

М.Е. ЯКОВЛЕВА, Н.Н. КОНОНКОВА, Г.А. ОСОЛДКИНА, Е.Л. СОКОЛОВА

• ХРОМОВЫЙ АМФИБОЛ ИЗ КОЛЛЕКЦИИ
МИНЕРАЛОГИЧЕСКОГО МУЗЕЯ им. А.Е. ФЕРСМАНА АН СССР

По данным, приведенным в справочнике "Минералы" [3], амфибол, в состав которого входит Cr_2O_3 в количестве до 0,5–0,6%, встречается сравнительно часто. Такое количество окиси хрома присутствует в кальциевом и натриевом моноклинном амфиболе, а также отмечается в антофиллите — ромбическом амфиболе. Амфибол с содержанием Cr_2O_3 около 1% встречается реже. Это преимущественно высокоглиноземистая роговая обманка (0,73–0,89% Cr_2O_3) и реже натриевый амфибол (1,07% Cr_2O_3). Еще более высокое содержание Cr_2O_3 (до 1,5–3,2%), которое позволило бы выделить амфибол как хромовую разновидность, является редким, а "сверхвысокое" (4,68%) указывается в литературе только в одном случае [4]. Амфибол с высоким содержанием окиси хрома принадлежит группе роговой обманки и встречается в основном в ультраосновных породах, эклогитах, хромититах.

При проверке коллекции актинолита, хранящейся в фондах Минералогического музея, нами выделен и исследован амфибол с высоким содержанием хрома. Всего исследовано 10 образцов из двух месторождений — СССР (Южный Урал) и Югославии. Макроскопическое описание их приведено в табл. 1, химический состав и оптические свойства — в табл. 2¹.

Пересчет анализов на структурные формулы произведен по методу И.Д. Борнеман-Старынкевич [1], но при этом допущен искусственный прием, состоящий в том, что данные содержания суммарного железа полностью отнесены к железу в трехвалентной форме. Это необходимо для того, чтобы рассчитанная суммарная валентность катионов находилась в максимальном соответствии со структурой амфибола.

Полученные формулы позволяют по классификации амфиболов справочника "Минералы" отнести их к магнезиальной обыкновенной роговой обманке и только образец 55193 с 0,97% Cr_2O_3 принадлежит тремолитовой роговой обманке с низким содержанием Al_2O_3 (3,94%), что сближает его с тремолитом. Как видно из табл. 2, наибольшее содержание Cr_2O_3 в исследуемых образцах роговой обманки отвечает 3,59%. Присутствие окиси хрома в составе амфибола от 2% и выше вызывает слабое окрашивание его в зеленоватые цвета под микроскопом и плеохроизм с обратной схемой абсорбции: окрашивание по оси Np и отсутствие окраски по оси Ng .

Данные инфракрасной спектроскопии² приведены на рисунке. Спектры в области от 3600 до 3800 см^{-1} получены для образцов тремолитовой и магнезиальной обыкновенной роговой обманки, содержащих 0,97 и 3,14% Cr_2O_3 соответственно. ИКС тремолитовой роговой обманки (обр. 55193) в области валентных колебаний ОН-групп имеет четко выраженную полосу поглощения 3678 см^{-1} , осложненную слабой полосой 3690 см^{-1} . Обращает внимание сходство кривой в данной области с ИКС тремолита [3]. ИКС магнезиальной обыкновенной роговой обманки (на примере обр. 64582) имеют в соответствующей области серию расщепленных полос слабой интенсивности: 3678, 3662, 3650 см^{-1} , а также слабую полосу 3723 см^{-1} . Спектры тремолитовой и магнезиальной обыкновенной роговой обманки в области от 400 до 1200 см^{-1} практически не отличаются друг от друга и сходны с ИКС группы кальциевых амфиболов [3].

Все образцы хромового амфибола с Южного Урала представлены в коллекции Музея с ультраосновного массива Кемпирсайского (Донская группа), к которому приурочено месторождение хромита, детально изученное В.П. Логиновым и Н.В. Павловым [2]. Появление амфибола (относительно авторами к актинолиту) как в рудных телах, так и во вмещающих руды дунитах связывается с послерудными гидротермальными проявлениями. Амфибол в большинстве случаев образует жилы и прожилки мощностью от нескольких миллиметров до 10 см, часто расчленяющиеся на несколько

¹ Химические составы выполнены в основном на микрозонде в ГЕОХИ АН СССР Н.Н. Кононковой. Микрозонд САМЕВАХ—MICROBEAM; ускоряющее напряжение 15 кВ, ток зонда 30 нА, диаметр около 3 мкм.

² Выполнены и расшифрованы Е.Л. Соколовой.

Т а б л и ц а 1

Макроскопическая характеристика образцов

| Номер образца | Размер, см | Страна, месторождение | Макроскопическое описание |
|---------------|--------------|--|---|
| 55193 | 9 × 5 | Югославия, Даковице | Зерна светло-зеленого амфибола до 0,8 см сохраняются в почти бесцветных или очень бледно-зеленоватого цвета призмах до 2,5 см длиной, состоящих из микрозернистого агрегата вторичных продуктов; встречаются мелкие зерна хромшпинели |
| 55194 | 10 × 6 | Югославия, Прешево | Зерна темно-зеленого амфибола до 0,8 см сохраняются в обесцвеченных призмах до 1,2 см, состоящих из вторичных продуктов, много мелких зерен хромшпинели; присутствуют чешуйки измененного хлорита (?) лилового цвета |
| 55195 | 6 × 3,6 | Там же | Зерна темно-зеленого амфибола до 0,5 см в обесцвеченных призмах до 1,5 × 1 см, состоящих из вторичных продуктов; редкие зерна хромшпинели и редкие чешуйки лилового хлорита (?) |
| 55196 | 8 × 7 | Югославия, Купаново (Македония) | Тектоническая брекчия. Среднезернистый агрегат из призмочек ярко-зеленого амфибола до 0,4 см, хромшпинели и чешуек хлорита (?) светло-лилового цвета; белые налеты кальцита |
| 64570 | 15 × 15 × 10 | СССР, Донское-Кемпирсайское (Южный Урал) | По трещинам в хромшпинели развиты зерна и призмы светло-зеленого амфибола до 1 см длиной и скопления светло-сиреневого хлорита (?) с размерами чешуек до 0,4 см в диаметре |
| 64582 | 10 × 9 | Там же | В преобладающей хромшпинели присутствует обособление ярко-зеленого амфибола размером 9 × 9 см с размером призм до 1,3 см, а также скопление светло-сиреневого хлорита (?) размером 4 × 3 см с величиной чешуек до 0,2 см |
| 64584 | 9 × 9 | " | В хромшпинели скопление призм размером до 0,8 см ярко-зеленого амфибола и скопление до 2 см сиреневого тонкочешуйчатого хлорита (?) |
| 64585 | 9 × 7 | " | Обособление светло-зеленых призм амфибола (до 1 см) в среднезернистом агрегате хромшпинели и тонкочешуйчатого светло-сиреневого хлорита (?); последний образует также скопление размером 5,5 × 4 см |
| 64586 | 9 × 6 | " | Агрегат (6 × 5,5 см) призмочек (около 0,3 см) ярко-зеленого амфибола в хромшпинели; примазки тонкочешуйчатого светло-сиреневого хлорита (?) |
| 82305 | 17 × 8,5 | " | Весь образец состоит из темно-зеленых призм амфибола до 4 см длиной, местами измененного обесцвечиванием |

Структурные формулы

| | |
|---------|---|
| 55193: | $(\text{Ca}_{1,90} \text{Na}_{0,25})_{2,15} (\text{Mg}_{4,55} \text{Fe}_{0,023} \text{Al}_{0,11} \text{Cr}_{0,11})_{5,00} [\text{Si}_{7,46} \text{Al}_{0,54}]_{8,00} \text{O}_{22} (\text{OH}^-)_{1,92}$ |
| 55195: | $(\text{Ca}_{1,68} \text{Na}_{0,47} \text{K}_{0,05})_{2,20} (\text{Mg}_{4,19} \text{Fe}_{0,36} \text{Cr}_{0,25} \text{Al}_{0,16} \text{Ti}_{0,04})_{5,00} [\text{Si}_{6,91} \text{Al}_{1,09}]_{8,00} \text{O}_{22} (\text{OH}^-)_{1,64}$ |
| 55196: | $(\text{Ca}_{1,70} \text{Na}_{0,55} \text{K}_{0,05})_{2,30} (\text{Mg}_{3,92} \text{Al}_{0,39} \text{Fe}_{0,33} \text{Cr}_{0,32} \text{Ti}_{0,03} \text{Mn}_{0,01})_{5,00} [\text{Si}_{6,52} \text{Al}_{1,48}]_{8,00} \text{O}_{22} (\text{OH}^-)_{1,64}$ |
| 82305: | $(\text{Ca}_{1,74} \text{Na}_{0,70} \text{K}_{0,05})_{2,49} (\text{Mg}_{3,98} \text{Al}_{0,33} \text{Cr}_{0,32} \text{Fe}_{0,27} \text{Ti}_{0,05})_{5,00} [\text{Si}_{6,58} \text{Al}_{1,42}]_{8,00} \text{O}_{22} (\text{OH}^-)_{1,88}$ |
| 64582: | $(\text{Ca}_{1,75} \text{Na}_{0,60} \text{K}_{0,04})_{2,39} (\text{Mg}_{4,02} \text{Al}_{0,41} \text{Cr}_{0,35} \text{Fe}_{0,19} \text{Ti}_{0,03})_{5,00} [\text{Si}_{6,80} \text{Al}_{1,20}]_{8,00} \text{O}_{22} (\text{OH}^-)_{1,95}$ |
| 64582': | $(\text{Ca}_{1,82} \text{Na}_{0,56} \text{K}_{0,03})_{2,41} (\text{Mg}_{4,20} \text{Cr}_{0,31} \text{Fe}_{0,24} \text{Al}_{0,21} \text{Ti}_{0,04})_{5,00} [\text{Si}_{6,88} \text{Al}_{1,12}]_{8,00} \text{O}_{22} (\text{OH}^-)_{1,90}$ |
| 64570: | $(\text{Ca}_{1,72} \text{Na}_{0,62} \text{K}_{0,03})_{2,37} (\text{Mg}_{4,00} \text{Al}_{0,40} \text{Cr}_{0,37} \text{Fe}_{0,19} \text{Ti}_{0,04})_{5,00} [\text{Si}_{6,65} \text{Al}_{1,35}]_{8,00} \text{O}_{22} (\text{OH}^-)_{1,78}$ |
| 64585: | $(\text{Ca}_{1,73} \text{Na}_{0,63} \text{K}_{0,04})_{2,40} (\text{Mg}_{4,04} \text{Cr}_{0,40} \text{Al}_{0,33} \text{Fe}_{0,20} \text{Ti}_{0,03})_{5,00} [\text{Si}_{6,62} \text{Al}_{1,38}]_{8,00} \text{O}_{22} (\text{OH}^-)_{1,76}$ |

более мелких жилок. Экзоконтакты жилок обогащены хлоритом, который обычно сопровождает амфибол, развиваясь по нему и образуя агрегатные псевдоморфозы. Реже амфибол выполняет промежутки между зернами хромшпинели. Макроскопически это игольчатые кристаллы ярко-зеленого цвета. В шлифе бесцветный, иногда слабо зеленоватый. Содержание в нем Al_2O_3 10,68%.

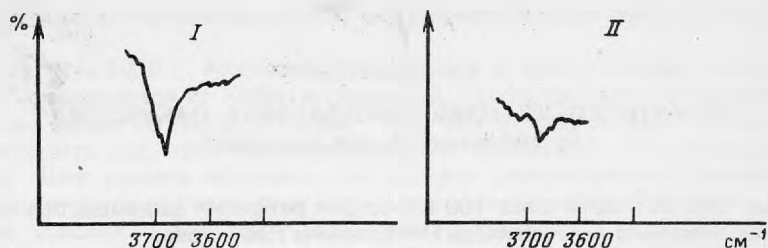
Исследованные нами образцы Кемпирсайского месторождения по количеству глино-

Таблица 2

Химический состав (в мас. %) и оптические свойства хромовых амфиболов

| Компоненты | 55193 | 55195 | 55196 | 82305 | 64582 | 64582 ¹ | 64586 | 64570 | 64585 | 64584 |
|--------------------------------|---|-------------------|------------------------|---|---------------------------|--------------------|---------------------------|-----------------------|------------------------------------|------------------------|
| SiO ₂ | 53,27 | 49,07 | 46,27 | 46,80 | 48,48 | 49,50 | — | 47,32 | 47,28 | |
| TiO ₂ | 0,04 | 0,39 | 0,30 | 0,43 | 0,31 | 0,35 | 0,33 | 0,36 | 0,34 | |
| Al ₂ O ₃ | 3,94 | 7,55 | 11,26 | 10,85 | 9,75 | 8,12 | 9,86 | 10,59 | 10,20 | |
| Cr ₂ O ₃ | 0,97 | 2,24 | 2,84 | 2,90 | 3,14 | 2,88 | 2,89 | 3,35 | 3,59 | |
| "FeO" | 1,92 | 3,02 | 2,79 | 2,27 | 1,63 | 2,04 | 1,67 | 1,58 | 1,67 | |
| MnO | 0,02 | 0,04 | 0,08 | 0,03 | 0,02 | — | — | 0,03 | 0,02 | |
| MgO | 21,78 | 19,96 | 18,63 | 19,01 | 19,20 | 20,30 | 23,55 | 19,12 | 19,29 | |
| CaO | 12,64 | 11,17 | 11,26 | 11,56 | 11,63 | 12,22 | 11,73 | 11,44 | 11,53 | |
| Na ₂ O | 0,93 | 1,72 | 2,00 | 2,58 | 2,21 | 2,07 | 2,58 | 2,27 | 2,30 | |
| K ₂ O | 0,01 | 0,27 | 0,29 | 0,26 | 0,20 | 0,18 | 0,18 | 0,18 | 0,20 | |
| H ₂ O ⁺ | 2,13 | 2,10 | 2,09 | 2,11 | 2,12 | 2,05 | — | 2,11 | 2,11 | |
| С у м м а | 97,65 | 97,53 | 97,81 | 98,80 | 98,69 | 100,31 | — | 98,35 | 98,53 | |
| <i>Ng</i> | 1,640 | 1,650 | 1,650 | Ок. 1,650 | 1,648 | — | 1,648 | Ок. 1,65 | 1,648 | 1,650 |
| <i>Nm</i> | — | — | — | Ок. 1,640 | 1,637 | — | 1,637 | Ок. 1,64 | 1,637 | 1,639 |
| <i>Np</i> | 1,618 | 1,625 | 1,625 | 1,625 | 1,623 | — | 1,623 | Ок. 1,623 | 1,623 | 1,625 |
| <i>Ng-Np</i> | 0,022 | 0,025 | 0,025 | Ок. 0,025 | 0,025 | — | 0,025 | Ок. 0,027 | 0,025 | 0,025 |
| (-) 2 <i>V</i> | Больш. | Больш. | Больш. | Больш. | 83° | — | 83° | Больш. | 83 расч. | Больш. |
| <i>CNg</i> | 20° | 19° | <i>r > v</i> слаб. | — | Расч. | — | Расч. | <i>r > v</i> слаб. | <i>r > v</i> слаб. | — |
| Двойники | Полисинтетические | Нет | Нет | Нет | Нет | — | Нет | Нет | Нет | Нет |
| <i>Ng</i> | Бесцвет. | Бесцвет. | Бесцвет. | Бесцвет. | Бесцвет. | — | Бесцвет. | Бесцвет. | Бесцвет. | Бесцвет. |
| <i>Nm</i> | " | — | Светло-зеленоватый | — | Светло-зеленоватый | — | Светло-зеленоватый | — | Светло-зеленоватый | Светло-зеленоватый |
| <i>Np</i> | " | Зеленоватый | Зеленоватый | Зеленоватый | Зеленоватый | — | Зеленоватый | Зеленоватый | Зеленоватый | Зеленоватый |
| | | <i>Np > Ng</i> | <i>Np ≥ Nm > Ng</i> | <i>Np > Ng</i> | <i>Np > Nm > Ng</i> | — | <i>Np > Nm > Ng</i> | <i>Np > Ng</i> | <i>Np > Nm > Ng</i> | <i>Np ≥ Nm > Ng</i> |
| Примечание | Замещается бесцветным агрегатом вторичных продуктов | — | Раздробл. | Раздробл., замещается бесцветными вторичными продуктами | Раздробл., свежий | — | Раздробл. | Раздробл. | Замещается бесцветным хлоритом (?) | Раздробл., свежий |

¹ Анализ выполнен химиком-аналитиком Г.А. Осолодкиной; содержится также V₂O₅ — 0,21%, Fe₂O₃ не обнаружен.



ИКС хромового амфибола

I — обр. 55193, тремолитовая роговая обманка; II — обр. 64582, магниезиальная обыкновенная роговая обманка

зема (см. табл. 2) соответствуют вышеописанным, а по анализу (на микрозонде) включенных в нем мелких зерен хромшпинели (SiO_2 не обн.; TiO_2 0,07; Al_2O_3 9,51; Cr_2O_3 60,54; "FeO" 14,42; MgO 12,75; MnO 0,19; V_2O_5 0,13; сумма 97,61%) можно предположить, что они принадлежат месторождению Спорному или Гиганту (Донская группа), где неизменные хромшпинели из руд имеют близкий состав [2].

Как видно из табл. 2, химический состав хромовой роговой обманки с Урала характеризуется очень незначительными колебаниями содержащихся в них окислов. Так, содержание SiO_2 составляет 46,80–49,50%, Al_2O_3 — 8,71–10,85, Cr_2O_3 — 2,88–3,59, "FeO" — 1,54–2,27, MgO — 19,01–23,55, CaO — 11,44–12,20, Na_2O — 1,98–2,58, H_2O — 2,05–2,14. Изменение состава в приведенных пределах не отражается на оптических свойствах, которые остаются практически одинаковыми у роговой обманки всех исследованных образцов. Однако, как уже отмечалось выше, содержание окиси хрома выше 2% сказывается на схеме абсорбции. Под микроскопом в шлифах амфиболов бесцветный, но в иммерсионных препаратах, где толщина зерен несколько больше, чем в обычных шлифах, наблюдается слабая окрашенность и плеохроизм светло-зеленоватый по N_p до бесцветного по N_g . Обратная схема абсорбции ($N_p > N_g$) может служить опознавательным признаком роговой обманки, содержащей не менее 2% окиси хрома.

В образцах из Югославии хромовый амфибол по химическому составу и оптическим свойствам также принадлежит роговой обманке. Но если обр. 55195 и 55196 соответствуют уральским, то обр. 55193 с относительно низким содержанием Al_2O_3 (3,94%) и Cr_2O_3 (0,97%), но высоким SiO_2 (53,27%) по классификации справочника "Минералы" принадлежит тремолитовой роговой обманке. Отличительная особенность амфибола из Югославии в том, что он представлен реликтами — зелеными участками в преобладающей бесцветной или слабо-зеленоватой тонкозернистой массе вторичных продуктов, химический состав которых, как показал микрозонд, в одном и том же препарате (обр. 55195) колеблется в широких пределах: SiO_2 38,6–53,5; Al_2O_3 0,97–12,8; "FeO" 0–1,98; MgO 18,6–34,4; CaO 0,6–22,2; Na_2O 0–0,1; Cr_2O_3 0,06–0,8.

Судя по приведенным данным, вторичные продукты могут быть смесью серпентина, хлорита и минерала, богатого кальцием (но не карбоната). Вопрос о вторичных продуктах, развивающихся по хромовому амфиболу, требует специального исследования.

В заключение следует отметить, что изученные нами хромовые амфиболы дополняют сведения, приведенные в справочнике "Минералы".

Авторы благодарят В.И. Степанова за помощь и советы при расчете формул амфиболов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Борнеман-Старынкевич И.Д. Руководство по расчету формул минералов. М.: Наука, 1964. 222 с.
2. Логинов В.П., Павлов Н.В., Соколов Г.А. Хромитоносность Кемпирсайского ультраосновного массива на Южном Урале. — В кн.: Хромиты СССР. М.: Изд-во АН СССР, 1940, т. 2, с. 5–8.
3. Минералы: Справочник. М.: Наука, 1981. Т. 3. Вып. 3.
4. Norin R. Notes on chrome amphibole from Turkey. — Geol. fören. Stockholm förhandl., 1940, bd 62, h. 1, s. 98.