

минерала OH-группы указывают полосы с частотой $1626,5 \text{ см}^{-1}$ (деформационные колебания группировки OH) и $3430,8 \text{ см}^{-1}$ (валентные колебания).

Рентгенограмма порошка линарита из зоны окисления Березовского золоторудного месторождения тождественна эталонной из картотеки ASTM (табл. 2).

В образцах линарит нарастает на англезит и церуссит. В последнем случае его образование скорее всего связано с обработкой карбоната свинца растворами, содержащими сульфат. Является одним из первых гипергенных минералов, образующихся при совместном окислении галенита и блеклых руд.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дэна Дж.Д., Дэна Е.С., Пэлач Ч., Берман Г., Фрондель К. Система минералогии. - М.: Изд-во ИГиЛ, 1954. - Т. 2. - п. т. 2.
2. Еремеев П.В. Каледонит из Преображенского рудника в Березовских промыслах на Урале // Императ. общест. - 1882. - Ч. 17. - С. 207-215.
3. Еремеев П.В. Кристаллы линарита с Урала и Алтая // Зап. Императ. минер. общест. - 1884. - Ч. 15. - С. 15-21.
4. Иванов О.К. Список уральских минералов // Минералы горных пород и руд Урала. - Свердловск: ИГиЛ АН СССР, 1980. - С. 97-143.
5. Клейменов Д.А., Нестерова Г.М. Кадастр минеральных видов зоны окисления Березовского золоторудного месторождения // Уральск. летняя минералог. школа; Мат-лы Всерос. науч. конф. 24-28 июля 1998. - Екатеринбург, 1998. - С. 153-160.
6. Кутюхин П.И. Вещественный состав руд Березовского золоторудного месторождения и типы кварцев // Рукопись. Свердловский горный институт, Свердловск, 1937. - С. 58-65.
7. Митчелл Р.С. Названия минералов. - М.: Мир, 1982. - 248 с.
8. Яхонтова Л.К., Грудев А.П. Минералогия окисленных руд. - М.: Недра, 1987. - 198 с.
9. Arzruni A.E. Mineralvorkommen von Berjosowsk // Z. Krist. - 1885. - Bd. 13. - S. 90-92.

УДК 555.85:549.091.3

С.Ю. Кропанцев

ХРОМОВЫЙ АНДРАДИТ ИЗ НОВО-КАРКОДИНСКОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ ДЕМАНТОИДА

Ново-Каркодинское месторождение демантоида и топазолита приурочено к южной окраине Каркодинского ультрамафитового массива. В этой же части массива сосредоточены небольшие проявления хромитов, образующие группу Каркодинских месторождений хромитовых руд. Одно из проявлений хромитовой руды, открытое весной 1938 г. техником-геологом Союзхромита Родноновым [2], пространственно совмещено с открытым в 1991 г. Ново-Каркодинским месторождением демантоида.

При разведке хромитового орудения неоднократно указывалось на присутствие в «уваровита» [2].

Хромовый андрадит из трещин в хромите на Ново-Каркодинском месторождении установлен автором в результате исследования вещественного состава минералов [5], однако его геологии и минералогии в литературе отсутствуют.

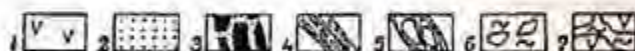
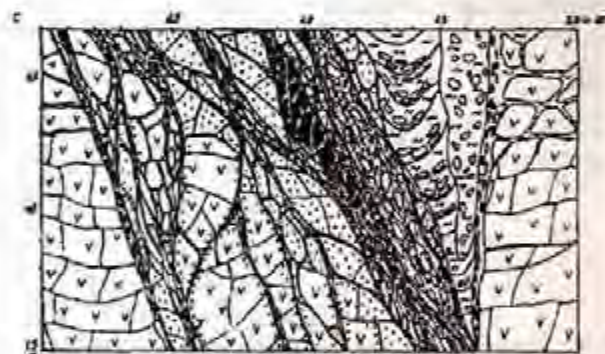
Характеристика минерализованных зон с хромовым андрадитом

На площади Ново-Каркодинского месторождения преобладают магнетит-антигоритовые серпентиниты. В центральной части месторождения, среди серпентинитов, прослеживается серия разнообразно расположенных жильных тел антигоритизированных клинопироксенитов (рис.1). Контакты диаллагитов с вмещающими серпентинитами нечеткие, обычно образуются зоны перехода клинопироксен-серпентинитового состава мощностью до 0,2-0,4 м. Среди аподунитовых и апоперидотитовых серпентинитов, отмечается серия жильных тел мощностью от 0,05 до 0,8 м. В жильных телах хромитовая руда представлена массивной и зернистой разновидностями. Контакты хромитовых тел с серпентинитами характеризуются распределением агрегатов зерен хромшпинели с постепенным уменьшением ее количества к периферии рудных тел.

Кристаллизация хромового андрадита приурочена к рудным телам хромитов, а также к шширам хромитов и контролируется зонами дробления в хромитах и серпентинитах (рис.1). Простираются с северо-западно-северное (342-358⁰), падение вертикальное и субвертикальное с падением на юго-запад (азимут падения 51-59⁰). Местами устанавливается согласное положение минерализованных зон рудным телам хромитов. Протяженность зон прослежена от 1 до 4 м по шширам с мощностью от 1 до 6 м.

Рис.1. Минерализованная зона с хромовым андрадитом среди аподунитового серпентинита:

- 1 - антигоритовый серпентинит; 2 - антигоритовый серпентинит с демантоидом; 3 - рудное тело хромита с хромовым андрадитом, клинопирокситом, клинохлором, развивающиеся по шширам в хромите; 4 - тектонические трещины и зоны блокования в серпентините, содержащие обломки серпентинита, офит, клинохризотил, демантоид, топазолит, карбонаты, глину светло-коричневого цвета; 5 - катаклазированный серпентинит, сцементированный клинохризотилом и офитом; 6 - обломки серпентинита, сцементированные глиной светло-коричневого цвета; 7 - блоки серпентинита с глиной буровато-коричневого цвета



В минерализованных зонах отмечается два типа кристаллизации хромового андрадита.

1 тип - участки дробления хромита, где гранат присутствует в ассоциации с клинохлором, пластинчатым серпентином, клинохризотилом, карбонатами (арагонит+кальцит) (рис.2). В этой кристаллизации хромит сильно катаклазирован. Пространство между обломками заполнено клинохризотилом. На поверхности обломков и блоков хромита присутствует пластинчатый серпентин в виде чешуек размером от 0,1-1,5 до 2,5 мм в поперечнике. Минерал имеет следующие свойства: цвет зеленовато-серый, при дневном освещении приобретает зеленоватый оттенок; прозрачный; жирный до перламутрового; спайность весьма совершенная по (001); твердость 2,5; хрупкий, в шшифе от бесцветного до бледно-зеленоватого; одноосный, отрицательный. На дифрактограмме видны базальные отражения (7,18; 3,59; 2,41; 1,806; 1,445), по которым устанавливается структура шшифтинина. Образует веретенообразные и бочонковидного облика кристаллы. В сеченьях, параллельных плоскости (001), имеет шшишестигранную форму. Часто отмечаются пластинки шшифтинина с ромбического сечения, сростающиеся по плоскости (001), что свидетельствует о наличии двойников по шшифтинитовому закону.

С хромовым андрадитом пластинчатый серпентин образует сростания с хорошо развитыми индукционными поверхностями совместного роста. Кристаллы пластинчатого серпентина отмечаются в виде включений в гранате. Развивающийся на поверхности блоков и обломков хромовый андрадит имеет идиоморфные очертания индивидов вне контакта с пластинчатым серпентином. Здесь же устанавливаются сростания хромового андрадита с хлоритом. Основные линии хлорита на рентгенограмме (14,2; 7,12; 4,76; 3,57; 2,86; 2,04; 2,01; 1,575; 1,430; 1,406) соответствует по современной международной классификации (М. Флейшер, 1990) клинохлору, по более ранним классификациям хлоритов – пеннину. Поверхности хорошо ограненных кристаллов граната контактируют с волокнистым клинохризотилом – основные линии на рентгенограмме (4,57; 3,63; 2,59; 2,46; 2,21; 2,09; 1,752; 1,742; 1,536). Клинохризотил развивается по пластинчатому серпентину, обрастая его кристаллы и заполняя трещины спайности. В центральных участках дробления с хромовым андрадитом клинохризотил практически полностью замещает пластинчатый серпентин, который обнаруживается лишь по реликтам его пластинок. В ассоциации с клинохризотилом отмечается андрадит второй генерации, представленный в виде микрозернистых агрегатов, шестоватых сростков, располагающихся согласно удлинению волокон клинохризотила. Совместно с последним заполняет трещины спайности в пластинчатом серпентине. Андрадит II генерации обрастает по периферии кристаллы и их обломки хромового андрадита I генерации. В шлифе андрадит II генерации имеет более светлую зеленую окраску, изотропен, не обнаруживает аномальную анизотропию.

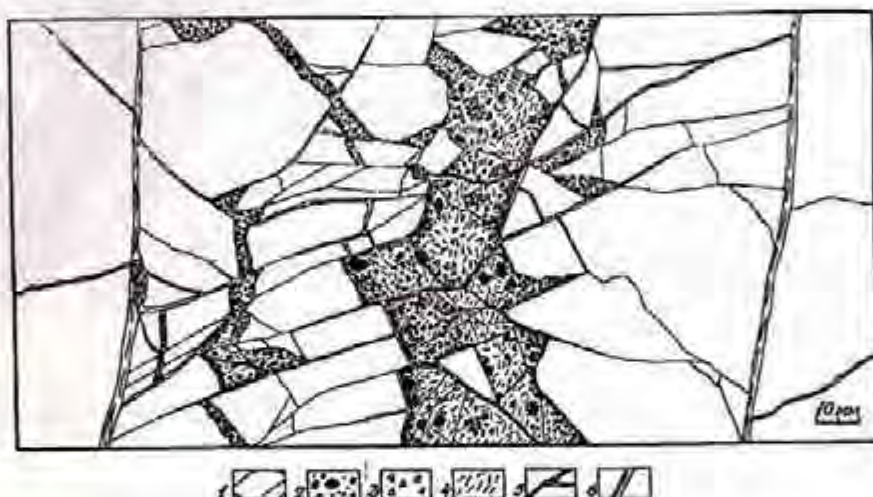


Рис.2. Зона дробления массивной хромитовой руды с хромовым андрадитом:
 1 – хромитовая руда, 2 – хромовый андрадит, 3 – пластинчатый серпентин, 4 – клинохризотил, 5 – арагонит-кальцитовый агрегат, 6 – тектонические трещины с офитом, клинохризотилом и хромовым андрадитом, сопровождающиеся зеркалами скольжения

Кристаллы андрадита I генерации в большинстве случаев раздроблены на микрочастицы размером от 0,1x0,2 до 0,2x1,2 мм. Основные трещины дробления ориентированы нормально к субнормально волокнистым агрегатам клинохризотила. По трещинам развит тонкопластинчатый брусит и карбонаты. Брусит устанавливается также в минерализованных телах демантоидом и топазолитом во вмещающих хромитовые тела серпентинитах. Основные линии брусита на дифрактограмме (4,79; 2,74; 2,37; 1,797; 1,575). Брусит является поздним по отношению к хромовому андрадиту.

...рациям андрадита, так как развивается по серпентину и присутствует в трещинах дробления
...лов гранатов.

В минерализованных зонах с гранатом среди аподунитовых серпентинитов встречены
морфозы клинохризотила и лизардита по кристаллам форстерита. Связи с образованием
андрита и хромового андрадита не установлены, тогда как демантоид и топазолит являются явно
родными по отношению к форстериту.

К постгранатовой минерализации, кроме брусита, также относится арагонит-кальцитовый
зернистый агрегат. Главные линии на рентгенограмме для арагонита (3,40; 3,29; 2,70; 2,41; 2,38;
2,19), для кальцита (3,03; 2,49; 2,28; 2,09; 1,924; 1,912; 1,874; 1,626; 1,602). Арагонит-
кальцитовый агрегат развивается согласно волокнам клинохризотила, сохраняя текстурный рисунок
последнего, а также заполняя трещины блокования в хромите, имеющем секущее положение ко всем
рассмотренным ассоциациям минералов.

Рентгеноструктурный анализ минералов проводился на дифрактометре ДРОН-2.0 (оператор
Саложникова; Уральская государственная горно-геологическая академия).

II тип - гранат-хлорит-серпентиновые прожилки в
хромите (рис.3). К этому же типу относятся гранат-
серпентиновые вкрапленники в интерстициях
хромитовых шпинели.



Рис.3. Гранат-хлорит-серпентиновые прожилки в массивной
густовкрапленной хромитовой руде.

- 1 - хромитовая руда с вкрапленниками хромового андрадита, клинохлора и хлоритовых шпинели;
- 2 - обломки хромитовой руды, сцементированные хромовым андрадитом и клинохризотилом;
- 3 - прожилки хромового андрадита с хлоритом и клинохризотилом;
- 4 - клинохризотил;
- 5 - хром-андрадит-хризотилитовый агрегат;
- 6 - серпентинит с вкрапленниками хромового андрадита;
- 7 - трещины, выполненные арагонит-кальцитовым агрегатом

Гранат-хлорит-серпентиновые прожилки имеют ширину от 0,05-0,1 до 2,5-3 мм, длину от 9
мм. Образуют систему сближенных между собой трещин выполнения, ориентированных
относительно простиранию линзообразных блоков хромита. По ориентировке и извилистой конфигурации
прожилков можно предположить, что они являются трещинами отрыва и отдельности в хромите.
Трещины выполнены кристаллами хромового андрадита I генерации, размером 0,25-0,5 мм, и
шпинели хлорита. Центральные части трещин заполняет офитоподобный серпентин поперечно-
слоистого строения. Согласно волокнам серпентина в виде зернистых шестоватых агрегатов
развивается андрадит II генерации. Рядом с прожилками хромового андрадита отмечается развитие
микропрожилков, выполненных белым офитоподобным серпентином и светлым желто-зеленым
демантоидом. Микропрожилки с демантоидом и офитом имеют секущее положение к прожилкам
хромового андрадита.

В интерстициях хромшпинели в массивной хромитовой руде хромовый андрадит сохраняет ту
последовательность образования, что и в зонах дробления и в прожилках. Здесь устанавливается
хлорид, образующий сростания с хромовым андрадитом I генерации. По наличию розовой и
желтой окраски клинохлора можно предположить, что он является хромсодержащим.

Таким образом, последовательность минералообразования на основании выделенных
генетических ассоциаций в минерализованных зонах с хромовым андрадитом выглядит
следующим образом: хромит, хроммагнетит → хлорит, хромовый андрадит I, пластинчатый
серпентин, → клинохризотил, хромовый андрадит II → офитоподобный серпентин, демантоид, →
аргонит, кальцит, брусит.

Свойства хромового андрадита

Хромовый андрадит встречается в виде кристаллов и зерен размером от 0,01 до 7 мм. Форма кристаллов ромбододекаэдрическая {001} в комбинации с тетрагонтриоктаэдром {112}. Зависимость

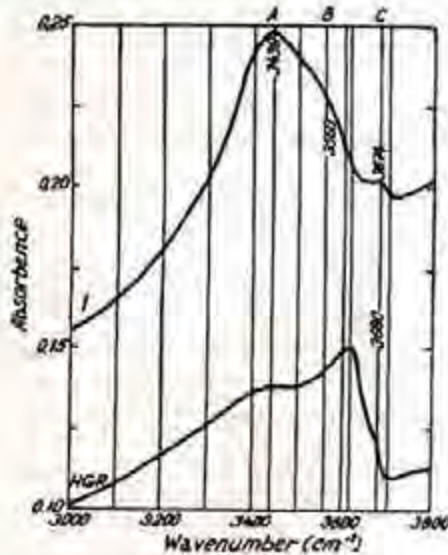


Рис. 4. ИК-спектры гранатов в интервале 3000-3800 см⁻¹:
1 - хромовый андрадит из Ново-Каркодинского месторождения;
HGR - гидрогроссуляр (Якутия)

формы кристаллов от их размера не установлено. Цвет темный зеленый, желтоватый оттенок появляется в микрозернах I генерации. Удельный вес 3,65; микротвердость 1271 кг/см²; хрупкий; параметр элементарной ячейки $a_0 = 12,041 \pm 0,001$ Å. В результате исследования химического состава гранатов (табл. 1) установлено, что хромовый андрадит из Ново-Каркодинского месторождения близок по содержанию Cr₂O₃ к хромовому андрадиту из хромитовых руд Нижне-Тагильского массива. Отличительной особенностью состава исследованного хромового андрадита является значительно меньшее содержание алюминия и титана и более высокие концентрации трехвалентного железа (табл. 2). В исследованном гранате, который представляет собой I генерацию хромового андрадита (табл. 1), содержание Cr₂O₃ заметно уменьшается от центра зерна к периферии, и, соответственно, увеличивается содержание Fe₂O₃. Это отвечает общей тенденции изменения состава хромсодержащих андрадитов из Ново-Каркодинского месторождения [3,5], где ранние гранаты являются более высокохромистыми. По установленной линейной зависимости густоты зеленой окраски гранатов от содержания Cr₂O₃ можно предположить, что хромовый андрадит II генерации по составу является промежуточным между собственно хромовым андрадитом и высокохромистым демантоидом (3,6-4,5 мас. % Cr₂O₃, см. табл. 1).

По данным ИК-спектроскопии, исследованный хромовый андрадит имеет типичные для андрадита линии - 441,5 см⁻¹; 483 см⁻¹; 593,8 см⁻¹; 816 см⁻¹; 834 см⁻¹; 888 см⁻¹. На рис. 4 показан интервал 3000-4000 см⁻¹, являющийся характеристическим для H₂O. В этом интервале наблюдаются три пологие линии. Линия около 3430 см⁻¹ связана с молекулярной водой из газожидких включений и водой, сорбированной КВг (образцы сделаны по стандартной методике в таблетках с КВг на приборе Digilab FTS 60V, аналитик dr. Maciej S. Краков). Линия около 3560 см⁻¹ - линия группы (OH)⁻ (изоморфизм -4H⁺-Si⁴⁺), координированные Fe³⁺. Небольшое плечо около 3560 см⁻¹ свидетельствует о том, что гранат содержит незначительную примесь групп (OH)⁻ (менее 0,1 мас. % H₂O). Линия около 3680 см⁻¹ интерпретируется как группы (OH)⁻, координированные Mg²⁺, то есть вхождением в андрадит некоторого количества пиропового минала. В связи с тем, что по результатам химического анализа примесь MgO незначительна (0,030-0,093 мас. %), линия 3674 см⁻¹ может быть связана с незначительной примесью серпентина, что косвенно подтверждено минералогическим изучением включений.

Условия образования хромового андрадита

Образование андрадита на Ново-Каркодинском месторождении относится к гидротермальной стадии минералообразования. Гидротермальная минерализация, по мнению автора, связана с воздействием на ультрамафиты гидротерм, образованных в результате прогресса вмещающих

наибольшими интрузиями гранодиоритов, которые фиксируются в непосредственной близости от интрузивных зон (80-150 м). Образованию граната предшествовали: зоны трещиноватости в трафимитах, по которым развивались новообразованные диопсид и тремолит (в микропироксенитах), кристаллический форстерит (в дунитах). Это свидетельствует о температурах порядка 500-600° С.

Таблица 1

Химический состав хромового андрадита и высокохромистого демантонда из Ново-Каркодинского месторождения

№ пробы	SiO ₂	TiO ₂	Cr ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	Сумма
34-1	35,183	0,138	8,638	0,023	21,110	0,028	0,093	33,039	0,000	98,250
34-2	34,661	0,117	8,123	0,000	22,388	0,000	0,030	33,058	0,038	98,416
30-1	35,054	0,043	3,642	0,028	26,844	0,000	0,036	32,745	0,000	98,392
30-2	35,018	0,068	3,313	0,055	27,205	0,000	0,000	33,165	0,038	98,861

Примечание. Микрозондовые анализы выполнены в ГЕОХИ РАН, аналитик Н. Кононова; FeO пересчитано на Fe₂O₃ по формуле обр.34 – хромовый андрадит; обр.30 – высокохромистый демантонд.

Таблица 2

Кристаллохимические формулы хромового андрадита и высокохромистого демантонда из Каркодинского и хромового андрадита из Нижне-Тагильского массивов

Номер пробы	Si	Ti	Cr	Al	Fe ³⁺	Fe ²⁺	Mn	Mg	Ca	Na
34-1 центр	3,011	0,009	0,584	0,002	1,385	0,000	0,002	0,012	3,030	0,000
34-2 край	2,968	0,008	0,549	0,000	1,467	0,000	0,000	0,004	3,033	0,006
30-1 центр	3,012	0,003	0,247	0,003	1,732	0,000	0,000	0,005	3,015	0,000
30-2 край	2,993	0,004	0,223	0,006	1,770	0,000	0,000	0,000	3,037	0,000
1*	3,03	0,03	0,65	0,11	1,11	0,08	-	-	2,99	-
2*	2,71	-	0,69	0,43	1,14	-	-	-	3,03	-

Примечание. Звездочкой обозначены анализы хромовых андрадитов из монографии О.К. Иванова [1]

Хромовый андрадит относится к ранней генерации граната в хромитах и вмещающих их трафимитах. К этой же генерации относится бурый андрадит в клинопироксенитах. Появление граната связано с образованием хлорита и последовательным переходом к более низкотемпературным генезисам (антигорит-клинохризотил). Условия процесса могут оцениваться интервалом температур от 500 до 300-200° С с повышенной щелочностью среды в начале и постепенным ее снижением на завершающих стадиях процесса. Активность хрома с падением температуры существенно снижалась, что подтверждается малохромистыми и бесхромовыми андрадитами поздних генераций.

Процесс гранатообразования сопровождался интенсивной тектонической проработкой интрузивных зон.

Постгранатовая минерализация фиксируется образованием брусита, а также карбонатизацией и альбитизацией серпентиновых минералов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

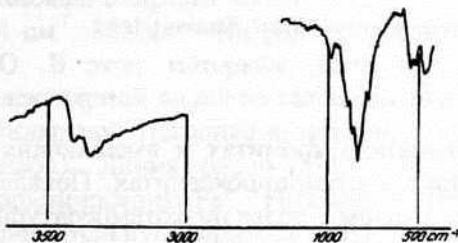
1. **Иванов О.К.** Концентрически-зональные пироксенит-дунитовые массивы Урала: Минералогическая петрология, генезис. - Екатеринбург: Изд-во УрГУ, 1997. - 164 с.
2. **Красулин В.С.** Предварительный отчет Уфалейской геолого-поисковой партии за 1938 г.: ФГУ Уралгеолкома. - Свердловск, 1938. - С.16.
3. **Кропанцев С.Ю.** Демантоид Ново-Каркодинского месторождения (Средний Урал) // Уральская летняя минералогическая школа-95. - Екатеринбург, 1995. - С.84-88.
4. **Кропанцев С.Ю.** Ново-Каркодинское месторождения демантоидов // Уральская летняя минералогическая школа-97. - Екатеринбург, 1997. - С.132-142.
5. **Кропанцев С.Ю.** Новые данные об уральском демантоиде // Уральская летняя минералогическая школа-97. - Екатеринбург, 1997. - С.142-148.

УДК 549 (470. 54)

Д.А. Клейменов, Ю.В. Ерохин, В.С. Пономарев

КОРНВАЛЛИТ ИЗ ЗОНЫ ОКИСЛЕНИЯ БЕРЕЗОВСКОГО ЗОЛОТОРУДНОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Редкий гидроксил арсенат меди корнваллит был найден в 1847 году в руднике Сент-Джонс графство Корнуолл, Великобритания [1,5]. Этот гипергенный минерал, в отличие от диморфного корнубита, редко встречается в зонах окисления сульфидных месторождений. Известны его находки в небольшом руднике поблизости от Фрейденштадта (горы Шварцваальд) и руднике Клара, Германия [5].



Инфракрасный спектр корнваллита из зоны окисления Березовского золоторудного месторождения

Первое и единственное упоминание о корнваллите на Урале и в России содержится в работе Соловьева, посвященной описанию минералогии зоны окисления Меднорудянского месторождения [3]. В этой работе автор указывает, что корнваллит в зоне окисления Меднорудянского месторождения встречался в «аморфных скоплениях темно-зеленого цвета, с раковинным изломом». Приводятся данные о твердости и плотности минерала. В заключение этого краткого описания Соловьев указывает, что этот «крайне редкий арсенат» в наших исследованиях не установлен». Следовательно, первоначальная диагностика этого минерала была проведена на основе внешнего облика, а также определения твердости и плотности. Понимая, что этих скудных данных недостаточно даже для предварительной диагностики

редкого минерала, Соловьев в списке минералов зоны окисления Меднорудянского месторождения напротив названия корнваллита ставит вопросительный знак [3]. Следовательно, данные о корнваллите на Меднорудянском месторождении являются неподтвержденными и сомнительными.