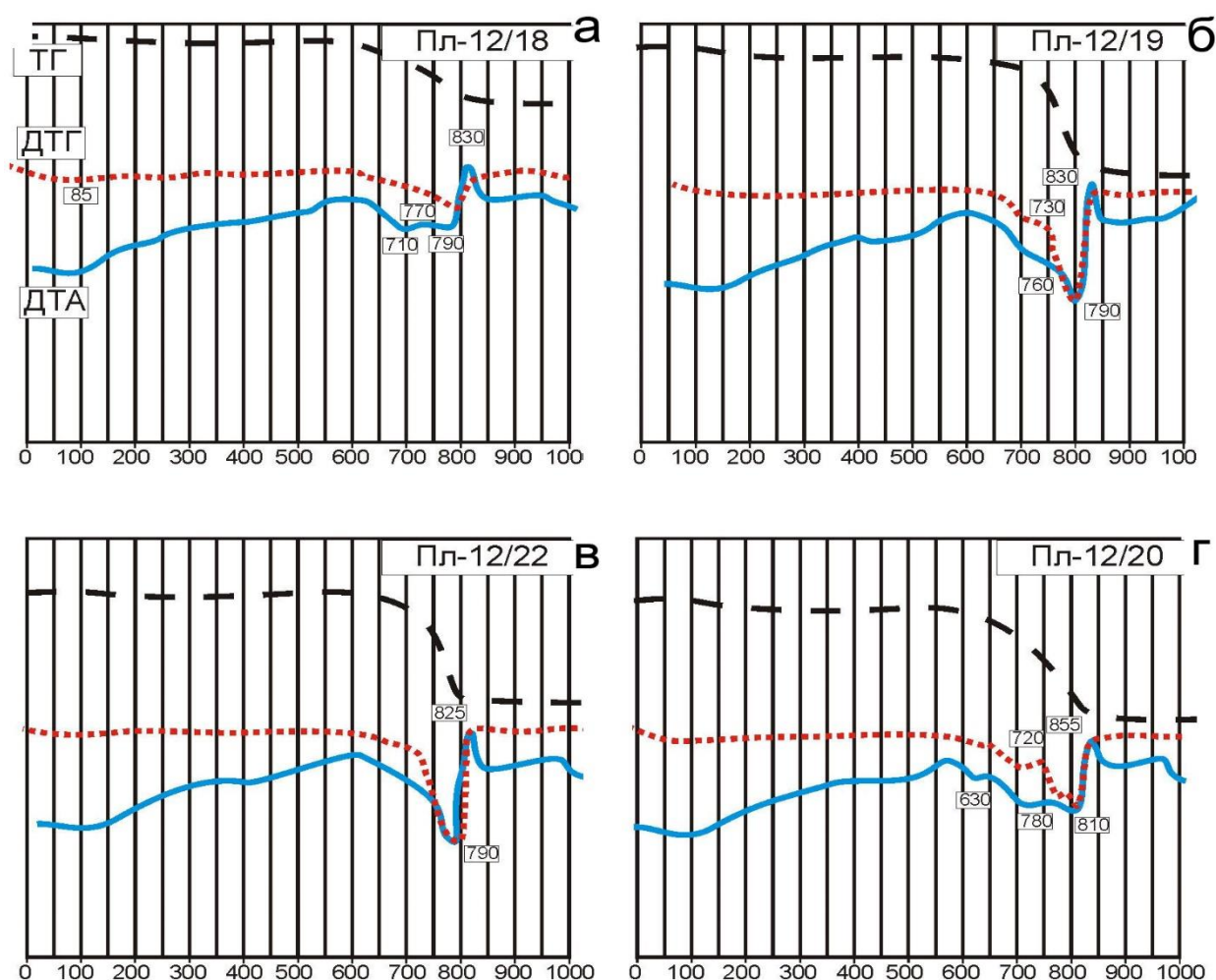


Рис. 2 – Термограммы пород Аминевского массива.

где: а – верлит серпентинизированный (антигорит, хризотил), б – серпентинит хризотил-антигоритовый, в – серпентинит антигоритовый, г – серпентин-хлорит-карбонатная порода по ультрабазиту.

В южной части серпентиниты сильно карбонатизированы и местами полностью превращены в карбонатные породы, что отражается на их термограммах.

Среди серпентинитов вблизи долины р.Уй картируется субизометричное тело пироксенит-габбрового состава площадью около 1 км². Обнажения верлитов и пироксенитов приурочены обычно к пониженным участкам рельефа, содержание в породах клинопироксена варьирует от первых процентов до почти мономинеральных клинопироксенитов (рис. 3).

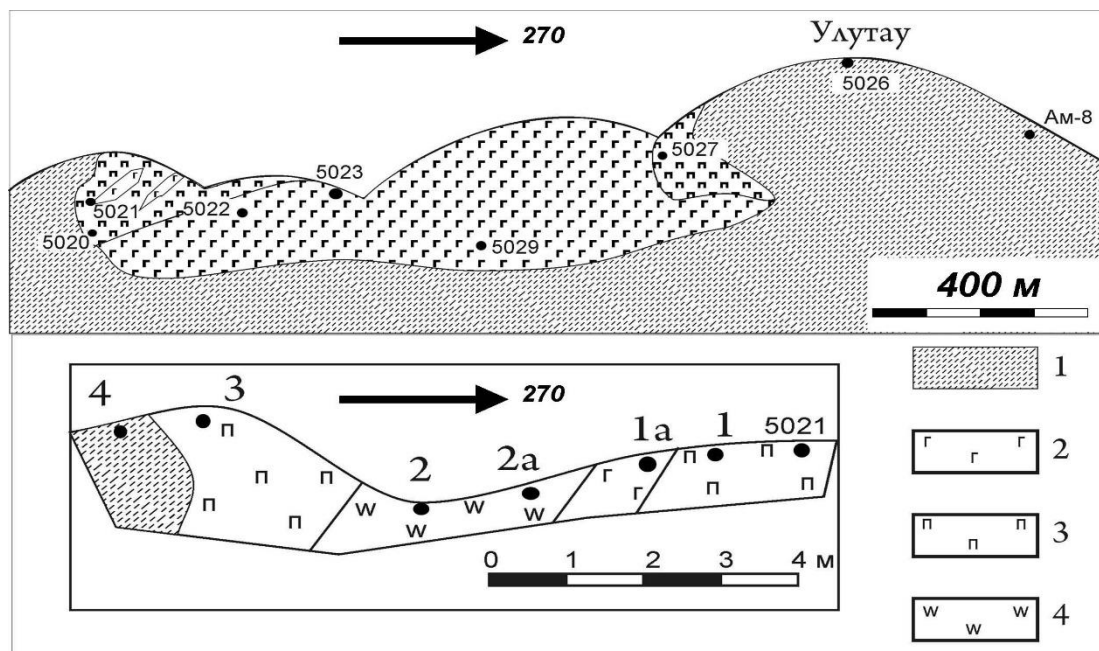


Рис. 3 – Схематический разрез северо-восточной части Аминевского массива, где: 1 – антигоритовые серпентиниты, 2 – габброиды амфиболизированные, 3 – клинопироксениты амфиболизированные, оливиновые клинопироксениты, 4 – верлиты антигоритизированные. Примечание: на врезке – строение фрагмента разреза серпентинит-верлит-клинопироксенитового комплекса в обн.5021 и места отбора образцов.

Петрографические особенности пород. Для характеристики петрографических особенностей пород приведем описание небольшого фрагмента строения серпентинит-верлит-пироксенит-габбрового разреза в обн. 5021 (рис.3). Восточнее вскрытого в промоине участка обнажаются антигоритовые серпентиниты, представленные обр. 5021-4. Структура породы тонкопластинчатая, местами наблюдается новообразованная петельчатая текстура, обусловленная наличием сети просечек пылевидного магнетита. В породе присутствует акцессорный хромшпинелид в количестве до 1%. Он образует идиоморфные изометричные зерна со сглаженными краями размером 0,3-0,5 мм. Наблюдаются единичные псевдоморфозы (?) серпентина по пироксену.

На отрезке от обн. 5021-3 до обн.5021 разрез имеет существенно верлит-клинопироксенитовый состав, иногда переходя в меланократовое габбро (обр.5021-1a). Оливин в породах нацело замещен антигоритом, который образует перекрещенно-тонкопластинчатую структуру (рис.4), псевдоморфную по отношению к первичным зернам оливина. Судя по особенностям морфологии антигоритовых агрегатов, зерна оливина имели размеры от десятых долей мм до 1,5-2 мм, для них характерны округлые очертания. Иногда наблюдаются заливообразные внедрения антигоритовых агрегатов в зерна клинопироксена, а также пойкилитовые включения.

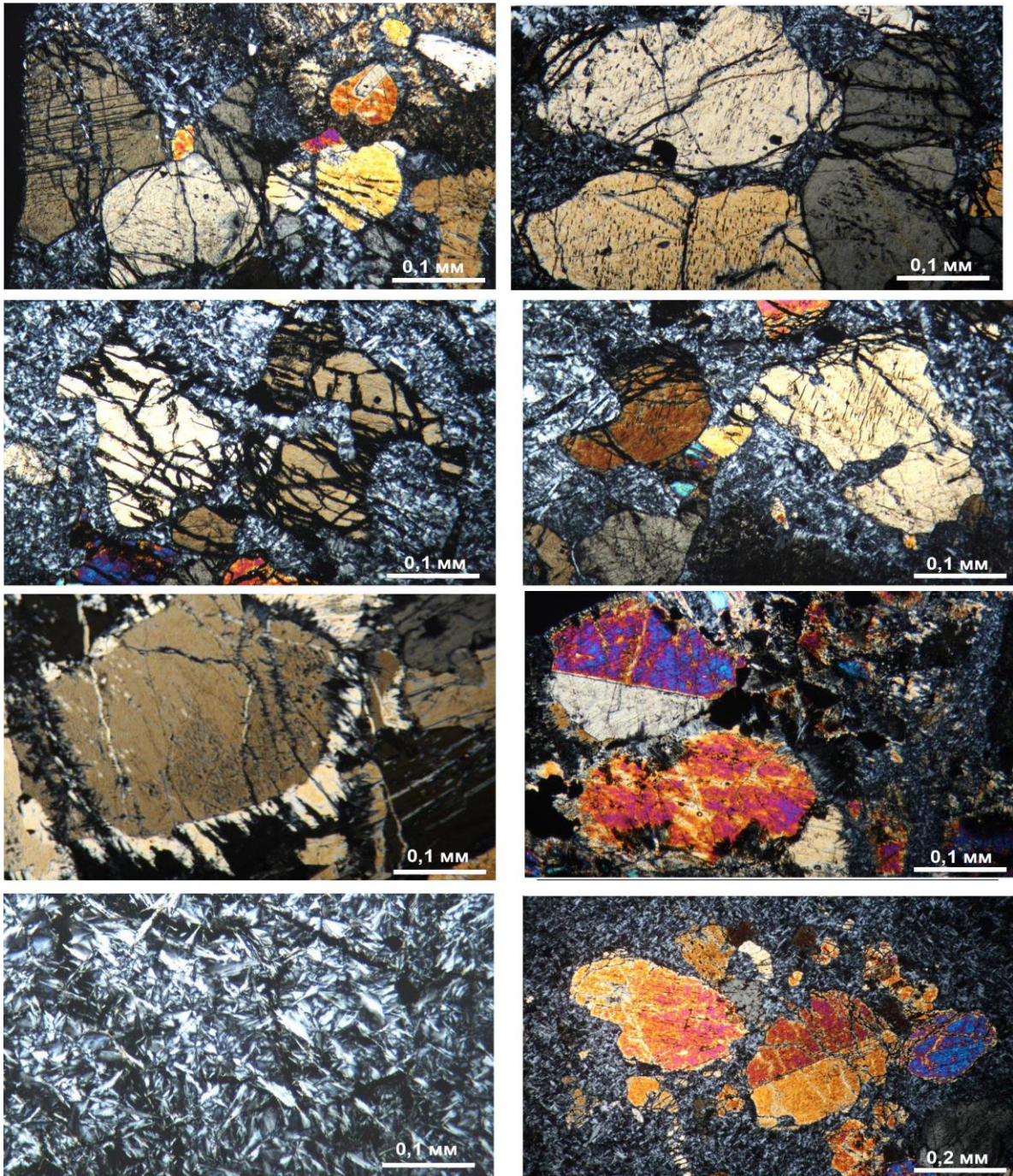


Рис. 4 – Петрографические особенности ультрамафитов Аминевского массива

Клинопироксен во всех изученных образцах не затронут вторичными изменениями, что обуславливает во многих случаях образование «псевдопорфировой» структуры: в тонкопластинчатом матрице апооливинового антигорита расположены таблитчатые зерна клинопироксена, размер их варьирует от 0,2-0,4 мм до 2-3 мм. При этом отмечается, что чем

больше в породе пироксена, то тем более идиоморфными становятся его выделения. В ряде случаев в пироксенах наблюдается двойникование, обусловленное скорее всего деформационными процессами. Клинопироксен иногда замещен частично или полностью амфиболами актинолит-тремолитового ряда (шл. 5021-1), реже – эпидот-хлоритовым агрегатом. В верлитах и клинопироксенитах присутствует незначительное количество плагиоклаза, который чаще всего замещен тонкозернистым агрегатом хлорита, эпидота и пренита. В образце 5021-3 фиксируется брекчьевидная текстура, выраженная в дроблении пироксеновых зерен и внедрения антигорита вдоль трещин в породе. Обращает на себя внимание тот факт, что несмотря на механическую нарушенность, клинопироксен практически не претерпел вторичных изменений.

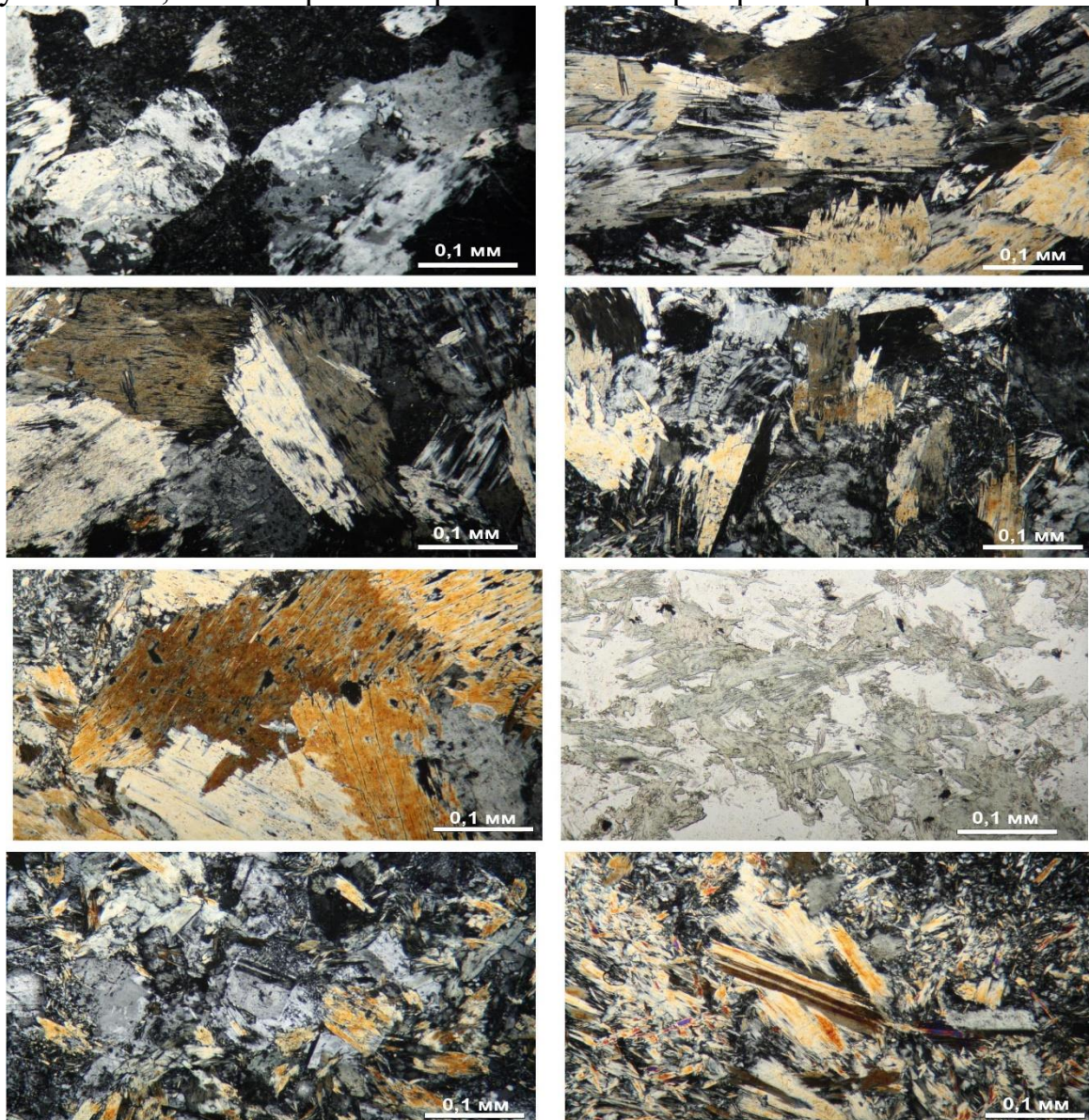


Рис.5 – Амфиболизированные габброиды Аминевского массива

Габброиды слагают невысокий увал, ответвляющийся от вершины хребта (г. Улутау) (как видно из рисунка 5). В составе тела преобладают габбро-диабазы мелкозернистые, мезократовые, реже встречаются среднезернистые габброиды, здесь также в небольшом количестве встречаются верлиты и клинопироксениты (обн. Пл-5027, 5029). Южнее среди серпентинитов отмечаются незначительные по мощности дайкообразные тела габброидов и апогаббровых метасоматитов (обн. Ам-6, 15). Восточная часть северного блока массива обнажена плохо, здесь наряду с делювиально-элювиальными обломками серпентинитов встречаются многочисленные глыбовые развалы жильного кварца и отдельные коренные выходы кварцевых жил (обн. Пл-5024).

Все изученные образцы габброидов представляют собой в той или иной степени измененные породы. Структура метагабброидов чаще всего призматическизернистая, нематогранобластовая, реже – бластогаббровая. В последнем случае (шл. 5029-1) плагиоклаз пелитизирован, а широкие призмы первичного пироксена замещены амфиболовым агрегатом. Наиболее типичны случаи, когда сохраняются реликты свежего плагиоклаза, а пироксен полностью замещен удлинненными призмами амфиболов, имеющими характерные «занозистые» окончания (рис. 5). Размер зерен варьирует обычно в пределах 0,1-0,5 мм, реже – до 1 мм. Соотношение в породах между плагиоклазом и цветными минералами варьирует от меланогаббро и плагиопироксенитов (содержание плагиоклаза <15%) до мезократового габбро (содержание плагиоклаза > 50%).

Петрохимические особенности пород. Ультраосновные породы Аминевского массива полностью превращены в антигоритовые и хризотил-антигоритовые серпентиниты, которые характеризуются простым химическим составом и на 95-99% состоят из окислов кремния, магния и железа. Из других петрогенных компонентов в заметных количествах присутствуют лишь CaO и Al₂O₃ (до 5%), содержание остальных порообразующих оксидов не превышает десятых долей процента (таблица 1).

Результаты нормативных пересчетов химических анализов [7, 8] показывают, что наиболее распространенными породами ультраосновного ряда являются гарцбургиты с содержанием оливина 65-70%, ромбического пироксена 25-35% и клинопироксена менее 5%. Для них характерна низкая железистость (f= 12,85-16,42 %), низкие содержания базальтоидных компонентов: Al₂O₃ (0,98-1,57%, в лерцолитах до 4,65%), CaO (0,005-2,14%) и суммы щелочей (до 0,5%).

Таблица 1 – Содержание петрогенных и примесных элементов в серпентинитах

	3	4	5	6	7	8	9
№ обр.	Ам-8	Ам-16	4813	4818Г	Пл-12/20	Пл-12/22	Пл-12/19
SiO ₂	39,5	36	41,35	52,23	40,4	41,38	38,94
TiO ₂	0,1	0,06	0,1	0,12	0,13	0,07	0,03
Al ₂ O ₃	0,6	1,1	0,7	0,72	4,65	0,98	1,57
Fe ₂ O ₃	14	14,5	4,65	6,88	4,73	8,08	9,85
FeO	-	-	3,96	3,02	4,54	2,8	3,48
MnO	0,09	0,1	0,05	0,15	0,13	0,19	0,15
MgO	35,2	36,4	37,08	30,1	33,41	34,06	35,24
CaO	0,5	0,5	0,05	0,05	1,64	2,14	0,05
Na ₂ O	0,12	0,12	0,07	0,03	0,41	0,49	0,06
K ₂ O	0,05	0,05	0,07	0,03	0,08	0,08	0,07
P ₂ O ₅	сл.	сл.	0,06	0,04	0,027	0,009	0,005
ппп	9,76	11,24	12,2	7	10,3	9,42	10,82
сумма	99,92	100,1	100,3	100,3	100,5	99,7	100,21
Cr	3241	2945					
Ni	675	265					
Co	76	71					
Sc	16	11			20,9	34,4	15,9
Hf	0,24	0,077			0,28	0,52	0,0
Ta					0,0	0,0	0,2
Th	0,42	0,75			0,28	0,66	0,89
U	1,03	0,94			3,75	2,19	0,5
La	0,4	0,52			0,22	0,39	0,072
Ce	0,86	1,09			0,68	0,91	0,19
Pr	0,1	0,14			0,13	0,12	0,033
Nd	0,39	0,59			0,82	0,53	0,18
Sm	0,11	0,17			0,37	0,16	0,066
Eu	0,031	0,013			0,036	0,01	0,062
Gd	0,19	0,23			0,59	0,26	0,13
Tb	0,035	0,036			0,1	0,047	0,023
Dy	0,26	0,22			0,61	0,34	0,17
Ho	0,066	0,05			0,15	0,085	0,045
Er	0,22	0,14			0,45	0,27	0,14
Tu	0,041	0,022			0,07	0,05	0,027
Yb	0,27	0,13			0,44	0,33	0,18
Lu	0,053	0,021			0,075	0,063	0,036
Cr*	1130	1670			2457	2017	2129
Ni*	1140	830			990	450	760
Co*	85	57			96	98	134

Примечание: содержания петрогенных окислов даны в вес.% (силикатный анализ), элементов-примесей – в г/т (нейтронно-активационный анализ), * - атомно-абсорбционный анализ

В серпентинитах содержание никеля несколько ниже, чем в типичных реститах (600-1000 г/т), а концентрации кобальта и хрома сопоставимы с таковыми. В верлитах и клинопироксенитах, ассоциирующих с габброидами в северной части массива, содержания всех трех рассматриваемых элементов сходны с таковыми в серпентинитах, в габброидах происходит постепенное снижение содержаний никеля, более резкое – содержания хрома и почти не изменяется концентрация кобальта (таблица 2).

Таблица 2 – Содержание петрогенных и примесных элементов в пироксенитах и габброидах

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
№ обр.	Пл-12/6	Пл-12/8	Пл-12/18	Ам-15/2	Пл-12/1	Пл-12/3	Пл-12/11	Пл-12/13	Пл-12/17
SiO ₂	53,58	50,56	48,02	44	54,02	52,16	48,68	49,38	49,2
TiO ₂	0,07	0,19	0,1	0,11	0,29	0,3	0,1	0,14	0,13
Al ₂ O ₃	2,77	4,99	1,28	16,9	17,45	11,06	14,25	15,0	16,28
Fe ₂ O ₃	2,21	1,54	4,37	9	1,8	2,16	2,18	2,65	2,87
FeO	6,03	6,16	3,34	-	3,61	5,4	3,61	3,97	4,17
MnO	0,12	0,19	0,2	0,12	0,1	0,16	0,14	0,11	0,11
MgO	21,22	18,95	26,06	13,0	6,25	12,71	12,1	10,49	10,49
CaO	10,95	13,36	10,28	12,5	8,93	10,33	14,69	13,54	12,96
Na ₂ O	0,4	0,64	0,36	1,54	4,9	2,7	1,38	1,52	1,56
K ₂ O	0,05	0,12	0,08	0,1	0,12	0,14	0,08	0,12	0,12
P ₂ O ₅	0,03	0,009	0,005	-	0,053	0,027	0,011	0,04	0,01
ппп	2,42	2,36	5,36	2,48	1,9	1,86	1,94	2,8	2,06
сумма	99,85	99,06	99,45	99,75	99,42	99,01	99,16	99,77	99,96
Cr				514					
Ni									
Co				48					
Sc	29,3	70,7	53,7	45	27,8	64,7	49,9	37,8	51,3
Hf	0,64	0,39	0,77	0,35	0,49	0,6	0,34	0,82	2,14
Ta		1,41				0,43	0,96		
Th	0,14	0,23	0,18		0,065	0,58		0,17	0,53
U	0,54	2,14	0,93	1,16	2,7	2,93	2,91	0,43	2,08
La	0,16	1,0	0,68	0,32	0,45	0,35	0,86	0,2	0,31
Ce	0,58	2,27	1,59	0,88	1,57	1,41	1,76	0,63	0,97
Pr	0,12	0,32	0,22	0,14	0,31	0,33	0,22	0,13	0,18
Nd	0,82	1,48	1,09	0,71	2,24	2,75	0,9	0,81	1,14
Sm	0,4	0,46	0,37	0,25	1,02	1,36	0,24	0,37	0,48
Eu	0,038	0,023	0,16	0,022	0,25	0,064	0,057	0,34	0,3
Gd	0,74	0,7	0,5	0,37	1,53	1,78	0,34	0,5	0,86
Tb	0,14	0,12	0,079	0,06	0,23	0,24	0,05	0,076	0,14
Dy	0,91	0,74	0,47	0,38	1,39	1,35	0,3	0,44	0,9
Ho	0,23	0,18	0,11	0,085	0,32	0,28	0,067	0,095	0,22
Er	0,77	0,54	0,29	0,24	0,87	0,7	0,18	0,25	0,65

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Tu	0,14	0,09	0,047	0,038	0,13	0,096	0,28	0,037	0,11
Yb	0,84	0,52	0,27	0,22	0,71	0,47	0,15	0,19	0,63
Lu	0,17	0,093	0,045	0,037	0,12	0,071	0,026	0,033	0,11
Cr*	1398	978	2102	600	230	464	299	320	345
Ni*	70	180	930	160	470		300		
Co*	49	46	51	64	26	43	42	27	32

Примечание: 1, 3 – пироксениты, 2 – верлит, 4-9 – габброиды; содержания петрогенных окислов даны в вес.% (силикатный анализ), элементов-примесей – в г/т (нейтронно-активационный анализ), * - атомно-абсорбционный анализ

Обращает на себя внимание тот факт, что на фоне в целом закономерной положительной корреляции поведения никеля и хрома от габбро к серпентинитам, в дискретных группах пород содержания этих элементов обнаруживают обратную зависимость. Особенно ярко выражена она в верлит-пироксенитовой части и обусловлена обратной корреляцией содержаний в породах клинопироксена, накапливающего хром, и оливина, концентрирующего никель.

Петрохимические диаграммы для пород габброидного комплекса Аминевского массива рассмотрим на рисунке 6.

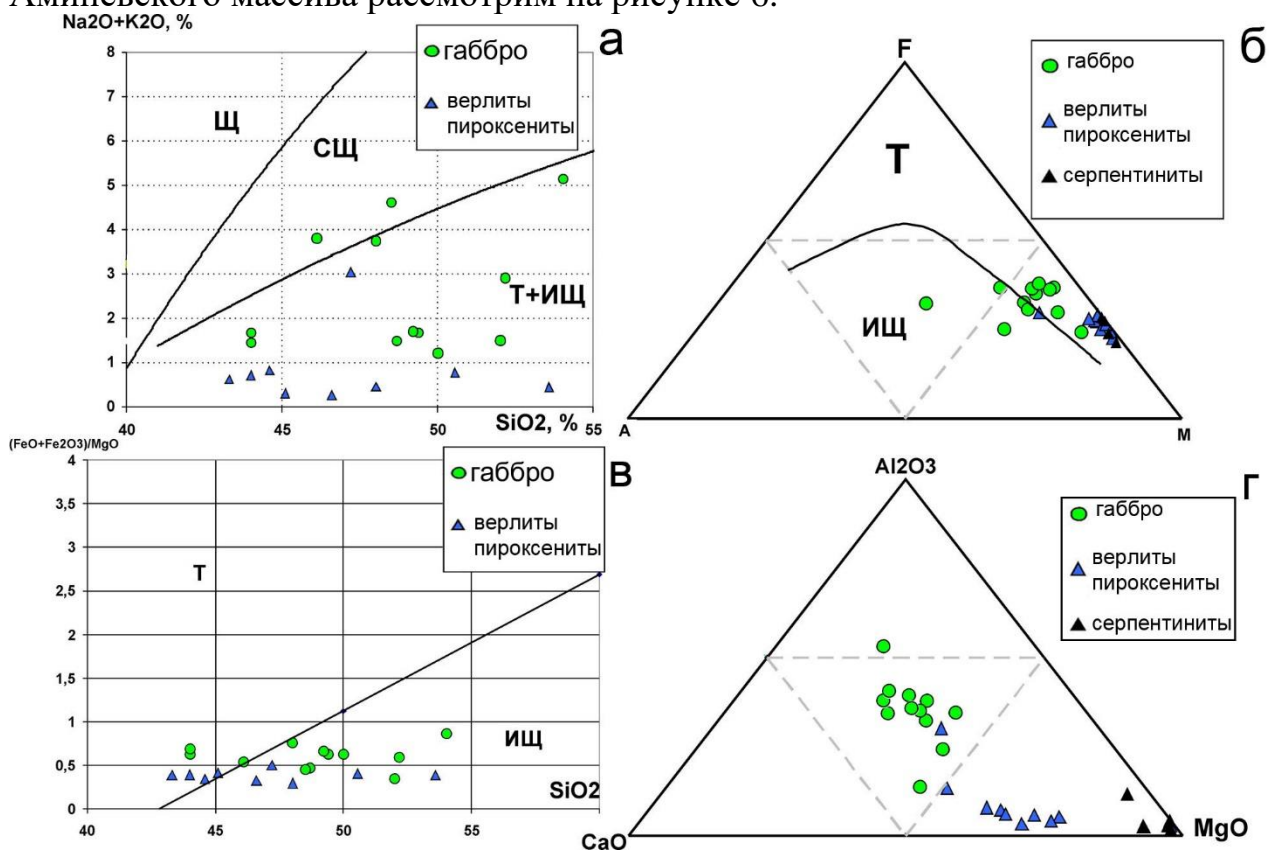


Рис. 6 – Петрохимические диаграммы для пород габброидного комплекса Аминевского массива

Обратимся к классификационным диаграммам для пород основного состава, в качестве которых традиционно используются соотношения $\text{SiO}_2 - (\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$, $\text{SiO}_2 - (\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO})/\text{MgO}$ (диаграмма Миаширо), AFM, ACM (рис.6). Данные диаграммы позволяют по комплексу параметров разделять породы, принадлежащие различным петрохимическим сериям: щелочной, субщелочной, известково-щелочной и толеитовой. По критерию Миаширо подавляющее большинство образцов Аминевского массива принадлежат к известково-щелочным. Подобная же направленность изменения состава пород от ультрабазитов к габбро наблюдается на диаграмме AFM.

Распределение в ультрабазитах редкоземельных элементов характеризуется преобладанием в их составе тяжелых лантаноидов по сравнению с легкими.

В целом, содержание РЗЭ в породах близко к хондритовому, а соотношение $\text{La}_N < \text{Yb}_N$ подтверждает отнесение их к умеренно деплетированному реститу.

В габброидах Аминевского массива содержание редкоземельных элементов не на много превышает таковое в серпентинитах. По характеру распределения редкоземельных элементов среди габброидов выделяется тип с М-образным видом кривой и наиболее высокими содержаниями лантаноидов.

Форма кривой обусловлена повышенными концентрациями средних РЗЭ (Sm, Dy, Gd) по отношению к легким и тяжелым и отрицательной аномалией европия. Другая часть образцов габбро обнаруживает типично офиолитовое распределение лантаноидов с постепенным повышением хондрит-нормированного отношения в ряду от La до Lu. Следует отметить, что габбро Аминевского массива с подобным типом распределения по уровню концентрации РЗЭ значительно уступает многим офиолитовым базитам [9]. В верлитах и клинопироксенитах содержание РЗЭ имеет промежуточные значения между таковыми в реститах и габбро. Соотношение между тяжелыми и легкими РЗЭ в целом близко к единице, то есть кривая распределения представляет собой практически прямую линию на уровне 2-3 единиц хондритового уровня (рис. 7).

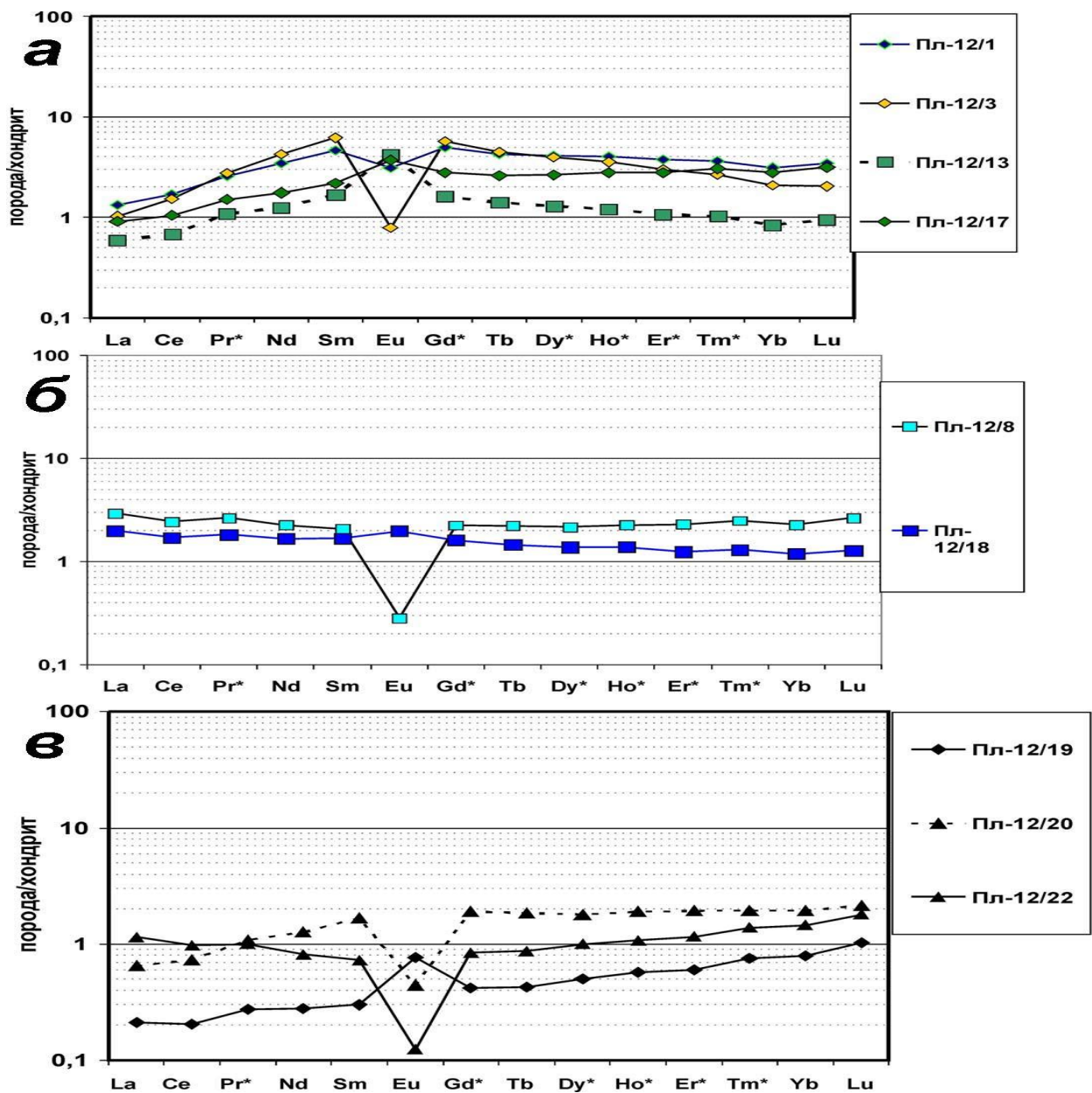


Рис. 7 – Распределение редкоземельных элементов в ультрамафитах и габброидах Аминевского массива

где: а – габброиды, б – верлиты и клинопироксены, в – серпентиниты

Обсуждение и выводы. Приведенные выше геологические, петрографические и петрохимические характеристики ультраосновных и основных пород Аминевского массива позволяют отметить значительное сходство рассматриваемого комплекса с офиолитовыми ассоциациями, несмотря на интенсивно проявленные вторичные процессы (серпентинизацию, амфиболизацию). Подобные изменения являются довольно типичными для офиолитов складчатых областей и описаны в многочисленных публикациях [10]. Принадлежность серпентинитов к антигоритовой фации сопоставляется с

эпидот-амфиболитовой фацией регионального метаморфизма [11]. По петрохимии и нормативному минеральному составу изученные серпентиниты сопоставимы с типичными реститовыми ультрамафитами офиолитов, аналогичные выводы были ранее сделаны также относительно серпентинитов Куликовского и ряда других массивов, которые входят вместе с Аминевским в Миасс-Куликовский пояс [12, 13]. Вероятно, протолитом полностью серпентинизированных ультрамафитов являлись гарцбургиты.

В северной части массива картируется комплекс пород, включающий габброиды и клинопироксениты с реликтами верлитов, который может интерпретироваться как представитель переходных корово-мантийных ассоциаций офиолитов и низов разреза корового комплекса. Петрохимические данные (низкие содержания щелочей и титана) не противоречат данной интерпретации и позволяют отнести верлит-клинопироксенит-габбровую ассоциацию к офиолитовому типу.

Проведенное изучение геологического строения Аминевского массива, а также петрографических, геохимических особенностей пород, позволило сформулировать следующие основные выводы.

1. В строении массива ведущая роль принадлежит полностью серпентинизированным ультрамафитам, метаморфизованным в антигоритовой фации, что сопоставимо с эпидот-амфиболитовой фацией регионального метаморфизма. Судя по ряду петрографических и геохимических особенностей протолитом для антигоритовых серпентинитов служили гарцбургиты офиолитового типа.

2. Для серпентинитов массива характерны очень низкие содержания всех «базальтоидных» оксидов: CaO, Al₂O₃, TiO₂, щелочей и высокие - тугоплавких компонентов: MgO, Ni, Cr. Это позволяет сопоставить их с реститами от частичного плавления верхнемантийного субстрата.

3. Породы верлит-клинопироксенит-габбровой ассоциации по геохимическим особенностям сопоставимы с аналогичными образованиями, присутствующими в офиолитовых габбро-ультрабазитовых массивах. Низкая титанистость, преимущественно известково-щелочной состав и низкое содержание редкоземельных элементов указывают на сходство изученных пород с мафитами островных дуг — дифференциатами расплавов от довольно высоких степеней частичного плавления пиrolита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пучков В.Н. Геология Урала и Приуралья (актуальные вопросы стратиграфии, тектоники, геодинамики и металлогении). Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2010. 280 с.
2. Сначев А.В., Пучков В.Н., Савельев Д.Е., Сначев В.И. Геология Арамилско-Сухтелинской зоны Урала. Уфа: ДизайнПолиграфСервис, 2006. 176 с.

3. Сначев А.В., Пучков В.Н., Сначев В.И., Савельев Д.Е., Бажин Е.А. Большаковский габбровый массив — фрагмент южно-уральской зоны раннекаменноугольного рифта // Докл. РАН. 2009. Т. 429, № 1. С. 79–81.
4. Казанцева Т.Т., Казанцев Ю.В. Фундаментальные проблемы геологии Южного Урала. Уфа: Гилем, Башк.энцикл. 2016. 312 с.
5. Мамаев Н.Ф. Геологическое строение и история развития восточного склона Южного Урала. Свердловск: УНЦ АН СССР, 1965. 169 с. (Труды / ИГ УНЦ АН СССР; Вып. 73).
6. Puchkov V.N. (1997) Structure and geodynamics of the Uralian orogen. In *Orogeny Through Time*. Published by The Geological Society London. Ed. J.-P. Burg and M. Ford. Pp. 201–236.
7. Соболев Н.Д. Ультрабазиты Большого Кавказа. М.: Госгеолиздат. 1952. 239 с.
8. Малахов И.А. Петрохимия ультрабазитов Урала. Свердловск, 1966. 234 с.
9. Магматические горные породы. Т.3. Основные породы. /под. ред. Шаркова Е.В./ М.: Наука 1985. 488 с.
10. Магматические горные породы. Т.5. Ультраосновные породы /под ред. Е.В. Шаркова. М.: Наука, 1988. 508 с.
11. Макеев А.Б., Брянчанинова Н.И. Топоминералогия ультрабазитов Полярного Урала. С.-Пб.: Наука, 1999.
12. Тевелев А.В., Кошелева И.А. Геологическое строение и история развития Южного Урала (Восточно-Уральское поднятие и Зауралье). М., МГУ, 2002, 123 с.
13. Тевелев А.В., Кошелева И.А., Попов В.С. и др. Палеозойды зоны сочленения Восточного Урала и Зауралья / Под ред. А.М. Никишина. М.: Изд-во МГУ, 2006. 300 с. (Труды / Лаборатория складчатых поясов МГУ; Вып. 4. 300 с.

REFERENCES

1. Puchkov V.N. *Geology of the Urals and Cis-Urals (actual problems of stratigraphy, tectonics, geodynamics and metallogeny)*. Ufa: DesignPoligraphService, 2010. 280 p.
2. Snachev A.V., Puchkov V.N., Saveliev D.E., Snachev V.I. *Geology of Aramil-Sukhtely zone of Urals*. Ufa: DizaynPoligraphService. 2006. 176 p.
3. Snachev A.V., Puchkov V.N., Snachev V.I., Saveliev D.E., Bazhin E.A. Bolshakovskii gabbro massif as a fragment of the Southern Urals zone of Early-Carboniferous rift // *Doklady of Earth Sciences*. 2009. V. 429. P. 1267-1269.
4. Kazantseva T.T., Kazantsev Y.V. *Fundamental problems of geology of the Southern Urals*. Ufa: Gilem, Bashk. encycl. 2016. 312 p.
5. Mamaev N.F. *Geological building and evolution history of eastern slope of Southern Urals*. Sverdlovsk: IGG USC AN USSR. 1965. 169 p.

6. Puchkov VN (1997) Structure and geodynamics of the Uralian orogen. In *Orogeny Through Time*. Published by The Geological Society London. Ed. J.-P. Burg and M. Ford. Pp. 201–236.
7. Sobolev N.D. Ultrabasites of Greater Caucasus. Moscow: Gosgeolizdat. 1952. 239 p.
8. Malakhov I.A. Petrochemistry of ultrabasites of Urals. Sverdlovsk: IGG USC AN USSR. 1966. 234 p.
9. Magmatic rocks. V.3. Basic rocks / Ed. Sharkov E.V. Moscow: Nauka, 1985. 488 p.
10. Magmatic rocks. V.5. Ultrabasic rocks / Ed. Sharkov E.V. Moscow: Nauka, 1988. 508 p.
11. Makeev A.B., Bryanchaninova N.I. Topomineralogy of ultrabasites of Polar Urals. Sankt-Peterburg: Nauka. 1999.
12. Tevelev A.V., Kosheleva I.A. Geological structure and evolution of the Southern Urals (East Uralian Uplift and Trans-Urals). Moscow: MSU. 2002. 123 p.
13. Tevelev A.V., Kosheleva I.A., Popov V.S. Paleozooids of the junction zone of the Eastern Urals and Trans-Urals / Ed. A.M. Nikishin. Moscow: MSU, 2006. 300 p.

Сведения об авторе:

Савельев Дмитрий Евгеньевич, член Отделения Наук о Земле и нефтегазовых технологий Академии наук Республики Башкортостан; доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник, Институт геологии — обособленное структурное подразделение Федерального государственного бюджетного научного учреждения Уфимского федерального исследовательского центра Российской академии наук (ИГ УФИЦ РАН). 450006, г. Уфа, Российская Федерация ул. Карла Маркса, д. 16/2. E-mail: savl71@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-8910-6992.

Author's personal details

Savelyev Dmitry Evgenievich, member of the Department of Earth Sciences and Oil and Gas Technologies of the Academy of Sciences of the Republic of Bashkortostan; Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Chief Researcher, Institute of Geology - a separate structural unit of the Federal State Budgetary Scientific Institution of the Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences (IG UFIC RAS). 450006, Ufa, Russian Federation st. Karla Marksa, 16/2. E-mail: savl71@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-8910-6992.

© Савельев Д.Е.