

**ПРИРОДА АМФИБОЛОВ ИЗ ГАББРОИДОВ КЭРШОРСКОГО
КОМПЛЕКСА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)**

© Рахимов Ильдар Рашитович,

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

© Савельев Дмитрий Евгеньевич,

ГБНУ «Академия наук Республики Башкортостан»,
Институт геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр
Российской Академии наук», Уфа, Российская Федерация

Аннотация. Изучены парагенетические ассоциации и состав амфиболов из гнейсовидных габброидов кэршорского комплекса (массив Рай-Из, Полярный Урал). Выявлено, что амфибол представлен разнообразными по форме выделениями, от амёбовидных ксеноморфных до идиоморфных; его количество в породах варьирует от 10 до 90 %. Часть зёрен несёт следы метасоматических изменений, выраженных в виде частичной хлоритизации, эпидотизации и вторичной амфиболизации (ферроактинолит). Явных признаков метаморфического происхождения амфибола не обнаружено. Установлено, что все изученные амфиболы принадлежат к подгруппе Са-амфиболов (с непрерывным трендом от магнезиогорнблендита через паргасит к саданагаиту), а большая часть отвечает тренду эволюции роговой обманки. Морфология индивидов и особенности состава доминирующего амфибола на химических дискриминационных диаграммах полностью соответствует магматогенному типу (SiO_2 40.1–48.1 мас. %, TiO_2 0.3–1.1 мас. %, Al_2O_3 8.0–17.4 мас. %, отношение $\text{Al}^{\text{VI}}/\text{Al}^{\text{IV}}$ варьирует от 0.18 до 0.50). Согласно расчётам по амфиболовому барометру и амфибол-плагиоклазовому термометру, параметры кристаллизации амфиболов были следующими: давление 3–11 кбар, температура 735–951 °С. Таким образом, установлено сочетание магматических характеристик химического состава и РТ-условий образования амфиболов и типично метаморфических текстур и структур пород при отсутствии характерных метаморфических минеральных ассоциаций. Это позволяет предположить происхождение пород кэршорского комплекса за счёт кристаллизации водонасыщенного расплава, функционировавшего в особых тектонических условиях, обусловленных общим напряжением с разрывными и пластическими деформациями при восходящих движениях тектонических пластин.

Ключевые слова: кэршорский комплекс, гнейсовидные габбро, амфибол, генезис.

**ORIGIN OF AMPHIBOLES FROM GABBROIDS OF THE KAERSHOR
COMPLEX (POLAR URALS)**

© Rakhimov Ildar Rashitovich,

Institute of Geology Ufa Federal Research Centre Russian Academy of Sciences,
Ufa, Russian Federation

© Saveliev Dmitry Evgenievich

State budgetary scientific institution «Academy of Sciences of the Republic of
Bashkortostan»,
Institute of Geology Ufa Federal Research Centre Russian Academy of Sciences,
Ufa, Russian Federation

Summary. The paragenetic associations and composition of amphiboles from the gneissic gabbroids of the Kaershor complex (Ray-Iz massif, Polar Urals) have been studied. Amphibole is represented by various-shape segregations, from amoeba-like xenomorphic to euhedral grains; its amount in rocks varies from 10 to 90%. Some of the grains underwent metasomatic alteration as partial chloritization, epidotization, and secondary amphibolization (ferroactinolite). No clear signs of the metamorphic origin of the amphibole have been found. It has been established that they belong to the subgroup of Ca-amphiboles (with continuous trend from magnesiohornblende through pargasite to sadanagaite), and most of them correspond to the evolutionary trend of hornblende. The grain morphology and compositional features of the dominant amphibole on the discrimination diagrams generally correspond to the magmatogenic type (SiO_2 40.1–48.1 wt. %, TiO_2 0.3–1.1 wt. %, Al_2O_3 8.0–17.4 wt. %, ratio $\text{Al}^{\text{VI}}/\text{Al}^{\text{IV}} = 0.18\text{--}0.50$). According to the calculations using the amphibole barometer and the amphibole-plagioclase thermometer, the crystallization parameters of the amphibole were as follows: pressure 3–11 kbar, temperature 735–951 °C. The combination of magmatic characteristics of the composition and PT conditions for the formation of amphibole and typical metamorphic textures and structures of rocks in the absence of typical metamorphic mineral associations suggests the origin of the rocks of the Kaershor complex due to the crystallization of a water-saturated melt that functioned under special tectonic conditions caused by general stress with rupture and plastic deformations at uplift of tectonic plates.

Key words: Kaershor complex, gneissic gabbro, amphibole, genesis

Введение. Амфибол является одним из самых распространённых минералов земной коры, а также встречается и в мантийных породах. Этот минерал давно зарекомендовал себя как ценный петрологический индикатор, но в силу сложности химического состава его генезис трактуется неоднозначно [1–3]. Амфибол является непосредственным свидетелем процессов дифференциации, контаминации и дегазации магм, а наличие (ОН)-группы, F и Cl в составе помогает оценить свойства флюидов [4, 5]. В метаморфических породах амфибол позволяет оценить PT-параметры и установить тип протолита [1].

Амфибол является ведущим минералом так называемых полосчатых комплексов – неотъемлемой части офиолитовой формации [6]. Вопросы происхождения полосчатых комплексов освещены в работах [7–10]. Гипотезы образования полосчатых комплексов офиолитов можно разделить на две основные группы: магматическую кумулятивную и метаморфогенную реакционную. В статье представлены результаты исследований амфиболов из гнейсовидных габброидов кэршорского комплекса, обрамляющего гипербазиты массива Рай-Из (Полярный Урал), в контексте интерпретации происхождения как минерала, так и пород.

Методика. Породы кэршорского комплекса были опробованы нами в ходе геологической экспедиции в 2022 г. Изготовлено и петрографически изучено суммарно 7 шлифов и аншлифов на оптическом поляризационном микроскопе Carl Zeiss Axioskop 40 A. Химический состав минералов определён на сканирующем электронном микроскопе Tescan Vega Compact при помощи ЭДС-приставки Xplorer 15 Oxford Instruments. При съёмке использованы следующие

установки: ускоряющее напряжение 20 кВ, ток зонда в диапазоне 3–4 нА. Всего из 4 проб габброидов получено 69 анализов амфибола.

Результаты и их обсуждение. Парагенетические ассоциации амфиболов Габброиды имеют гнейсовидную текстуру, выраженную чередованием полос, сложенных амфиболом и плагиоклазом (рис. 1а, б).

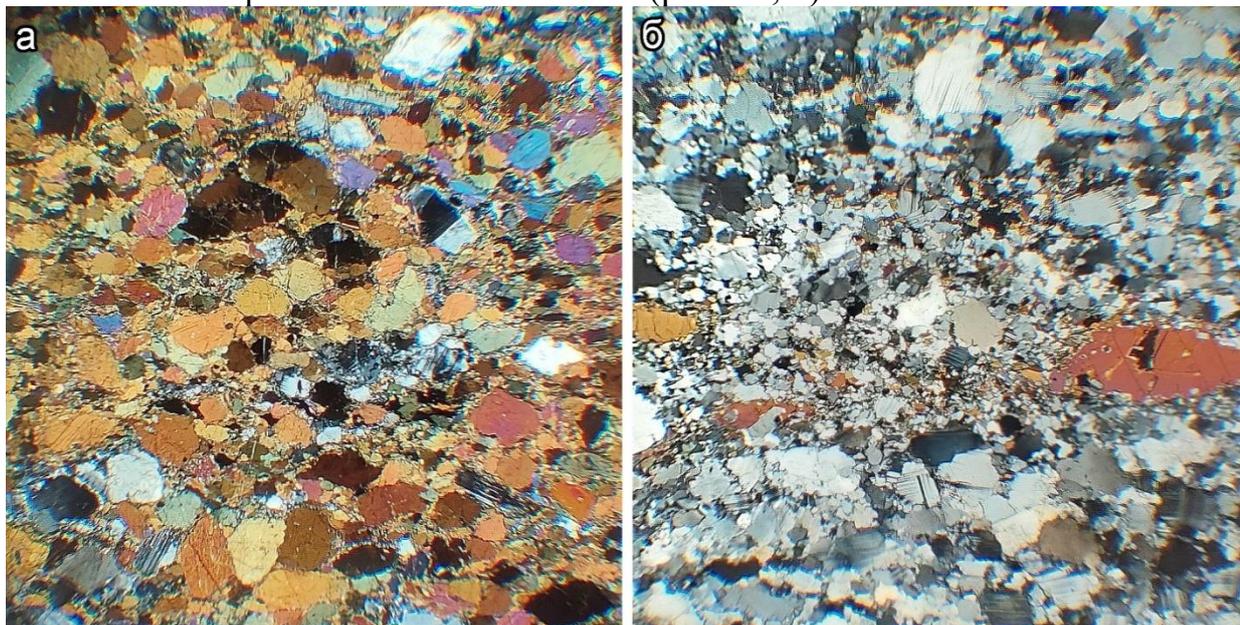


Рис. 1. Микрофотографии богатой амфиболом (а) и плагиоклазом (б) полос в габброидах кэршорского комплекса (в скрещенных николях)

Толщина полос варьирует от сотен микрометров до нескольких сантиметров. Местами отмечается очковая текстура. Структура пород панидиоморфнозернистая и аллотриоморфнозернистая. Встречаются относительно свежие разновидности, в которых плагиоклаз незначительно сосюритизирован, и метасоматизированные, в которых плагиоклаз частично или нацело замещён вторичными минералами (эпидотом, пренитом, хлоритом), а амфибол частично замещён хлоритом, эпидотом и амфиболами актинолит-тремолитового ряда (рис. 2а). В сильно метасоматизированных породах встречается кварц. Амфибол макроскопически имеет чёрную окраску, в шлифах окрашен в бурый, буро-зелёный и буровато-зелёный цвета, плеохроирует в оттенках бурого и зелёного. Количество амфибола в изученных породах варьирует от 15 до 90 об. %, в среднем 50–60 об. %, в связи с чем их называют габбро-амфиболитами [11]. Морфология зёрен разнообразна: идиоморфные и субидиоморфные кристаллы размером от 10 мкм до 10 см с ромбовидными сечениями в плане, ксеноморфные амёбовидные и чаще вытянутые извилистые выделения размером от нескольких десятков микрометров до нескольких миллиметров. Крупные зёрна амфибола содержат включения плагиоклаза, апатита и магнетита размером до 200 мкм. Кроме того, встречаются извилистые ламелиевидные выделения магнетита (рис. 2б), вероятно представляющие собой

продукты твердофазного распада. Реликтов клинопироксена, о которых указывалось в работе [11], нам найти не удалось. Здесь необходимо добавить, что образование амфибола может быть не связано с метаморфизацией пироксенсодержащей породы, амфибол может кристаллизоваться непосредственно из водонасыщенного расплава, а также за счёт реакции клинопироксена с остаточным водонасыщенным расплавом [12]. Кроме того, в изученных породах амфибол сам подвержен вторичным изменениям, выраженным в виде пятен и кайм хлорита и поздних амфиболов актинолит-тремолитовой ассоциации. Таким образом, для изучаемых габброидов кэршорского комплекса характерно сочетание признаков магматогенного и метаморфогенного происхождения. Структурно-текстурные особенности пород и морфология выделений амфибола во многом типичны для метаморфических образований, в то же время характер срастаний минералов, наличие включений, реакционных зон и вторичных изменений в амфиболе являются характерными особенностями магматогенных образований.

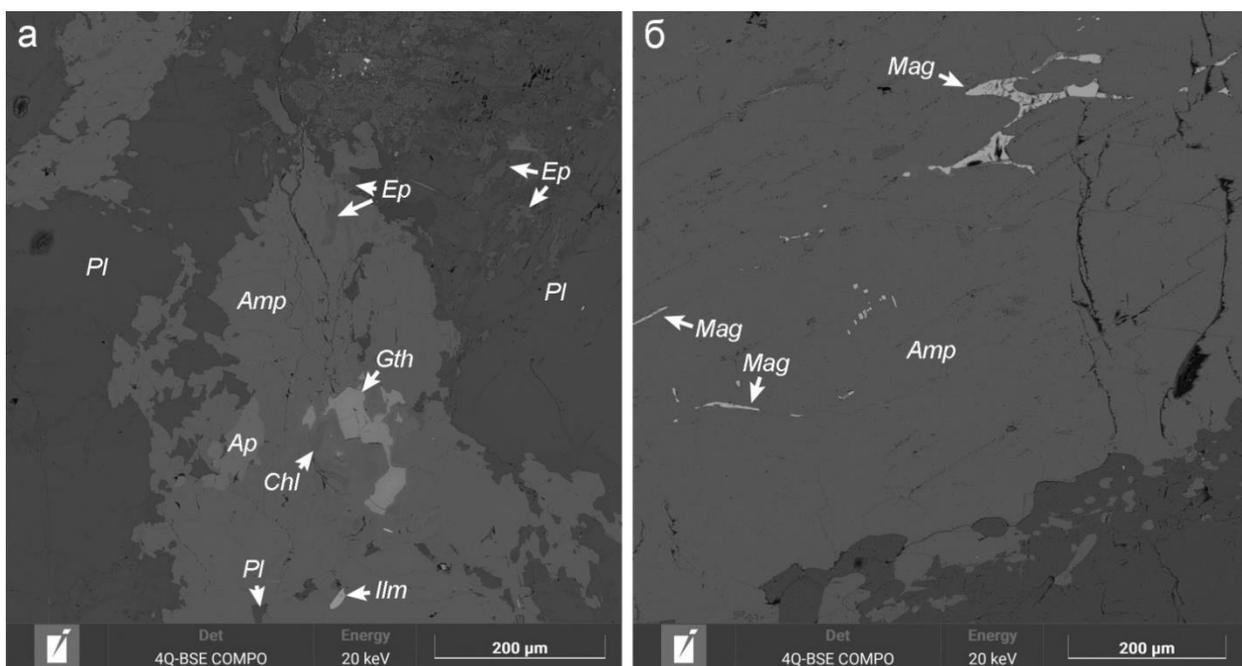


Рис. 2. BSE-изображения амфиболов кэршорского комплекса, где: а) включения и зоны вторичных изменений в амфиболе, б) ламелиевидные включения и прожилки магнетита в амфиболе. Amp = амфибол, Ap = апатит, Chl = хлорит, Ep = эпидот, Gth = гётит, Pm = ильменит, Mag = магнетит, Pl = плагиоклаз

Химический состав. На классификационной диаграмме (рис. 3) составы амфиболов образуют единый тренд от магнезиогорнблендита через паргасит к саданагаиту. Лишь один анализ из 69 отвечает ферроактинолиту, который в виде пятен образует зоны замещения внутри зёрен раннего амфибола. Согласно номенклатуре амфиболов [Hawthorne et al., 2012], принятой Международной минералогической ассоциацией, все изученные составы отвечают (OH, F, Cl)-

доминантной группе амфиболов, подгруппе Са-амфиболов. На диаграмме $Al^{IV}(\text{ф.к.})-Na+K(\text{ф.к.})$ (рис. 4) составы амфиболов ложатся на тренд дифференциации роговой обманки – ныне дискредитированной подгруппы кальций-глинозёмистых амфиболов, однако терминологически всё ещё широко используемой в научной литературе. Данный тренд характеризует неполное изоморфное замещение магнезиогорнблендита паргаситом.

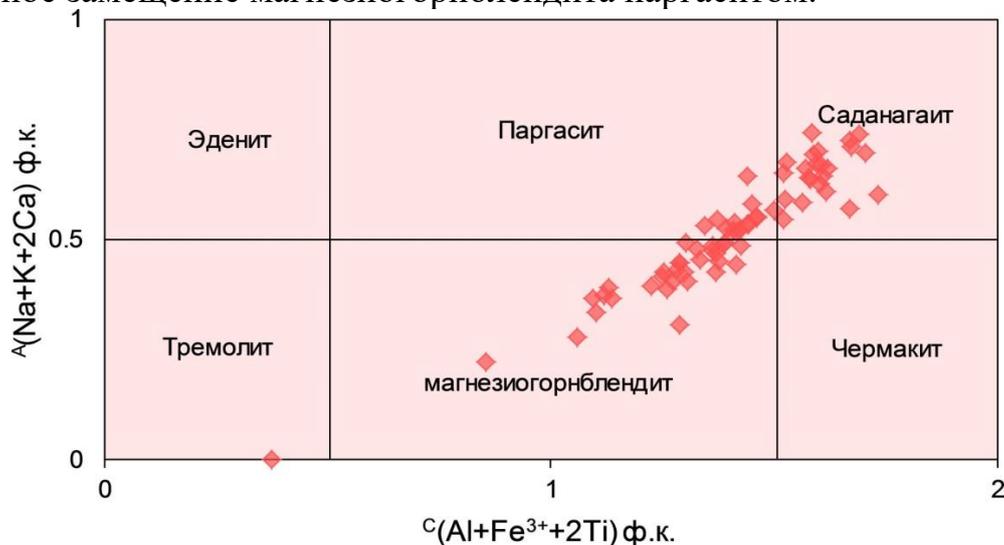


Рис. 3. Классификационная диаграмма $C(Al+Fe^{3+}+2Ti) - A(Na+K+2Ca)$ по [13] для Са-амфиболов кэршорского комплекса. Примечание: ф.к. = формульные коэффициенты

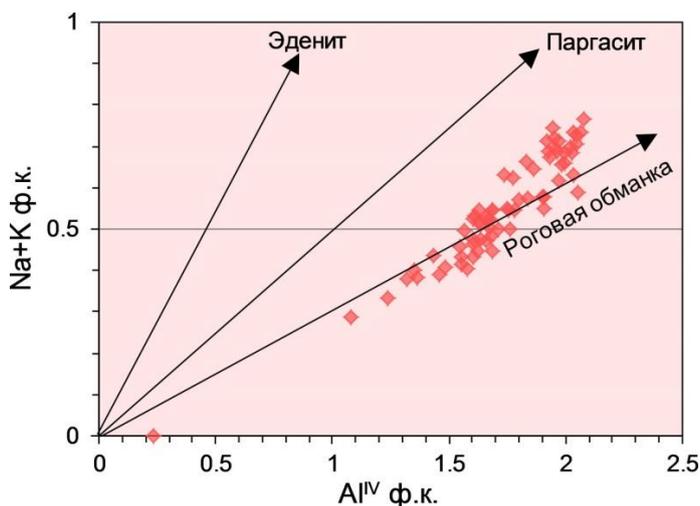


Рис. 4. Диаграмма $Al^{IV}(\text{ф.к.})-Na+K(\text{ф.к.})$ по [14] для Са-амфиболов кэршорского комплекса

Содержания основных компонентов в амфиболох варьируют в следующих пределах (мас. %), без учёта ферроактинолита: SiO_2 40.1–48.1, TiO_2 0.25–1.10, Al_2O_3 8.0–17.4, FeO 10.9–17.9, V_2O_5 0.н–0.19, MnO 0.30–0.61, MgO 8.9–14.4, CaO 10.6–12.2, Na_2O 0.96–2.36, K_2O 0.н–0.51. Концентрации F и Cl ниже пределов обнаружения ЭДС. Представительные анализы минерала даны в табл. 1.

Магнезиальность $Mg\#$ ($Mg/(Mg+Fe^{2+})_{ф.к.}$) меняется от 0.41 до 0.81 (0.63 в среднем). Установлена чёткая положительная корреляция между Si и Na, но отсутствует корреляция между Si и Ti, а также Al и $Mg\#$, обычно характерная для амфиболов магматогенного происхождения.

Таблица 1 – Представительные анализы амфибола из габброидов кэршорского комплекса

#	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO _{tot}	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
1	43.69	0.58	11.77	17.38	0.37	10.27	11.84	1.28	0.22
2	47.41	0.25	7.92	14.75	0.37	12.84	11.89	0.95	0.08
3	45.28	0.60	9.49	16.43	0.42	11.47	11.41	1.19	0.16
4	41.45	1.09	15.43	15.36	0.38	10.97	11.41	2.17	0.39
5	40.37	1.09	15.94	15.38	0.39	10.30	11.13	2.24	0.43
6	41.22	0.58	15.52	15.98	0.41	10.16	11.48	2.25	0.37
7	40.63	0.55	16.30	15.70	0.29	9.68	11.18	2.02	0.35
8	40.94	0.32	17.57	16.81	0.43	9.02	11.25	2.11	0.14
9	43.37	0.87	12.30	15.20	0.46	11.17	11.70	1.81	нпо
10	43.34	0.77	12.98	15.72	0.52	10.71	11.74	1.77	0.11

Формульные коэффициенты, O=23

#	Si	Ti	Al ^{IV}	Al ^{VI}	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na	K	^W OH	^W O ²⁻
1	6.484	0.108	1.555	0.504	0.528	1.629	0.047	2.272	1.886	0.368	0.046	1.855	0.145
2	6.946	0.056	1.082	0.285	0.459	1.349	0.046	2.804	1.878	0.270	0.016	2.000	0.000
3	6.715	0.108	1.322	0.337	0.550	1.488	0.052	2.536	1.822	0.342	0.036	1.893	0.107
4	6.081	0.165	1.959	0.709	0.549	1.336	0.048	2.399	1.794	0.617	0.076	1.680	0.321
5	6.012	0.174	2.035	0.762	0.560	1.355	0.049	2.287	1.776	0.647	0.088	1.708	0.292
6	6.093	0.113	1.952	0.752	0.552	1.424	0.051	2.239	1.819	0.645	0.074	1.809	0.191
7	6.065	0.116	1.986	0.882	0.504	1.456	0.037	2.154	1.788	0.585	0.072	1.817	0.184
8	6.016	0.092	2.036	1.007	0.543	1.523	0.054	1.976	1.771	0.601	0.030	1.783	0.217
9	6.415	0.146	1.630	0.514	0.522	1.358	0.058	2.463	1.858	0.519	0	1.850	0.150
10	6.383	0.131	1.658	0.595	0.530	1.406	0.065	2.351	1.856	0.505	0.025	1.841	0.159

Примечание: нпо = ниже предела обнаружения.

Согласно дискриминационным диаграммам, представленным на рис. 5а и б, амфиболы кэршорского комплекса отвечают магматическим амфиболам. Величина Al^{VI}/Al^{IV} варьирует от 0.18 до 0.50. Единственный анализ, попадающий в область метаморфических амфиболов – ферроактинолит. Это противоречит метаморфической природе амфиболсодержащих пород и самого амфибола [11, 15]. Также с метаморфической природой габброидов кэршорского комплекса не согласуется состав плагиоклаза, варьирующий от битовнита (An_{80-84}) до андезина (An_{31-38}) во всех изученных нами пробах. Т.е. если рассматривать амфибол как продукт метаморфической трансформации клинопироксена, то нет очевидного «минерала-протолита» для плагиоклаза. Если рассматривать плагиоклаз-амфиболовую ассоциацию как продукт полной перекристаллизации габбро (пироксен-плагиоклазовой породы), то возникает вопрос – почему отсутствуют типичные минералы метаморфических ассоциаций (гранат, омфациит, барруазит, клиноцоизит, пижонит), наблюдаемые в других метаморфических комплексах

офиолитовых блоков [16]. Таким образом, метаморфическое происхождение габброидов-габбро-амфиболитов кэршорского комплекса небесспорно. На диаграмме $Al^{IV}-Fe^{2+}/(+Mg)$ (рис. 6а) фигуративные точки амфиболов ложатся в поле составов, образованных в условиях относительно высокой фугитивности кислорода. Это вполне обычное распределение амфиболов из разных магматических пород. На диаграмме $Al_2O_3-TiO_2$ (рис. 6б) изученные составы попадают в область мантийного источника, характеризуя магматическое происхождение амфиболов кэршорского комплекса.

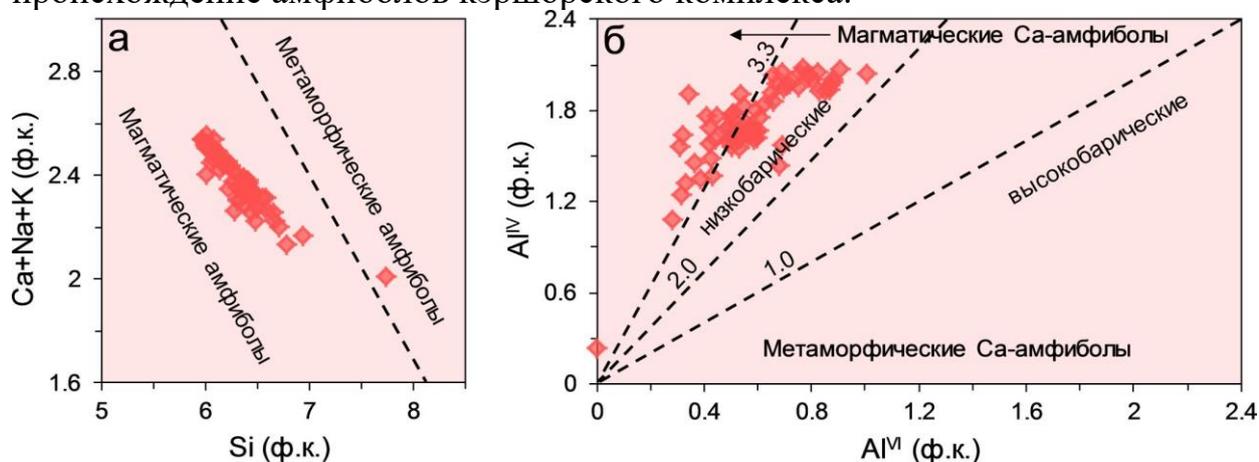


Рис. 5. Дискриминационные диаграммы для Са-амфиболов кэршорского комплекса Si–Ca+Na+K в ф.к. по [17] (а) и $Al^{VI}-Al^{IV}$ в ф.к. по [18] (б)

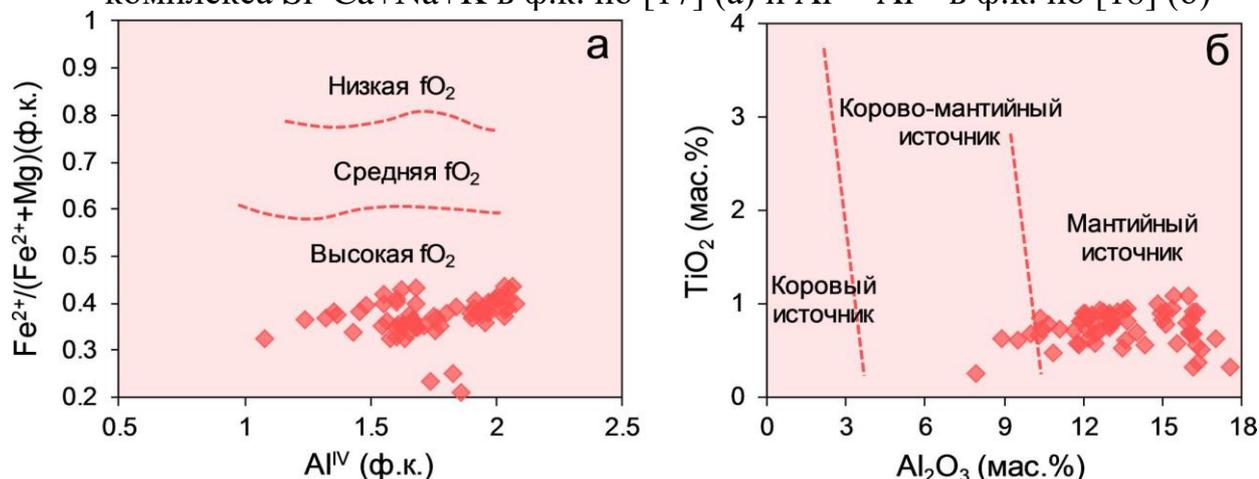


Рис. 6. Дискриминационные диаграммы для Са-амфиболов кэршорского комплекса $Al^{IV}-Fe^{2+}/(+Mg)$ в ф.к. по [19] (а) и $Al_2O_3-TiO_2$ в мас. % по [20] (б)

Термобарометрия. Для оценки давления и температуры образования амфибола были использованы амфибол-плаггиоклазовый термометр [21] и амфиболовый барометр [22], учитывающий температуру. Результаты расчётов для 9 пар сосуществующих амфибола и плаггиоклаза приведены в табл. 2. Вычисленное давление варьирует в диапазоне 3–11 кбар, а температура амфибол-плаггиоклазового равновесия – 735–951 °С. Соответственно, наиболее

высокие значения температур получены для пар с основным плагиоклазом (битовнитом), а низкие – со средним плагиоклазом (андезином). Вторые получены из лейкократовой плагиоклазитовой полосы гнейсовидного габбро. Высокие температуры 908–951 °С кристаллизации амфибола типичны для магматических ассоциаций.

Таблица 2 – Результаты расчётов давления и температуры для Са-амфиболов кэршорского комплекса

Параметр	1	2	3	4	5	6	7	8	9
P (Кбар)	2.97	7.19	6.29	6.92	7.26	7.24	11.12	6.28	8.17
T (°C)	750	758	735	744	770	951	940	908	926

Таким образом, имеется ряд характеристик, позволяющих допустить магматическое происхождение габброидов кэршорского комплекса и их основного минерала – Са-амфибола: особенности сростаний амфибола, включения в нём, особенности вторичных изменений, особенности химического состава, расчётные температуры. Из типичных метаморфических характеристик выделяются лишь текстурно-структурные особенности пород. Мы можем предположить, что эти особенности могли быть обусловлены существованием и функционированием богатого водой расплава в особых тектонических условиях, в обстановке, сочетающей напряжение, разрывные и пластические деформации при восходящих движениях тектонических пластин. Обнаружение предшественниками реликтов клинопироксена не является аргументом для метаморфогенного происхождения пород.

Заключение. Проведённые исследования показали, что амфиболовые габброиды кэршорского комплекса имеют гнейсовидную текстуру, местами очковую, типичную для метаморфических пород. Между тем, некоторые особенности сростаний индивидов, составы изученных амфиболов (титанистый магнезиогорнблендит, паргасит, саданагаит) и расчётные температуры кристаллизации характерны для магматических амфиболов. Таким образом, приведённые данные показали возможность образования гнейсовидных амфиболовых габброидов при участии водонасыщенного магматического расплава, эволюционировавшего в особых тектонических условиях.

Финансирование. Работа выполнена в рамках Государственного задания ИГ УФИЦ РАН по теме № FMRS-2022-0011.

ЛИТЕРАТУРА

1. Schumacher J. C. Metamorphic Amphiboles: Composition and Coexistence // Reviews in Mineralogy and Geochemistry. 2007. Vol. 67 (1). Pp. 359–416.

2. Готтман И.А. Горнблендиты дунит-клинопироксенит-габбровых комплексов Урала: петрология и генезис: автореф. дис... канд. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 2014. 25 с.
3. Matusiak-Małek M., Puziewicz J., Ntaflos T., Grégoire M., Kukuła A., Wojtulek P. M. Origin and evolution of rare amphibole-bearing mantle peridotites from Wilcza Góra (SW Poland), Central Europe // *Lithos*. 2017. Vol. 286–287. Pp. 302–323.
4. Browne B.L., Gardner J.E. The influence of magma ascent path on the texture, mineralogy and formation of hornblende reaction rims // *Earth Planetary Science Letters*. 2006. Vol. 246. Pp. 161–176.
5. Erdmann S., Martel C., Pichavant M., Kushnir A. Amphibole as an archivist of magmatic crystallization conditions: problems, potential, and implications for inferring magma storage prior to the paroxysmal 2010 eruption of Mount Merapi, Indonesia // *Contribution Mineralogy and Petrology*. 2014. Vol. 167: 1016.
6. Савельева Г.Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре // *Труды ГИН АН СССР*. Вып. 404. М.: Наука. 1987. 230 с.
7. Добрецов Н.Л., Молдаванцев Ю.Е., Казак А.П., Пономарева Л.Г., Савельева Г.Н., Савельев А.А. Петрология и метаморфизм древних офиолитов (на примере Полярного Урала и Западного Саяна). Новосибирск: Наука, 1977. 217 с.
8. Строение, эволюция и минерагения гипербазитового массива Рай-Из / Под ред. В.Н. Пучкова и Д.С. Штейнберга. Свердловск: УрО АН СССР. 1990. 228 с.
9. Шмелев В.Р., Мон Ф.-Ц. Природа и возраст базитов офиолитового массива Рай-Из (Полярный Урал) // *Доклады Академии наук*. 2013. Т. 451. № 2. С. 211–215.
10. Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б., Степанов А.Е., Богданова А.Р. Петрология и хромитоносность ультраосновного массива Рай-Из (Полярный Урал). Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2017. 265 с.
11. Богданова А.Р., Вахрушева Н.В., Ширяев П.Б. Амфиболиты ультрамафитового массива Рай-Из (Полярный Урал) // *Материалы Двадцать восьмой научной молодежной школы имени профессора В.В. Зайкова «Металлогения древних и современных океанов-2022. От вещественного состава к моделям и прогнозированию месторождений»*. Миасс: ЮУ ФНЦ МиГ УрО РАН, 2022. С. 175–180.
12. Otten M.T. The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites // *Contribution Mineralogy and Petrology*. 1984. Vol. 86. Pp. 189–199.
13. Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresh W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., Welch M.D. Nomenclature of the amphibole supergroup // *American Mineralogist*. 2012. Vol. 97. Pp. 2031–2048.
14. Kamali A.A., Moayyed M., Amel N., Mohammad F., Brenna M., Saumur B.M., Santos J.F. Mineralogy, mineral chemistry and thermobarometry of post-mineralization dykes of the Sungun Cu–Mo porphyry deposit (Northwest Iran) // *Open Geoscience*. 2020. Vol. 12(1). Pp. 764–790.

15. Григорьев С.И., Ремизов Д.Н. Кэршорский габброидный комплекс и проблема офиолитов Полярного Урала // Материалы XI Всероссийского петрографического совещания / Ред. В.А. Коротеев. Екатеринбург: ИГГ УрО РАН, 2010. С. 191–192.
16. Bucher K., Stober I. Metamorphic gabbro and basalt in ophiolitic and continental nappes of the Zermatt region (Western Alps) // *Swiss Journal of Geoscience*. 2021. Vol. 114. P. 12.
17. Czamanske G.K., Wones D.R. Oxidation during magmatic differentiation, Finnmarks Complex, Oslo Area, Norway: Part 2, the mafic silicate // *Journal of Petrology*. 1973. Vol. 14(3). Pp. 349–380.
18. Ernst W.G.; Liu J. Experimental Phase-Equilibrium Study of Al- and Ti-contents of Calcic Amphibole in MORB – A Semiquantitative Thermobarometer. *American Mineralogist*. 1998. Vol. 83. Pp. 952–969.
19. Anderson J. L. Status of thermobarometry in granitic batholiths// *Transactions of Royal Society of Edinburgh Earth Sciences*, 1996. Vol. 87. Pp. 125–38.
20. Changyi J., Sanyuan A. On chemical characteristics of calcic amphiboles from igneous rocks and their petrogenesis significance // *Journal of Mineralogy and Petrology*. 1984. Vol. 3. Pp. 1–9.
21. Holland T., Blundy J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry // *Contribution Mineralogy and Petrology*. 1994. Vol. 116. Pp.433–447.
22. Anderson J.L., Smith D.R. 1995. The effects of temperature and fO₂ on the Al-in-hornblende barometer // *American Mineralogist*. Vol. 80 (5-6). Pp. 549–559.

REFERENCES

1. Schumacher J. C. Metamorphic Amphiboles: Composition and Coexistence. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry*. 2007. Vol. 67 (1). pp. 359–416.
2. Gottman I.A. Gornblendity dunit-klinopiroksenit-gabbrovykh kompleksov Urala [Hornblendites of the dunite-clinopyroxenite-gabbrous complexes of the Urals]. Thesis of PhD in Geol-Min. Sci. Yekaterinburg, 2014. 25 p. (In Russian)
3. Matusiak-Malek M., Puziewicz J., Ntaflos T., Grégoire M., Kukuła A., Wojtulek P. M. Origin and evolution of rare amphibole-bearing mantle peridotites from Wilcza Góra (SW Poland), Central Europe. *Lithos*. 2017. Vol. 286–287. pp. 302–323.
4. Browne B.L., Gardner J.E. The influence of magma ascent path on the texture, mineralogy and formation of hornblende reaction rims. *Earth Planetary Science Letters*. 2006. Vol. 246. pp. 161–176.
5. Erdmann S., Martel C., Pichavant M., Kushnir A. Amphibole as an archivist of magmatic crystallization conditions: problems, potential, and implications for inferring magma storage prior to the paroxysmal 2010 eruption of Mount Merapi, Indonesia. *Contribution Mineralogy and Petrology*. 2014. Vol. 167: 1016.
6. Savel'eva G.N. Gabbro-ul'trabazitovye komplekсы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре [Gabbro-hyperbasite complexes of ophiolites of

- the Urals and its analogies in current ocean crust]. Trudy of GIN AS USSR. Vol. 404. Moscow: Nauka. 1987. 230 p. (In Russian)
7. Dobretsov N.L., Moldavantsev Yu.E., Kazak A.P., Ponomareva L.G., Savel'eva G.N., Savel'ev A.A. Petrologiya i metamorfizm drevnikh ofiolitov (na primere Polyarnogo Urala i Zapadnogo Sayana) [Petrology and metamorphism of ancient ophiolites (on example of Polar Urals and West Sayany)]. Novosibirsk: Nauka, 1977. 217 p. (In Russian)
 8. Stroenie, evolyutsiya i minerageniya giperbazitovogo massiva Ray-Iz [Structure, evolution and minerageny of the Rai-Iz hyperbasite massif]: Edition by V.N. Puchkov and D.S. Schteinberg. Sverdlovsk: UrB AS USSR. 1990. 228 p. (In Russian)
 9. Shmelev V.R., Mon F-Ts. Priroda i vozrast bazitov ofiolitivogo massiva Ray-Iz [Origin and age of the Ray-Iz ophiolitic massif]. Doklady Earth Science, 2013. Vol. 451. No. 2. pp. 211–215 (In Russian).
 10. Vakhrusheva N.V., Shiryayev P.B., Stepanov A.E., Bogdanova A.R. Petrologiya i khromitnosnost' ul'traosnovnogo massiva Ray-Iz (Polyarnyi Ural) [Petrology and chromite content of the Ray-Iz ultrabasic massif (Polar Urals)]. Yekaterinburg: IGG UrB RAS, 2017. 265 p.
 11. Bogdanova A.R., Vakhrusheva N.V., Shiryayev P.B. Amfibolity ultramafitovogo massiva Ray-Iz (Polyarnyi Ural) [Amphibolites of the Ray-Iz ultramafic massif (Polar Urals)]. Materials of the Twenty-eighth Scientific Youth School named after Professor V.V. Zaikov "Metallogeny of ancient and modern oceans–2022. From material composition to models and forecasting of deposits". Miass: SU FRC MaG UrB RAS, 2022. Pp. 175–180.
 12. Otten M.T. The origin of brown hornblende in the Artfjallet gabbro and dolerites // Contribution Mineralogy and Petrology. 1984. Vol. 86. Pp. 189–199.
 13. Hawthorne F.C., Oberti R., Harlow G.E., Maresh W.V., Martin R.F., Schumacher J.C., Welch M.D. Nomenclature of the amphibole supergroup // American Mineralogist. 2012. Vol. 97. Pp. 2031–2048.
 14. Kamali A.A., Moayyed M., Amel N., Mohammad F., Brenna M., Saumur B.M., Santos J.F. Mineralogy, mineral chemistry and thermobarometry of post-mineralization dykes of the Sungun Cu–Mo porphyry deposit (Northwest Iran) // Open Geoscience. 2020. Vol. 12(1). Pp. 764–790.
 15. Grigor'ev S.I., Remizov D.N. Григорьев С.И., Ремизов Д.Н. Kershorskiy gabbroidnyi kompleks i problema ofiolitov Polyarnogo Urala [The Kaershor gabbroid complex and the problem of ophiolites of the Polar Urals]. Proceedings of the XI All-Russian Petrographic Meeting. Ed. by V.A. Koroteev. Yekaterinburg: IGG UrB RAS, 2010. Pp. 191–192.
 16. Bucher K., Stober I. Metamorphic gabbro and basalt in ophiolitic and continental nappes of the Zermatt region (Western Alps) // Swiss Journal of Geoscience. 2021. Vol. 114. P. 12.

17. Czamanske G.K., Wones D.R. Oxidation during magmatic differentiation, Finnmarks Complex, Oslo Area, Norway: Part 2, the mafic silicate // *Journal of Petrology*. 1973. Vol. 14(3). Pp. 349–380.
18. Ernst W.G.; Liu J. Experimental Phase-Equilibrium Study of Al- and Ti-contents of Calcic Amphibole in MORB – A Semiquantitative Thermobarometer. *American Mineralogist*. 1998. Vol. 83. Pp. 952–969.
19. Anderson J. L. Status of thermobarometry in granitic batholiths// *Transactions of Royal Society of Edinburgh Earth Sciences*, 1996. Vol. 87. Pp. 125–38.
20. Changyi J., Sanyuan A. On chemical characteristics of calcic amphiboles from igneous rocks and their petrogenesis significance // *Journal of Mineralogy and Petrology*. 1984. Vol. 3. Pp. 1–9.
21. Holland T., Blundy J. Non-ideal interactions in calcic amphiboles and their bearing on amphibole-plagioclase thermometry // *Contribution Mineralogy and Petrology*. 1994. Vol. 116. Pp. 433–447.
22. Anderson J.L., Smith D.R. 1995. The effects of temperature and fO_2 on the Al-in-hornblende barometer // *American Mineralogist*. Vol. 80 (5-6). Pp. 549–559.

Сведения об авторах:

Рахимов Ильдар Рашитович, старший научный сотрудник лаборатории магматизма и метаморфизма, кандидат геолого-минералогических наук, Институт геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской Академии наук», г. Уфа, Российская Федерация. E-mail: rigel92@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-2808-2402.

Савельев Дмитрий Евгеньевич, ведущий научный сотрудник Института геологии ФГБНУ «Уфимский федеральный исследовательский центр Российской Академии наук», доктор геолого-минералогических наук, профессор, 450006, г. Уфа, Российская Федерация ул. Карла Маркса, д. 16/2. E-mail: sav171@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-8910-6992.

Author's personal details

Rakhimov Ildar Rashitovich, Senior Researcher, Laboratory of Magmatism and Metamorphism, candidate of geological and mineralogical sciences, Institute of Geology Ufa Federal Research Centre Russian Academy of Sciences, Ufa, Russian Federation. E-mail: rigel92@mail.ru ORCID ID: 0000-0002-2808-2402.

Savelyev Dmitry Evgenievich, Leading Researcher, Institute of Geology, Ufa Federal Research Center of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Geological and Mineralogical Sciences, Professor, 450006, Ufa, Russian Federation. st. Karl Marx, 16/2. E-mail: sav171@mail.ru. ORCID ID: 0000-0001-8910-6992.

© Рахимов И.Р., Савельев Д.Е.