

КАЛЬЦИФИРЫ В ВЫСОКОБАРИЧЕСКИХ МЕТАГАББРО ХОРДЬЮССКОГО КОМПЛЕКСА (ПОЛЯРНЫЙ УРАЛ)

А.А. Ефимов, Т.А. Потапова

Ксеногенные включения карбонатного материала в породах габбро-гипербазитовых комплексов – достаточно редкое явление. Один из достоверных случаев – находка при геологической съемке в конце 50-х гг. в верховьях р. Хулги силикатно-карбонатных пород (кальцифиров) среди метагабброидов южного окончания Войкарского офиолитового аллохтона. Об этой находке впервые упоминают А.А. Савельев и Г.Н. Савельева [1977]: «Среди гранат-цоизитовых амфиболитов встречено линзовидное тело мраморизованных известняков... известняки... обогащены оливином, диопсидом и гроссуляром, апатитом и магнетитом. Образования такого типа... рассматриваются... как скарнированные известняки, метаморфизованные изофациально с вмещающими породами». Это наиболее полное из имеющихся описаний находки; размеры тела кальцифиров указывались разные – от 80 × 300 до 100 × 600 м [Савельева, 1987]. Второе местонахождение таких же кальцифиров обнаружено авторами статьи в аналогичной обстановке в 120 км севернее известного, на крутом правом склоне троговой долины р. Лево́й Лагорты, спускающемся к ледниковым озерам. Оба местонахождения находятся в границах выделяемого в Западно-Войкарской зоне Хордьюсского высокобарического метагабброидного комплекса, юж-

ное – в Хулгинском, северное – в Хордьюсском его сегменте [Ефимов, Потапова, 1990, 2000].

В первом местонахождении, которое авторы, по указаниям Г.Н. Савельевой, смогли найти на пологом водоразделе рек Хаймаю и Хребетвожа, не удалось наблюдать линзовидную форму тела кальцифиров, как и контакты тела; во всех случаях кальцифиры наблюдались преимущественно в элювиальных развалах. Возможно, что здесь в большом поле гранатовых габбро-амфиболитов присутствует не одно, а целая серия мелких тел (длинная ось площади рассеяния глыб составляет не менее 1,5 км). Довольно неожиданным оказалось то, что кальцифиры (из первоначальных описаний этого не следовало) представляют собой тектонические брекчии, в которых более или менее округлые включения темной силикатной породы – гранатового амфиболита – сцементированы светло-серой, обычно мелко- или среднезернистой силикатно-карбонатной массой. Размер включений амфиболитов варьирует от нескольких миллиметров до долей метра (возможно, есть и более крупные), местами наблюдается их грубая ориентировка, группировка в прерывистые слоеобразные скопления; узловато-полосчатое строение пород хорошо заметно на корке выветривания (рис. 1). Из этого следует, что кальцифиры слагают в гранатовых амфиболитах изолированные тела, переполненные фрагментами вмещающей породы. Форма этих тел, безусловно, вторичная, обусловленная пластическим течением карбонатного материала, и должна быть весьма прихотливой.

По химическому составу цемент брекчий и включения в нем резко различны. Крупные фрагменты в брекчиях в наибольшей степени сохраняют химизм обычных хордьюсских габбро-



Рис. 1. Текстура тектонических брекчий: включения гранатовых амфиболитов в силикатно-карбонатной массе

Химический состав кальцифиров (мас.%)

| № обр. | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | K ₂ O | Na ₂ O | P ₂ O ₅ | П.п.п | Сумма | Sr |
|---|------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|------|-------|------|-------|------------------|-------------------|-------------------------------|-------|-------|-----|
| Силикатно-карбонатный цемент брекчий | | | | | | | | | | | | | | |
| 15678 | 20,87 | 0,36 | 7,31 | 2,77 | 2,64 | 0,07 | 3,23 | 36,87 | 0,25 | 1,5 | 0,07 | 23,83 | 99,82 | — |
| 15679 | 32,99 | 0,38 | 10,09 | 6,34 | — | 0,11 | 3,68 | 27,29 | 0,4 | — | 0,14 | — | 81,43 | 507 |
| 15681 | 23,88 | 0,40 | 8,85 | 3,44 | 3,13 | 0,09 | 3,53 | 34,12 | 0,2 | 1,56 | 0,07 | 20,50 | 99,97 | — |
| 15684 | 39,73 | 0,46 | 15,17 | 7,57 | — | 0,11 | 4,58 | 20,29 | 0,18 | — | 0,07 | — | 88,17 | 725 |
| 15685 | 14,50 | 0,16 | 4,08 | 3,09 | — | 0,70 | 3,33 | 44,54 | 0,27 | — | 0,10 | — | 70,77 | 505 |
| 15687 | 23,92 | 0,22 | 5,85 | 4,48 | — | 0,09 | 3,35 | 37,58 | 0,19 | — | 0,14 | — | 75,82 | 546 |
| 15689 | 13,37 | 0,20 | 4,50 | 1,95 | 1,39 | 0,05 | 3,32 | 52,01 | 0,2 | 0,69 | 0,07 | 22,03 | 99,81 | — |
| 15692 | 20,64 | 0,37 | 7,12 | 2,58 | 2,92 | 0,07 | 3,42 | 37,12 | 0,17 | 1,54 | 0,10 | 23,72 | 99,84 | — |
| 15694 | 16,48 | 0,16 | 4,61 | 2,88 | — | 0,06 | 3,47 | 44,00 | 0,28 | — | 0,12 | — | 72,10 | 480 |
| 15695 | 27,74 | 0,28 | 6,29 | 4,28 | — | 0,09 | 3,46 | 35,30 | 0,16 | — | 0,16 | — | 77,76 | 540 |
| 15697 | 23,64 | 0,16 | 4,51 | 3,14 | — | 0,15 | 2,93 | 40,50 | 0,05 | — | 0,16 | — | 75,24 | — |
| Включения гранатовых амфиболитов в цементе брекчий | | | | | | | | | | | | | | |
| 15681 | 44,69 | 0,78 | 19,18 | 5,22 | 6,53 | 0,161 | 5,48 | 12,85 | 0,53 | 3,08 | 0,021 | 1,26 | 99,83 | — |
| 15692 | 47,34 | 1,04 | 17,13 | 4,15 | 8,69 | 0,218 | 4,77 | 9,32 | 0,6 | 4,53 | 0,162 | 1,83 | 99,83 | — |
| 15694 | 49,64 | 1,14 | 16,23 | 4,39 | 6,88 | 0,271 | 4,15 | 10,87 | 0,31 | 4,11 | 0,199 | 1,58 | 99,82 | — |
| 15699 | 44,90 | 0,86 | 17,82 | 5,52 | 6,98 | 0,196 | 4,66 | 12,40 | 0,22 | 3,63 | 0,106 | 2,49 | 99,83 | 557 |

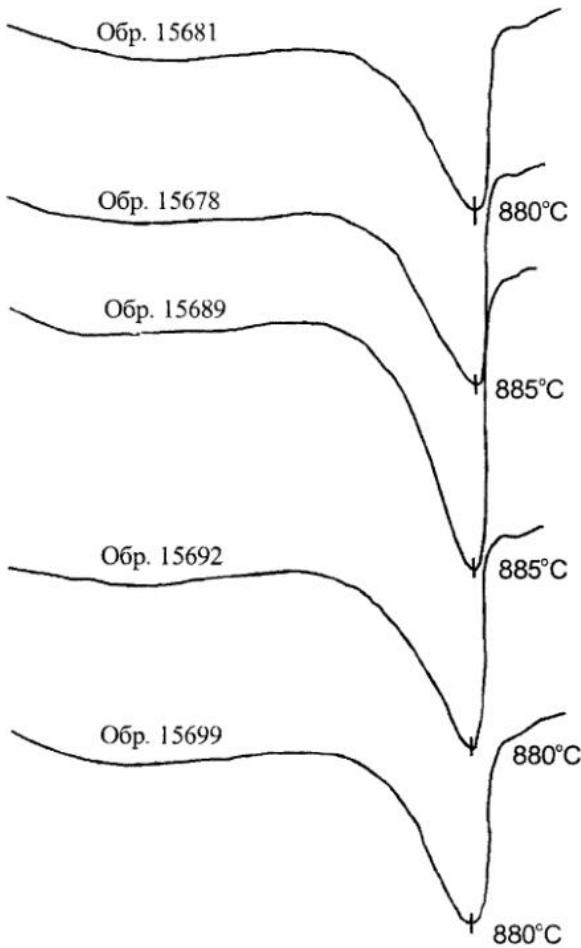
Примечание. Все анализы выполнены в Центральной лаборатории «Уралгеологии».

амфиболитов (табл. 1; [Ефимов, Потапова, 2000]) и состав, в котором преобладают роговая обманка, клиноцоизит и пиральспитовый гранат; обычны кислый плагиоклаз и акцессорный рутил. Концентрации Sr во включениях и цементе (550-700 г/т) близки к таковым вмещающих амфиболитов. Мелкие фрагменты реагируют с цементом, превращаясь частично или целиком в агрегат, главным образом, карбоната и светло-зеленого клинопироксена, к которым могут присоединяться кальциевый гранат и везувиан; некоторые фрагменты превращаются в грубозернистый везувиан-гранат-клиноцоизитовый скарн.

Цемент брекчий, отношение карбонат/силикаты в котором обычно больше 1, имеет порфирикластическую или гранобластовую структуру с явными признаками пластического течения. Главные черты его химического состава (табл. 1) – недосыщенность кремнеземом и пересыщенность известью, что приводит к появлению ассоциации кальциевых минералов, характерной для известковых скарнов. Карбонат ассоциирует с переменными количествами клинопироксена, роговой обманки, граната, клиноцоизита, везувиана; довольно обычны кварц, плагиоклаз, сфен, апатит, бледно-зеленая слю-

да. Оливин, упоминавшийся выше, не обнаружен; очевидно, за него был принят везувиан. Карбонат, содержание которого колеблется, по данным термического анализа и валовых химических анализов, от 48 до 98 %, представлен практически чистым кальцитом, дающим хорошо выраженный эндотермический эффект диссоциации на кривых ДТА при 880-885°C (рис. 2). Наблюдается в шлифах в виде мелкозернистого агрегата или изометричных и удлиненных, часто изогнутых зерен размером от 0,10 мм до нескольких миллиметров. Мелкозернистый кальцит играет роль базиса, цементирующего рассеянные в нем зерна силикатов, микрондовые анализы которых приведены в табл. 2. Клинопироксен, в шлифах светло-зеленый, относится к высококальциевому диопсидсалиту переменной железистости – от 18 до 40 ат. %, с содержанием Al₂O₃ от 1 до 6 мас. %. Гранат, в шлифах светло-розовый или бесцветный, обогащен CaO (до 36 мас.%, Ca-компонента до 98 мол.%), имеет железистость в пределах от 88 до 98 ат. %, содержит незначительное количество MnO (до 0,45 мас.%) и относится к андрадит-гроссуляровому ряду. Пиральспитовый гранат, характерный для амфиболитов, в цементе, по-видимому, отсутствует. Роговая обманка,

Рис. 2. Кривые ДТА силикатно-карбонатного цемента брекчий



зеленоватая, более магниальная, чем в амфиболитах, очень близка по составу к паргаситу. Встречается в виде изометричных, слегка удлиненных зерен. Везувиан в шлифах образует удлиненные, с мягкими очертаниями, как бы окатанные зерна желтовато-коричневой окраски. Клиноцоизит желтоватой окраски часто образует графические срастания с плагиоклазом; он несколько беднее железом по сравнению с клиноцоизитом из гранатовых амфиболитов.

Приведенные данные подтверждают и уточняют первое заключение о природе кальцифиров [Савельев, Савельева, 1977]. Более детальное их изучение проливает дополнительный свет на историю метаморфизма Западно-Войкарской зоны. Деформированный и рекристаллизованный карбонатный цемент брекчий не несет видимых указаний на его первичную природу, однако изотопные данные, на которые в данном случае только и можно опираться, указывают на возможность осадочной природы карбонатного вещества. Для кальцифиров Хулгинского сегмента В.Н.Кулешов [1983, с. 119] установил, что «значения изотопного состава

углерода... лежат в довольно узком диапазоне – от 0,3 до 2,1 и соответствуют $\delta^{13}\text{C}$ осадочных карбонатов.» Однако «породы характеризуются пониженными значениями δO^{18} по сравнению с осадочными карбонатами... δO^{18} меняется от 14,0 до 22,7. Наблюдаемое обогащение... легким изотопом ^{16}O является следствием их изотопного обмена с кислородом силикатов».

По имеющимся данным, Хордьюсский комплекс образовался по низкобарическому протолиту, состоявшему из высокостронциевых дупироксеновых и оливиновых габбро, в течение, в первом приближении, двух эпох высокобарического метаморфизма: сначала протолит был преобразован в дупироксеновые и гранатовые габбро-гранулиты, а затем в гранатовые амфиболиты [Ефимов, Потапова, 2000]. В какое время метаморфической истории и в каком виде осадочные карбонатные породы были интегрированы в тело комплекса, остается неясным. Поскольку они присутствуют только в гранатовых амфиболитах и не найдены в габбро-гранулитах и тем более в реликтовых габбро, вероятнее всего считать, что этот захват произошел в гранат-амфиболитовую эпоху, в той же глубинной зоне, где образовались габбро-амфиболиты, и лишь затем масса последних была эксгумирована вместе с включениями ксеногенного осадочного вещества. Во всяком случае, рассматривать кальцифиров как преобразованные магматические ксенолиты в габбро нет оснований.

Очевидная изофациальность кальцифиров и метабазитовой матрицы при резком контрасте в их химизме позволяет считать, что метаморфизм карбонатных пород имел место в тех же условиях, в которых образовались гранатовые амфиболиты. Температуры равновесий амфиболитовой эпохи, оцененные по гранат-амфиболовому геотермометру, не превышали 750°C ; косвенное подтверждение этого – отсутствие в кальцифировых волластонита, свидетельствующее о том, что температуры, необходимые для реакции $\text{CaCO}_3 + \text{SiO}_2 = \text{CaSiO}_3 + \text{CO}_2$, не достигались. Возможный интервал флюидного давления на основании находки парагене-

Состав минералов из силикатно-карбонатного цемента брекчий (мас.%)

| № обр. | Минерал | SiO ₂ | TiO ₂ | Al ₂ O ₃ | FeO | MnO | MgO | CaO | K ₂ O | Na ₂ O | Сумма |
|--------|---------------|------------------|------------------|--------------------------------|-------|------|-------|-------|------------------|-------------------|--------|
| 15679 | Клинопироксен | 49,39 | 0,33 | 4,85 | 13,4 | 0,16 | 8,9 | 20,66 | 0,01 | 1,56 | 99,26 |
| 15694 | Клинопироксен | 49,96 | 0,24 | 6,22 | 9,81 | 0,15 | 9,83 | 21,34 | — | 1,6 | 99,15 |
| 15697 | Клинопироксен | 51,18 | 0,09 | 2,89 | 9,44 | 0,34 | 11,96 | 21,82 | 0,02 | 1,27 | 99,01 |
| 16236 | Клинопироксен | 49,62 | 0,26 | 3,69 | 8,17 | 0,13 | 13,52 | 23,22 | 0,01 | 0,79 | 99,41 |
| 16237 | Клинопироксен | 53,12 | 0,02 | 1,09 | 5,85 | 0,1 | 14,54 | 24,53 | 0,01 | 0,02 | 99,28 |
| 15651 | Рог.обманка | 38,76 | 0,32 | 14,7 | 5,95 | 0,04 | 16,86 | 13,25 | — | 2,65 | 94,05 |
| 15651 | Рог.обманка | 38,50 | 0,22 | 13,71 | 6,02 | 0 | 16,83 | 12,67 | — | 2,55 | 92,02 |
| 15680 | Гранат | 38,66 | 0,11 | 21,24 | 27,32 | 1,01 | 4,76 | 7,51 | — | — | 100,61 |
| 15679 | Гранат | 39,07 | 0,23 | 20,5 | 20,74 | 1,48 | 3,95 | 14,89 | — | — | 100,86 |
| 16236 | Гранат | 38,52 | 0,09 | 27,81 | 6,5 | 0,03 | 0,07 | 24,28 | — | — | 97,3 |
| 15651 | Гранат | 36,76 | 1,54 | 11,77 | 10,69 | 0,33 | 0,79 | 33,18 | 0,01 | 0,05 | 95,12 |
| 15651 | Гранат | 36,40 | 1,2 | 6,01 | 19,19 | 0,24 | 0,6 | 33,98 | 0,02 | 0,05 | 97,69 |
| 15651 | Гранат | 37,18 | 1,25 | 10,69 | 13,48 | 0,28 | 0,77 | 34,29 | 0,02 | 0,02 | 97,98 |
| 15651 | Гранат | 38,75 | — | 6,47 | 19,49 | 0,33 | 0,42 | 34,3 | — | — | 99,76 |
| 15651 | Гранат | 39,07 | — | 6,03 | 20,8 | 0,24 | 0,27 | 34,5 | — | — | 100,91 |
| 15651 | Гранат | 39,62 | — | 11,28 | 14,07 | 0,41 | 0,61 | 34,66 | — | — | 100,65 |
| 15651 | Гранат | 40,29 | — | 14,37 | 11,73 | 0,45 | 0,67 | 34,77 | — | — | 102,28 |
| 15651 | Гранат | 40,19 | — | 15,41 | 9,48 | 0,41 | 0,68 | 34,92 | — | — | 101,09 |
| 15697 | Гранат | 38,82 | 0,3 | 18,22 | 6,94 | 0,49 | 0,4 | 35,05 | — | — | 100,22 |
| 15695 | Гранат | 38,94 | 0,96 | 15,96 | 7,85 | 0,36 | 0,63 | 35,55 | — | — | 100,25 |
| 15651 | Гранат | 39,40 | — | 11,25 | 13,7 | 0,39 | 0,61 | 35,71 | — | — | 101,06 |
| 15686 | Гранат | 38,57 | 2,49 | 15,51 | 6,46 | 0,29 | 0,78 | 35,86 | — | — | 99,96 |
| 15694 | Клиноцоизит | 39,02 | — | 30,89 | 2,82 | 0,08 | 0,22 | 23,8 | — | 0,29 | 97,12 |
| 15697 | Клиноцоизит | 37,55 | 0,25 | 18,32 | 7,36 | 0,39 | 0,33 | 36,17 | — | — | 100,37 |
| 15686 | Клиноцоизит | 38,67 | 1,66 | 15,05 | 7,74 | 0,55 | 0,17 | 35,61 | — | — | 99,45 |
| 15679 | Клиноцоизит | 38,32 | 0,32 | 25,4 | 9,33 | 0,1 | 0,2 | 23,44 | 0,01 | — | 97,12 |
| 15687 | Клиноцоизит | 38,74 | 0,26 | 25,5 | 9,63 | 0,28 | 0,16 | 23,6 | — | — | 98,17 |
| 15695 | Клиноцоизит | 38,11 | 0,28 | 24,66 | 10,16 | 0,08 | 0,29 | 23,48 | 0,01 | 0,19 | 97,26 |
| 16236 | Клиноцоизит | 38,26 | 0,3 | 24,3 | 11,61 | 0,11 | 0,37 | 23,33 | 0,03 | 0,09 | 98,4 |
| 15651 | Везувиан | 36,54 | 1,02 | 15,15 | 3,64 | 0,08 | 3,85 | 33,96 | — | — | 96,74 |
| 15651 | Везувиан | 36,28 | 0,81 | 14,34 | 4,41 | 0,12 | 3,88 | 34,2 | — | — | 96,53 |
| 15651 | Везувиан | 36,20 | 1,28 | 14,47 | 4,66 | 0,1 | 3,26 | 36,82 | — | — | 99,29 |
| 15651 | Везувиан | 37,27 | 0,92 | 14,95 | 4,92 | 0,11 | 3,82 | 35,46 | 0,01 | 0,01 | 97,47 |
| 15676 | Плагиоклаз | 55,07 | — | 26,05 | 0,65 | 0,1 | 0,07 | 13,38 | 0,4 | 4,5 | 99,86 |
| 16236 | Плагиоклаз | 67,78 | — | 20,16 | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,9 | 0,05 | 10,13 | 99,02 |
| 15680 | Мусковит | 48,01 | 0,75 | 30,52 | 3,09 | 0,03 | 1,78 | 0,00 | 9,29 | 1,26 | 94,73 |

Примечание. Микросондовые анализы выполнены в лаборатории Института геологии и геохимии УрО РАН.

иса парагонит-клиноцоизит-кварц оценивается в 10-13 кбар [Ефимов, Потапова, 2000]. Очевидно, те же термобарические условия имели место во время образования кальцифиров. Высокие флюидные давления препятствовали декарбонатизации первичного вещества включе-

ний, а довольно высокие температуры метаморфизма и флюидонасыщенность способствовали химическому обмену между карбонатным материалом и вмещающими базитами, на что указывает обилие новообразованных силикатов в цементе брекчий.

Список литературы

Ефимов А.А., Потапова Т.А. Тектоника нижней (метабазитовой) структурной единицы Войкарского офиолитового аллохтона на Полярном Урале // Геотектоника. 1990. № 5. С. 45-54.

Ефимов А.А., Потапова Т.А. Высокобарические метагабброидные комплексы в офиолитах Полярного Урала: метаморфизм «против часовой стрелки» в связи с зоной палезойской субдукции // Магматические и метаморфические образования Урала и их металлогения. Сборник, посвященный памяти проф. Д.С.Штейнберга (К 90-летию со дня рождения). Екатеринбург: ИГиГ УрО РАН, 2000. С. 233-268.

Кулешов В.Н. Изотопный состав углерода в породах глубинного (предположительно мантийного) происхождения // Геохимия изотопов в офиолитах Полярного Урала. М.: Наука, 1983. С.107-124.

Савельев А.А., Савельева Г.Н. Офиолиты Войкарско-Сыньинского массива // Геотектоника. 1977. № 6. С. 46-60.

Савельева Г.Н. Габбро-ультрабазитовые комплексы офиолитов Урала и их аналоги в современной океанической коре. М.: Наука, 1987. 246 с. (Тр. ГИН АН СССР, № 404)