

УДК (UDK) 553.061: 553.41: 553.493: 553.44 (575)

БЕЛЬТАУСКИЙ ГАББРО-ПЕРИДОТИТОВЫЙ МАССИВ (ЗАПАДНЫЙ ТЯНЬ-ШАНЬ, УЗБЕКИСТАН): ГЕОЛОГО-ПЕТРОГРАФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ, АКЦЕССОРНО-МИНЕРАЛОГИЧЕСКАЯ И ГЕОХИМИЧЕСКАЯ СПЕЦИАЛИЗАЦИЯ**GABBRO-PERIDOTITE MASSIF OF BELTAU (WESTERN TIEN-SHAN, UZBEKISTAN): GEOLOGICAL AND PETROGRAPHIC FEATURES, ACCESSORY-MINERALOGICAL AND GEOCHEMICAL SPECIALIZATION**Мамарозиков У.Д., Суяндикова Г.М.
Mamarozikov U.D., Suyundikoiva G.M.Институт геологии и геофизики имени Х.М. Абдуллаева при Университете геологических наук
(Ташкент, Узбекистан)Institute of Geology and Geophysics named after Kh.M. Abdullaev at the University of Geological Sciences
(Tashkent, Uzbekistan)

Аннотация. Изложены результаты исследования по изучению геологической позиции и внутреннего строения, петрографических и петрохимических особенностей Бельтауского габбро-перидотитового массива. Приведены оригинальные данные о видовом и вещественном составе породообразующих минералов. Сделан вывод о расслоенности массива, обусловленной кристаллизационно-гравитационной дифференциации первичной базальтовой магмы, продукты которой представлены отдельными горизонтами лерцолитов, троктолитов, оливиновых габбро, титанавгитовых габбро, габброноритов, габбропироксенитов и анортозитов. Она подтверждается внутренним строением интрузивного массива – анортозиты и безолиновые лейко- и мезократовые габброиды располагаются ближе к центральной части массива, гипсометрически выше, чем меланократовые габброидов и перидотитов, а последние тяготеют к периферическим и более глубоким его частям. Определены формы находений и вещественные составы главных минералов-концентраторов и минералы-носителей железа, титана, меди, никеля, кобальта, хрома, платиноидов, золота, серебра и других металлов. Геохимическая специализация перидотитов характеризуется ярко выраженными повышенными содержаниями никеля и кобальта, которые резко превышают содержания этих элементов, чем в мелано- и мезократовых габбро, лейкогаббро и анортитозитах. Меланократовые, мезократовые габброиды и их жильные дериваты являются относительно медоносными, чем остальные породы массива.

Ключевые слова: перидотиты, габброиды, минералы-концентраторы, минералы-носители, геохимическая специализация, медно-никелевое оруденение.

Дата получения статьи: 29.05.2025
Дата принятия к публикации: 13.07.2025
Дата публикации: 25.09.2025

Abstract. The results of a study on the geological position and internal structure, petrographic and petrochemical features of the Beltau gabbro-peridotite massif are presented. Original data on the species and material composition of rock-forming minerals are presented. It is concluded that the massif is stratified due to crystallization-gravitational differentiation of primary basaltic magma, the products of which are represented by separate horizons of lherzolites, troctolites, olivine gabbro, titanavgitite gabbro, gabbronorite, gabbropyroxenite, and anorthosite. It is confirmed by the internal structure of the intrusive massif - anorthosites and beolin-free leucocratic and mesocratic gabbroids are located closer to the central part of the massif, hypsometrically higher than melanocratic gabbroids and peridotites, and the latter gravitate to its peripheral and deeper parts. The forms of occurrence and material compositions of the main concentrating minerals and carrier minerals of iron, titanium, copper, nickel, cobalt, chromium, platinum, gold, silver, and other metals are determined. The geochemical specialization of peridotites is characterized by pronounced elevated contents of nickel and cobalt, which sharply exceed the contents of these elements than in melano- and mesocratic gabbro, leukogabbro and anorthosites. Melanocratic, mesocratic gabbroids and their vein derivatives are relatively melliferous than other rocks of the massive

Keywords: peridotites, gabbroids minerals-concentrators, minerals-carriers, geochemical specialization, copper-nickel mineralization.

Date of manuscript reception: 29.05.2025
Date of acceptance for publication: 13.07.2025
Date of publication: 25.09.2025

Сведения об авторах:

Мамарозиқов Усмонжон Довронович – доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры «Общая геология» Университета геологических наук (УГН), главный научный сотрудник лаборатории «Изучение рудообразующих процессов» Института геологии и геофизики имени Х.М.Абдуллева при УГН, Министерство горного дела и геологии Республики Узбекистан, e-mail: udmamarozikov@rambler.ru.

Суюндикова Гулчехра Махкамбаевна – научный сотрудник отдела «Изучение рудообразующих процессов» Института геологии и геофизики имени Х.М.Абдуллева при УГН, Министерство горного дела и геологии Республики Узбекистан, e-mail: gsuyundikova@rambler.ru.

Authors' information:

Usmonjon D. Mamarozikov – Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor of the Department of “General Geology” at the University of Geological Sciences (UGS), chief researcher of the laboratory of study of ore-forming processes at the Institute of Geology and Geophysics named after Kh.M. Abdulleev at UGS, Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan, e-mail: udmamarozikov@rambler.ru.

Gulchekhra M. Suyundikova – Researcher of the Laboratory of study of ore-forming processes at the Institute of Geology and Geophysics named after H.M. Abdulleev at UGS, Ministry of Mining Industry and Geology of the Republic of Uzbekistan, e-mail: gsuyundikova@rambler.ru.

1. Введение

В последние годы в мире вновь проявился интерес к освоению промышленных сульфидных медно-никелевых руд, связанных с гипербазит-базитовыми интрузивными массивами – продуктами мантийного магматизма. Вполне понятно, что реализация этого интереса в практике геолого-поисковых и геологоразведочных работ невозможна без надлежащего уровня общей геологической изученности интрузивного гипербазит-базитового магматизма. На базит-гипербазитовые формации приходится существенная рудная нагрузка по запасам Fe, Cr, Ti, Ni, Co, Cu и ЭПГ [1-20]. Поэтому изучение их на предмет расширения и пополнения минерально-сырьевой базы является важным. Особенно это касается Бельтауского габбро-перидотитового массива, где размещено связанное с ним комплексное сульфидно-никелевое и графитовое месторождение Тазказган.

2. Геологическая позиция Бельтауского габбро-перидотитового массива

Бельтауский габбро-перидотитовый массив расположен в юго-западной части Центрально-Кызылкумского рудно-магматического концентра, западной оконечности хребта Кульджуктау (Западный Узбекистан). Массив находится среди доломитизированных, мраморированных известняков, доломитов и кремнисто-карбонатных пород верхнего силура и среднего девона (дженгельдинская свита - S_2dz , башгужумдинская

свита - S_2bd , туркментауская свита – D_1tr , султанбибинская свита - D_2sb). Массив в соответствии с современной схемой стратиграфии и магматизма Кульджуктауского региона имеет двухфазное строение: первая фаза – перидотитовая (серпентинизированные плагиоклазсодержащие лерцолиты), вторая – габброидная (троктолиты, габбро-нориты, титанавгитовые и роогобоманковые габбро, лейкогаббро, анортозиты и их дериваты) (рис. 1).

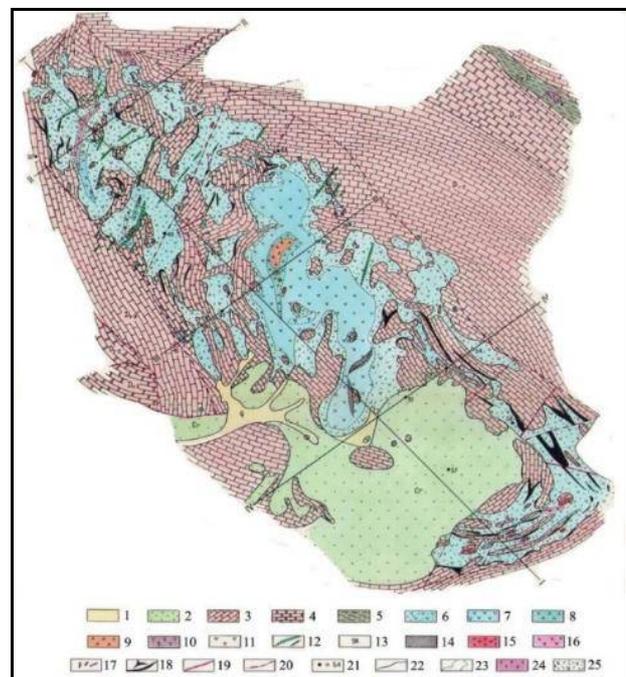


Рис. 1. Схематическая геологическая карта Бельтауского габброидного массива (Составлена В.В. Барановым (1961) с дополнениями Г.Г. Лихойдова [20])

На рис. 1 обозначено: 1 – современные отложения Q; 2 – терригенно-осадочные отложения K; 3 – известняки D₁₋₂; 4 – доломиты и доломитизированные известняки D₁₋₂; 5 – метаморфизованные песчано-сланцевые отложения S_{2-D}; 6 – роговообманковое габбро; 7 – габбро с титан-авгитом; 8 – лейкократовое габбро; 9 – анортозит и полосчатое габбро; 10 – лерцолит и плагиолерцолит; 11 – пегматоидное габбро; 12 – микрогаббро; 13 – карбонатитовый альнеит; 14 – пироксен-гранат-волластонитовый скарн; 15 – гранитоиды; 16 – габбро-сиенит; 17 – кварцевые жилы; 18 – тела графита; тектонические нарушения: 19 – прослеженные, 20 – предполагаемые; 21 – места проходки скважин; 22 – интрузивные контакты; 23 – постепенные взаимопереходы габброидов; 24 – диорит и кварцевый диорит; 25 – габбро-норит и амфиболитизированный габбро-норит.

Бельтауский массив занимает ядро брахисинклинальной складки так, что северо-западная часть его прорывает доломиты и доломитизированные породы, а центральная и юго-восточная части преимущественно известняки. В плане массив представляет вытянутый в юго-восток – северо-западном направлении овал с соотношением осей 2 км: 6 км и занимает площадь 12 км².

Геофизическими методами (электропрофилирование) установлены крутое падение плоскости контакта под Бельтауский массив в его западных, юго-западных и северо-восточных частях. На востоке, юго-востоке и юге контакты массива имеют вертикальное падение со слабым уклоном под массив. По вертикали массив занимает 1600 м при максимальной мощности в центре массива. Внутренне строение массива осложнено многочисленными, часто крупными, ксенолитами вмещающих карбонатных пород (скиалитами). Они занимают значительную площадь современного среза и прослеживаются на глубину по данным структурного глубокого бурения. С глубиной площадь распространения скиалитов, по данным электроразведки уменьшается. Согласные условия залегания интрузива габброидов в известняках характерны для не-

большой части поверхностных выходов, в основном вблизи крупных скиалитов, подчеркивающих своим положением брахисинклинальную структуру [21-23].

Основываясь на наблюдениях О.М. Шиллера, М.Ш. Шарафиева, Л.Б. Когана, В.В. Баранова, Я.С. Висьневского, К.М. Кромской, и своих данных, И.Х. Хамрабаев и А.Ф. Свириденко [27] описывают массив как сложное межпластовое лополитообразное тело, сложенное породами двух комплексов.

Позднее Бельтауский массив был весьма детально изучен Ю.Ф. Баскаковым и Н.И. Крыловым [22], а также Г.Г. Лихайдовым [20]. По их данным он является лополитом, т.е. имеет форму ассиметричной воронки или чаши многоэтажной из-за обилия межпластовых тел перидотитов и габброидов. Последние внедрены в полости отслоения пологой мульды, сложенной известняками и доломитами. Судя по гравиметрическим данным, подошва лополита располагается на глубине не более 1,5-2,2 км.

Возраст массива определен как среднее из 2 замеров K-Ar методом по валовой пробе титанавгитового габбро, 295 млн. лет. По амфиболу и биотиту возраст интрузива определен в пределах 305-285 млн. лет [22, 24, 25].

Массив объединяет многочисленные разновидности габбро, имеющие постепенные взаимопереходы. Средне- и крупнозернистые мелано- и мезократовые оливиновые, титанавгитовые, роговообманковые габбро и габбронориты, лейкократовые габбро и анортозиты, характеризующие вторую фазу, слагают более 80 % объема массива, прорывающий тело гипербазитов (серпентинизированных лерцолитов) первой фазы. В нижних (вскрытых бурением) горизонтах среди преобладающих разновидностей выявлены участки троктолитов, сменяющиеся выше по разрезу отдельными прослоями крупнозернистых габброноритов, титанавгитовых, роговообманковых габбро и стратиформных анортозитов. Однако, этот факт объясняется своеобразным механизмом формирования интрузива, в котором после внедрения произошла дифференциация базальтоидной магмы на основную в апикальной части и

ультраосновную в придонной, с последующим выниманием последней в верхние уже раскристаллизовавшиеся части интрузива, имеющего здесь габброидный состав. В последние годы появилось представление о происхождении Бельтауского габбро-перидотитового массива как продукта «горячей точки» [26].

3. Петрохимические и петрографические особенности пород Бельтауского габбро-перидотитового массива

По химизму и петрохимическим особенностям породы Бельтауского габбро-перидотитового массива соответствуют нормальному магматическому ряду, характеризующему эволюции доорогенного мантийного магматизма (табл. 1). Они имеют закономерно повышающиеся содержания SiO_2 от гипербазитов к базитам и охватывают широкий спектр пород (перидотиты, троктолиты, габбро-нориты, титанавгитовые габбро, роговообманковое габбро, лейкогаббро, анортозиты и парагенетические связанные с ними базитовые дайки).

От перидотитов к габброидам постепенно повышается щелочность пород (значение $\text{Na}_2\text{O}+\text{K}_2\text{O}$ в перидотитах, 1,37-1,52 %, троктолитах 0,78 %; габбро-норитах 2,79 %; титанавгитовых габбро 2,58 %; роговообманковых габбро 3,79 %, лейкогаббро и анортозитах 0,83-2,99 %; габброидных дайках 3,09 %).

По петрохимическим коэффициентам они относятся к натриевым сериям (в перидотитах $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 2,0-3,0$; в троктолитах $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 1,23$; в норитах $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 10,86$; в габбро-норитах $\text{Na}_2\text{O}/\text{K}_2\text{O} = 4,58$, в титанавгитовых габбро – 1,35; в роговообманковых габбро 2,27; в анортозитах 4,98; в дайках основного состава – 2,64), низкоглиноземистых (в перидотитах $\text{al}' = 0,23-0,46$; в троктолитах $\text{al}' = 0,28$; в габбро-норитах $\text{al}' = 1,10$; в титанавгитовых габбро $\text{al}' = 1,30$; роговообманковых габбро $\text{al}' = 1,16$; в лейкогаббро и анортозитах $\text{al}' = 3,22-4,86$; дайках основного состава $\text{al}' = 1,19$) магматических пород.

Значения коэффициентов магнезиальности пород гипербазит-базитового комплекса уменьшается от перидотитов к габброидам и дериватам последних (в перидотитах $\text{Mg}\# =$

63-69; троктолитах $\text{Mg}\# = 65$; габбро-норитах $\text{Mg}\# = 53$; титанавгитовых габбро $\text{Mg}\# = 49$; роговообманковых габбро $\text{Mg}\# = 48$; лейкогаббро $\text{Mg}\# = 11$; анортозитах $\text{Mg}\# = 47$; базитовых дайках $\text{Mg}\# = 45$).

Лерцолиты, плагиоклазсодержащие лерцолиты слагают в пределах массива пластообразные тела средних и мелких размеров. Наиболее крупное тело обнажается в северо-западной части массива. Средняя мощность его 45-50 м, длина по простиранию около 500 м. Характерны четкие контакты с вмещающими габброидами, но без зоны закалки.

Лерцолит – порода черного с зеленоватым оттенком цвета, с кумулятивной и петельчатой структурой и массивной текстурой. Составляет из моноклинного и ромбического пироксена (30-40 %), оливина (25-48 %), биотита и амфибола (8-15 %). В отдельных участках встречается келифитовая структура, которая образуется при появлении келифитовых кайм по границам оливина и плагиоклаза из тремолита или хлорита (рис. 2).

Второстепенные минералы амфибол, хлорит, серпентин, иддингсит и вторичные магнетиты, хромсодержащие магнетиты. Акцессорные: титаномagnetит, ильменит сульфидные минералы, апатит, циркон, сфен, графит.

Оливин кристаллизуется в виде субидиоморфных, иногда гипидиоморфных зерен, разбитых петельчатыми трещинками, заполненными серпентином с магнетитом. Плагиоклаз образует мелкие ксеноморфные агрегаты зерен, выполняющих интерстиции между кристаллами оливина и ромбического пироксена.

Среди продуктов изменения железистого оливина распространен иддингсит – красно-вато-коричневое или оранжевое кристаллическое вещество, содержащие вторичные магнетиты и хром-магнетиты. Иддингсит представляет собой смесь смектита (Mg -содержащего глинистого минерала из группы монтмориллонита), хлорита, серпенина и гетита. Последний минерал, вероятно, и определил яркую окраску иддингсита.

Таблица 1

Химический состав [по 27] и петрохимические коэффициенты пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, в %

Компоненты, коэффициенты	1 (6)	2 (3)	3 (1)	4 (7)	8 (4)	9 (11)	10 (1)	11 (3)	12 (3)	13 (2)
SiO ₂	42,87	45,27	41,00	50,98	46,80	51,26	50,04	48,26	50,67	56,79
TiO ₂	0,51	0,72	сл.	1,11	0,86	1,21	1,04	0,33	1,14	1,06
AlO ₂	8,51	12,86	10,73	16,52	16,63	16,77	25,52	26,44	17,50	17,20
Fe ₂ O ₃	2,35	1,68	5,98	0,09	0,67	0,96	0,50	0,35	1,54	0,62
FeO	8,95	8,81	7,41	7,00	5,88	6,55	6,58	2,52	6,58	5,18
MnO	0,16	0,06	0,17	0,11	0,08	0,11	0,06	0,02	0,13	0,10
MgO	25,19	17,54	24,55	7,96	6,25	6,93	0,85	2,57	6,54	4,82
CaO	4,51	10,03	4,30	10,31	17,17	9,45	11,20	15,03	9,20	5,92
Na ₂ O	1,02	1,03	0,43	2,29	1,48	2,63	0,05	2,49	2,24	2,93
K ₂ O	0,50	0,34	0,35	0,50	1,10	1,16	0,78	0,50	0,85	2,10
P ₂ O ₅	0,07	0,15	н/о	0,10	0,19	0,21	0,09	0,06	0,13	0,09
H ₂ O-	0,53	н/о	0,88	0,25	0,20	0,26	1,02	0,10	0,51	0,43
H ₂ O+	3,55	1,39	3,92	0,27	0,00	1,99	н/о	0,61	2,70	2,25
CO ₂	0,47	н/о	н/о	0,27	0,69	0,41	н/о	0,46	0,39	0,41
SO ₃	0,02	н/о	н/о	0,09	0,01	0,01	н/о	0,03	н/о.	н/о
S	0,13	0,27	н/о	0,09	0,00	0,02	0,15	0,01	0,20	н/о
Сумма	99,34	100,15	99,72	98,94	98,01	99,93	97,88	99,78	100,32	99,9
Na ₂ O+K ₂ O	1,52	1,37	0,78	2,79	2,58	3,79	0,83	2,99	3,09	5,03
Na ₂ O/K ₂ O	2,04	3,03	1,23	4,58	1,35	2,27	0,06	4,98	2,64	1,40
al'	0,23	0,46	0,28	1,10	1,30	1,16	3,22	4,86	1,19	1,62
f'	37,16	28,81	38,11	16,27	13,74	15,76	9,03	5,79	15,93	11,78
Mg#	69,03	62,58	64,71	52,89	48,83	47,99	10,72	47,24	44,61	45,39
K _f	30,97	37,42	35,29	47,11	51,17	52,01	89,28	52,76	55,39	54,61

Примечание: 1 – лерцолит, 2 – плагиоклазсодержащий лерцолит, 3 – троктолит, 4 – габбро-норит, 5 - титанавгитовое габбро, 6 - роговообманковое габбро, 7 – лейкогаббро, 8 – анортозит, 9 – дайка микрогаббро, 10 – микроклинизированное роговообманковое габбро; цифры в скобках – количество анализов; н/о – не обнаружено. Mg#=MgOx100/MgO+Fe₂O₃+FeO (магнезиальность), K_f=(Fe₂O₃+FeO)x100/Fe₂O₃+FeO+MgO (железистость); al'=Al₂O₃/Fe₂O₃+FeO+MgO (глиноземистость), f'= Fe₂O₃+FeO+MnO+MgO+TiO₂ (фемичность).

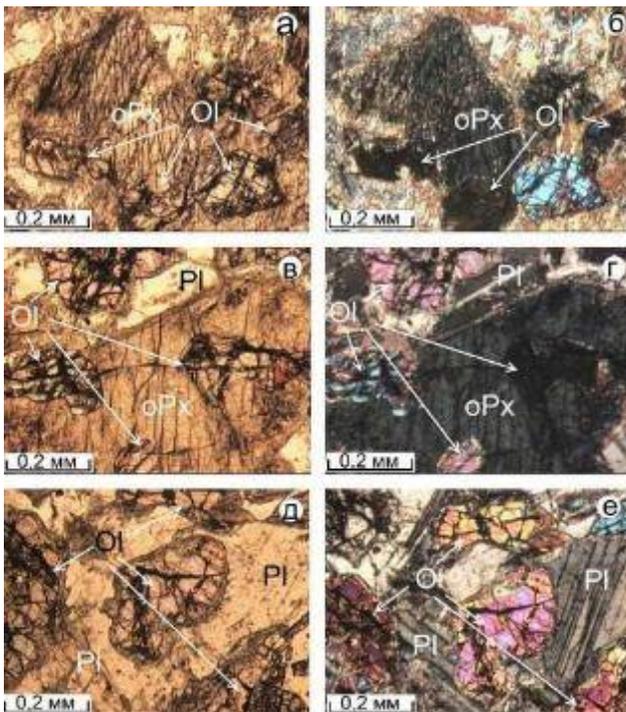


Рис. 2. Плагиоклазсодержащий лерцолит.
Бельтауский массив. Шлиф №Бл-58,
а-, в-, д – николи параллельные,
б-, г-е – николи скрещены

а-г – фрагменты пойкилитовой структуры. Она характеризуется присутствием в относительно крупных кристаллах ромбического пироксена (oPx) незакономерно ориентированных, более мелких включений оливина (Ol). Пойкилитовые вростки часто корродированы и имеют округлую форму;

д-е – фрагменты келифитовой структуры, которая по своей природе является вторичной и келифитовые каймы по границам оливина (Ol) и плагиоклаза (Pl) из тремолита и хлорита возникли после полной раскристаллизации породы вследствие реакционного взаимодействия минералов между собой в твердом состоянии в присутствии позднемагматических растворов.

Первичные акцессорно-рудные минералы в породе чаще представлены редкими зернами ильменита и апатита. Магнетиты и хромсодержащие титанистые магнетиты являются продуктами разложения оливина, которые образуют своеобразные шнуровидные выростки в серпентиновой массе или формы «конского хвоста» в иддингсита. В некото-

рых зернах оливина отчетливо наблюдаются структуры распада в виде тонких ламелей магнетита, протянувшихся в определенном кристаллографическом направлении (вероятно, вдоль плоскости призмы) в пределах одного зерна.

Эндоконтактовые части крупных тел лерцолитов и мелкие тела, по составу, отвечают плагиоклазсодержащим лерцолитам и содержат плагиоклаз (до 10-15%). Структура породы панидиоморфнозернистая, местами пойкилитовая. Мелкие тела обычно не сопровождаются изменениями во вмещающих габброидах. Крупные же тела вызывают перекристаллизацию вплоть до образований крупноблочных пегматоидов.

Троктолиты отмечаются лишь в кернах. Порода состоит из плагиоклаза (до 40%) и оливина (до 60%), в числе прочих отмечаются клинопироксен биотит, пренит, серицит, хлорит, серпентинит, рудные минералы (рис. 3).

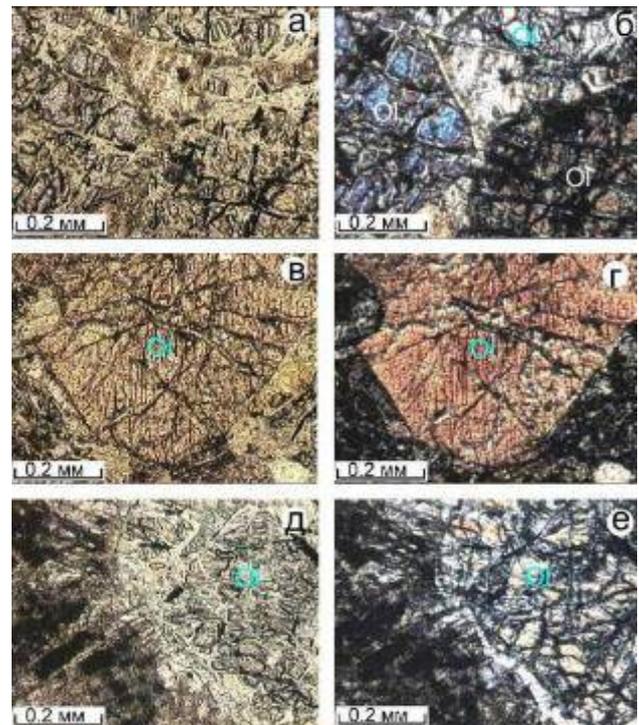


Рис. 3. Серпентинизированный троктолит.
Шлиф № Бл-57, а-, в- и д – николи параллельные, б-, г- и е – николи скрещены

а-б- реликт крупных панидиоморфных зерен оливина, замещенных серпентином и вторичным магнетитом; в-г – зерна оливина

в сосюритовой массе; д-е – взаимоотношение сосюритизированного плагиоклаза с серпентинизированным оливином. По краю последнего развита килобитовая кайма, состоящая из тремолита и хлорита.

Оливиновое габбро – порода темно-серая с зеленоватым оттенком, среднезернистая, структура офитовая (рис.4, а-б и д-е) с элементами пойкилитовой (рис. 4, в-г). Структура породы офитовая (а-б и д-е) с элементами пойкилитовой (в-г). Зерна основного плагиоклаза (Pl) идиоморфны по отношению к клинопироксену (Px) и оливину (Ol). Кристаллы оливина в некоторых случаях содержат раскристаллизованные включения рудогенерирующего флюида. В пироксене отмечаются пойкилитовые включения плагиоклаза (в-г).

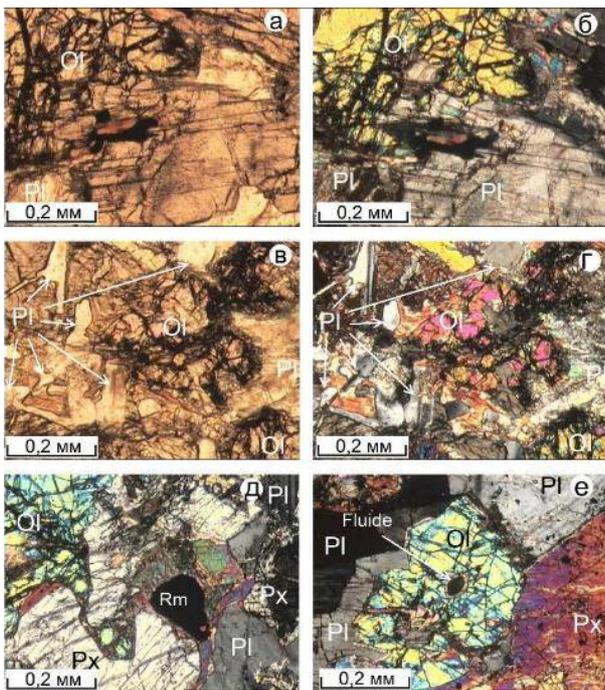


Рис. 4. Оливиновое габбро. Шлиф № Бл-40, а и в – николи параллельные, остальные – николи скрещены

Центральная часть Бельтауского массива сложена **титанавгитовыми габбро**. Кроме того, в виде небольших линзообразных тел встречается повсеместно. Эта порода от светлого до темно-серого цвета с характерным сиреневым оттенком. Состоит из титанавгита (34-37%), плагиоклаза (50-54%),

амфибола (8-10%), биотита (0,12%), кальцита (0-2%) и сфена (0-5%). Размер зерен 0,5-1,2 мм (рис. 5).

Порода в основном сложена удлиненными таблитчатыми, призматическими зернами основного плагиоклаза (Pl) и клинопироксена – титанавгита (Px). Второстепенные породообразующие минералы представлены бесформенными решетчатыми кристаллами роговой обманки (Amf), чешуйками биотита (Bt), рудными минералами (Rm) – ильменитом, сфеном и сульфидами. Вторичные минералы – сосюрит по плагиоклазу, мусковит по биотиту. Плагиоклаз идиоморфен по отношению к титанавгиту, кроме того, его пойкилитовые включения встречаются в последнем.

Размеры зерен титанавгита – сотые доли миллиметра, 2-2,5 мм. Характерен сиреневый цвет, по которому он легко узнается в породах. Под микроскопом имеет различную интенсивность окраски в сиреневых и розовых тонах, иногда со слабым плеохроизмом по прямой схеме, угол погасания $C:N_g = 48-50^\circ$. Образует ксеноморфные, изредка короткостолбчатые кристаллы (рис. 5 и 6). Характерна уралитизация – замещение титанавгита волокнистой зеленой роговой обманкой.

В пределах Бельтауского массива выделяются также и тела **габбро-норитов** (рис. 6). Они состоят из плагиоклаза (55-69%), бронзита (8-19%), клинопироксена (до 21%), амфибола (0-10%), биотита (2-6%). Акцессорные минералы: апатит, ильменит, сфен, циркон.

Для тел габбро-норитов типичен линзообразный характер. Обращает на себя внимание развитие габбро-норитов преимущественно в северо-западной части Бельтауского массива, вмещающими породами которой являются доломитизированные карбонатные породы.

Для богатых оливином пород Бельтауского массива (плагиоклазосодержащие лерцолиты, трактолиты и оливиновые габбро) не вызывает сомнения интертеллурическая природа кристаллов оливина.

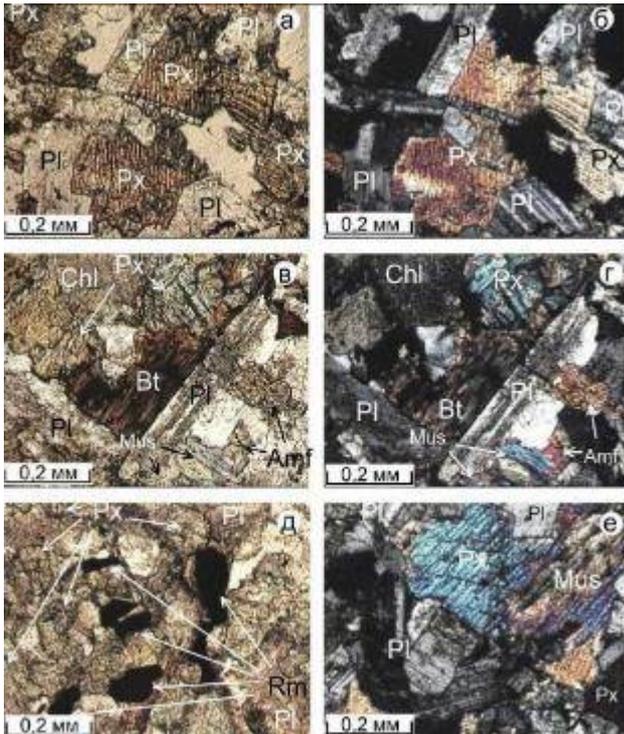


Рис. 5. Мелкозернистое титанавгитовое габбро. Шлиф № Бл-42, а, в и д – николи параллельные, остальные – николи скрещены

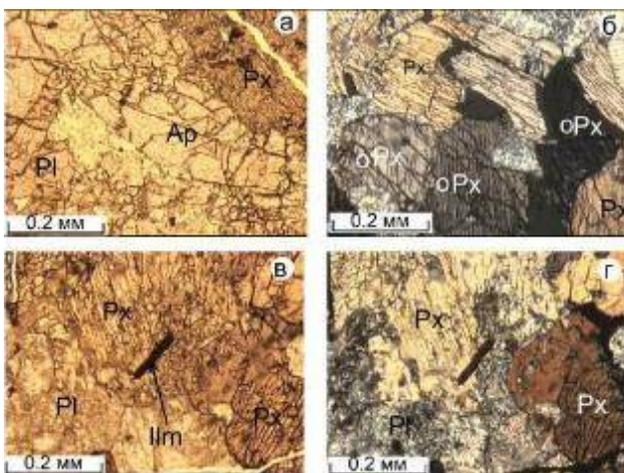


Рис. 6. Апатитоносный габбро-норит. Шлиф № БЛ-26, а-в – николи параллельные, б-г – николи скрещены

а - относительно крупный кристалл апатита в плагиоклаз-пироксеновой матрице породы; б - шликр, состоящий из ортопироксена (oPx) и клинопироксена (cPx) в габбро-норите; в-г - взаимоотношение сосюритизированного плагиоклаза с пироксеном, содержащим игольчатый ильменит.

Считается, что оливин кристаллизовался в глубинном очаге и в дальнейшем гравита-

ционно накапливался в их придонной части или придонной части магматической камеры, формируя слои перидотитов (лерцолитов). По составу оливин из плагиолерцолитов не отличается от оливинов из габброидов, в основном представлен хризотилом (Fo₇₄-Fo₇₉). Для оливинов этих пород статистически значимые отличия в содержаниях отмечены только для Fe и Mg (табл. 2).

Железистость оливина из лерцолитов, троктолитов и оливиновых габбро изменяется от Fa₂₁ до Fa₂₆. Наиболее железистые разновидности минерала определены в оливиновых габбро – Fa₂₆. Самые маложелезистые оливины установлены в троктолитах – Fa₂₁, но они имеют максимальную никеленосность (NiO – 0,17 %) и содержат примеси кобальта (CoO – 0,10 %) и меди (CuO – 0,02 %). Содержание MnO в оливинах закономерно растет с увеличением магнезиальности минерала (%): Fo₇₄ – 0,24; Fo₇₉ – 0,41. Количество Cr₂O₃ в оливинах варьируют от 0,02 % в оливиновых габбро до 0,12 % в троктолитах, в лерцолитах – 0,04 %. Для сравнения можно отметить, что в оливинах лерцолитов Северного Тамдытау значение его достигает до 0,23% [9].

Пироксены являются главнейшими наиболее широко распространенными породообразующими фемическими минералами перидотитов и габброидов массива. Ромбические пироксены в породах массива характерны для лерцолитов, оливиновых габбро, габбро-норитов и жилных дериватов последних – диабазов. В большинстве случаев ромбические пироксены представлены или бронзитом или гиперстеном. Например, состав ромбического пироксена в плагиоклаз-содержащих лерцолитах отвечает бронзиту (En₇₇Fs₂₁Wo₂), тогда как в оливиновых габбро состав колеблется от бронзита (En₇₈Fs₂₀Wo₄) до гиперстена (En₅₅Fs₄₂Wo₃). Диабазы – жилные дериваты габброидов исследуемого массива помимо нормальных гиперстенов (En₅₆Fs₄₁Wo₃) содержат более магнезиальные гиперстены (En₆₁Fs₃₅Wo₄). Хотя ромбические пироксены представляют собой в основном метасиликаты магния и железа, в них присутствуют ионы Al, Ca, Ti, Mn, V, Cr и Ni. В бронзитах и гиперстенах

пород массива суммарное количество их не превышает 5%.

Гиперстены характеризуются относительно большими содержаниями марганца (MnO – 0,39-0,75%), ванадия (V_2O_3 – до 0,07%), никеля (NiO – до 0,08%) и кальция (CaO – 1,45-1,83%), чем в бронзитах (MnO – 0,22-0,25%; V_2O_3 до 0,03%; NiO – до 0,02%;

CaO – 0,93-0,98%). В составе бронзита наблюдается увеличение содержания титана (TiO_2 – 0,34-0,49). В бронзитах количество примеси хрома колеблется от 0,01% до 0,16%, в гиперстенах – от 0,06% до 0,12%. Гиперстены диабазов содержат примеси кобальта (CoO – 0,13%).

Таблица 2

**Результаты микронзондовых анализов оливинов и пироксенов пород
Бельтауского габбро-перидотитового массива, %**

Название и номер породы	n	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	V ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	NiO	CoO	Всего
Оливин															
Серпентинизир. лерцолит, БЛ-58	4	37,53	0,03	1,26	22,77	0,18	0,04	0,04	38,14	0,04	0	0	0	0	100,03
Серпентинизир. троктолит, БЛ-57	4	37,42	0,08	0,21	19,28	0,41	0,02	0,12	41,41	0,13	0	0	0,17	0,10	99,35
Оливиновое габбро, БЛ-40	2	37,05	0,03	1,41	23,84	0,24	0,015	0,02	37,40	0,01	0	0	0,05	0	100,02
Бронзит и гиперстен															
Серпентинизир. лерцолит, БЛ-58	6	54,44	0,34	1,88	13,66	0,22	0,01	0,01	28,37	0,98	0	0	0,02	0	99,93
Оливиновое габбро, БЛ-40	6	54,13	0,49	2,19	12,83	0,25	0,03	0,16	28,32	0,93	0	0	0,015	0	99,34
Ti-авгитовое габбро, БЛ-43	3	49,56	0,36	0,58	26,08	0,54	0,01	0,08	20,94	1,83	0	0	0,02	0	100
	1	49,17	0,29	0,18	28,64	0,75	0,01	0,06	19,34	1,54	0	0,02	0	0	100
Диабаз, БЛ-49	10	51,90	0,26	2,04	20,45	0,40	0,07	0,11	20,28	1,81	0	0	0,08	0	97,40
Диабаз, БЛ-36	6	50,39	0,25	1,75	24,82	0,39	0,06	0,12	19,34	1,45	0	0	0,05	0,13	98,75
Диопсид и магнезиальный салит															
Серпентинизир. троктолит, БЛ-57	1	51,38	0,85	2,73	4,32	0,07	0,09	0,37	16,80	23,22	0	0,06	0,11	0	100
Оливиновое габбро, БЛ-42	1	49,25	0,18	1,96	10,31	0,34	0,20	0,19	12,29	20,26	0,13	0,04	0	0	95,17
	1	51,74	0,06	1,47	10,55	0,28	0,13	0,15	13,24	22,28	0	0	0	0	99,90
Ti-авгитовое габбро, БЛ-43	1	49,92	0,16	0,08	11,03	0,24	0	0,16	14,27	23,24	0	0,12	0,04	0,03	99,82
Габбро, БЛ-54	2	53,68	0,08	1,65	7,78	0,13	0,10	0,20	14,24	22,69	0	0,01	0	0	100,56
Габбро-пироксенит, БЛ-30	3	51,67	0,45	1,88	5,38	0,08	0	0,99	15,31	23,84	0	0,13	0,01	0	100,31
Авгит, Ti-авгит и их субкальциевые разновидности															
Оливиновое габбро, БЛ-40	1	52,87	0,66	3,26	5,24	0,17	0,11	0,16	17,07	20,05	0,35	0	0,05	0	99,99
Оливиновое габбро, БЛ-42	1	48,66	0,78	4,56	14,46	0,20	0,03	0,30	13,80	10,50	0	0,29	0	0	93,58
	6	52,76	0,66	4,96	15,14	0,20	0,09	0,11	14,94	11,44	0,02	0,26	0	0	100,58
Ti-авгитовое габбро, БЛ-43	1	52,08	0,14	1,66	10,22	0,13	0	0,19	19,74	11,86	0	0,14	0,03	0	96,19
	4	44,35	2,90	8,70	16,16	0,13	0,18	0,21	12,89	12,24	0,20	0,97	0,03	0	98,96
Габбро-норит, БЛ-26	7	45,50	1,69	7,87	9,17	0,09	0,05	0,26	9,61	25,49	0,08	0,11	0,02	0	99,94
Габбро, БЛ-54	3	54,21	0,30	4,75	9,30	0,16	0,09	0,19	16,67	13,23	0,12	0,09	0	0	99,11
Габбро-пироксенит, БЛ-30	5	54,61	0,05	1,73	8,55	0,15	0	0,69	18,73	14,07	0	0,14	0,01	0,08	98,81
	1	41,27	17,60	3,02	5,53	0,09	0	1,14	9,57	21,56	0	0,19	0,02	0	99,99
Анортзит, БЛ-28	3	45,57	0,46	7,44	13,47	0,20	0	0,35	15,56	16,57	0	0,36	0	0	99,98
Анортзит, БЛ-29	7	53,12	0,51	4,32	11,11	0,12	0,11	0,20	16,21	12,33	0	0,08	0	0	98,11
	2	49,49	0,88	4,92	9,57	0,20	0,23	0,32	14,60	19,20	0	0,04	0	0	99,45
Диабаз, БЛ-36	3	49,62	0,57	3,46	15,13	0,18	0,08	0,24	14,57	10,96	0	0,25	0,03	0,10	95,19
	3	51,89	0,18	1,63	11,06	0,19	0,11	0,18	13,03	20,63	0,04	0,08	0	0,06	99,08
Диабаз, БЛ-49	2	51,80	0,48	2,47	9,53	0,27	0,19	0,20	13,81	21,28	0	0	0,07	0	100,10
	1	48,38	1,15	5,96	10,73	0,16	0,15	0,07	15,11	11,11	0	0,45	0,04	0	93,31

Примечание: здесь и далее в тексте и таблицах: $FeO^* = FeO + Fe_2O_3$; n – количества определений; содержания CO_2 и H_2O – не определены; микронзондовые анализы выполнены У.Д.Мамарозиковым на электронном микроанализаторе «Jeol-8800R» (Япония) в ИГиГ УГН.

Видовой состав моноклинного пироксена в породах массива широко варьирует от диопсида, магнезиального салита до титанавгита, авгита и их субкальциевой разновидности. В породах массива диопсиды и магнезиальные салиты определены только в троктолитах, оливинных габбро и габбро-пироксенитах. Обычно в моноклинных пироксенах серии диопсида – магнезиального салита, встречающихся в перидотитах и меланократовых габброидах массива присутствует некоторое количество ионов, замещающих Ca, Mg и Fe. Содержания примесей титана и хрома в диопсидах значительно больше (TiO_2 – 0,45-0,85%; Cr_2O_3 0,37-0,99%), чем в магнезиальных салитах (TiO_2 – 0,06-0,18%; Cr_2O_3 – 0,15-0,20%). Последние содержат относительно преимущественные количества марганца – MnO – 0,24-0,34 %, а диопсиды – MnO – 0,07-0,08%. Кроме того, незначительные содержания примеси никеля установлены в диопсидах троктолита (NiO – 0,11%) и оливинных габбро (NiO – 0,04%).

Проведенные нами микронзондовые исследования и интерпретация их результатов с помощью классификации [30] показывают, что основная масса моноклинных пироксенов в габброидах массива является членом титанавгит – субкальциевый титанавгит – авгитовой серии. Первые две из них составляют 30 % от общей массы минералов серии. Уменьшение содержания титана в поздних авгитах и субкальциевых авгитах мы связываем с фракционированием титана во время кристаллизации ильменита. Титанавгит и его субкальциевая разновидность характерны мелано- и мезократовым габброидам массива – оливинным, титанавгитовым габбро, габбро-норитам и габбро-пироксенитам. Содержание окиси титана в этих минералах колеблется от 1,5 % до 2,90 %, редко в субкальциевых титанавгитах достигает до 17 %. Общими химическими особенностями всех моноклинных пироксенов из изученных габброидов является их средняя и высокая магнезиальность $\#Mg = MgO * 100\% / (MgO + FeO^*)$. Следует отметить, что значения $\#Mg$ находятся в пределах 44-81%. При этом максимальные количества описываемого параметра установ-

лены для субкальциевых авгитов ($\#Mg=76,5$) из оливинного габбро и субкальциевых титанавгитов ($\#Mg=81$) из титанавгитовых габбро.

Характерной чертой для моноклинных пироксенов титанавгит – субкальциевый титанавгит – авгитовой серии из габброидов массива является постоянное содержание примеси трехоксида хрома: в оливинном габбро Cr_2O_3 – 0,11-0,30%; в титанавгитовом габбро Cr_2O_3 – 0,05-0,21%; в габбро-норите Cr_2O_3 – 0,26%; в габбро-пироксените Cr_2O_3 – 0,69-0,32%; в анортозите Cr_2O_3 – 0,20-0,32%.

Амфиболовое (роговообманковое) габбро слагает целиком северо-западную и юго-восточную части массива, а также окаймляет участки титанавгитового габбро, по контакту последнего, с известняками. Для этой породы характерна еще более высокая степень неравномерности распределения слагающих компонентов, структуры и состава, чем для титанавгитовых габбро. Однако многочисленные взаимопереходы не позволяют в поле различить эти породы, колебания составов иногда совершаются в пределах нескольких десятков и первых см, слагающие минералы всех этих пород, в сущности, одни и те же или образуются путем взаимных переходов и поэтому правильнее описать эту разновидность как одну породу. Она имеет серовато-зеленый цвет и состоит из плагиоклаза (55-65%), амфибола (15-25%), клинопироксена (5-20%), биотита (2-6, редко 8%). Из второстепенных минералов иногда отмечается кварц (до 0-7%), сфен (0-3%), кальцит (0-5%) и такие минералы как пренит, хлорит, серицит, лейкоксен, цеолиты, изредка тальк. Размер минеральных компонентов 0,3-1,5 мм (рис. 7). Акцессорные: апатит, ильменит, циркон, графит, рутил, сульфидные минералы, гранат, титаномagnetит.

Структура породы в основном офитовая, менее характерны габброофитовая, пойкилитовая и, еще реже, габбровая (рис. 7).

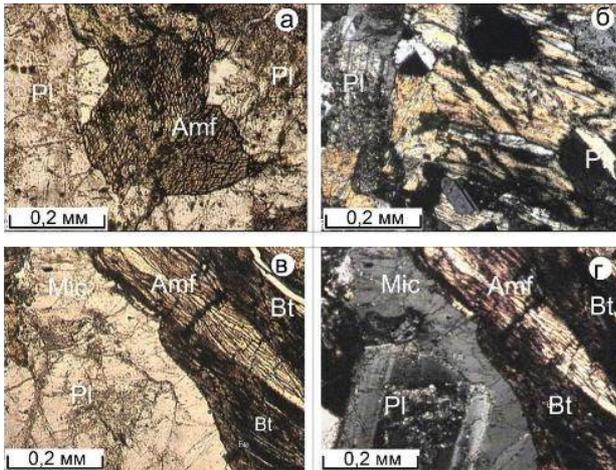


Рис. 7. Среднезернистое роговообманковое габбро. Шлиф № Бл-31, а-в – николи параллельные, б-г – николи скрещены

В оливиновом габбро амфиболы представлены гипидиоморфными зернами, выделившимися после пироксена. Они являются более ранними по отношению к плагиоклазам и флогопитам (биотитам). По составу это умеренноглиноземистый, высокотитанистый тип роговой обманки (табл. 3) – высокотитанистый чермакит, обогащенный магнием ($\#Mg - 67-73$) и щелочами (в %, $Na_2O - 1,47-2,42$; $K_2O - 0,49-0,96$; $Na_2O+K_2O - 1,96-3,38$). Содержание TiO_2 колеблется в основном от 3,82% до 5,42%, достигая значений характерных для керсутитов, но он от последних отличается углом погасания (в керсутите $C: Ng$ до 18° , в высоктитнистом чермакит $C: Ng$ до 30°).

Второй, наиболее богатый глиноземом ($Al_2O_3 - 18,45\%$) и железом ($FeO - 7,60\%$), но бедный титаном ($TiO_2 - 0,00n\%$), магнием ($MgO - 0,58\%$) и кремнеземом ($SiO_2 - 33,92\%$) тип роговой обманки – феррочермакит характерен для титанавгитовых габбро массива. Кроме того, он характеризуется невысоким содержанием Na_2O (0,44%) и K_2O (0,75%).

Слюды в лерцолитах, меланократовых и мезократовых габброидах массива представлены флогопитом, биотитом и мусковитом, где они замещают пироксены и амфиболы.

Флогопит является основным членом группы минералов слюд в лерцолите, троктолите, оливиновом габбро и титанавгитовом габбро Бельтауского массива. Флогопиты

этих пород отличаются по составу – из титанавгитового габбро характеризуется относительно высокой магниезильностью ($\#Mg - 87$), чем в троктолите ($\#Mg - 73-74$), оливиновом габбро ($\#Mg - 71$), лерцолите ($\#Mg - 67$). Наблюдается также закономерное повышение содержания титана во флогопитах от титанавгитового габбро ($TiO_2 - 1,41\%$) к оливиновому габбро ($TiO_2 - 2,30\%$), троктолиту (TiO_2 до 4,09 %) и лерцолиту ($TiO_2 - 6,33\%$). Флогопит титанавгитового габбро является более высокоглиноземистым ($Al_2O_3 - 17,68\%$). Биотиты встречается в габбро и его оливиновых, титанавгитовых разновидностях и диабазах массива. Им также, как и для флогопитов характерно высокое содержание титана, которое закономерно увеличивается от оливинового габбро ($TiO_2 - 2,34\%$) к таковым в титанавгитовом габбро ($TiO_2 - 5,29\%$) и диабазу ($TiO_2 - 4,25-4,38\%$). Биотиты этих пород отличаются повышенной железистостью ($\#Fe - 59-61$).

Количество примеси марганца и никеля от флогопита к биотитам уменьшается (во флогопите $MnO -$ до 0,18 %, $NiO -$ до 0,10 %; в биотите $MnO -$ до 0,11 %, $NiO -$ до 0,03 %), в последнем наоборот, ванадий и хром увеличиваются (в биотите $V_2O_3 -$ до 0,26 %, $Cr_2O_3 -$ до 0,42 %; во флогопите $V_2O_3 -$ до 0,15 %, $Cr_2O_3 -$ до 0,30 %).

Лейкократовое габбро и анортозиты известны в центральной части массива, где слагают возвышенные (гипсометрически), участки габброидов. Протягиваются в виде полосы на 300-350 метров при ширине 90-100 и по гребням водоразделов в центре массива.

Лейкократовое габбро в виде полосы отделяет анортозиты и пятнистые разновидности от титанавгитового габбро. Окружает в виде оторочки анортозиты и достигает по ширине 40-50 м. Порода имеет светло-серый цвет со слабым зеленоватым оттенком. Составляет из плагиоклаза (до 85%), пироксена (до 10%), амфибола (до 5%). Структура породы неоднородная, неравномернозернистая, колеблется в пределах от средней до крупной зернистости и обычно габбровая, габбро-офитовая (рис. 8).

Таблица 3

**Результаты микронзондовых анализов амфиболов и слюд пород Бельтауского габбро-перидотитового массива
(месторождение Тасказган, Центральные Кызылкумы), %**

Название и номер породы	n	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	V ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅		NiO	CoO	Всего	Минерал
Минералы группы амфиболов																		
Оливиновое габбро, БЛ-40	1	43,50	4,42	11,52	7,40	0,09	0,11	0,14	15,48	11,20	2,01	0,63	0		0	0	96,50	Чермакит
	1	44,68	3,82	11,86	7,71	0,10	0,03	0	16,28	10,90	1,47	0,49	0		0	0	97,34	Чермакит
	1	43,16	5,42	11,15	7,43	0,00	0,23	0,39	15,46	11,16	2,42	0,96	0		0	0	97,78	Чермакит
	1	44,70	4,05	12,37	6,28	0,15	0,25	0,32	16,74	11,43	1,65	0,68	0		0	0	98,62	Чермакит
Тi-авгитовое габбро, БЛ-43	1	33,92	0	18,45	27,60	0,43	0	0,07	0,58	11,46	0,44	0,75	0,47		0	0	94,17	Феррочермакит
Анортозит, БЛ-28	1	35,79	0	24,61	20,05	0,24	0	0,48	15,19	3,03	0	0,48	0		0	0	99,87	Феррожедрит
Диабаз, БЛ-36	1	37,87	0,28	28,09	8,76	0,18	0,14	0	9,64	14,18	0	0,12	0,17		0,30	0,16	99,89	Чермакит
Минералы группы слюд																		
Серпентинизир. лерцолит, БЛ-58	1	37,21	6,33	14,64	10,83	0,18	0,15	0,30	21,72	0	0,83	5,83	0		0,04	0,08	98,14	Флогопит
Серпентинизир. троктолит, БЛ-57	1	34,57	4,09	13,95	7,25	0,09	0,01	0,08	20,00	1,09	0,74	7,71	0		0,14	0	89,72	Флогопит
	1	37,75	2,12	15,16	7,99	0	0	0	21,62	0	1,17	7,90	0		0	0	93,71	Флогопит
	2	34,65	0,47	13,21	7,10	0,08	0	0,08	21,23	0,13	0,77	6,63	0		0,02	0	84,37	Флогопит
Оливиновое габбро, БЛ-40	3	39,60	2,30	17,68	8,50	0,07	0,05	0,02	20,73	0,03	0,82	7,17	0		0	0	96,97	Флогопит
Оливиновое габбро, БЛ-42	3	33,68	2,34	16,50	22,50	0,09	0,07	0,38	14,11	0,70	0	5,19	0		0,02	0	95,58	Биотит
Тi-авгитовое габбро, БЛ-43	1	34,28	5,35	14,59	19,00	0,06	0,05	0,42	12,90	0,12	0	9,73	0		0	0	96,50	Биотит
Габбро-норит, БЛ-26	3	46,72	0,05	33,32	0,55	0,01	0	0,24	1,47	4,52	0,59	8,70	0		0	0	96,17	Мусковит
Габбро, БЛ-54	2	36,82	5,29	14,45	18,79	0,05	0,23	0,41	11,63	0,13	0	9,83	0		0	0	97,63	Биотит
Диабаз, БЛ-36	2	35,05	4,38	14,37	19,17	0,11	0,17	0,40	13,47	0,10	0	7,49	0		0,03	0,23	94,97	Биотит
Диабаз, БЛ-49	3	37,32	4,25	14,70	13,94	0,08	0,26	0,28	15,31	0,10	0	9,49	0		0,01	0	95,74	Биотит
	2	46,92	0	34,56	1,33	0,01	0	0	0	0,29	0	11,53	0		0	0	94,64	Мусковит

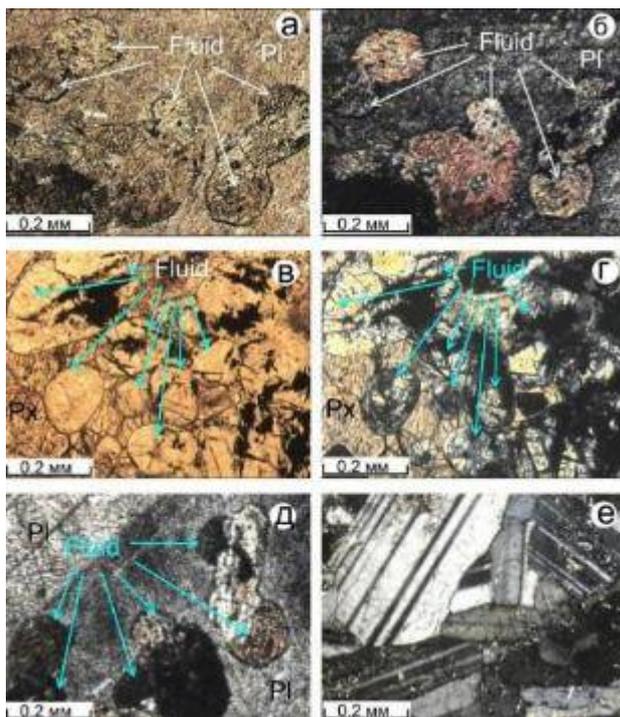


Рис. 8. Пятнистое лейкократовое габбро (габбро-анортозит). Шлиф БЛ-55, а-в – без анализатора, остальные - с анализатором

а-д - неоднородная структура пятнистой части породы, в которой главная роль принадлежит скоплениям шаровидных микробосложений кремне-карбонатного и кремнещелочного состава внутри сильно измененных лейств плагиоклаза и клинопироксена;

е – гипидиоморфнозернистая структура мономинеральной части габбро-анортозита, состоящая из гипидиоморфных призматических зерен основного плагиоклаза.

Все описанные выше разновидности пород характеризуются постепенными переходами друг в друга. Титанавгитовое габбро переходит в амфиболитизированные и роговообманковые разновидности путем увеличения относительного количества амфибола за счет титанавгита, плагиоклаза, за счет темноцветных, и незначительного увеличения количества биотита, кварца, пренита, графита и ильменита. Лейкогаббро, с одной стороны, переходит к титанавгитовому путем увеличения значения темноцветных минералов, с другой к полосчатому габбро, что сопровождается появлением полосчатой текстуры.

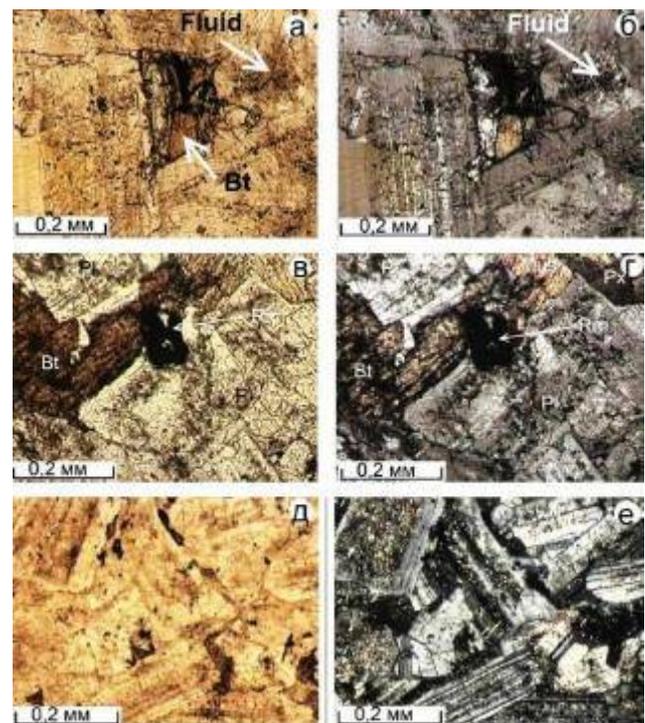


Рис. 9. Анортозит

а-г – взаимоотношение сосюритизированных лейстов плагиоклаза с флюидным микробосложением, чешуйкой биотита, с содержанием рудного минерала (шлиф №Бл-10);

в-г – на рисунках показан участок, обогащенный частично мусковитизированным биотитом, ассоциирующим с рудным минералом (шлиф №Бл-15);

д-е – хаотичное расположение призматических зерен плагиоклаза (шлиф №Бл-22); а-, в- и д – николи параллельные, остальные – николи скрещены.

Дериваты массива представлены диабазовыми дайками, развитые преимущественно в самом массиве, но изредка выходящие за его пределы. Мощность даек 1-3 м, протяженность от 5 до 500 м. Характерно преимущественное простирание подавляющего большинства даек от субмеридионального до северного – северо-восточного направления. Максимально развиты в северо-западной части габброидного массива, но отмечаются в его центральной части и в юго-восточной части. Характерно также преимущественное развитие даек в зоне контакта габброидов с вмещающими известняками.

В диабазе амфибол (чермакит) присутствует в небольшом количестве. Отличительной чертой его от высокотитанистого чермакита и феррочермакита является весьма высокая глиноземистость (Al_2O_3 – 28,09%), низкая щелочность (Na_2O+K_2O – 0,12%) и присутствие в нем примеси никеля (NiO – 0,30%) и кобальта (CoO – 0,16%).

Анализ химических составов плагиоклазов позволяет констатировать, что содержание в них анортитовой составляющей не опускается ниже 50 (табл. 4).

Это обусловлено максимальными содержаниями в описываемых минералах Al_2O_3 (29,55-31,88 %) и CaO (9,73-16,33 %) при минимальных количествах Na_2O (1,79-3,93 %). В анортозитах зерна плагиоклаза в основном соответствуют лабрадорам (An_{50}) и лабрадор-битовнитам ($An_{65}-An_{70}$), редко – битовнитам (An_{82}). В диабазовых дайках они представлены лабрадором (An_{64}) и битовнитом (An_{79}), по которым в результате более поздних изменений пород развита альбитовая кайма (An_5).

Таблица 4

Результаты микрозондовых анализов плагиоклазов пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, %

Название и номер породы	n	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Всего	Миналы
Серпентинизированный троктолит, БЛ-57	2	62,45	22,09	2,24	0,52	6,11	6,29	0,28	99,98	$An_{36}Ab_{62}Or_2$
Оливиновое габбро, БЛ-40	1	52,65	30,02	0,25	0	12,89	3,98	0,10	99,89	$An_{64}Ab_{26}Or_0$
	2	55,20	27,86	0,12	0,06	10,49	5,34	0,04	99,11	$An_{52}Ab_{48}Or_0$
Оливиновое габбро, БЛ-42	2	56,57	27,40	0,22	0,03	9,84	5,60	0,17	99,83	$An_{49}Ab_{50}Or_1$
	1	60,58	24,92	0,15	0	6,91	7,33	0,14	100,03	$An_{34}Ab_{65}Or_1$
	1	68,78	19,97	0,05	0,02	0,46	10,69	0,04	100,01	$An_2Ab_{98}Or_0$
Ti-авгитовое габбро, БЛ-43	1	51,40	30,35	0,15	0,02	13,99	3,85	0,23	99,99	$An_{66}Ab_{53}Or_1$
	4	58,32	25,64	0,30	0,10	8,24	7,24	0,16	100	$An_{38}Ab_{61}Or_1$
	1	55,14	27,60	0,22	2,66	8,19	5,39	0,83	100,03	$An_{43}Ab_{52}Or_5$
Габбро, БЛ-54	2	63,79	23,95	0,02	0,02	2,88	9,44	0,11	100,21	$An_{14}Ab_{85}Or_1$
	1	63,38	23,70	0,05	0,02	4,04	7,97	0,89	100,05	$An_{21}Ab_{74}Or_5$
	1	59,11	26,39	0,13	0	7,22	6,36	0,96	100,17	$An_{38}Ab_{61}Or_1$
Габбро-пироксенит, БЛ-30	2	67,09	20,59	0,06	0,01	2,45	9,74	0,07	100,01	$An_{12}Ab_{88}Or_1$
	1	60,93	24,70	1,67	0,01	3,09	5,81	3,03	99,24	$An_{18}Ab_{61}Or_{21}$
	2	60,35	24,74	0,17	0,10	6,33	7,12	1,22	100,03	$An_{31}Ab_{62}Or_7$
	1	56,48	27,13	0	0,12	8,44	4,84	2,24	99,25	$An_{42}Ab_{44}Or_{14}$
Анортозит, БЛ-28	3	53,92	29,55	0,50	0,01	9,73	3,39	2,90	100	$An_{50}Ab_{32}Or_{18}$
	2	50,60	30,38	0,32	0	14,81	2,96	0,92	99,99	$An_{70}Ab_{25}Or_5$
Анортозит, БЛ-29	6	52,44	29,40	0,16	0	12,89	3,81	0,11	98,81	$An_{65}Ab_{34}Or_1$
	1	47,57	31,68	0,05	0,05	15,90	1,79	0,19	97,23	$An_{82}Ab_{17}Or_1$
Диабаз, БЛ-36	5	53,51	29,30	0,46	0,01	12,75	3,93	0,22	100,18	$An_{64}Ab_{35}Or_1$

4. Главные минералы-носители и минералы-концентраторы рудных элементов

Общеизвестно [27-31], что видовой состав и содержание аксессуарных минералов отражают степень обогащения магмы рудными элементами. Это подтверждается и результатами микрозондовых исследований формы нахождения и вещественные составы главных минералов-носителей, минералов-концентраторов рудных компонентов и рудогенерирующих флюидных обособлений пород Бельтауского габбро перидотитового массива, результаты которых приводятся ниже.

Магнетит считается типичным минералом основных и ультраосновных пород, но он в породах Бельтауского габбро-перидотитового массива пользуется весьма ограниченным распространением, образует точечную вкрапленность и характерен преимущественно как вторичный минерал, развивающийся при серпентинизации оливина в лерцолитах и оливиновых габбро (рис. 10).

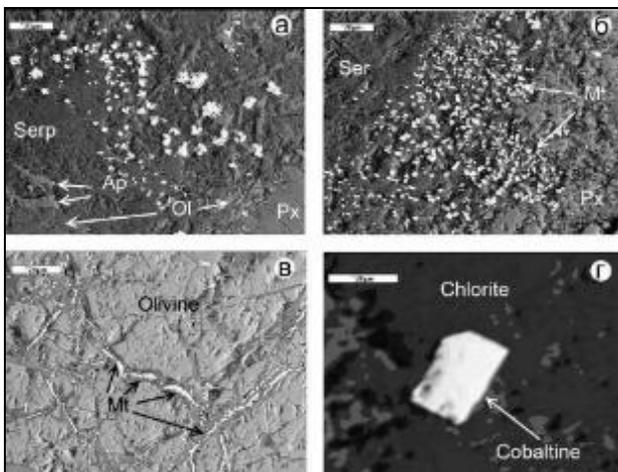


Рис. 1. Растровые снимки форм находений магнетита, ильменита и кобальтина в породах Бельтауского габбро-перидотитового массива

а-б – скопление зерен ильменита (а) и магнетита в серпентине (аншлиф БЛ-40, оливиновое габбро); в – формы выделения вторичных магнетитов в виде «конского хвоста» в серпентине, развивающие по трещинам оливина (БЛ-58- лерцолит); г – форма выделения кобальтина в хлорите (БЛ-54, габбро).



В титанавгитовых габбро встречаются относительно крупные кристаллы первичного (магматического) магнетита, ассоциирующие с пиритом и халькопиритом, в некоторых случаях зерна магнетита замещаются последними (рис. 11). Концентрации зерен магнетита уменьшаются с увеличением лейкократовости пород.

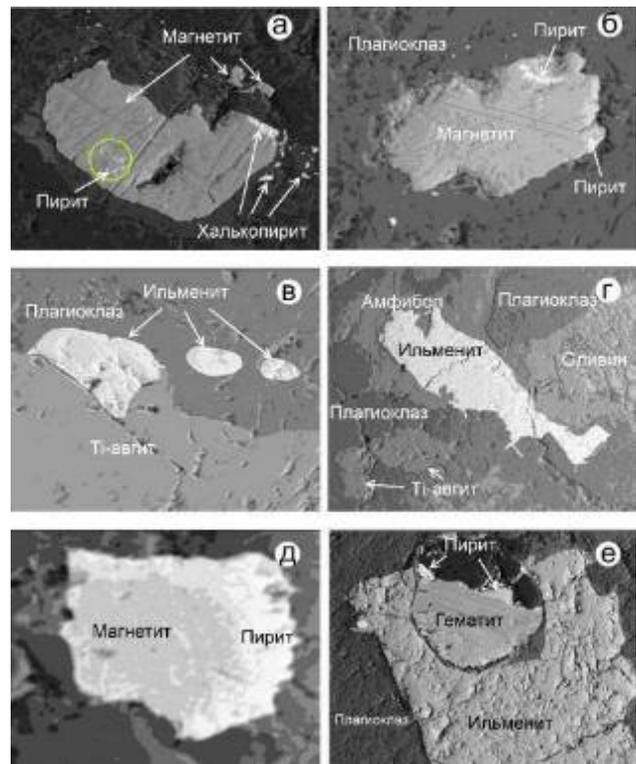


Рис. 11. Форма выделения магнетита, ильменита, гематита, пирита и халькопирита в титанавгитовом габбро (аншлиф БЛ-43)

а, б – взаимоотношение магнетита с пиритом; в, г – каплевидные выделения (в) и удлиненно корродированный кристалл (г) ильменита в межзерновом пространстве породообразующих минералов; д - замещение магнетита пиритом; е – кремнистая глобула (флюидное микробособление), содержащая гематит и пирит в ильмените.

Первичные (магматические) магнетиты титанавгитовых габбро отличаются повышенными содержаниями меди (CuO – 1,13%), никеля (NiO – 1,11 %), кобальта (CoO – 0,14 %), платиноидов (ЭПГ – 0,18 %) и низкими – титана (TiO_2 – 0,05 %), марганца (MnO – 0,17 %) и хрома (Cr_2O_3 – 0,09 %) (табл. 5).

Таблица 5

Результаты микронзондовых анализов оксидных минералов железа и титана пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, %

Название и номер породы	n	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	V ₂ O ₃	Cr ₂ O ₃	NiO	CoO	MgO	CaO	CuO	ZnO	Ag ₂ O	ЭПГ	Всего
Магнетит																	
Серпентинизир. лерцолит, БЛ-58	3	1,37	0,01	0	98,31	0	0,01	0,07	0	0	0	03	0	0	0	0	100
Оливиновое габбро, БЛ-40	2	1,08	0,01	1,17	97,07	0,03	0,07	0,50	0,09	0	0	0	0	0	0	0	100,02
Тi-авгитовое габбро, БЛ-43	7	4,72	0,05	0,27	88,48	0,17	0	0,09	1,11	0,14	0,44	0,90	1,13	0	0	0,18	97,68
Габбро-пироксенит, БЛ-30	1	0	0,07	0	96,63	0,49	0	0,27	0	0,70	1,85	0	0	0	0,03	0	100,04
Ильменит																	
Серпентинизир. лерцолит, БЛ-58	2	0,16	49,55	0,03	46,66	2,69	0,62	0,12	0	0,05	0	0,09	0	0	0	0	99,97
Тi-авгитовое габбро, БЛ-43	5	5,08	50,75	0,05	46,43	1,85	0,19	0,14	0,09	0	0	5,02	0	0	0	0,10	99,89
Оливиновое габбро, БЛ-40	2	0,08	51,33	0,01	46,37	0,94	0,43	0,05	0	0	0,58	0,02	0	0	0	0	99,81
Оливиновое габбро, БЛ-42	3	0,07	49,57	0,03	47,15	1,55	0,99	0	0,01	0,02	0	0,15	0	0	0,03	0,07	99,64
	1	5,00	51,55	0,70	34,57	2,41	0,58	0	0	0	0	3,99	0,15	1,05	0	0	100
Габбро, БЛ-54	2	0	50,49	0	46,49	2,04	0,06	0,32	0	0	0	0,04	0	0	0	0	99,44
Анортозит, БЛ-28	2	5,88	50,21	0,73	34,80	3,41	0	0,35	0	0	0,89	3,70	0	0	0	0	99,97
Анортозит, БЛ-29	3	0,08	51,08	0,04	42,89	4,78	0,27	0,08	0,07	0,06	0	0,47	0	0	0,07	0,66	100,55
Диабаз, БЛ-36	5	0,05	49,99	0,01	47,38	1,33	0,10	0,13	0,03	0,22	0	0,01	0	0,08	0	0,03	99,36
Диабаз, БЛ-49	4	0,06	50,16	0,08	44,64	1,25	0,76	0,20	0,15	0,01	0	0,04	0	0	0	0	97,35
Рутил																	
Анортозит, БЛ-29	2	0,24	96,00	0,12	0,21	0	0,47	0,06	0	0	0	0,77	0	0	0	0	97,87
Гематит и лимонит																	
Гематит-лимонитовая жила, БЛ-27	5	3,18	0	0,22	72,49	0,04	0	0,04	1,31	0,20	0	0	0,06	0	0,07	0	77,61
	3	3,15	0,01	0,32	87,63	0,01	0	0,04	0,25	0,13	0	0,04	0	0	7,25	0,08	98,91
Габбро, БЛ-44	5	6,73	0	0,05	75,96	0	0	0,24	1,38	0,11	0,64	2,14	1,41	0	0	0,07	88,73

В составе зерен магнетита габбро-пироксенитов присутствуют титан (TiO_2 – 0,07 %), марганец (MnO – 0,49 %), хром (Cr_2O_3 – 0,09 %), кобальт (CoO – 0,70 %) и серебро (Ag_2O – 0,03 %).

В перидотите и габбро кристаллы ильменита представлены удлиненными или изометричными зернами с ровными линиями ограничения (рис. 11 и -12). Размер от 0,2 до 1,5 мм. По трещинам, а иногда на поверхности прорастает землистым лейкоксеном и титанитом (рис. 12). Образует мельчайшие включения в цирконе и сам содержит мелкие кристаллы бадделейта – оксида циркония (рис. 13). В жильных типах габброидов ильменит встречается с шпинелидом – герцинитом.

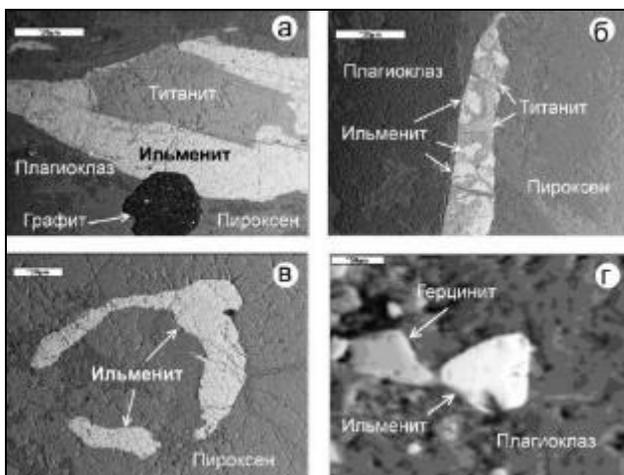


Рис. 12. Взаимоотношения ильменита, титанита, герцинита и пластинчатого графита в породах Бельтауского габбро-перидотитового массива

а – взаимоотношение замещенного титанитом ильменита с пластинчатым графитом в пироксене (аншлиф БЛ-54, габбро); б – замещение титанитом игольчатого кристалла ильменита в межзерновом пространстве пироксена и плагиоклаза (аншлиф БЛ-54, габбро); в – формы нахождения включений ильменита в пироксене (аншлиф БЛ-58, лерцолит); г – ильменит-герцинитовая парагенетическая ассоциация в порфирировом выделении плагиоклаза (аншлиф БЛ-49, диабаз).

В ильменитах пород Бельтауского габбро-перидотитового массива всегда встречаются примеси марганца (MnO – 0,94-4,78 %),

ванадия (V_2O_5 – 0,06-0,94 %) и хрома (Cr_2O_3 – 0,05-0,35 %). Примеси никеля и кобальта определены в ильменитах габброидов и их жильных дериватах (NiO – 0,01-0,15 %; Co – 0,02-0,66 %). Некоторые кристаллы ильменита в оливиновом габбро являются носителями меди (CuO – 0,15%), цинка (ZnO – 1,05 %), серебра (Ag_2O – 0,03 %) и платиноидов (ЭПГ – 0,07 %). Последние выявлены в ильменитах титанавгитовых габбро (ЭПГ – 0,10 %), анортозитов (Ag_2O – 0,07 %, ЭПГ – 0,66 %) и диабазов (ZnO – 0,08 %, ЭПГ – 0,03 %).

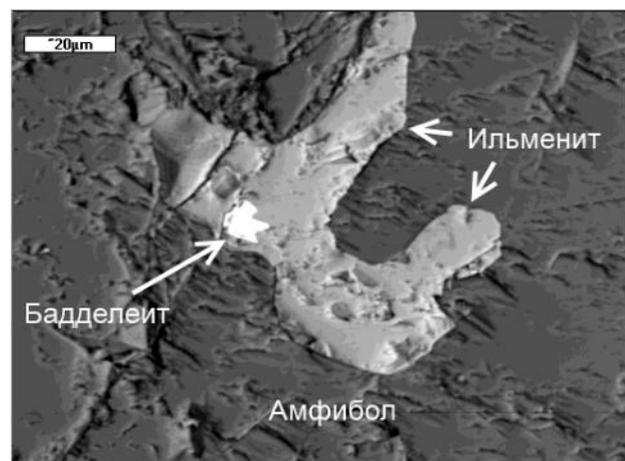


Рис. 13. Форма нахождения ильменита, содержащего бадделейта в амфиболе (аншлиф БЛ-40, оливиновое габбро)

Рутил в виде мелких оранжево-желтых призматических кристаллов присутствует в количестве до первых десятков г/т в титанавгитовых габбро, за исключением перидотитов, но наиболее типичен для анортозитов. В составе их отмечены примеси железа (FeO – 0,21 %), ванадия (0,47 %) и хрома (Cr_2O_3 – 0,06 %). Рутил часто замещен титанитом и это свидетельствует о значительном воздействии регрессивного метаморфизма на породы.

Гематит и лимонит в магнетитах и ильменитах габброидов массива образуют тонкие выростки, которые являются продуктом распада. Редко, в самом кристалле ильменита встречаются глобула – законсервированного и раскристаллизованного микрообособления кремнистого флюида, содержащий пластинчатый (коллоидный) гематит и микрорасщепленные кристаллы пирита (рис. 2, е). Кроме того, в пределах массива, особенно в его апикальных частях широко развиты гематит-

лимонитовые жилы.

Гематиты и лимониты габброидов, и связанные с ними гидротермальные жилы отличаются высокими содержаниями примесей никеля ($\text{NiO} - 0,25-1,38 \%$), кобальта ($\text{Co} - 0,11-0,20 \%$), меди ($\text{CuO} - 0,06-1,41 \%$), серебра ($\text{Ag}_2\text{O} - 0,07-7,25 \%$) и платиноидов (ЭПГ – до $0,08 \%$) (табл. 5).

В близповерхностной части гематит-лимонитовых жил определено самородное золото в виде тонких чешуек и примазок на лимоните явно гипергенного происхождения. Размер чешуек золота $0,025-0,05-0,1$ мм, цвет желтый, часто с красноватой побелостью, блеск металлический, поверхность неровная, пробность весьма высокая $855-998$ [32].

Титанит встречается во всех породах Бельтауского габбро-перидотитового массива в количестве от десятков до 900 грамм на тонну. Эта особенность, очевидно, связана с различным характером и степенью контаминации магмы. Иначе говоря, ассимиляция габброидной магмой Бельтауского массива

карбонатных пород сказалась в относительном насыщении ее известью и развитии известковистых породообразующих и акцессорных минералов (основной плагиоклаз, известковистые пироксены, титанит).

Минимальное количество (до 100 г/т) титанита содержится в серпентинизированных перидотитах (лерцолиты, плагилерцолиты), анортозитах и лейкократовом габбро, и дайках основного состава Бельтауского массива; максимальное в титанавгитовых габбро (900 г/т). Образует две генерации. Первая, ранняя, связана с изменением ильменита и образует мелкую вкрапленность в зернах последнего (рис. 12, а, б). Вторая, более поздняя, образует крупные от долей до нескольких сантиметров кристаллы от соломенно-желтого до медово-желтого цвета. Обычно это хорошо ограненные минералы конвертообразной формы. Результаты микрозондовых анализов титанита пород Бельтауского габбро-перидотитового массива приведены в табл. 6.

Таблица 6

Результаты микрозондовых анализов титанита пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, %

Название и номер породы	n	SiO_2	TiO_2	Al_2O_3	FeO^*	MnO	V_2O_3	Cr_2O_3	MgO	CaO	Всего
Оливиновое габбро, БЛ-42	1	30,07	37,42	1,55	0,69	0,02	0,53	0	0	27,35	97,63
Габбро-норит, БЛ-26	2	30,33	35,87	2,68	0,48	0	0	0,31	0	30,45	100,12
Габбро, БЛ-54	4	31,17	33,59	3,68	2,22	0,02	0,83	0,42	1,25	25,77	98,95
Габбро-пироксенит, БЛ-30	5	29,84	36,77	0,98	0,58	0,05	0,02	1,02	0,75	29,07	99,08
Анортозит, БЛ-28	2	18,00	59,58	0,84	2,62	0,33	0	0,31	0	17,13	98,81
	3	29,52	37,83	1,31	0,36	0,04	0	0,99	0	29,93	99,98
Анортозит, БЛ-29	2	30,03	38,89	0,84	0,23	0,01	0,30	0,07	0,05	27,12	97,54
	1	29,90	38,63	0,99	0,19	0	0,39	0,15	0	27,62	98,35

Примечание: в единичных кристаллах титанита анортозитов (проба БЛ-29) определены примеси серебра ($\text{Ag}_2\text{O} - 0,06 \%$) и платиноидов (ЭПГ - $0,42 \%$).

Гранаты в Бельтауском массиве гранаты установлены в габбро и его оливиновых и титанавгитовых разновидностях, габбро-норите и анортозите. Они представлены членами уграндитовой серии – гроссуляром и гидрогроссуляром (табл. 7). В качестве составляющих примесей в них присутствуют минералы пирропа (до 5 %) и альмандина (до 8 %). Гранаты габброидов массива содержат

92-97 % гроссуляра и согласно У.А. Диру и др. [33] их можно отнести к числу наиболее чистых представителей этого минерального вида, хотя в гранате анортозита, помимо небольшого количества железа (FeO - 8,55 %), имеется также значительная примесь магния (MgO – 6,58 %). Гроссуляр и гидрогроссуляр являются продуктами кальциевого метасоматоза в габброидах массива.

Таблица 7

Результаты микронзондовых анализов гранатов пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, %

Название и номер породы	n	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	Cr ₂ O ₃	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	Всего	Примечание
Оливиновое габбро, БЛ-42	1	44,21	23,79	0,78	0,10	0,12	0,75	26,37	0	0	96,12	Гидрогроссуляр – Pr ₄ Alm ₂ Gr ₉₄
Ti-авгитовое габбро, БЛ-43	2	39,93	22,31	1,27	0	0,18	1,09	26,21	0,15	0,09	91,82	Гидрогроссуляр – Pr ₅ Alm ₃ Gr ₉₂
Габбро-норит, БЛ-26	6	44,26	24,66	0,47	0,04	0,16	0,40	28,53	0,10	0,41	99,03	Гроссуляр - Pr ₂ Alm ₁ Gr ₉₇
Габбро, БЛ-54	3	44,89	24,18	0,20	0	0,08	0,09	26,13	0,01	0,01	95,59	Гидрогроссуляр – Pr _{0,5} Alm _{0,5} Gr ₉₉
Анортозит, БЛ-28	2	44,49	24,38	0,72	0,03	0,09	0,82	29,33	0	0,12	99,98	Гроссуляр - Pr ₄ Alm ₂ Gr ₉₄
	1	41,80	25,40	8,55	0,21	0	6,58	17,07	0	0,40	99,06	Fe-Mg-гроссуляр - Pr ₂₈ Alm ₂₀ Gr ₅₂
Анортозит, БЛ-29	2	43,64	23,55	0,08	0	0	0,61	26,18	0,03	0,08	94,27	Гидрогроссуляр - Pr ₃ Alm ₀ Gr ₉₇

Примечание: в гидрогроссулярах оливинового габбро (БЛ-42) и анортозита (БЛ-29) содержится примесь фосфата (соответственно P₂O₅ 0,59 % и 0,10 %).

Шпинель (хромшпинель, хромгерцинит и герцинит) определен в жильных разновидностях габброидов Бельтауского габбро-перидотитового массива (рис. 11, табл. 8). Присутствие шпинелида является важным индикатором относительно высоких термобарометрических условий кристаллизации пород. Однако совместное нахождение с гранатом указывает на условия кристаллизации пород в зоне шпинель-гранатового перехода.

В 1984 г. опубликованы статьи Г. Дика и Т. Булена [34] в которых обобщены данные, свидетельствующие о различиях химических составов минеральных фаз перидотитов дна океана и островных дуг. Эти различия особенно наглядны при рассмотрении аксессуар-

ных хромовых шпинелей, варьирующих в очень широких пределах – от малохромистых маложелезистых до магнезиохромистых. В работе Г. Дика и Т. Булена показано, что хромшпинелиды океанических перидотитов и дунитов характеризуются, как правило, пониженной хромистостью по сравнению с перидотитами островных дуг. Верхняя граница величин отношения Cr / (Cr+Al) для хромшпинелидов океанических перидотитов определена в 0,6 [34].

Согласно результатам исследований С.А. Паладжяна и Г.Г. Дмитренко [13] по петрогенетической типизации и выявлению геотектонической позиции перидотитов, последние по величинам параметра

Cr/(Cr+Al) аксессуарных шпинелей могут быть подразделены на несколько типов, соответствующих различным обстановкам их формирования: 1) высокоглиноземистые (0,08-0,25) лерцолитовые – фрагменты субконтинентального перидотитового фундамента, существовавшего на ранних стадиях развития небольших океанических бассейнов; 2) умеренно глиноземистые, среднехромистые (0,25-0,5) гарцбургитовые и лерцолитовые, принадлежащие перидотитовому основанию развитых океанических бассейнов геологического прошлого; 3) гарцбургитовые серии переходного типа с промежуточным составом хромшпинелидов (0,5-0,6), образовавшиеся при переработке перидотитов океанического типа наложенными на них процессами магматизма ранних стадий развития островных дуг; 4) высокохромистые (0,6-0,9) гарцбургитовые серии, образовавшиеся в фундаменте развитых островных дуг типа Идзу - Банинской, Марианской, Танга.

В диабазах Бельтауского массива зерна шпинели имеют размер 50-100 мкм (рис. 12). Как правило, зерна идиоморфные, иногда со скругленными углами или имеют округлую форму. Поверхность зерен обычно немного резорбирована. По составу они соответствуют хромшпинели, хромгерциниту и герциниту. Отношение Cr/(Cr+Al) в хромшпинели варьирует от 0,26 до 0,29. В нем отмечены примеси TiO₂ – 0,13-0,16 %, MnO – 0,28-0,38 %, V₂O₃ – 3,56-3,80 %, NiO – 0,04-0,24%, ZnO – 0,70-0,87 % (табл. 8).

Герцинит и хромгерцинит встречаются в ассоциации с диапором. В составе первых кроме примесей титана (TiO₂ – 0,05-0,15 %), марганца (MnO – 0,15-0,24 %), ванадия (V₂O₃ – 0,16-1,34 %), никеля (NiO – 0,17-0,30 %) и цинка (ZnO – до 0,97 %), определены рений (Re – 0,05-2,68 %), осмий (Os – 0,11-0,64 %) и платиноиды (ЭПП – до 0,33 %).

Диапор является носителем осмия (Os – 1,08-1,54 %).

Таблица 8

Результаты микрозондовых анализов хромшпинели, герцинита и диапора в жильных габброидах (диабазах) Бельтауского габбро-перидотитового массива, %

Компоненты	Хромшпинель		Герцинит и хромгерцинит			Диапор	
	(1)	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)	(1)
SiO ₂	1,23	1,18	1,51	5,39	1,98	3,47	3,40
TiO ₂	0,16	0,13	0,05	0,15	0,12	0,09	0,02
Al ₂ O ₃	39,35	40,71	52,87	53,68	47,97	80,25	74,28
FeO*	31,78	31,11	25,29	23,53	29,37	2,11	0
MnO	0,38	0,28	0,18	0,15	0,24	0,07	0,02
V ₂ O ₃	3,56	3,80	0,18	0,16	1,34	0,06	0,26
Cr ₂ O ₃	16,37	14,49	0,12	0,56	7,01	0,12	0,96
NiO	0,04	0,24	0,17	0,30	0,26	0	0
MgO	6,36	7,02	0	0	7,99	2,36	0
CaO	0,06	0,07	0,01	1,26	0,20	0,04	0,09
Na ₂ O	0	0	0	0	0	0,35	0
K ₂ O	0,17	0,10	0,03	0	0,20	0	0
SO ₃	0	0	0	0	0	2,54	0,59
ZnO	0,70	0,87	0,62	0,97	0	0	0
MoO ₃	0	0	0	0	0,05	0	0
Re	0	0	0,05	0	2,68	0	0
Os	0	0	0,11	0,64	0,59	1,54	1,08
Всего	100,16	100	81,19	86,79	98,02	96,00	80,80
Cr/(Cr+Al)	0,2938	0,2625	0,0023	0,0103	0,1275	0,0015	0,0127

Минералы циркония в породах Бельтауского габбро-перидотитового массива представлены **бадделейтом, цирконолитом и цирконом**.

О том, что на ранних стадиях кристаллизации магма была недосыщена кремнезёмом, свидетельствует наличие акцессорных бадделейта – оксида циркония, цирконолита – сложного оксида титана-циркония-кальция (табл. 9).

Бадделейт слагает уплощённые призматические кристаллы длиной до 15 микрон. Образует сростания с ильменитом в высокотитанистом амфиболе (рис. 13). Содержит 0,79-2,04 % HfO₂, 0,46-3,11 % TiO₂, 0,02-0,30 % TR₂O₃. В бадделейте анортозитов установлена примесь палладия (Pd – 0,24-0,35 %).

Таблица 9

Результаты микронзондовых анализов минералов циркония пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, %

Компоненты	Бадделейт						Цирконолит		Циркон		
	БЛ-40		БЛ-29		БЛ-36		БЛ-40	БЛ-36	БЛ-40	БЛ-29	БЛ-49
	(1)	(1)	(1)	(1)	(1)	(2)	(1)	(3)	(1)	(2)	(5)
SiO ₂	10,55	0	0,05	0,15	2,26	0	0	2,75	33,15	32,57	33,15
TiO ₂	0,46	3,11	0,92	0,62	0,57	1,46	23,05	27,16	0,15	0,02	0
Al ₂ O ₃	1,85	0	0,37	0,31	0,69	0,25	0,50	0,45	0	1,06	0,66
FeO*	3,73	1,12	0,36	0,44	0,99	1,03	5,65	6,14	5,65	0	0,52
V ₂ O ₃	0	0	0	0,07	0,11	0,01	0,31	0,02	0,31	0	0
MnO	0,11	0,07	0	0,08	0,13	0,03	0	0	0,04	0,03	0
Cr ₂ O ₃	0,51	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
MgO	6,49	0	0	0	0,47	0	0,64	0,29	0	0	0
CaO	0,10	0	0	0,04	0,86	0,12	5,53	6,49	0	0,02	0
ZrO ₂	74,73	94,63	96,02	95,04	77,27	95,50	41,41	27,64	64,52	63,05	64,04
HfO ₂	1,47	0,79	1,74	1,53	2,04	1,64	0,76	0,55	1,53	1,35	1,59
Ag ₂ O	0	0	0	0	0	0	1,06	0,94	0	0	0
Pd	0	0	0,35	0,24	0	0	0	0	0	0	0
CdO	0	0	0	0	0	0	0,93	0,48	0	0	0
ThO ₂	0	0	0	0	0	0	10,70	7,89	0	0	0
UO ₂	0	0	0	0	0	0	3,62	2,69	0	0	0
TR ₂ O ₃	0	0,27	0,19	0,30	0	0,02	0	0	0,38	0,08	0,09
Сумма	100	99,99	100	98,82	85,39	100,06	94,16	83,49	100,08	98,18	100,05

Примечание: БЛ-40 – оливиновое габбро, БЛ-29 – анортозит, БЛ-36 и БЛ-49 – диабаз; цифры в скобках – количество анализов.

Цирконолит – очень редкий минерал циркония, образуется при высоких температурах, в результате изоморфного замещения Ti и Zr. В Бельтауском габбро-перидотитовом массиве единичные зерна минерала установлены только в оливиновом габбро и его жильном деривате (диабазе) в виде уплощённых октаэдров, размером максимально 10-20 мкм.

В цирконолите габброидов Бельтауского массива содержание главных компонентов TiO₂, ZrO₂, CaO меньше по сравнению с теоретическим (CaZrTi₂O₇), причиной которого является присутствие ряда второстепенных компонентов в минерале: SiO₂ (до 2,75 %), Al₂O₃ (0,45-0,50 %), FeO (5,65-6,14 %), V₂O₃ (0,02-0,31 %), MgO (0,29-0,64 %), ThO₂ (7,89-10,70 %), UO₂ (2,69-3,62 %) и HfO₂ (0,55-0,76

%). Кроме того, в минерале содержатся примеси кадмия (CdO – 0,48-0,93 %) и серебра (Ag_2O – 0,94-1,06 %).

Циркон характерен для перидотитов, титанавгитовых и роговообманковых габбро Бельтауского массива. Он представлен короткопризматическими кристаллами дипирамидально-призматического габитуса и их обломками. Часто несет включения ильменита или сростается с ним.

В цирконе оливиновых габбро, анортозитов и диабазовых даек массива содержание элементов-примесей невелико. Гафний является постоянной примесью (HfO_2 – 1,35-1,39 %). Часто встречаются примеси алюминия (Al_2O_3 – до 1,06 %) и железа (FeO – до 5,65 %). Содержание редких земель незначительно (TR_2O_3 – 0,08-0,38 %).

Апатит в количестве от десятков до 150-950 г/т характерен для всех пород. Максимум в роговообманковом габбро и жильной серии, минимум в лейкократовом габбро. Образует две генерации, различные по форме кристаллов. Короткопризматические кристаллы первой генерации ассоциируют

обычно с пироксеном и плагиоклазом, образуя в нем вроски, вторая – с амфиболом, биотитом. Первая более характерна для титанавгитового габбро и перидотитов, вторая для роговообманкового габбро и пород дайковой серии. Обе генерации обычно бесцветны, изредка желтоваты. В обломках неотличимы друг от друга. Кристаллы отвечают гексагональным призмам с пирамидами на конце. В кристаллах второй генерации, часто встречаются выростки биотита и ильменита.

Результаты микрозондовых анализов апатитов пород Бельтауского габбро-перидотитового массива показывают повышенное количество в них редких земель (TR_2O_3 – 0,76-3,67 %), с резким преобладанием окислов церия, неодима и лантана (табл. 10).

В большинстве кристаллов апатита титанавгитовых габбро, кроме лантаноидов, определена примесь иттрия (Y_2O_3 – 2,14-2,71 %). Судя по присутствию ртути (HgO – 0,01-6,60 %) и серы (SO_3 – 0,27-2,47) мы предполагаем о наличии нанокристаллов киновари в апатите.

Таблица 10

Результаты микрозондовых анализов апатита пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, %

Название породы, место взятия	n	SiO_2	Al_2O_3	FeO^*	MgO	CaO	P_2O_5	Cl	SO_3	HgO	Y_2O_3	TR_2O_3	Сумма
Серпентинизир. лерцолит, БЛ-58	1	0	0	0,53	0,09	53,72	42,00	1,11	0	0	0	2,54	99,99
Оливиновое габбро, БЛ-40	3	0	0	0,41	0,16	54,35	43,16	0,16	0	0	0	1,37	99,61
Оливиновое габбро, БЛ-42	1	0	0	0,32	0	47,77	38,67	0	2,47	6,60	2,14	2,43	100,40
	4	0	0	0,29	0	52,13	41,86	0	0,27	0,01	2,71	2,78	100,05
Титанавгитовое габбро, БЛ-43	2	0	0,14	0,11	0,09	55,62	42,42	0,10	0	0	0	1,52	100
Габбро-пироксенит, БЛ-30	1	0,79	0,44	0,21	0,32	56,55	40,93	0	0	0	0	0,76	100
Анортозит, БЛ-29	3	0	0,12	0,11	0,02	52,92	42,76	0,34	0	0	0	3,67	99,94
Диабаз, БЛ-36	3	0	0	0,31	0,03	52,76	44,69	0,05	0	0	0	2,86	100,70
Диабаз, БЛ-49	1	0	0,30	0,38	0	52,23	44,15	0,14	0	0	0	2,95	100,15

Торит и гидроторит. При детальном изучении минералогии меланократовых габброидов и диабазовых даек Бельтауского

габбро-перидотитового массива на электронном микроанализаторе JEOL-8800Rh нами были обнаружены торит и гидроторит.

Во многих случаях ксеноморфные микровключения их расположены в амфиболе, флогопите и хлорите в пространственной ассоциации с апатитом и цирконом, редко на границе плагиоклаза и пироксена. В торите и гидроторите установлено относительно высокое содержание алюминия (Al_2O_3 – до 8,58 %), железа (FeO – до 9,36 %), титана (TiO_2 – до 2,46 %), ванадия (V_2O_5 – до 7,84 %), магния (MgO – до 9,04 %) и кадмия (CdO – до 1,78 %) (табл. 11).

В торитах и гидроторитах содержание редкоземельных элементов не высокое (TR_2O_3 – 0,65-7,16 %). Примесь урана определена в титанавгитовых габбро (UO_2 – 0,94 %) и диабазе (UO_2 – 1,86 %). Гидроторит оливинового габбро является носителем молибдена (MoO_3 – 0,28 %) и мышьяка (As_2O_3 – 1,42 %), а гидроторит диабазы – серебра (Ag_2O – 5,70 %).

Таблица 11

Результаты микронзондовых анализов торита и гидроторита пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, %

Компоненты	Торит			Гидроторит		
	БЛ-42	БЛ-54	БЛ-49	БЛ-42	БЛ-43	БЛ-49
	(1)	(2)	(1)	(1)	(1)	(1)
SiO_2	33,89	24,63	27,74	11,54	15,03	23,62
TiO_2	0,03	0,10	2,46	0,07	0	2,36
Al_2O_3	7,86	1,19	8,58	1,02	0,34	8,06
FeO^*	1,72	1,05	6,30	1,17	1,69	9,36
V_2O_5	0	0	0,10	7,84	0	1,23
MgO	0,84	0	9,04	1,16	1,04	8,85
CaO	3,37	4,56	1,62	4,04	4,08	1,47
K_2O	4,46	0	4,04	0,24	0	0
SO_3	0	0	0,92	0	1,39	2,46
P_2O_5	0	0	0	0	3,13	0
Ag_2O	0	0	0	0	0	5,70
CuO	0	0	0,14	0	0	0,07
MoO_3	0	0	0	0,28	0	0
As_2O_3	0	0	0	1,42	0	0
TR_2O_3	7,16	5,54	5,93	5,83	5,64	5,93
CdO	1,46	0,67	0	1,78	0	0
ThO_2	37,50	58,13	29,71	53,15	44,31	29,71
UO_2	0	0	0	0	0,94	0
Сумма	98,29	95,87	96,58	89,54	81,07	96,58

Примечание: БЛ-42 – оливинное габбро, БЛ-43 – титанавгитовое габбро, БЛ-54 – габбро, БЛ-49 – диабаз; цифры в скобках – количество анализов.

Графит является характерным аксессуарным минералом пород Бельтауского габбро-перидотитового массива. Здесь К.М. Кромской выделено три генерации графита. Гра-

фит-1 образует рассеянную вкрапленность и небольшие мономинеральные скопления в мраморизованных известняках; явнокристаллический (широкие таблички, чешуйки и

кристаллы размером до 1-2 мм); ассоциирует с кальцитом. Графит-2 в виде рассеянной вкрапленности отмечен во всех разновидностях габбро; явнокристаллический (удлиненные чешуйки) вместе с ранними сульфидами образует включения в породообразующих минералах. Графит-3 наиболее распространенный, слагает зоны графитизированного габбро, образует вкрапленность в скарнах и небольшие скопления в известняках (полосы и пятна, отходящие от основных зон). Встречается в виде гнездообразных скоплений и рассеянной вкрапленности. Размер индивидов 0,004- 1,5 мм [32].

По представлению К.М.Кромской источником углерода является органическое вещество палеозойских известняков, ассимилированное интрузией габброидных пород. Высокая степень метаморфизма углеродистого вещества, обеднение приконтактового ореола, ксенолитов и скиалитов известняками в удалении от интрузива, наличие битумов и гуминовой кислоты в габброидных породах указывают на существенные перемещения углеродистого вещества в известняках под влиянием внедрившейся интрузии [32].

На сегодняшний день, на происхождение углеродистого вещества и чаще всего связываемой с ним благороднометаллической минерализации описываемых образований, высказываются различные взгляды. Среди них развиваются представления как об участии биогенного углерода черных сланцев и битуминозных известняков, широко распространенных на площадях локализации массивов гипербазитов, так и глубинного привноса углерода в составе восстановленных флюидов. Эти взгляды сочетаются в модели, предполагающей происхождение углеродизации в результате воздействия горячей точки, продуцирующей поток углеродсодержащего мантийного флюида, на субдуцирующую океаническую кору, содержащую углеродистые отложения [34-38].

В юго-восточной эндоконтактной зоне массива нами установлены эруптивные брекчии, характеризующие продукты «внутрикамерного взрыва» (рис. 14). В составе последних, кроме обломков «габброидной матрицы», встречаются и кристаллокласты гра-

фита и сульфидных минералов. Находка подобных эруптивных брекчий ещё раз подтверждает представления предыдущих исследователей [43] об алмазоносности воронкообразного тела Бельтауского интрузива, которыми в лерцолитах под бинокляром были найдены реликты алмаза.



Рис. 14. Эруптивная брекчия в теле рогово-обманокowego габбро. Юго-восточная эндоконтактная зона Бельтауского массива

В результате микрозондового исследования нами в перидотите выявлены частично и полностью графитизированные рудонесущие карбонатные флюиды, законсервированные в пироксене. Кроме того, в последнем установлено скопление микрокристаллов графита и кольцообразное симплектитовое выделение магнетита (рис. 15).

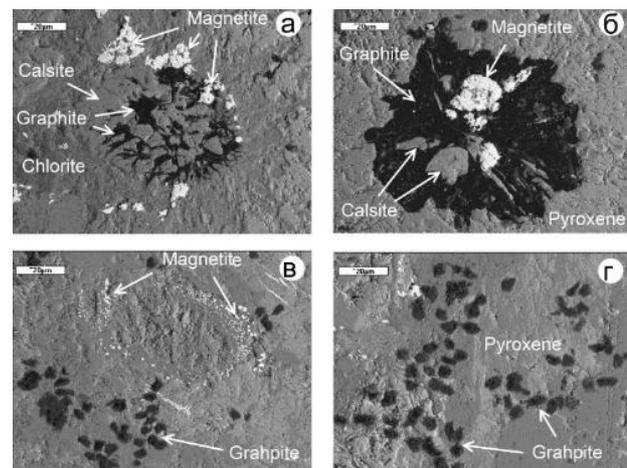


Рис. 15. Формы нахождения графита и рудных минералов в серпентинизированном лерцолите (аншлиф БЛ-58)

а- взаимоотношение графитизированного карбонатного флюида с магнетитом; б - пластинчатый графит в пироксене, содержащий включения кальцита и магнетита; в – взаимоотношение скопления микрокристаллов графита с кольцеобразными симплектитами магнетита в пироксене; г – скопление микрокристаллов графита в пироксене.

Карбонатные минералы в породах представлены кальцитом, кремнистым доломитом и сидеритом (табл. 12). В кальците определены примеси редкоземельных элементов (TR_2O_3 – 0,91-2,98 %). Сидерит относится к минералам-носителям меди (CuO - 0,13-0,60 %), никеля (NiO – 0,97-1,28 %) и кобальта (CoO – 0,16-0,29 %).

Таблица 12

Результаты микрозондовых анализов карбонатов пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, %

Название и номер породы	n	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO*	MnO	MgO	CaO	K ₂ O	NiO	CoO	CuO	TR ₂ O ₃	Сумма
Кальцит													
Серпентинизир. лерцолит, БЛ-58	3	0,31	0,12	5,00	1,49	10,13	35,87	0	0	0,03	0	1,43	54,38
	1	0,12	0	0,67	0,74	1,19	51,61	0	0	0	0	2,98	57,31
Габбро-пироксенит, БЛ-30	4	0,32	0,45	1,07	0,18	0,65	54,27	0,17	0	0	0	0,91	58,15
Кремнистый доломит													
Серпентинизир. лерцолит, БЛ-58	1	18,62	0,81	8,06	0,89	21,02	20,04	0,02	0	0	0	0	69,46
Сидерит													
Габбро, БЛ-44	2	3,63	0	63,39	0	0,21	0,09	0	1,28	0,29	0,13	0	69,02
Диабаз, БЛ-49	3	3,30	0,23	71,48	1,56	0	0,22	0	0,97	0,16	0,60	0	78,83

Впервые с применением микрозондового анализа пород Бельтауского массива установлены микроминералы серебра: сульфат серебра в плагиолерцолитах, силикат серебра в габбропироксенитах, палладистое серебро в габбро-диабазе, кремнещелочно-хлоридные микрообособления рудогенерирующих флюидов, содержащие примеси легких платиноидов, золота и серебра, а также карбонат серебра в анортозитах (табл. 13).

Сульфидные минералы присутствуют от единиц, до нескольких десятков г/т. Наиболее характерны для лейкократового габбро и перидотитов, также для зон графитизации и графитовых тел Бельтауского массива. В составе сульфидов выделены пирротин, пирит, халькопирит, галенит, сфалерит, пентландит, кобальтин, (рис. 10, 11 и 16, табл. 14 и 15). Максимально развиты пирротин и пирит, ос-

тальные в явно подчиненном количестве. Для сульфидов характерна концентрация безникелистых разностей в составе анортозитов и лейкократового габбро. Никельсодержащие сульфиды характерны для перидотитов и меланократовых габброидов.

Для лейкогаббро и анортозитов максимальным развитием пользуются безникелистые сульфиды. Перидотиты отличаются и максимальным развитием магнетита, титаномагнетита и никелистых сульфидов, прочие акцессории в подчиненном количестве. Жильные габброиды в сравнении с габброидами отличаются повышенным содержанием ильменита и сульфидов (последние за исключением полосчатого габбро).

По данным В.В.Баранова, К.М.Кромской, Я.С.Высьневского в пределах Бельтауского интрузива сульфидно-никелевая минерали-

зация представлена двумя генетическими типами. Первый – магматический, это сингенетическая вкрапленность и скопления никельсодержащих сульфидов в неизменных габброидных и ультраосновных породах (сульфидно-медно-никелевая рудная формация). Второй – гидротермальный, это обильная вкрапленность никель-кобальт-, медьсодержащих сульфидов в зонах измененного, графитизированного габбро (сульфидная медно-никель-графитовая рудная формация).

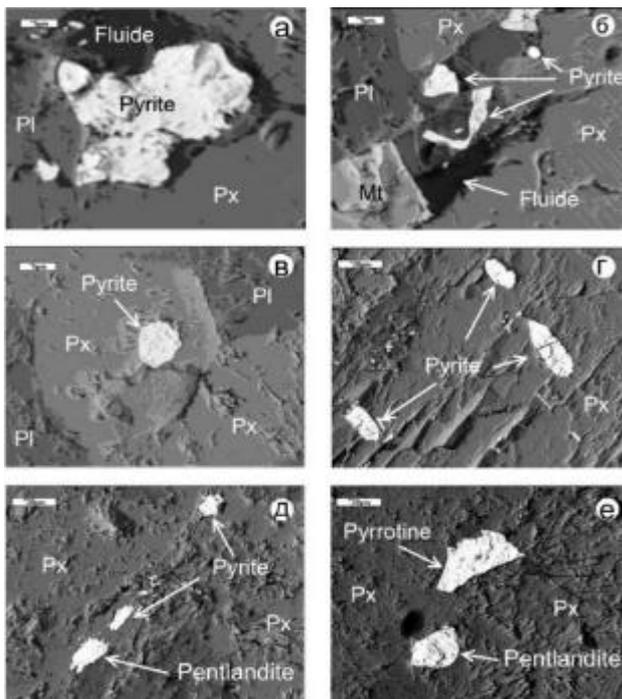


Рис. 15. Формы нахождения пирита, пирротина, пентландита и взаимоотношение их с порообразующими минералами габброидов Бельтауского массива

а, б – формы нахождения пирита в раскристаллизованном кремнистом флюиде и взаимоотношение их с пироксеном (Px), плагиоклазом (аншлиф БЛ-36, диабаз); в – микровключение пирита в ортопироксене (аншлиф БЛ-36, диабаз); микровключения пирита в клинопироксене (аншлиф БЛ-40, оливинное габбро); д, е – пирит-пентландитовая (д) и пирротин-пентландитовая ассоциация в клинопироксене (аншлиф БЛ-40, оливинное габбро).

Наблюдается приуроченность скоплений сульфидов преимущественно к ультраосновным разностям и в меньшей мере к габбро-

идным породам глубоких горизонтов массива. Тяготеют они к краевым частям интрузии, к придонным зонам и к границе разновидностей габброидных пород. Участки, обогащенные сульфидами, имеют вытянутую форму, мощность их от 0,2 до 50 м, они прерывисто протягиваются более чем на 500 м и могут быть отнесены к «висячим» залежам. В одной скважине, пробуренной в северо-восточной приконтактной зоне массива, встречена сульфидная жила мощностью более 0,15 м, что свидетельствует о возможном выявлении на месторождении Тасказган массивных руд инъекционного типа [1].

Пирротин образует рассеянную вкрапленность в серпентинизированных лерцолитах и меланократовых габброидах массива. Форма выделений каплеобразная, интерстициальная, тонкораспыленная. В них постоянно присутствуют примеси никеля (Ni – 0,06-4,61 %) и кобальта (Co – 0,09-0,78 %). Примеси платиноидов и редких земель характерны пирротинам оливинных и титанавгитовых габбро, габбро-норитов и их жильным дериватам (в %, Ru – 0,73-2,45; Rh – 0,03-0,72; Pd – 0,24-0,84; Pt – 0,00-0,25; TR – 0,36-1,14). В некоторых зернах пирротина определено: медь (Cu – 0,05-3,08 %), цинк (Zn – 0,13-0,44 %), золото (Au – 0,02-0,26 %) и серебро (0,05-0,24 %). В оливинных габбро и габбро-норитах большинство зерен пирротина являются носителями рения (Re – 0,24-0,38 %) и осмия (Os – 0,13-0,69 %).

Пирит широко распространен в меланократовых габброидах и диабазовых дайках. Образует рассеянную вкрапленность ксеноморфных зерен, иногда с реликтами пирротина, за счет которого развивается вместе с другими сульфидами. В титанавгитовых габбро пирит замещает магнетит и встречается вместе с гематитом в глобуле раскристаллизованного кремнистого флюида, законсервированного в ильмените (рис. 11, е). Пиритсодержащие раскристаллизованные кремнистые флюидные обособления установлены также в диабазовых дайках (рис. 16, а, б). Кроме того, каплеобразные микровключения пирита выявлены в ортопироксене диабазовых даек и клинопироксене оливинного габбро (рис. 16, в-д).

Пирит в этих породах является никельсодержащим (Ni – 0,34-6,28 %). Его тоже можно отнести к минералам-носителям платиноидов (в %, Ru – 0,29-1,12; Rh – 0,09-0,12; Pd – 0,38-1,10). В кристаллах пирита диабазовых даек определены примеси цинка (Zn –

0,03-0,26 %), серебра (Ag – 0,05-0,51 %), молибдена (Mo – 2,42-9,90 %). В единичных зернах выявлен рений (Re – 1,06 %). В пирите содержание примесей редких земель не превышает 0,50 %.

Таблица 13

Результаты микрондовых анализов оксидов, силикатов, сульфатов и карбонатов серебра пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, %

Компоненты	Оксид палладистого серебра		Сложный силикат серебра БЛ-30	Сложный сульфат серебра БЛ-58					Сложный TR-карбонат серебра БЛ-29
	БЛ-36								
SiO ₂	0	0,46	41,81	8,87	19,84	15,05	0,88	3,87	9,68
TiO ₂	0	0	0	0	0	0	0	0	1,68
Al ₂ O ₃	0	0,29	9,61	0	6,92	5,92	0,41	1,85	1,01
FeO*	1,07	1,64	2,20	6,83	5,51	5,29	1,02	2,04	1,17
MnO	0,07	0	0	0	0,17	0,18	0	0	0
V ₂ O ₃	0,95	0	0	0	0,11	0,07	0	0	9,16
Cr ₂ O ₃	0	0	0,78	0	0	0	0	0	0
NiO	0	0	0	0	0	0	0,11	0,13	0
CoO	0	0	0,06	0	0	0	0	0	0
MgO	0	0,74	5,28	8,63	7,05	6,66	0,78	1,98	1,05
CaO	0	0	4,11	1,03	6,12	4,15	0,09	1,69	6,56
Na ₂ O	0	0	4,92	0	0	0	0	0	0
P ₂ O ₅	0	0	0	0	0	0	0	0	1,37
Cl	0	0	0,17	1,73	1,34	1,42	1,95	1,72	0
SO ₃	0	0	0	18,45	13,43	16,34	21,48	20,58	1,55
Ag ₂ O	94,35	93,74	30,97	54,47	39,53	46,93	72,98	66,64	27,47
Au	0	0	0,16	0	0	0	0	0	0
TeO	0,52	0,41	0	0	0	0	0	0	0
Pd	2,48	2,69	0,41	0	0	0	0	0	0
As ₂ O ₃	0,49	0	0	0	0	0	0	0	4,44
TR ₂ O ₃	0	0	0	0	0	0	0,28	0	10,29
Сумма	99,93	99,97	100,32	100,01	100,02	100,01	99,98	100,50	75,43

Примечание: БЛ-29 – анортозит, БЛ-30 – габбропироксенит, БЛ-36 – диабаз, БЛ-58 – серпентинизированный лерцолит.

Халькопирит – образует сростки с пиритом, пирротинном и пентландитом. Содержит примесь никеля (Ni – 0,09-0,11 %), кобальта (Co – 0,01-0,31 %), серебра (Ag – 0,38-0,66 %) и легких платиноидов (в %, Ru – 2,08-3,76; Rh – 0,58-1,48; Pd – 0,24-1,29). В халькопирите титанавгитовых габбро определе-

ны молибден (Mo – 11,88 %) и осмий (Os – 0,37 %).

Галенит в небольших количествах наблюдается в анортозите, **сфалерит** – в диабазовых дайках. Первому характерны примеси серебра (Ag – 0,34 %) и родия (Rh – 0,38 %).

Пентландит – главный минерал-концентратор никеля (Ni – 20,28-30,29 %), установлен нами в серпентинизированных лерцолитах и оливиновых габбро Бельтауского массива. Встречается вместе с пиритом и пирротином (рис. 7, е). Изометричные зерна размером 0,02 – 0,05 мм. В пентландите постоянно присутствуют кобальт (Co – 1,59-3,63 %) и медь (Cu – 0,12-11,42 %).

Кобальтин – сложный сульфоарсенид кобальта, никеля и железа встречается в диабазовых дайках массива (рис. 10, г; табл.15). Он относится к минералам носителям молибдена (Mo – 1,03-5,81 %), серебра (Ag – 0,08-0,20 %), золота (Au – до 0,05 %) и легких платиноидов (ЭПГ – до 0,46 %).

Таблица 14

Результаты микронзондовых анализов пирротина и пирита пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, %

Элементы	Пирротин										Пирит				
	БЛ-58	БЛ-57			БЛ-40		БЛ-43		БЛ-26	БЛ-36		БЛ-43	БЛ-49		
	(2)	(2)	(2)	(1)	(4)	(1)	(2)	(6)	(3)	(7)	(3)	(2)	(2)	(1)	
Si	0,11	0,50	0,52	0	0,19	1,54	0,40	0,34	0,26	0,48	0,76	0,27	0,14	0,33	
Al	0	0	0,01	0	0,03	0	0	0	0	0	0,05	0	2,47	0	
Fe	63,28	55,71	60,20	59,67	63,07	56,09	60,36	54,48	55,58	54,92	48,84	51,98	51,42	50,75	
Mn	0,01	0,05	0,07	0,09	0	0,21	0,10	0,10	0,04	0,03	0,18	0	0,15	0,09	
Cr	0	0	0,14	0	0	0	0	0,26	0	0,05	0	0,27	0,25	0	
Ni	0,96	4,61	0,09	0,11	0,08	1,08	0,48	0,39	0,34	0,20	0,81	0,56	0,34	0,28	
Co	0,21	0,41	0,22	0,24	0,08	0,27	0,09	0,68	0,78	0,42	0,02	0	0	0	
S	35,35	32,45	34,39	32,89	33,56	36,19	34,98	37,26	39,93	38,70	43,43	29,71	33,54	37,14	
Cu	0,05	0,11	0	3,08	0	1,39	0	0	0	0	1,86	0	0	0,04	
Zn	0,19	0,14	0	0,30	0	0	0,13	0,29	0,44	0,41	0	0,26	0,03	0,10	
Au	0	0	0	0,12	0	0	0	0	0,02	0,26	0	0	0	0	
Ag	0	0	0	0	0,05	0	0,10	0,24	0	0,24	0	0,51	0	0,05	
Mo	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9,90	2,42	0	
Re	0	0	0	0	0,38	0	0	0,24	0	0	0	0	1,06	0	
Os	0	0	0	0	0,13	0	0,69	0	0	0	0	0	0	0	
ЭПГ	Ru	0	0	0	0,73	0	1,98	0,52	2,45	0	2,16	0,29	3,10	0	0,95
	Rh	0	0	0	0,11	0,03	0,29	0,29	0,72	0	0,61	0,46	1,12	0	0,09
	Pd	0	0	0	0,45	0	0,24	0,51	0,84	0	0,79	0,69	1,10	0	0,38
	Pt	0	0	0	0,24	0,19	0	0	0	0,15	0,25	0	0,29	0	0
TR	0	0	0	0,56	0,68	0	0,36	1,14	1,10	0,75	0	0,50	0,45	0,43	
Сумма	99,56	93,98	54,46	98,59	98,47	99,28	99,01	99,43	98,40	100,37	97,39	99,57	92,27	96,63	

Примечание: здесь и далее в табл.-11: БЛ-58 – серпентинизированный лерцолит, БЛ-57 – серпентинизированный троктолит, БЛ-40 – оливиновое габбро, БЛ-43 – титанавгитовое габбро, БЛ-26 – габбронорит, БЛ-36 и БЛ-49 – диабаз; цифры в скобках – количество анализов.

5. Геохимическая специализация Бельтауского габбро-перидотитового массива

Для характеристики геохимической специализации перидотитов, мелано- и мезократовых габброидов, лейкократовых габбро и анортозитов Бельтауского массива, а также

их дериватов проведены масс-спектрометрические анализы пород, результаты которых приведены в табл. 16.

Геохимическая специализация перидотитов Бельтауского габбро-перидотитового массива характеризуется ярко выраженными повышенными содержаниями никеля и кобальта (Ni – до 1200 г/т, в среднем 623 г/т,

Со – до 110 г/т, в среднем 82 г/т), которые резко превышают содержания этих элементов, чем в мелано- и мезократовых габбро (Ni – до 240 г/т, в среднем 127 г/т, Со – до 91 г/т, в среднем 41 г/т), лейкогаббро и анортозитах (Ni – до 220 г/т, в среднем 99 г/т, Со – до 30 г/т, в среднем 18 г/т).

Геохимическая специализация перидотитов Бельтауского габбро-перидотитового массива характеризуется ярко выраженными повышенными содержаниями никеля и кобальта (Ni – до 1200 г/т, в среднем 623 г/т,

Со – до 110 г/т, в среднем 82 г/т), которые резко превышают содержания этих элементов, чем в мелано- и мезократовых габбро (Ni – до 240 г/т, в среднем 127 г/т, Со – до 91 г/т, в среднем 41 г/т), лейкогаббро и анортозитах (Ni – до 220 г/т, в среднем 99 г/т, Со – до 30 г/т, в среднем 18 г/т). Диабазовые дайки массива также характеризуются повышенными содержаниями этих элементов (Ni – до 330 г/т, в среднем 140 г/т, Со – до 53 г/т, в среднем 35 г/т).

Таблица 15

Результаты микрондовых анализов халькопирита, галенита, сфалерита, пентландита и кобальтина пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, %

Элементы	Халькопирит			Галенит	Сфалерит	Пентландит			Колумбит	
	БЛ-43	БЛ-26	БЛ-49	БЛ-29	БЛ-49	БЛ-58	БЛ-40		БЛ-54	
	(2)	(1)	(1)	(2)	(1)	(2)	(2)	(1)	(1)	(4)
Si	0,14	6,21	1,41	1,46	2,40	0,15	0	0	0,22	0,01
Al	0,03	0,45	0,49	0,66	0,98	0	0,03	0	0	0
Fe	26,83	24,01	25,24	0,31	5,20	34,01	31,10	33,27	8,51	6,22
Mn	0,10	0	0,07	0,03	0,05	0,01	0,06	0	0,02	0,02
Cr	0	0,20	0,12	0	0,15	0	0,49	0,92	0,4	0,04
Ni	0,11	0,09	0,09	0	0	30,10	30,29	20,28	5,88	8,09
Co	0,05	0,34	0,01	0	0	2,15	3,63	1,59	19,26	20,39
S	23,79	28,53	25,97	12,12	34,40	32,15	30,99	29,79	7,46	17,33
As	0	0	0	2,19	0	0	0	0	52,25	45,12
Cu	29,13	26,27	28,37	0,24	0	0,12	0,14	11,42	0	0
Pb	0	0	0	73,09	0	0	0	0	0	0
Zn	0	0	0,25	0	51,93	0	0,03	0	0	0
Au	0	0	0	0	0	0	0,68	0	0	0,05
Ag	0,65	0,38	0,66	0,34	0	0	0,04	0	0,20	0,08
Mo	11,88	0	11,29	0	0	0	0	0	5,81	1,03
Re	0	0	0	0	1,77	0	0	0	0	0
Os	0,37	0	0	0	0,59	0	0	0	0	0
ЭПГ	Ru	3,76	2,08	3,44	0	0	0	0	0	0,33
	Rh	1,48	0,58	1,21	0,38	0	0	0	0	0,02
	Pd	1,29	0,24	1,21	0	0	0	0,03	0,18	0,11
	Pt	0	0	0	0	0	0	0,50	0	0
TR	0,16	0	0	0	0	0	0,55	0,48	0	0,18
Сумма	100,14	89,38	99,98	90,82	99,83	98,69	98,56	97,93	100,01	99,02

Таблица 16

Результаты масс-спектрометрического анализа пород Бельтауского габбро-перидотитового, в г/т

Номера проб	Li	Be	Rb	Cs	Ba	Sr	B	P	Ti	Fe	Mn	V	Cr	Co	Ni	Nb	Ta	Sn	Mo	W	Re	Zr	Hf
Серпентинизированные лерцолиты и плагиолерцолиты																							
БЛ-8/15	9	0,07	19	1,71	51	2890	20	76	1157	4971	141	54	37	6	126	2,21	0,17	0,67	0,95	0,40	0,00	6	0,28
БЛ-57/17	10	0,82	27	1,40	110	150	8	330	3200	71000	1000	44	180	100	1200	2,60	0,31	1,20	1,40	0,89	0,00	52	1,30
БЛ-58/17	11	0,30	9	0,95	40	120	8	240	1800	75000	1100	98	320	96	460	0,81	0,09	0,40	1,10	0,83	0,00	8	0,35
БЛ-59/17	4	0,22	5	0,42	27	65	12	250	1200	68000	990	61	200	110	710	0,81	0,10	0,45	1,00	0,79	0,00	7	0,27
БЛ-60/17	17	0,64	33	2,30	160	110	19	1500	4700	61000	970	43	150	100	620	3,00	0,30	1,20	0,84	1,20	0,00	22	0,75
Габбро-нориты, Ti-авгитовое и роговообманковые габбро																							
БЛ-10/15	23	0,61	31	1,57	88	178	17	405	3495	36017	604	88	148	21	47	3,26	0,28	1,28	0,73	0,56	0,00	13	0,73
БЛ-15/15	21	1,10	31	1,35	84	188	28	591	10539	44162	637	146	90	35	176	6,92	0,56	1,39	0,85	0,63	0,00	15	0,68
БЛ-26/17	11	0,68	24	1,20	115	328	26	149	5392	39959	557	139	133	29	65	0,96	0,17	1,70	0,92	2,75	0,01	129	3,82
БЛ-30/17	11	0,38	5	0,18	33	135	27	240	4869	39399	856	273	1739	28	108	1,61	0,31	0,74	1,05	0,54	0,01	52	1,76
БЛ-44/17	14	0,87	10	0,33	140	300	13	980	4700	59000	1000	180	170	91	240	2,00	0,18	0,42	2,30	2,00	0,00	10	0,45
Лейкогаббро и анортозиты																							
БЛ-22/17	5	0,11	1	0,06	22	427	38	162	288	6626	27	7	29	2	57	0,55	0,08	0,18	1,79	0,32	<0.007	3	0,17
БЛ-28/17	29	0,60	50	2,73	197	667	44	234	1640	18295	300	50	92	12	53	1,39	0,15	0,50	1,83	1,28	<0.007	10	0,33
БЛ-29/17	16	0,67	28	1,46	166	414	29	277	1731	23492	348	69	115	18	97	1,33	0,11	0,47	2,09	0,37	0,02	19	0,58
БЛ-53/17	8	1,10	27	0,58	120	320	9	260	8600	43000	820	190	390	26	69	3,40	0,43	2,50	0,81	2,70	0,00	46	1,60
БЛ-55/17	7	0,84	30	0,94	90	230	11	260	7900	42000	650	90	100	30	220	2,30	0,16	1,70	3,20	1,90	0,00	43	1,30
Дайки основного состава																							
БЛ-6/15	53	1,04	16	2,85	155	284	34	663	4881	42850	628	98	149	27	51	5,59	0,45	1,83	1,09	0,67	0,00	116	3,08
БЛ-7/15	55	1,07	32	4,61	167	308	18	601	4420	40560	676	93	154	29	98	4,84	0,40	1,66	0,95	0,55	0,00	102	2,64
БЛ-32/17	21	2,64	37	1,04	1407	1108	28	4485	8246	66232	1041	170	287	35	197	32,48	2,10	2,75	1,68	0,86	<0.005	198	5,20
БЛ-36/17	11	1,10	6	0,31	140	260	24	1800	9000	72000	1200	180	190	53	62	4,40	0,33	0,48	2,90	2,60	0,00	32	0,82
БЛ-49/17	6	0,65	5	0,30	83	180	7	280	4200	52000	800	160	210	39	100	2,30	0,28	0,43	1,60	0,50	0,00	8	0,42
БЛ-51/17	2	0,24	6	0,22	150	370	11	330	1900	17000	88	160	400	27	330	1,20	0,15	0,52	7,20	0,66	0,00	10	0,59

Продолжение табл. 16

Номера проб	Li	Be	Rb	Cs	Ba	Sr	B	P	Ti	Fe	Mn	V	Cr	Co	Ni	Nb	Ta	Sn	Mo	W	Re	Zr	Hf
Метасоматиты и рудоносные жилы																							
БЛ-12/15	10	1,24	35	2,63	85	89	43	203	5094	92129	112	128	120	42	921	6,63	0,49	1,88	2,11	1,48	0,00	19	0,85
БЛ-13/15	77	2,10	58	29,48	26	206	54	231	6648	168784	431	38	33	148	2384	7,44	0,53	1,17	1,01	0,85	0,00	14	0,59
БЛ-18/17	7	0,36	2	0,12	19	208	16	769	2262	31346	37	126	78	4	261	3,02	0,31	1,31	8,64	0,94	<0.007	50	1,85
БЛ-21/17	19	0,91	1	0,12	37	1798	181	1806	3400	354709	73	325	65	20	509	0,73	0,09	1,73	68,21	1,82	<0.007	95	2,33
БЛ-24/17	7	0,29	15	0,93	91	126	34	224	5259	4180	76	99	151	6	123	3,49	0,25	0,97	3,44	0,72	0,01	30	0,93
БЛ-27/17	6	1,84	2	0,15	64	119	419	1397	960	590307	160	16	37	235	5585	6,64	0,44	0,30	20,22	0,40	<0.007	37	0,63
БЛ-39/17	9	1,40	3	0,18	94	390	17	1100	270	67000	8500	77	31	2200	5400	0,46	0,06	0,22	6,30	54,00	0,00	22	0,48
БЛ-45/17	13	1,10	56	0,83	240	360	18	980	2500	25000	400	130	110	67	480	0,99	0,13	0,56	2,20	1,50	0,00	20	0,79
БЛ-46/17	14	0,90	28	1,30	120	960	11	950	2500	52000	330	130	150	48	730	1,40	0,15	0,74	6,70	1,60	0,00	12	0,70

Продолжение табл. 16

Номера проб	Y	Sc	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Cu	Zn	Pb	Ag	Au*	Pt*	Cd
Серпентинизированные лерцолиты и плагиолерцолиты																							
БЛ-8/15	2	3	2,8	3,9	0,8	3,2	0,63	0,16	0,52	0,08	0,45	0,10	0,31	0,05	0,41	0,06	208	11	4,60	0,56	<0,05	0,00	0,02
БЛ-57/17	8	7	5,5	17,0	2,0	8,3	2,00	0,47	2,00	0,31	2,00	0,40	1,10	0,16	1,10	0,16	100	82	6,90	0,18	<0,05	0,00	0,09
БЛ-58/17	5	14	2,3	5,2	0,9	4,0	1,10	0,40	1,10	0,18	1,20	0,24	0,66	0,10	0,67	0,10	84	68	2,90	0,08	<0,05	0,00	0,07
БЛ-59/17	3	8	2,0	4,5	0,7	3,0	0,71	0,30	0,71	0,11	0,77	0,16	0,44	0,07	0,49	0,07	49	73	2,10	0,06	<0,05	0,00	0,05
БЛ-60/17	14	8	13,0	30,0	3,9	16,0	3,50	0,62	3,30	0,50	3,10	0,61	1,60	0,22	1,40	0,19	130	80	4,80	0,09	<0,05	0,00	0,06
Габбро-нориты, Ti-авгитовое и роговообманковые габбро																							
БЛ-10/15	14	16	8,7	22,6	2,9	12,5	3,13	1,04	3,03	0,51	3,31	0,64	1,77	0,27	1,71	0,24	22	46	5,61	0,06	<0,05	0,00	0,04
БЛ-15/15	6	10	6,4	19,9	2,0	7,9	1,77	0,59	1,50	0,25	1,47	0,29	0,78	0,12	0,80	0,11	205	72	7,61	0,12	<0,05	0,01	0,05
БЛ-26/17	9	18	5,3	14,7	1,8	8,2	1,90	0,59	2,05	0,32	2,03	0,37	1,07	0,17	1,08	0,16	75	45	3,37	0,25	<0,05	0,01	0,07
БЛ-30/17	20	54	5,7	17,9	2,1	9,6	2,78	0,69	3,30	0,56	4,00	0,78	2,19	0,39	2,01	0,29	17	45	3,45	0,13	<0,05	0,01	0,06
БЛ-44/17	14	29	5,7	17,0	2,3	10,0	2,60	1,10	2,70	0,45	2,90	0,58	1,60	0,22	1,50	0,20	2100	81	4,50	0,12	<0,05	0,00	0,09

Продолжение табл. 16

Номера проб	Y	Sc	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Cu	Zn	Pb	Ag	Au*	Pt*	Cd
Лейкогаббро и анортозиты																							
БЛ-22/17	1	1	1,3	3,8	0,4	1,4	0,24	0,06	0,24	0,03	0,20	0,03	0,08	0,02	0,07	0,01	168	23	1,41	0,01	<0.05	0,00	0,03
БЛ-28/17	5	7	5,0	11,2	1,3	5,1	1,09	1,00	1,04	0,17	1,01	0,19	0,55	0,08	0,55	0,07	11	34	5,97	0,03	<0.05	<0.002	0,03
БЛ-29/17	8	10	7,1	16,4	1,9	7,5	1,67	1,11	1,54	0,25	1,64	0,33	0,78	0,13	0,74	0,10	109	35	4,99	0,05	<0.05	<0.002	0,03
БЛ-53/17	17	32	6,3	19,0	2,6	11,0	3,00	0,93	3,00	0,52	3,60	0,71	1,90	0,28	1,80	0,25	9	61	3,90	0,11	<0.05	0,00	0,07
БЛ-55/17	6	9	5,3	14,0	1,5	6,0	1,40	0,73	1,40	0,22	1,50	0,31	0,85	0,13	0,90	0,13	100	54	3,60	0,15	<0.05	0,00	0,07
Дайки основного состава																							
БЛ-6/15	15	15	11,3	31,1	4,1	16,8	4,01	1,14	3,73	0,62	3,90	0,75	2,03	0,29	1,96	0,27	363	57	8,85	0,23	<0,05	0,01	0,08
БЛ-7/15	14	15	9,9	27,2	3,5	14,6	3,54	0,93	3,27	0,53	3,33	0,65	1,77	0,26	1,66	0,23	129	53	8,67	0,21	<0,05	0,01	0,10
БЛ-32/17	19	21	69,2	157,9	16,4	60,9	9,44	2,57	7,14	0,82	4,20	0,71	1,75	0,24	1,50	0,22	103	102	15,77	0,44	<0.05	0,02	0,10
БЛ-36/17	14	41	6,7	19,0	2,6	11,0	2,70	1,10	2,70	0,43	2,70	0,53	1,50	0,19	1,30	0,18	43	91	3,50	0,12	<0.05	0,00	0,09
БЛ-49/17	6	17	4,8	13,0	1,6	7,0	1,60	1,00	1,70	0,27	1,80	0,37	1,10	0,15	1,10	0,16	38	77	4,80	0,06	<0.05	0,00	0,05
БЛ-51/17	5	16	4,0	12,0	2,4	12,0	3,40	1,20	3,20	0,51	3,00	0,47	1,10	0,15	1,10	0,12	1000	23	10,00	1,10	<0.05	0,00	0,03
Метасоматиты и рудоносные жилы																							
БЛ-12/15	4	13	4,2	5,2	1,3	5,1	1,18	0,28	1,10	0,19	1,24	0,25	0,81	0,14	1,18	0,18	87330	29	73,26	0,72	<0,05	0,02	0,04
БЛ-13/15	118	22	11,1	26,1	3,1	12,7	4,52	1,55	7,89	1,85	14,19	3,23	10,05	1,40	8,93	1,30	499	98	7,91	0,07	<0,05	0,00	0,04
БЛ-18/17	6	39	9,5	8,9	1,8	6,4	1,42	0,21	1,36	0,18	1,26	0,25	0,73	0,12	0,79	0,14	133	17	9,90	0,32	<0.05	0,01	0,06
БЛ-21/17	5	6	4,2	12,5	1,7	7,5	1,71	0,51	1,48	0,22	1,30	0,23	0,60	0,09	0,62	0,09	1509	33	2,88	0,32	<0.05	0,01	0,14
БЛ-24/17	2	9	2,7	5,6	0,9	3,7	0,79	0,36	0,69	0,10	0,52	0,10	0,25	0,04	0,29	0,04	51	23	4,37	0,19	<0.05	0,00	0,03
БЛ-27/17	13	4	2,5	6,2	0,7	3,3	0,91	0,35	1,40	0,27	2,12	0,48	1,54	0,29	1,94	0,28	761	120	2,53	0,12	<0.05	0,00	0,10
БЛ-39/17	41	7	15,0	75,0	7,8	35,0	9,10	2,30	9,30	1,50	9,20	1,80	4,70	0,63	4,00	0,59	99000	220	5,20	0,09	<0.05	0,00	0,46
БЛ-45/17	12	24	11,0	25,0	3,6	15,0	3,80	1,10	3,40	0,51	3,10	0,56	1,50	0,19	1,20	0,16	980	39	5,80	0,15	<0.05	0,00	0,08
БЛ-46/17	20	26	13,0	30,0	4,6	21,0	5,30	1,30	5,10	0,78	4,80	0,88	2,30	0,30	1,90	0,26	300	43	6,00	0,23	<0.05	0,00	0,26

Окончание табл. 16

Номера проб	As	Se	Sb	Te	Bi	Th	U
Серпентинизированные лерцолиты и плагиолерцолиты							
БЛ-8/15	29	4,0	0,28	0,21	0,70	2,59	1,53
БЛ-57/17	20	4,7	0,22	0,07	0,29	1,80	2,70
БЛ-58/17	16	4,6	0,44	0,18	0,13	0,58	0,73
БЛ-59/17	17	4,6	0,19	0,21	0,09	0,53	0,86
БЛ-60/17	36	4,6	0,46	0,02	0,10	1,60	1,70
Габбро-нориты, Ti-авгитовое и роговообманоковые габбро							
БЛ-10/15	11	3,2	0,73	0,03	0,07	3,02	1,00
БЛ-15/15	25	6,1	0,51	0,07	0,08	3,06	1,53
БЛ-26/17	13	1,7	0,26	0,03	0,29	1,08	0,86
БЛ-30/17	23	0,3	0,59	0,14	0,40	1,56	1,08
БЛ-44/17	25	5,0	0,31	0,06	0,26	0,82	10,00
Лейкогаббро и анортозиты							
БЛ-22/17	24	0,3	0,17	0,05	0,08	0,44	4,29
БЛ-28/17	31	1,3	0,40	0,05	0,14	0,92	0,53
БЛ-29/17	20	0,4	0,43	0,08	0,07	1,34	0,55
БЛ-53/17	29	4,6	0,96	0,08	0,08	3,00	1,60
БЛ-55/17	30	4,7	0,93	0,07	0,14	1,80	1,50
Дайки основного состава							
БЛ-6/15	39	4,0	1,24	0,04	0,11	4,49	2,00
БЛ-7/15	19	4,9	1,14	0,03	0,11	4,00	1,84
БЛ-32/17	21	2,5	0,85	0,07	0,40	13,41	5,00
БЛ-36/17	23	4,9	0,87	0,04	0,03	0,92	0,49
БЛ-49/17	13	4,3	0,19	0,05	0,38	0,90	0,61
БЛ-51/17	100	4,3	0,17	0,07	0,14	1,10	4,50
Метасоматиты и рудоносные жилы							
БЛ-12/15	42	3,8	1,68	0,64	0,32	1,75	2,72
БЛ-13/15	32	4,3	0,57	0,06	0,10	3,48	2,45
БЛ-18/17	91	4,6	3,18	0,58	0,16	4,45	25,55
БЛ-21/17	303	3,4	3,41	0,22	0,26	9,43	94,25
БЛ-24/17	89	1,5	0,22	0,10	0,08	1,13	1,12
БЛ-27/17	52	14,9	0,23	0,08	0,22	3,34	4,98
БЛ-39/17	160	5,8	2,20	0,05	0,34	1,30	500
БЛ-45/17	35	4,8	0,15	0,10	0,05	0,89	1,40
БЛ-46/17	41	4,9	0,37	0,14	0,22	2,30	3,90

Мелано- и мезократовые габброиды являются относительно медоносными (Cu – до 2100 г/т, в среднем 484 г/т), чем перидотиты

(Cu – до 208 г/т, в среднем 114 г/т), лейкогаббро и анортозиты (Cu – до 168 г/т, в среднем 79 г/т).

В жильных дериватах габброидов также отмечаются высокие содержания меди (Cu – до 1000 г/т, в среднем 279 г/т).

Вместе с тем, высокие содержание титана и хрома определены в мелано- и мезократовых габброидах массива (Ti – до 10539 г/т, Cr – 1739 г/т), которые повышены в эндоконтактных зонах массива. В рудоносных метасоматитах и жилах, развитых и локализованных в апикальных частях массива выявлены весьма высокие концентрации никеля (2384-5585 г/т), кобальта (235-2200 г/т) и меди (87330-99000 г/т).

На мультиэлементной диаграмме (рис. 17) во всех типах пород Бельтауского габбро-перидотитового массива (включая базитовые дайки, метасоматиты и рудоносные жилы) наблюдаются минимумы по Rb, Th, Nb, Ta, Zr, W, Sb, Y и максимумы по Se, Te, As, Pb, Sc, которые свидетельствуют о едином источнике их расплавов. Содержания золота, серебра и сопутствующих им элементов (Se, Te, As, Bi) постепенно увеличивается от перидотитов к габброидам и их дериватам.

Спектр распределения РЗЭ в перидотитах, габброидах и их дериватах пологий с незначительным обогащением легкими РЗЭ (рис. 17). Самое низкое суммарное содержание иттрия и редких земель в перидотитах, их серпентинизированных разностях и троктолитах 15-23 г/т, габбро-нориты, титанавгитовые, роговообманоковы габбро, лейкогаббро и анортозиты характеризуются средними содержаниями (50-100 г/т), максимально высокие определены в их дериватах – дайках диабазов (352 г/т) и габбро-диабазов (217 г/т).

Но спектры распределения РЗЭ во всех типах пород Бельтауского габбро-перидотитового массива четко коррелируются друг с другом, с небольшим обогащением в области легких редких земель.

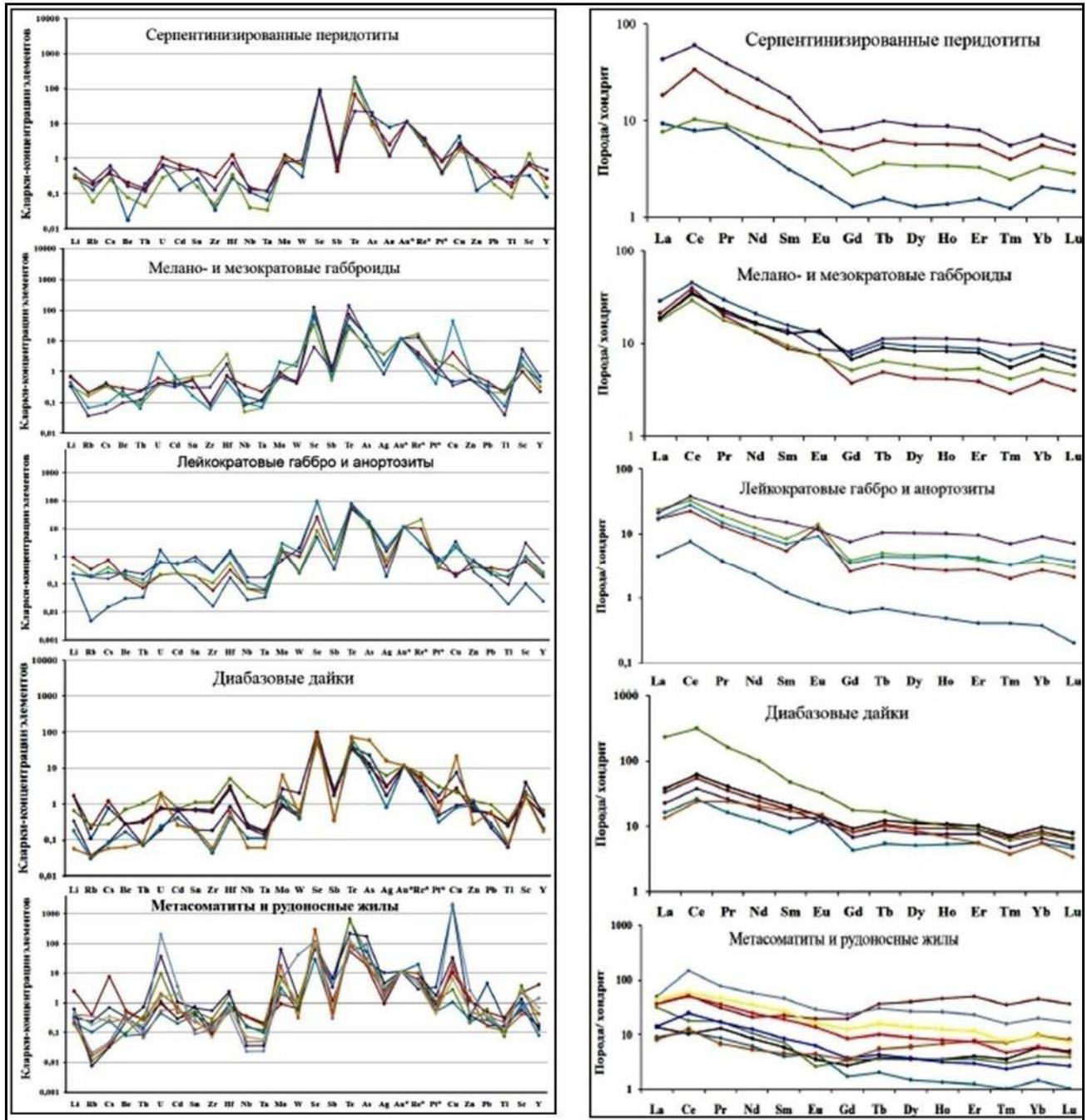


Рис. 17. Кларки-концентрации (левая колонка) и распределения элементов (правая колонка) в породах Бельтауского габбро-перидотитового массива и генетически связанных с ними метасоматитах и рудоносных жилах

В анортозитах наблюдается отрицательная европиевая аномалия, связанная, по всей видимости, с фракционированием плагиоклаза, когда в перидотитах, габброидах и их дериватах наблюдается явно положительная европиевая аномалия.

В настоящее время геодинамическая позиция пород Бельтауского габбро-перидотитового массива, установленная на

основе анализа его структурно-тектонического положения, морфологических и петрохимических особенностей, определяется как продукт магматизма активных окраин [40]. Однако на большинстве диаграмм либо полностью, либо значительной частью фигуративные точки занимают положение в поле известково-щелочной серии, что вносит некоторую неопределенность в диагностику

геодинамической природы и требует проведения дополнительных исследований по установлению мантийных источников пород массива.

Размещения точек пород Бельтауского габбро-перидотитового массива на петрогенетической дискриминационной диаграмме R_1 - R_2 указывают на принадлежность их к продуктам единого фракционированного (эволюционированного) мантийного магматического расплава (рис. 18).

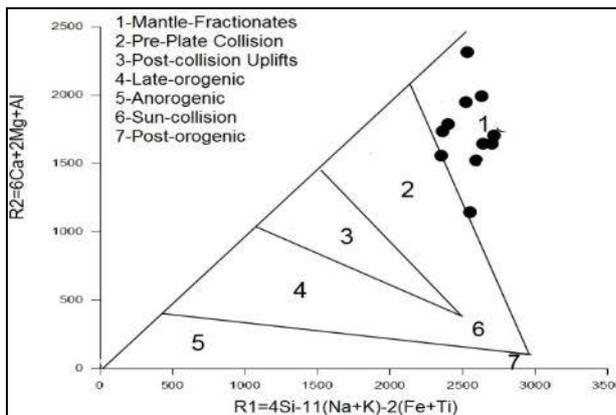


Рис. 18. Размещения пород Бельтауского габбро-перидотитового массива на дискриминационной диаграмме R_1 - R_2 [41]

В координатах диаграммы Ce/Nb – Th/Nb (рис. 19) большая часть составов лежит на линии смешения производных двух резервуаров: плюмового источника с участием рециклингового литосферного вещества – тугоплавкой составляющей погружившихся в мантию слэбов (RSC) и надсубдукционных компонентов (легкоподвижное вещество, мобилизуемое при дегратации и плавлении слэбов – SDC), растягиваясь на поле базитов островных дуг Марианского типа.

6. Выводы

1. Для массива характерна слабая расщепленность, обусловленная дифференциацией первичной базальтовой магмы, продукты которой представлены отдельными горизонтами лерцолитов, троктолитов, оливиновых габбро, титанавгитовых габбро, габброноритов, габбропироксенитов и анортозитов. Она подтверждается асимметричным строением интрузивного массива, что согласуется с кумулятивной природой пород дифференциро-

ванной серии, для которой характерна последовательность кумульных парагенезисов: $Ol+cPx+oPx\pm Pl$ (лерцолит), $Ol+Pl\pm Px$ (троктолит), $Pl+cPx+oPx\pm Ol$ (габбронорит, габбропироксенит), $Pl+cPx\pm Ol$ (габбро, оливиновое габбро, титанавгитовое габбро), $Pl\pm Px$ (анортозит). При этом анортозиты и безолиновые лейко- и мезократовые габброиды располагаются ближе к центральной части массива гипсометрически выше, чем меланократовые габброидов и перидотитов, а последние тяготеют к периферическим и более глубоким его частям.

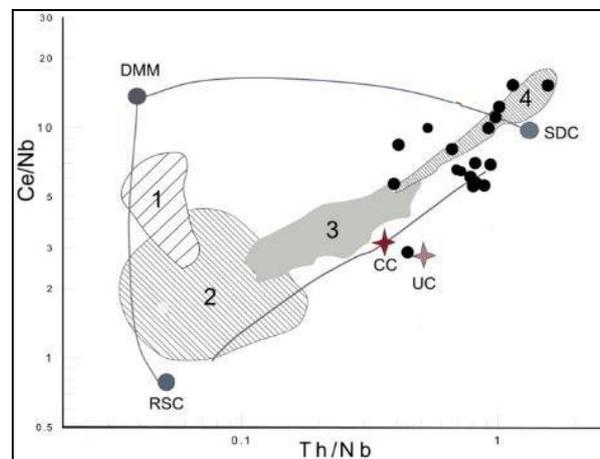


Рис. 19. Диаграмма Ce/Nb - Th/Nb [42] для пород Бельтауского габбро-перидотитового массива

Условные обозначения: составы геохимических резервуаров (DMM – деплетированная мантия, RSC – рестиновый компонент слэбов, SDC – мобильный компонент слэбов) по [43], CC (средний состав коры) и UC (верхняя кора) – по [44]; поля составов: 1 – MORB, 2 – производные Исландского плюма, 3 – Сибирские траппы по [45], 4 – породы Марианской дуги по [42]; темные кружки – породы Бельтауского габбро-перидотитового массива.

2. Для богатых оливином пород массива (плагиоклазосодержащие лерцолиты, троктолиты и оливиновые габбро) не вызывает сомнения интертеллурическая природа кристаллов оливина. Представляется, что оливин кристаллизовался в глубинном очаге и в дальнейшем гравитационно накапливался в придонной части магматической камеры, формируя слои перидотитов (лерцолитов).

По составу оливин из плагиоцерцолитов не отличается от оливинов из габброидов, в основном представлен хризотилом (Fo₇₄-Fo₇₉).

3. Впервые с применением микрозондового анализа пород Бельтауского массива выявлены формы находений и вещественные составы породообразующих, акцессорно-рудных минералов и рудогенерирующих флюидных микрообособлений. Определены главные минералы-носители и минералы-концентраторы железа, титана, меди, никеля и кобальта, хрома, платиноидов, золота, серебра, редких и редкоземельных металлов, служащие минералогическими критериями при поиске железо-титанового и медно-никелевого оруденения с благороднометалльной нагрузкой. Установлены микроминералы серебра: сульфат серебра в плагиоцерцолитах, силикат серебра в габбро-пироксенитах, палладистое серебро в диабазах, кремнещелочно-хлоридные микрообособления рудогенерирующих флюидов, содержащие примесей легких платиноидов, золота и серебра, а также карбонат серебра в анортозитах.

4. Геохимическая специализация перидотитов Бельтауского габбро-перидотитового массива характеризуется ярко выраженными

повышенными содержаниями никеля и кобальта, которые резко превышают содержания этих элементов, чем в мелано- и мезократовых габбро, лейкогаббро и анортозитах. Диабазовые дайки массива также характеризуются повышенными содержаниями этих элементов. Мелано- и мезократовые габброиды и их жильные дериваты являются относительно медоносными, чем остальные породы массива.

В рудоносных метасоматитах и жилах, развитых и локализованных в апикальных частях массива выявлены весьма высокие концентрации никеля (2384-5585 г/т), кобальта (235-2200 г/т) и меди (87330-99000 г/т).

5. Близость перидотитов, габброидов и их дериватов – диабазовых даек по химическому и микроэлементному составу к известково-щелочным гипербазитам и базитам, а также положение фигуративных точек на петрогенетических дискриминационных диаграммах, указывают на их мантийную природу. Все это даёт основание подтвердить вывод, относительно формирования пород Бельтауского габбро-перидотитового массива в условиях островодужного мантийного магматизма марианского типа.

Список литературы

1. Блюман Б.А. Офиолиты и кора океанов // Региональная геология и металлогения. 2016. № 68. С. 66-72.

2. Высоцкий С.В. Офиолитовые ассоциации островодужных систем Тихого океана. Владивосток: ДВО АН СССР. 1989. 196 с.

3. Высоцкий С.В. Офиолитовые и бонинит-офиолитовые ассоциации островодужных систем западной Пацифики: Автореф. дис... д-ра геол.-минер. наук. М.: МГУ. 1996. 62 с.

4. Высоцкий С.В., Голич А.Н. Петрология и минералогия офиолитов структур типа pull-apart (на примере трога Кайман) // Тихоокеанская геология. 2017. Т.36. №4. С. 38-51.

5. Добрецов Н.Л. Глаукофановый метаморфизм и три типа офиолитовых комплексов // Докл. АН СССР. 1974. Т. 216. № 6. С. 1383-1386.

6. Добрецов Н.Л., Конников Э.Г., Складаров Е.В., Медведев В.Н. Марианит-бонинитовая серия и эволюция офиолитового магматизма Восточного Саяна // Геология и геофизика. 1986. № 12. С. 29–35.

7. Дугарова Н. А., Тишин П. А., Гертнер И.

References

1. Blyuman B.A. *Ophiolity i kora okeanov* [Ophiolites and oceanic crust]. *Regional'naya geologiya i metallogeniya*, 2016, No 68, pp. 66-72. (In Russian)

2. Vysotskiy S.V. *Ofiolitoviye assotsiatsii ostrovoduzhnykh sistem Tikhogo okeana* [Ophiolite associations of island-arc systems of the Pacific Ocean]. Vladivostok, DVO AN SSSR. 1989. 196 p. (In Russian)

3. Vysotskiy S.V. *Ofiolitoviye i boninit-ofiolitoviye assotsiatsii ostrovoduzhnykh sistem zapadnoy Patsifiki*. Avtoreferat of Dis. Cand. Sci. Moscow, MGU. 1996. 62 p. (In Russian)

4. Vysotsky S.V., Golich A.N. Petrology and mineralogy of ophiolite structures of a pull-apart type by the example of the Kaiman trough. *Russian Journal of Pacific Geology*, 2017, Vol. 11, No 4, pp. 38-51. (In Russian)

5. Dobretsov N.L. *Glaukofanoviy metamorfizm i tri tipa ofiolitovikh kompleksov* [Glaucophane metamorphism and three types of ophiolite complexes]. *Dokl. AN SSSR*, 1974, Vol. 216, No 6, pp. 1383-1386. (In Russian)

6. Dobretsov N.L., Konnikov E.G., Sklyarov E.V., Medvedev V.N. Marianite-boninite series and

- Ф., Краснова Т. С. Минералогия и условия образования metabasites офиолитовой ассоциации северного склона Кузнецкого Алатау // Литосфера. 2017. Т.17. № 4. С. 97-109.
8. Колман Р.Г. Офиолиты. М.: Мир. 1979. 262 с.
9. Мамарозиков У.Д. Петрология и минералого-геохимическая оценка перспектив рудоносности ультрабазитов и базитов Тескудук-Ченгельдинского массива (Тамдытау, Западный Тянь-Шань) // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. № 1. С. 161-183.
10. Паланджян С.А. Лерцолитовые массивы офиолитов Анадырско-Корьякского региона: геологическое строение и состав пород как показатели обстановок формирования // Литосфера. 2010. № 5. С. 3-19.
11. Dilek Y., Furnes H. Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere // Geol. Soc. Amer. Bull., 2011. Vol.123. No3/4. P. 387-411.
12. Dilek Y., Robinson P.T. (eds). Ophiolites in Earth History // Geol. Soc. London. Spec. Publ. 2003. 218 p.
13. Паланджян С.А., Дмитренко Г.Г. Петрохимические типы и геотектоническая позиция перидотитов офиолитовых ассоциаций // Петрология гипербазитов и базитов / Отв. ред. Г.В.Поляков. Новосибирск: Наука. 1990. С. 52-70.
14. Furnes H., Safonova I. Ophiolites of the Central Asian Orogenic Belt: Geochemical and petrological characterization and tectonic settings // Geoscience Frontiers. 2019. No 10. P. 1255-1284.
15. Берзин С.В. Офиолиты мариинского комплекса в восточном и западном обрамлениях Ревдинского массива // Литосфера. 2016. №1. С. 88-106.
16. Складарев Е.В., Ковач В.П., Котов А.Б., Кузьмичев А.Б., Лавренчук А.В., Переляев В.И., Щипанский А.А. Бониниты и офиолиты: проблемы их соотношения и петрогенезиса бонинитов // Геология и геофизика. 2016. Т. 57. №1. С. 163-180.
17. Ханчук А.И., Высоцкий С.В. Разноглубинные габбро-гипербазитовые ассоциации в офиолитах Сихотэ-Алиня (Дальний Восток России) // Геология и геофизика, 2016. Т. 57. №1. С. 181-198.
18. Borisova A., Ceuleneer G., Kamenetsky V.S. et al. A new view on the petrogenesis of the Oman ophiolite chromitites from microanalyses of chromite-hosted inclusions // Journal of Petrology. 2012. Vol. 52. № 12. P. 2411-2440.
- † evolution of ophiolite magmatism in the Eastern Sayan. *Russian Geology and Geophysics*, 1986, No 12, pp. 29-35. (In Russian)
- † 7. Dugarova N.A., Tishin P.A., Gertner I.F., Krasnova T.S. Mineralogy and metabasites formation conditions from ophiolite association at northern slope of Kuznetsk Alatau. *Lithosphere (Russia)*, 2017, Vol. 17, No 4, pp. 97-109. (In Russian)
- † 8. Coleman R.G. *Ophiolites*. Moscow, Mir. 1979. 262 p. (In Russian)
- † 9. Mamarozikov U.D. Petrology and mineralogical-geochemical estimation of prospects of ore bearing of ultrabazites and basites of the Tescuduk-Cengeldi massif (Tamdytau, Western Tien Shan). *Nauchno-Tekhnicheskii Vestnik Bryanskogo Gosudarstvennogo Universiteta*, 2020, No 1, pp. 161-183. (In Russian)
- † 10. Palandzhyan S. A. Lherzolite massifs in the Anadyr-Koryak region ophiolites: Geological structure and rock composition as an indicator of the generation setting. *Lithosphere (Russia)*, 2010, No 5, pp. 3-109. (In Russian)
- † 11. Dilek Y., Furnes H. Ophiolite genesis and global tectonics: Geochemical and tectonic fingerprinting of ancient oceanic lithosphere. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 2011. Vol.123. No3/4. P. 387-411.
- † 12. Dilek Y., Robinson P.T. (eds). Ophiolites in Earth History. *Geol. Soc. London. Spec. Publ.* 2003. 218 p.
- † 13. Palandzhyan S.A., Dmitrenko G.G. *Petrokhimicheskiye tipy i geotektonicheskaya pozitsiya peridotitov ofiolitovykh assotsiatsiy* [Petrochemical types and geotectonic position of peridotites of ophiolite associations]. *Petrology of hyperbasites and basites*. Responsible editor G.V.Polyakov. Novosibirsk, Nauka. 1990, pp. 52-70. (In Russian)
- † 14. Furnes H., Safonova I. Ophiolites of the Central Asian Orogenic Belt: Geochemical and petrological characterization and tectonic settings. *Geoscience Frontiers*, 2019, No 10, pp. 1255-1284.
- † 15. Berzin S.V. Ophiolites of Mariinsky complex at east and west frames of Revdinsky Massif. *Lithosphere (Russia)*, 2016, No 1, pp. 88-106. (In Russian)
- † 16. Sklyarov E.V., Kovach V.P., Kotov A.B., Kuzmichev A.B., Lavrenchuk A.V., Perelyaev V.I., and A.A. Shchipansky. Boninites and ophiolites: problems of their relations and petrogenesis of boninites. *Russian Geology and Geophysics*, 2016, Vol. 57, No 1, pp. 163-180. (In Russian)
- † 17. Khanchuk A.I., Vysotskiy S.V. Different-depth gabbro-ultrabasic associations in the Sikhote-Alin ophiolites (Russian Far East). *Russian Geology and Geophysics*, 2016, Vol. 57, No 1, pp.

19. Riccardo Tribuzio, Matthew F. Thirlwall and Riccardo Vannucci. Origin of the Gabbro-Peridotite Association from the Northern Apennine Ophiolites (Italy) // *Precambrian Research*. 2016. Vol. 6. P.27-46.
20. Лихойдов Г.Г. Петролого-геохимические особенности основных и ультраосновных пород гор Кульджуктау. Автореф. дисс... канд. г.-м. наук. Ташкент, 1967. 21с.
21. Баранов В.В., Кромская К.М., Висьневский Я.С. Габброидные комплексы западной части Южного Тянь-Шаня и их минерогения. Ташкент: Фан. 1978. 168 с.
22. Баскаков Ю.Ф., Крылов Н.И. Бельтауский габброидный интрузив и связанная с ним эндогенная минерализация // В кн: Некоторые закономерности размещения эндогенного оруденения в Узбекистане. Ташкент: Фан. 1966. С. 78-84.
23. Шарафиев М.М. Петрография изверженных пород Бельтау (Кульджуктау) и некоторые вопросы генезиса Тасказганского месторождения графита. Автореф. дисс... канд. г.-м. наук. Ташкент. 1954. 24 с.
24. Каталог интрузивных массивов Узбекистана // Под ред. И.Х. Хамрабаева. Ташкент: Фан. 1975. Ч. II. 429 с.
25. Далимов Т.Н. Межрегиональная корреляция и основные проблемы палеозойского магматизма Западного Тянь-Шаня // Геология и минеральные ресурсы. 2011. № 1. С. 3-17.
26. Ахунджанов Р., Мамарозиков У.Д., Усманов А.И. Петрогенезис потенциально рудоносных интрузивов Узбекистана. Ташкент: Фан. 2014. 352 с.
27. Morimoto C. Nomenclature of pyroxene // *Mineral. Mag.* 1988. No 52. P. 535-550.
28. Вахрушев В.А. Рудные минералы изверженных и метаморфических пород. М.: Недра. 1989. 199 с.
29. Кузьмин А.М., Полуэктова Т.И. О значении акцессорных минералов для изучения магматических пород // Известия Томского политехнического института. 1971. Т. 177. С. 52-57.
30. Ляхович В.В., Родзянко Н.Г. Акцессорные минералы как индикаторы рудообразования. Ростов: Изд-во Ростовского университета. 1974. 255 с.
31. Хамрабаев И.Х. Петролого-геохимические критерии рудоносности магматических комплексов (на примере Узбекистана). Ташкент: Фан. 1969. 212 с.
32. Кромская К.М. Минералогия эндогенного никель-графитового месторождения Тасказган и геохимия отдельных элементов 181-198. (In Russian)
18. Borisova A., Ceuleneer G., Kamenetsky V.S. et al. A new view on the petrogenesis of the Oman ophiolite chromitites from microanalyses of chromite-hosted inclusions. *Journal of Petrology*. 2012, Vol. 52, No 1, pp. 2411-2440.
19. Riccardo Tribuzio, Matthew F. Thirlwall and Riccardo Vannucci. Origin of the Gabbro-Peridotite Association from the Northern Apennine Ophiolites (Italy). *Precambrian Research*, 2016, Vol. 6, pp.27-46.
20. Likhoydov G.G. Petrologo-geokhimicheskiye osobennosti osnovnykh i ultrasnovnykh porod gor Kuldzhuktau Avtoreferat of Dis. Cand. Sci. Tashkent, 1967. 21 p. (In Russian)
21. Baranov V.V., Kromskaya K.M., Vis'nevskiy Ya.S. *Gabbroidnyye komplekсы zapadnoy chasti Yuzhnogo Tyan'-Shanya i ikh minerageniya* [Gabbroid complexes of the western part of the Southern Tien Shan and their minerageny]. Tashkent, Fan. 1978. 168 p. (In Russian)
22. Baskakov YU.F., Krylov N.I. *Beltauskiy gabbroidnyy intruziv i svyazannaya s nim endogennaya mineralizatsiya* [Beltau gabbroic intrusion and associated endogenous mineralization]. In: Some patterns of distribution of endogenous mineralization in Uzbekistan. Tashkent, Fan. 1966. pp. 78-84. (In Russian)
23. Sharafiyev M.M. Petrografiya izverzhennykh porod Beltau (Kuldzhuktau) i nekotoryye voprosy genezisa Taskazganskogo mestorozhdeniya grafita. Avtoreferat of Dis. Cand. Sci. Tashkent, 1954. 24 p. (In Russian)
24. *Katalog intruzivnykh massivov Uzbekistana* [Catalogue of intrusive massifs of Uzbekistan]. Ed. by Khamraev I.Kh. Tashkent, Fan. 1975. Part II, 429 p. (In Russian)
25. Dalimov T.N. *Mezhregionalnaya korrel'yatsiya i osnovnyye problemy paleozoyskogo magmatizma Zapadnogo Tyan'-Shanya* [Interregional correlation and main problems of Paleozoic magmatism of the Western Tien Shan]. *Geologiya i mineralnyye resursy*, 2011, No 1, pp. 3-17. (In Russian)
26. Akhundzhanov R., Mamarozikov U.D., Usmanov A.I. *Petrogenезis potentsialno rudonnykh intruzivov Uzbekistana* [Petrogenesis of potentially ore-bearing intrusions of Uzbekistan]. Tashkent, Fan. 2014. 352 p. (In Russian)
27. Morimoto C. Nomenclature of pyroxene. *Mineral. Mag.*, 1988, No 52, pp. 535-550.
28. Vakhrushev V.A. *Rudnyye mineraly izverzhennykh i metamorficheskikh porod* [Ore minerals of igneous and metamorphic rocks]. Moscow, Nedra. 1989. 199 p. (In Russian)

- //Автореф. дисс... канд. г.-м. наук. Ташкент. 1971. 27 с.
33. Дир, У.А., Хауи, Р.А., Зусман, Дж. Порообразующие минералы. Т. 3. М.: Мир, 1966. 318 с.
34. Disk H.J.B., Bullen Th. Creman spine as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas // *Contrib. Mineral. Petrology*. 1984. № 31. P. 54-56.
35. Мурзин В.В., Дамдинов Б.Б., Азовскова О.Б., Дамдинова Л.Б. Геохимия углеродистых гипербазитов Оспинско-Китойского офиолитового массива (Восточные Саяны) // Тр. ИГГ УрО РАН. Вып. 160. 2013. С. 144-149.
36. Добрецов Н.Л., Шацкий А.Ф. Глубинный цикл углерода и глубинная геодинамика: роль ядра и карбонатитовых расплавов в нижней мантии // *Геология и геофизика*. 2012. №11. С. 1455-1475.
37. Жмодик С.М., Миронов А.Г., Жмодик А.С. Золотоцентрирующие системы офиолитовых поясов (на примере Саяно-Байкало-Муьского пояса). Новосибирск: Изд-во «Гео». 2008. 304 с.
38. Herman van Roermund, Dirk Spengler, Hans Vrijmoed. Micro-diamond in orogenic peridotite and other high grade metamorphics of the northern UHP domain, WGR, Norway: When and how did they form? // 12th International Eclogite Conference in Are, Sweden, 2017. Post-conference excursion guide, 112 p.
39. Слодкевич В.В., Шафрановский Г.И. Алмазсодержащая минеральная ассоциация газовой-флюидного генезиса в Бельтауском расщелинном плутоне (Узбекистан) // *Минералогические флюиды и рудогенез / Мат-лы междунар. симпози. (совместно с АРIFIS - II)*. Ташкент: ИГиГ АН РУз. 1998. С. 45-46.
40. Далимов Т.Н., Ганиев И.Н. Эволюция и типы магматизма Западного Тянь-Шаня. Ташкент: Университет. 2010. 226 с.
41. Batchelor, R. A. & Bowden, P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*. 1985. Vol. 48. P. 43-55.
42. Мартынов Ю. А. Основы магматической геохимии. Владивосток: Дальнаука. 2010. 228 с.
43. Сасим С.А., Дриль С.И., Татарников С.А., Владимирова Т.А., Сандимирова Г.П. Геохимия и Sr-Nd-Pb изотопная систематика пород Акатуевского массива (юго-восточное Забайкалье) // *Мат.-лы междунар. конф. Улан-Удэ: Изд-во БНЦ СО РАН*, 2008. С. 342-344
44. Щипанский А.А. и др. Геодинамика восточной окраины Сарматии в палеопротерозое // 29. Kuzmin A.M., Poluektova T.I. O znachenii aktsessornykh mineralov dlya izucheniya magmaticheskikh porod [On the importance of accessory minerals for the study of igneous rocks]. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo instituta*, 1971. Vol. 177, pp. 52-57. (In Russian)
30. Lyakhovich V.V., Rodzyanko N.G. *Aktsessornyye mineraly kak indikatory rudoobrazovaniya* [Accessory minerals as indicators of ore formation]. Rostov, Izd-vo Rostovskogo universiteta. 1974. 255 p. (In Russian)
31. Khamrabaev I.Kh. *Petrologo-geokhimicheskiye kriterii rudonosnosti magmaticheskikh kompleksov* [Petrological and geochemical criteria for ore bearing igneous complexes]. Tashkent, Fan, 1969. 214 p. (In Russian)
32. Kromskaya K.M. Mineralogiya endogenogo nikel-grafitovogo mestorozhdeniya Taskazgan i geokhimiya otdelnykh elementov. Avtoreferat of Dis. Cand. Sci. Tashkent, 1971. 27 p. (In Russian)
33. Dir, U.A., Khaui, R.A., Zusman, Dzh. *Porodo-obrazuyushchiye mineraly* [Rock-forming minerals]. Third Edition. Moscow: Mir, 1966. 318 p. (In Russian)
34. Disk H.J.B., Bullen Th. Creman spine as a petrogenetic indicator in abyssal and alpine-type peridotites and spatially associated lavas. *Contrib. Mineral. Petrology*, 1984, No 5, pp. 54-56.
35. Murzin V.V., Damdinov B.B., Azovskova O.B., Damdinova L.B. *Geokhimiya uglerodistykh giperbazitov Ospinsko-Kitoyskogo ofiolitovogo massiva (Vostochnyye Sayany)* [Geochemistry of carbonaceous hyperbasites of the Ospinsko-Kitoy ophiolite massif (Eastern Sayan)]. Proceedings of the IGG UB RAS, 2013, Issue 160, pp. 144-149. (In Russian)
36. Dobretsov N.L. and Shatskiy A.F. Deep carbon cycle and geodynamics: the role of the core and carbonatite melts in the lower mantle. *Russian Geology and Geophysics*, 2012, No 11, pp. 1455-1475. (In Russian)
37. Zhmodik S.M., Mironov A.G., Zhmodik A.S. *Zoloto-kontsentriruyushchiye sistemy ofiolitovykh poyasov (na primere Sayano-Baykalo-Muyskogo poyasa)* [Gold-concentrating systems of ophiolite belts (using the Sayan-Baikal-Muya belt as an example)]. Novosibirsk, Geo Publishing House. 2008. 304 p. (In Russian)
38. Herman van Roermund, Dirk Spengler, Hans Vrijmoed. Micro-diamond in orogenic peridotite and other high grade metamorphics of the northern UHP domain, WGR, Norway: When and how did they form? // 12th International Eclogite Conference in Are, Sweden, 2017. Post-conference

Геотектоника. 2007. № 1. С. 43-70.

45. Ненахов В. М., Бондоренко С.В. Тектоническая эволюция Лосевской шовной зоны Воронежского кристаллического массива в палеопротерозое // Геотектоника. 2011. № 4. С. 43-59.

† excursion guide, 112 p.

† 39. Slodkevich V.V., Shafranovskiy G.I. *Almazoderzhashchaya mineralnaya assotsiatsiya gazovo-flyuidnogo genezisa v Beltauskom rassloyennom plutone (Uzbekistan)*. [Diamond-bearing mineral association of gas-fluid genesis in the Beltau layered pluton (Uzbekistan)]. *Mineral-forming fluids and ore genesis. Proc. int. symposium (jointly with APIFIS - II)*. Tashkent. IGiG AN Ruz, 1998, pp. 45-46. (In Russian)

† 40. Dalimov T.N., Ganiyev I.N. *Evolitsiya i tipy magmatizma Zapadnogo Tyan-Shanya* [Evolution and types of magmatism of the Western Tien Shan]. Tashkent, Universitet. 2010. 226 p. (In Russian)

† 41. Batchelor, R. A. & Bowden, P. Petrogenetic interpretation of granitoid rock series using multicationic parameters. *Chemical Geology*, 1985, Vol. 48, pp. 43-55.

† 42. Martynov Yu. A. *Osnovy magmaticheskoy geokhimii* [Fundamentals of magmatic geochemistry]. Vladivostok, Dalnauka. 2010. 228 p. (In Russian)

† 43. Sasim S.A., Dril S.I., Tatarnikov S.A., Vladimirova T.A., Sandimirova G.P. Geochemistry and Sr-Nd-Pb isotope systematics of rocks of the Akatuevsky massif (southeastern Transbaikalia). *Proceedings of the international conference*. Ulan-Ude, Publishing house of the BSC SB RAS, 2008, pp. 342-344. (In Russian)

† 44. Shchipanskiy A.A. i dr. *Geodinamika vostochnoy okrainy Sarmatii v paleoproterozoye* [Geodynamics of the eastern margin of Sarmatia in the Paleo-Proterozoic]. *Geotektonika*, 2007, No 1, pp. 43-70. (In Russian)

† 45. Nenakhov V. M., Bondorenko S.V. *Tektonicheskaya evolyutsiya Losevskoy shovnoy zony Voronezhskogo kristallicheskogo massiva v paleoproterozoye* [Tectonic evolution of the Losevskaya suture zone of the Voronezh crystalline massif in the Paleoproterozoic]. *Geotektonika*, 2011, No 4, pp. 43-59. (In Russian)