

УДК 549.642.24 (470.5)

ФАССАИТ ИЗ МЕТАМОРФИЧЕСКИХ ПОРОД ХАБАРНИНСКОГО ГАББРО-УЛЬТРАМАФИТОВОГО МАССИВА НА ЮЖНОМ УРАЛЕ

Е.В. Пушкарев, А.П. Бирюзова, Т.Я. Гуляева

Институт геологии и геохимии УрО РАН

Термин «фассаит», который до недавнего времени использовался минералогами для обозначения низкокремнистого, высокоглиноземистого клинопироксена с высокой долей четверного алюминия и преобладанием трехвалентного железа над двухвалентным был дискредитирован в последней номенклатуре пироксенов, утвержденной ММА [12]. Однако специалисты продолжают пользоваться названием «фассаит», вместо громоздкого «железо-алюминиевый диопсид или авгит», предлагаемого новой классификацией, поскольку оно является давно устоявшимся, узнаваемым и обозначает клинопироксен вполне определенного химического и генетического типа, характерного для высокотемпературных метасоматических, контактово-метаморфизованных и регионально метаморфизованных пород [2, 4, 5, 8 и др.].

Несмотря на бурное развитие микрозондовой техники, фассаиты все еще продолжают относиться к малораспространенным и, даже, к сравнительно редким клинопироксенам. Это, в частности, было отмечено В.Г. Кориневским и Е.В. Кориневским в одной из своих публикаций, посвященной первой находке фассаитов в ильменогорском комплексе и другими исследователями [4, 11, 13]. Нами с Г.Б. Ферштатером, более 15 лет тому назад были описаны фассаиты, встречающиеся в силикатно-карбонатных породах, образующих крупное согласное жильное тело или вытянутую линзу в вебстеритах восточно-хабарнинского габбро-ультрамафитового комплекса в районе балки Карасай [9]. Изучение метаморфических пород, ассоциированных с Хабарнинским массивом на Южном Урале, позволило выявить новые места развития фассаитов (рис. 1) и вернуться к рассмотрению особенностей их состава и проблемы генезиса вмещающих пород.

Хабарнинский массив расположен примерно в 30-40 км западнее Орска (Оренбургская область) и относится к одному из наиболее крупных и сложнопостроенных габбро-гипербазитовых тел на Урале. Площадь выходов на поверхность, слагающих его пород, составляет около 400 кв. км. В составе массива, разными авторами, выделяется несколько магматических комплексов, преимущественно основного и ультраосновного состава [1, 6], а также комплекс метаморфических пород, окаймляющих массив по

периферии и, включенный вместе с магматитами в структуру Хабаровинского аллохтона [7]. Фрагменты этих метаморфических пород были обнаружены нами, в виде маломощных тектонических блоков и линз на южном выклинивании дунит-гарцбургитового комплекса в зоне его контакта с пироксенитами восточно-хабарнинской ассоциации (рис. 1) на правом берегу балки Танатар в районе высоты 312,1 м в 2 км к югу от реки Урал. Эта зона характеризуется широким развитием даек амфиболовых вебстеритов и пироксеновых горнблендитов различной протяженности и мощности, секущих как гарцбургиты, так и метаморфические породы.

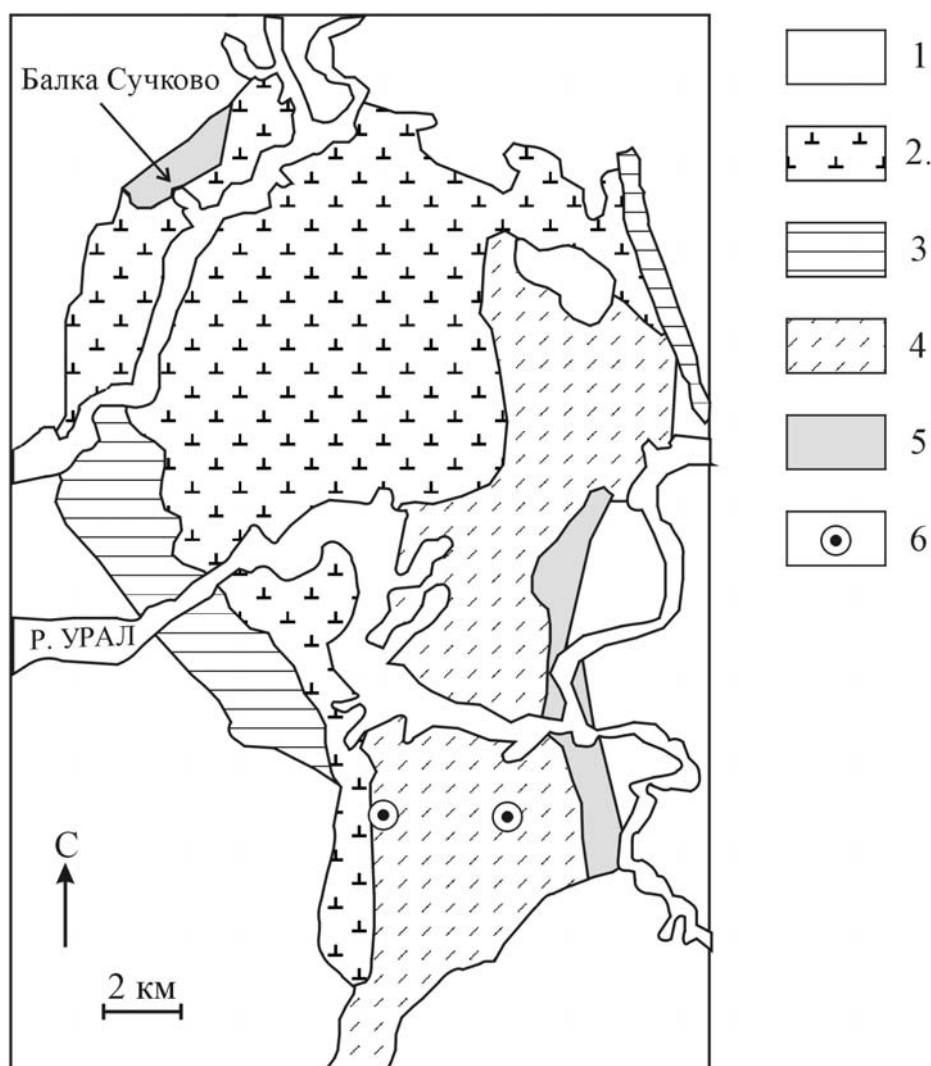


Рис. 1. Схема геологического строения Хабаровинского массива [6] и положение фассаитсодержащих пород. 1 – вмещающие вулканогенно-осадочные и метаморфические породы палеозоя; 2 – ультрамафиты дунит-гарцбургитового комплекса; 3 – породы аккермановского верлит-габбро-плагиогранитного комплекса; 4 – восточно-хабарнинский дунит-клинопироксенит-вебстерит-габбро-норитовый комплекс; 5 – экзоконтактовые метаморфические породы (амфиболиты, гнейсы, кварциты); 6 – положение фассаитсодержащих метаморфических пород.

Таблица 1
Состав магнезиально-известковистых скарнов и фассантов из скарнов, кальцифиоров и силикатных включений в кальцифиорах

| Проба | Хб-1607 | | | | | Хб-1608 | | | | | Хб-902 | | | | | Хб-897 | | |
|---|---------|-------|-------|-------|-------|---------|-------|-------|-------|-------|--------|-------|-------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 13 | 14 | 15 |
| SiO ₂ | 40,48 | 40,26 | 40,74 | 40,48 | 40,44 | 40,18 | 41,04 | 41,69 | 41,16 | 41,35 | 41,44 | 44,04 | 40,96 | 46,64 | 46,76 | 40,96 | 46,64 | 46,76 |
| TiO ₂ | 0,10 | 0,08 | 0,09 | 0,07 | 0,06 | 0,75 | 0,90 | 1,05 | 1,02 | 0,96 | 1,22 | 1,06 | 0,95 | 0,83 | 1,12 | 0,95 | 0,83 | 1,12 |
| Al ₂ O ₃ | 15,56 | 21,37 | 21,17 | 20,87 | 21,51 | 16,28 | 15,26 | 15,06 | 16,13 | 15,77 | 15,49 | 12,97 | 17,88 | 9,81 | 10,04 | 17,88 | 9,81 | 10,04 |
| Cr ₂ O ₃ | - | 0,01 | 0,06 | 0,10 | - | - | 0,04 | 0,00 | 0,08 | 0,07 | 0,04 | 0,01 | 0,10 | 0,10 | 0,03 | 0,10 | 0,10 | 0,03 |
| Fe ₂ O ₃ | 2,20 | - | - | - | - | 6,85 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| FeO* | 1,04 | 2,99 | 2,73 | 3,26 | 2,76 | 1,39 | 7,95 | 7,85 | 7,95 | 7,73 | 7,07 | 5,37 | 5,60 | 9,47 | 6,78 | 5,60 | 9,47 | 6,78 |
| MnO | 0,06 | 0,04 | 0,12 | 0,08 | 0,05 | 0,09 | 0,13 | 0,12 | 0,09 | 0,18 | 0,04 | - | 0,02 | 0,12 | 0,09 | 0,02 | 0,12 | 0,09 |
| MgO | 14,65 | 8,70 | 8,92 | 8,58 | 8,19 | 9,3 | 8,83 | 8,83 | 8,48 | 9,69 | 8,42 | 10,75 | 8,58 | 11,05 | 11,76 | 8,58 | 11,05 | 11,76 |
| CaO | 21,46 | 24,91 | 25,04 | 25,23 | 25,66 | 22,47 | 23,92 | 23,65 | 23,45 | 23,03 | 24,24 | 24,02 | 24,14 | 22,05 | 23,19 | 24,14 | 22,05 | 23,19 |
| Na ₂ O | 0,58 | - | 0,04 | 0,03 | 0,03 | 0,54 | 0,03 | 0,02 | 0,02 | 0,01 | 0,36 | 0,24 | 0,14 | 0,36 | 0,27 | 0,14 | 0,36 | 0,27 |
| Сумма | 98,94 | 98,35 | 98,90 | 98,69 | 98,70 | 98,87 | 98,10 | 98,29 | 98,38 | 98,80 | 98,31 | 98,46 | 98,38 | 100,44 | 100,04 | 98,38 | 100,44 | 100,04 |
| Fe/(Fe+Mg) | 0,10 | 0,16 | 0,14 | 0,17 | 0,16 | 0,31 | 0,33 | 0,33 | 0,34 | 0,31 | 0,32 | 0,22 | 0,26 | 0,32 | 0,24 | 0,26 | 0,32 | 0,24 |
| Коэффициенты кристаллохимических формул в пересчете на 6 атомов кислорода | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ca | - | 0,990 | 0,989 | 1,001 | 1,017 | - | 0,965 | 0,951 | 0,941 | 0,920 | 0,975 | 0,957 | 0,965 | 0,863 | 0,908 | 0,965 | 0,863 | 0,908 |
| Na | - | - | 0,003 | 0,002 | 0,002 | - | 0,002 | 0,002 | 0,001 | 0,001 | 0,026 | 0,017 | 0,010 | 0,025 | 0,019 | 0,010 | 0,025 | 0,019 |
| Mg | - | 0,480 | 0,490 | 0,474 | 0,452 | - | 0,496 | 0,494 | 0,473 | 0,538 | 0,471 | 0,596 | 0,477 | 0,601 | 0,641 | 0,477 | 0,601 | 0,641 |
| Mn | - | 0,001 | 0,004 | 0,003 | 0,001 | - | 0,004 | 0,004 | 0,003 | 0,006 | 0,001 | - | 0,001 | 0,004 | 0,003 | 0,001 | 0,004 | 0,003 |
| Fe ³⁺ | - | 0,092 | 0,083 | 0,100 | 0,085 | - | 0,248 | 0,244 | 0,246 | 0,239 | 0,220 | 0,165 | 0,173 | 0,286 | 0,205 | 0,173 | 0,286 | 0,205 |
| Cr | - | - | 0,002 | 0,003 | - | - | 0,001 | - | 0,002 | 0,002 | 0,001 | - | 0,003 | 0,003 | 0,001 | 0,003 | 0,003 | 0,001 |
| Ti | - | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | - | 0,025 | 0,030 | 0,029 | 0,027 | 0,034 | 0,030 | 0,027 | 0,023 | 0,031 | 0,027 | 0,023 | 0,031 |
| Al(6) | - | 0,427 | 0,422 | 0,410 | 0,434 | - | 0,224 | 0,230 | 0,254 | 0,234 | 0,241 | 0,207 | 0,314 | 0,126 | 0,142 | 0,207 | 0,314 | 0,126 |
| Al(4) | - | 0,507 | 0,498 | 0,501 | 0,504 | - | 0,454 | 0,436 | 0,458 | 0,459 | 0,444 | 0,362 | 0,472 | 0,297 | 0,290 | 0,362 | 0,472 | 0,297 |
| Si | - | 1,493 | 1,502 | 1,499 | 1,496 | - | 1,546 | 1,564 | 1,542 | 1,541 | 1,556 | 1,638 | 1,528 | 1,703 | 1,710 | 1,528 | 1,703 | 1,710 |
| Al total | - | 0,934 | 0,920 | 0,911 | 0,938 | - | 0,678 | 0,666 | 0,712 | 0,693 | 0,686 | 0,569 | 0,786 | 0,422 | 0,433 | 0,686 | 0,569 | 0,422 |

Примечание: 1 – валовой состав гроссуляр-фассантового магнезиально-известковистого скарна Хб-1607, в сумму анализа входят также потери при прокаливании, в количестве 2,76 мас.%. 2-5 – фассанты из скарна Хб-1607; 6 – валовой состав шпинель фассантового магнезиально-известковистого скарна Хб-1608, в сумму анализа входят также потери при прокаливании, в количестве 0,98 мас.%; 7-10 – фассанты из скарна Хб-1608; 11-13 – фассанты из силикатно-карбонатной породы (кальцифиора); 14, 15 – фассанты из силикатных включений в кальцифиорах Хб-902. Анализы пироксенов выполнены на рентгеновском микроанализаторе Сатебах в ГЕОХИ РАН (Москва) по стандартной методике, аналитик Н.Н.Кононкова. FeO* – в минералах все железо в виде FeO. В формульных коэффициентах все железо рассчитано как трехвалентное.

Метаморфические породы представлены преимущественно тонкополосчатыми пироксеновыми амфиболитами и амфибол-пироксеновыми роговиками, гранат-плагиоклазовыми породами, регенированными ортопироксен-оливиновыми породами, родингитами и скарноподобными образованиями, в том числе, фассаит-шпинелевыми пироксенитами (магнезиальным скарнами). Структура последних (проба Хб-1608, Хб-1607) аллотриаморфнозернистая или гранобластовая (роговиковая). Фассаит образует субизометричные зерна, размером 1-2 мм, плотно прижатые друг к другу, с характерными тройными точками сочленения, типичными для полностью перекристаллизованных пород мономинерального состава. Под микроскопом пироксен плеохроирует, от почти бесцветного до светло-зеленого. В качестве акцессорной фазы отмечается прозрачная темно-зеленая глиноземистая шпинель, образующая мелкие зерна или сегрегации между кристаллами пироксена, реже образуя включения в нем. Состав шпинели отвечает низкохромистому пикотиту: Al_2O_3 57,19; Cr_2O_3 2,75; FeO 27,33; MnO 0,46; MgO 12,12. Поскольку порода почти на 98-99% состоит из фассаита, то ее валовой состав практически соответствует составу минерала (табл. 1, ан. 6).

К другому типу метаморфических пород, обнаруженных в этой зоне относятся низкожелезистые гроссуляр-фассаитовые магнезиальные скарны, образующие небольшие блоки, размером в первые метры среди регенированных ортопироксен-оливиновых пород (табл. 1, ан. 1). Гроссуляром (SiO_2 40,11; TiO_2 0,03; Al_2O_3 21,80; FeO 0,58; MnO 0,05; MgO 0,29; CaO 36,61) сложены сплошные мелкозернистые гранобластовые агрегаты или редкие зерна среди фассаита, замещенные буровой слюдистой массой. В протолочках гроссуляр выглядит практически бесцветным или светло-желтоватым. Фассаит образует округлые субизометричные зерна голубовато-серого цвета и характеризуется экстремально высоким содержанием глинозема около 21% (табл. 1, ан. 2-5). Содержание Са-чермакитового компонента в этом пироксене превышает 40 мол.%. Мы не нашли в литературе ссылок на находки фассаита с таким же высоким содержанием алюминия, за исключением высококалиевого клинопироксена из включений в гранате из гранат-клинопироксеновых алмазоносных пород Кумды-Кольского месторождения в кокчетавском метаморфическом комплексе в Казахстане [10], в котором концентрации глинозема достигают 23%. Однако, в последних, значительно выше содержание SiO_2 , что автоматически уменьшает долю Al (IV) и увеличивает Al (VI).

Известно, что составы магнезиальных скарнов или скарнов магматического этапа, обычно очень близки составу субстрата, по которому они образуются [8]. Это позволяет нам предположить, что шпинель-фассаитовые и гроссуляр-фассаитовые породы

образовались за счет доломитовых мергелей, поскольку ни на одну из магматических пород они не похожи.

Второе проявление фассаита связано с жилами (линзами) силикатно-карбонатных пород (Хб-902), субсогласно залегающих в вебстеритах восточно-хабарнинского комплекса. Одна из таких наиболее крупных жил, мощностью до 2 м и длиной свыше 100 м была описана нами ранее [9]. Порода, более чем на 95% состоит из мелкозернистого кальцита с мелкими включениями зерен клинопироксена, хлорита, флогопита, апатита и других минералов. В карбонатной породе отмечаются ксенолиты сильно измененных вмещающих вебстеритов и необычных силикатных включений плагиоклаз(?)-гранат-apatит-фассаитового состава, размером до нескольких десятков сантиметров. Фассаит из карбонатного матрикса представлен серыми субидiomорфными кристаллами, размером 0,1-1 мм, с закругленными вершинами, ребрами и гранями, и матовой поверхностью. Морфология зерен и характер поверхности указывает на совместную кристаллизацию с карбонатным матриксом. Содержание глинозема в сером пироксене варьирует от 10 до 17% (табл. 1).

Фассаит из силикатных включений имеет темно-зеленый, почти черный цвет. Под микроскопом в проходящем свете пироксен ярко окрашен, с отчетливым плеохроизмом от желтого до зеленого цвета. Пироксен часто содержит включения идиоморфного апатита и ксеноморфного хромистого меланита [9]. По составу фассаиты из включений являются наименее глиноземистыми (табл. 1, ан. 14, 15).

Данные рентгеноструктурного анализа показывают сходство изученных клинопироксенов со стандартным фассаитом, а у максимально глиноземистых разновидностей дифрактограммы сближаются с кальциевым чермакитом ($\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$) (табл. 2). Фассаиты, как известно, являются типоморфными пироксенами магнезиальных скарнов и контактовых роговиков, то есть пород высокотемпературного происхождения [2]. В последнее время, в связи с изучением контактовых ореолов базит-ультрабазитовых интрузий Норильской группы, были описаны разнообразные фассаитсодержащие минеральные ассоциации [8]. Сравнение хабарнинских фассаитов с норильскими [8] показывает существенные отличия в их составах. Так, среди пироксенов норильских скарнов очень много высокотитанистых фассаитов (рис. 2), что косвенно может отражать высокую температуру их образования, согласно экспериментально установленной зависимости роста растворимости титана в фассаите от температуры. Это согласуется с тем, что в контактовых ореолах норильских интрузий установлены парагенезисы спуррит-мервинитовой фации контактовых роговиков. Предельно высокотитанистые фассаиты в

Таблица 2

**Дифрактограммы фассаитов из силикатных и карбонатных метаморфических пород
Хабарнинского массива в сравнении с эталонными значениями**

| Хб-1607 | | Хб-1608 | | Хб-828 | | Фассаит, ASTM 25- 1216 | | Чермакит, CaAl ₂ SiO ₆ ASTM 19- 207 | | Диопсид, ASTM 19- 239 | |
|---------|------|---------|------|--------|------|------------------------------|------|--|------|-----------------------------|------|
| d, Å | I, % | d, Å | I, % | d, Å | I, % | d, Å | I, % | d, Å | I, % | d, Å | I, % |
| 4.40 | 10 | 4.40 | 15 | 4.44 | 10 | 4.40 | 20 | 4.33 | 6 | 4.46 | 6 |
| 3.19 | 60 | 3.20 | 50 | 3.22 | 40 | 3.21 | 30 | 3.16 | - | 3.23 | 30 |
| 2.972 | 100 | 2.978 | 100 | 2.986 | 100 | 2.984 | 100 | 2.94 | 100 | 2.992 | 100 |
| 2.921 | 80 | 2.931 | 70 | 2.948 | 60 | 2.931 | 40 | 2.904 | 35 | 2.951 | 30 |
| 2.876 | 45 | 2.883 | 30 | 2.890 | 30 | 2.882 | 50 | 2.863 | 45 | 2.894 | 40 |
| 2.536 | 60 | 2.543 | 60 | 2.559 | 30 | 2.546 | 100 | 2.535 | 40 | 2.566 | 25 |
| 2.495 | 55 | 2.505 | 50 | 2.534 | 30 | 2.504 | 70 | 2.509 | 30 | 2.524 | 65 |
| 2.286 | 35 | 2.223 | 10 | 2.305 | 15 | 2.226 | 30 | 2.274 | 20 | 2.301 | 16 |
| 2.216 | 10 | 2.203 | 10 | 2.224 | 10 | 2.206 | 30 | 2.212 | 12 | 2.215 | 14 |
| 2.199 | 15 | 2.137 | 30 | 2.202 | 10 | 2.133 | 30 | 2.188 | 16 | 2.198 | 14 |
| 2.128 | 35 | 2.119 | 30 | 2.152 | 20 | 2.120 | 30 | 2.106 | 18 | 2.154 | 12 |
| 2.114 | 30 | 2.098 | 20 | 2.13 | 25 | 2.098 | 30 | 2.090 | 20 | 2.133 | 18 |
| 2.090 | 15 | 2.020 | 30 | 2.105 | 20 | 2.019 | 60 | 2.075 | 12 | 2.108 | 10 |

Примечание: Рентгеноструктурный анализ выполнен в Институте геологии и геохимии УрО РАН на приборе ДРОН-3.0, U=35 kV, I=25 mA, CuK_α излучение, 1°/мин. Аналитик Т.Я. Гуляева.

парагенезисе с перовскитом были обнаружены 20 лет назад в известковистых скарнах Йоко-Довыренского габбро-ультрамафитового массива в Северном Прибайкалье [3], что также было расценено авторами публикации как явный признак их высокотемпературного образования. Однако, вне зависимости от железистости пироксенов и содержаний в них титана, практически нигде не отмечены фассаиты с содержаниями глинозема свыше 15 мас.%, какие преобладают в Хабаровинском массиве.

Особый интерес представляет установленное различие в распределении содержаний кремния и алюминия в шестерной координации в хабарнинских и норильских пироксенах. Как видно на рис. 2 эти зависимости имеют взаимно противоположный знак. Это свидетельствует о том, что в норильских пироксенах увеличение глиноземистости пироксенов происходит преимущественно за счет Al(IV), компенсирующего недостаток кремния, а в хабарнинских – и за счет тетраэдрического и за счет октаэдрического алюминия одновременно. Последнее, свидетельствует о существенном влиянии давления при формировании хабарнинских пироксенов. На тренд хабарнинских пироксенов также ложатся составы фассаитов, описанных сравнительно недавно в ильменогорском

комплексе [4], для которых, по-видимому, также следует предполагать существенное влияние давления. Наши расчеты показывают, что метаморфические породы в восточном обрамлении Хабаровинского массива образовались при давлении не ниже 5-6 кбар и

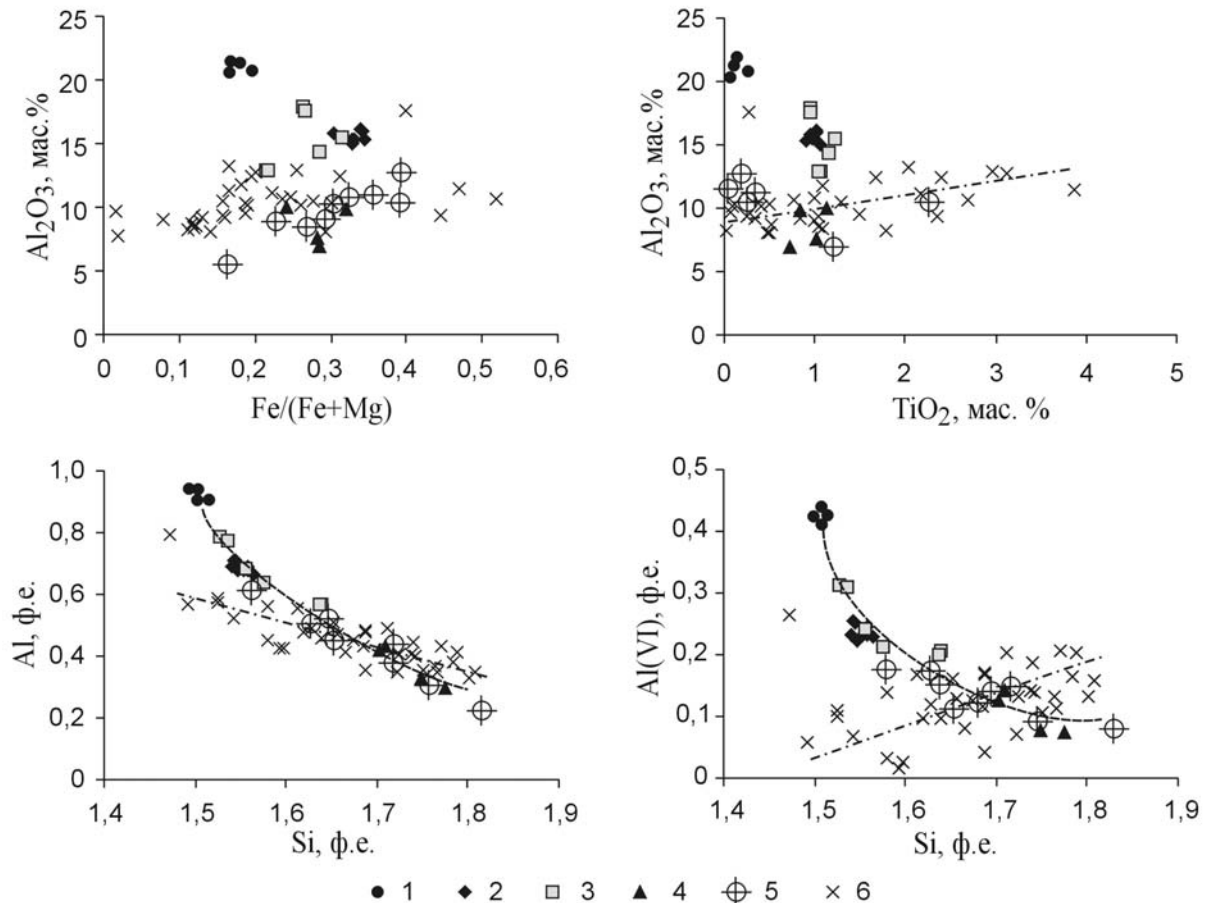


Рис. 2. Диаграммы состава фассаитов. 1-4 - Хабаровинский массив: 1 – гроссуляр-фассаитовые породы (Хб-1607); 2 – шпинель-фассаитовые породы (Хб1608); 3 - силикатно-карбонатные породы (Хб-902); 4 – силикатные включения в силикатно-карбонатных породах (Хб-897); 5 – зеленый и коричневый фассаиты из метаморфических пород Ильменского заповедника [4]; 6 – фассаиты из контактовых роговиков и магнезиальных скарнов в обрамлении норильских мафит-ультрамафитовых интрузий [8].

температуре, отвечающей верхам амфиболитовой или даже гранулитовой фации метаморфизма (600-750°C). Экспериментально установлено, что поле устойчивости чистого кальциевого чермакита ($\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$) начинается с температуры 1150°C и давлении около 11 кбар [2]. Вероятно, что P-T параметры равновесия экстремально богатого глиноземом фассаита с 40-45% Са-чермакитового минала соответствуют условиями образования этих метаморфических пород.

Близость состава клинопироксенов из магнезиальных скарнов и силикатно-карбонатных пород, скорее всего, свидетельствует о сходстве их генезиса. Весьма вероятно, если использовать аналогию с норильскими интрузиями [8], что шпинель-фассаитовые и гроссуляр-фассаитовые скарны с одной стороны, и фассаит-кальцитовые породы – с другой, являются соответственно перекристаллизованными доломитовыми мергелями и карбонатными осадками с небольшой долей глинистого материала. Следовательно, тела карбонатных пород, субсогласно залегающие среди вебстеритов восточно-хабарнинского комплекса в районе балки Карасай, можно рассматривать как линзы метаморфических пород первично осадочного происхождения, то есть кальцифиры. Об этом свидетельствуют и «коровые» изотопные характеристики углерода и кислорода, полученные нами ранее, и присутствие ставролита в тяжелой фракции карбонатных пород [9].

Работа выполнена при финансовой поддержке РФФИ (грант № НШ-85.2003.5) и гранта Президиума УрО РАН 2003 по поддержке исследований молодых ученых и аспирантов.

Литература

1. *Варлаков А.С.* Петрография, петрохимия и геохимия гипербазитов Оренбургского Урала. М.: Наука, 1978. 238 с.
2. *Добрецов Н.Л., Кочкин Ю.Н., Кривенко А.П., Кутолин В.А.* Породообразующие пироксены. М.: Наука, 1971. 454 с.
3. *Ефимов А.А., Колясников А.А., Маегов В.И. и др.* О находке редкой минеральной ассоциации титанфассаит+перовскит в магнезиальных эндоскарнах Довыренского габбро-гипербазитового массива (Северное Прибайкалье) // Ежегодник-1985. Институт геологии и геохимии УрО АН СССР. 1996. С. 92-94.
4. *Кориневский В.Г., Кориневский Е.В.* Первая находка фассаита в ильменогорском комплексе // Уральский минералогический сборник. Миасс: Институт минералогии УрО РАН, 2002. № 12. С. 7-17.
5. *Минералы.* Под ред. Ф.В. Чухрова. М.: Наука, 1981. Том. 3. Вып. 2. 614 с.
6. *Балыкин П.А., Конников Э.Г., Кривенко А.П. и др.* Петрология постгарцбургитовых интрузивов Кемпирсайско-Хабарнинской офиолитовой ассоциации (Южный Урал). Свердловск: УрО АН СССР, 1991. 160 с.
7. *Руженцев С.В.* Краевые офиолитовые аллохтоны (Тектоническая природа и структурное положение) // Труды ГИН АН СССР. 1976. Вып. 283. 173 с.

8. *Туровцев Д.М.* Контактный метаморфизм Норильских интрузий. М.: Научный мир, 2002.
9. *Ферштатер Г.Б., Пушкарев Е.В.* Карбонатные породы в офиолитовом кемпирсайско-хабарнинском комплексе (Южный Урал) // Известия АН СССР. Сер. геологическая. 1988. № 12. С. 27-37.
10. *Bindi L., Safonov O.G., Yapaskurt V.O., Perchuk L.L., Menchetti S.* Ultrapotassic clinopyroxene from the Kumdy-Kol microdiamond mine, Kokchetav complex, Kazakhstan: occurrence, composition and crystal-chemical characterization // Amer. Miner. 2003. Vol. 88. P. 464-468.
11. *Laverne C.* Unusual occurrences of aegirine-augite, fassaite and melanite in oceanic basalts (DSDP Hole 504B) // Lithos. 1987. Vol. 20. № 2. P. 135-151.
12. *Morimoto N.* Nomenclature of pyroxenes // Canad. Miner. 1989. Vol. 27. P. 143-156.
13. *Sawaki T.* Melanite and fassaite from the contact aureole around the Nogo-Hakusan granodiorite body, central Japan // Journal of mineralogy, petrology and economic geology. 1988. Vol. 83. № 9. P. 357-373.