

## НОВО-КАРКОДИНСКОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ ДЕМАНТОИДА КАК УНИКАЛЬНЫЙ ИСТОЧНИК ЮВЕЛИРНОГО ТОПАЗОЛИТА

Топазолит - редкая благородная разновидность граната, получившая свое название благодаря медово- или золотисто-желтой окраске, схожей с окраской желтого топаза (Бонвуазен, 1806). По химическому составу близок к теоретическому составу андрадита, вследствие чего может считаться его прозрачной ювелирной разновидностью. В общей классификации ювелирных и поделочных камней [3] топазолит не упоминается. В минералогической литературе имеются крайне отрывочные сведения о нем, со ссылкой на топазолит из Италии и Швейцарии, где он встречается только в виде мелких зерен по трещинам в серпентинитах.

В 1991 г. на Урале было открыто Ново-Каркодинское месторождение, где наряду с демантоидом чистый и крупный топазолит образует самостоятельную минерализацию. Это позволило нам получить новые данные о геологии и минералогии топазолита. Месторождение находится на юге Среднего Урала в районе г. Верхнего Уфалея Челябинской области.

Оно приурочено к южной краевой части Каркодинского габбро-перидотитового массива. В этом же массиве, чуть более семи километров к северо-западу от Ново-Каркодинского, располагается знаменитое Полдневское месторождение демантоида, открытое в 1874-1877 гг.

Каркодинский массив принадлежит к офиолитовой формации и входит в состав Серовско-Маукского пояса гипербазитовых массивов. Возраст массива средне-позднедевонский. Он имеет в плане неправильную форму, вытянут в меридиональном направлении на 12 км, при ширине от 0,5 до 5 км, площадь его 20 км<sup>2</sup>.

Массив представляет собой маломощную (около 50 м мощности) серпентинитовую пластину - останец Уфалейского серпентинитового массива, надвинутого на филлиты Центрально-Уральского поднятия [2]. Массив слагают антигоритизированные дуниты, магнетит-антигоритовые серпентиниты, антигоритизированные клинопироксениты (диаллагиты), тальк-карбонатные породы. Среди серпентинитов выделяются аподунитовые и апогарцбургитовые. Кроме того, массив прорывается серией небольших тел габбро и, реже, кварцевых диоритов и гранодиоритов.

На площади Ново-Каркодинского месторождения преобладают магнетит-антигоритовые серпентиниты (рис.1). В 600-700 м к северо-северо-востоку и юго-юго-востоку картируются небольшие тела гранодиоритов и плагиогранитов.

В центральной части участка, среди серпентинитов, в полосе шириной до 80 м, на протяжении 200 м прослеживается серия кулисообразно расположенных жильных тел антигоритизированных клинопироксенитов (диаллагитов). Простираение диаллагитов северо-восточное 30-60°, падение на юго-восток 70-80°. Длина отдельных жильных тел колеблется от 10 до 100 м, мощность от 0,2 - 0,5 м до 1,5 м.

Контакты диаллагитов с вмещающими серпентинитами нечеткие, обычно устанавливаются зоны перехода клинопироксен-серпентинитового состава мощностью до 0,2 - 0,4 м.

Минерализация топазолита, так же, как и демантоида, приурочена к жильному полю диаллагитов и контролируется непротяженными зонами дробления в серпентинитах и диаллагитов

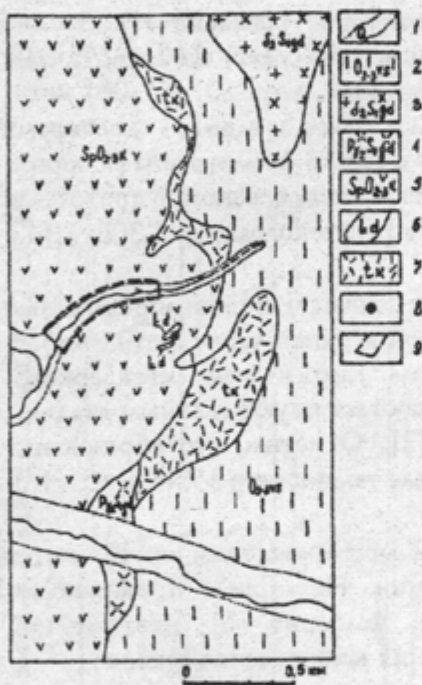


Рис.1. Геологическая карта района Ново-Каркодинского месторождения демантоида и топазолита (по Сыркину А.Б., 1991):

- 1 - аллювиальные отложения; 2 - кварц-серицитовые сланцы; 3 - гранодиориты; 4 - плагиограниты; 5 - магнетит-антигоритовые серпентиниты; 6 - диаллагиты; 7 - тальк-карбонатные породы; 8 - Ново-Каркодинское месторождение демантоида и топазолита; 9 - контуры россыпи

Зоны ориентированы почти под прямым углом к простиранию диааллацитов (западное-северо-западное 270-300°). Падение вертикальное и субвертикальное. Сближенные субпараллельные зоны сосредоточены в жильном поле на удалении 15-30 м одна от другой. Протяженность зон от 1 до 1,5 м, мощность 0,3-0,4 м. Они соответствуют системе сближенных, ровных вертикальных минерализованных трещин, разбивающих породу на блоки. Ширина единичных минерализованных трещин колеблется от 0,6-1 до 20 мм. По простиранию зоны выклиниваются в результате неравномерного затухания трещин.

Андрадитовая минерализация прослеживается на всем протяжении зон, но распределена неравномерно. В виде одиночных кристаллов, шток или сплошных зернистых масс топазолит совместно с демантоидом выделяется на стенках трещин, а также входит в состав заполняющего трещины минерального агрегата.

Состав минерального агрегата, включающего зерна топазолита, зависит от вмещающей минерализованную зону породы. В антигоритизированном клинопироксените - это пироксен-амфибол-серпентинитовый агрегат. Пироксен представлен преимущественно диопсидом, амфибол - тремолитом. Основная масса серпентина - антигорит и кризотил. Кроме того, здесь отмечается наличие пикролита, опалоподобного и чешуйчатого серпентинитов.

В магнетит-антигоритовом серпентините трещины заполнены серпентиновым агрегатом. Он сложен антигоритом, пикролитом, клинохризотилом, чешуйчатым серпентином и аморфным материалом серпентинового состава.

В обоих случаях минеральный агрегат разбит сетью различно ориентированных трещин, по которым развиваются карбонаты (в основном это мелко- и крупнокристаллический кальцит, а также колломорфный арагонит и землистый магнетит). В аксессуарных количествах входят: магнетит - в виде мелкой вкрапленности и шестоватых выделений и хромит - в виде небольших шлиров и овоидов размером до 1,5 см в поперечнике.

Наиболее крупные и чистые кристаллы топазолита находятся в минерализованных зонах среди диааллацитов. Здесь прослеживается метаморфическая и минералогическая зональность (рис.2). Центральная часть минерализованной зоны представлена пироксен-амфибол-серпентиновой жилкой мощностью до 7 см. Жила не выдержана по мощности и местами извилистая вследствие раздробленности боковых пород. Длиннопризматический диопсид и игольчатый тремолит совместно с интерстиционным серпентином образуют сноповидные, параллельно-шестоватые агрегаты с преимущественно продольной ориентировкой.

По обе стороны от жилы наблюдается зона с повышенным содержанием топазолита, мощностью до 4 см. Топазолит в виде вытянутых согласно простиранию жилы сростков овальной, гроздьвидной, шестоватой форм и, реже, в виде изометричной, округлой формы находится в скрытокристаллическом серпентине зеленовато-белого цвета. Шестоватые сростки ассоциируют с пироксен-тремолит-серпентиновым агрегатом, повторяя направленность и извилистость последнего. В сростках между отдельными зернами, так же, как и на поверхности, присутствуют чешуйчатый серпентин белого и светло-бежевого цвета.

Топазолит окрашен в желтые с зеленоватым оттенком, золотисто-желтые и светло-коричневые цвета.

Размер отдельных зерен от 0,8 до 15 мм в поперечнике. Здесь присутствуют наиболее крупные и чистые кристаллы топазолита, редкие образцы которого достигают размера более 15 мм. Наиболее крупные сростки имеют размер 32 x 64 мм.

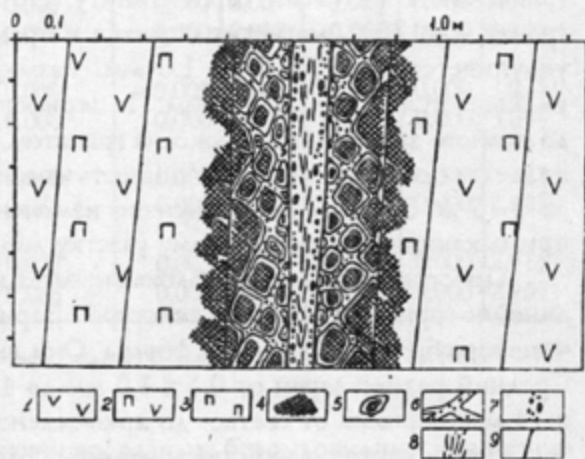


Рис.2. Схема минерализованной зоны с топазолитом в антигоритизированном клинопироксените (диааллагите):

1 - магнетит-антигоритовый серпентинит; 2 - антигоритизированный верлит; 3 - антигоритизированный клинопироксенит, зона неизмененного диааллагита; 4 - антигоритизированный клинопироксенит с гранатом; 5 - зона катаклазированного клинопироксенита с гранатом; 6 - пироксен-амфибол-серпентиновый агрегат с топазолитом и демантоидом, заполняющий пространство между блоками; 7 - зона повышенного содержания топазолита; 8 - пироксен-амфибол-серпентиновая жила; 9 - тектонические трещины



Содержание топазолита в зоне в среднем составляет около 100 г/м<sup>3</sup>. Зона с повышенным содержанием граната связана с неизменной вмещающей породой через катаклазированный, раздробленный на блоки диаллагит. Он образует отдельную зону, мощность которой до 15 - 20 см. Блоки и обломки диаллагита имеют прямоугольную, пластинчатую, изометричную и неправильную форму, размером от 5 x 20 мм до 150 x 200 мм. Центральные участки блоков сложены антигоритизированным клинопироксенитом с гранатом. Его состав: диопсид - 45-68%, антигорит - 20-40%, гранат - 1-5%, магнетит - 2-5%. Периферия блоков соответствует магнетит-гранат-антигоритовому серпентиниту. Его состав: диопсид - 5-30%, антигорит - до 70-80%, гранат - до 20%, магнетит остается в пределах 2-5%, но образует более густые скопления и укрупняется от 0,1-0,5 до 1,0 мм. Размер зерен диопсида от центра к периферии блоков уменьшается от 3 x 4 до 1 x 2 мм. По периферии зерен появляются каймы зеленого граната, вплоть до полного замещения пироксена гранатом, а также серпентином. Текстура породы изменяется от массивной до пятнистой. Мощность измененного клинопироксенита непостоянная и варьирует от 5-15 до 30-40 мм. Интенсивно изменены обломки сильно катаклазированного диаллагита, примыкающие к центральному участку минерализованной зоны.

Пространство между блоками заполнено пироксен-амфибол-серпентиновым агрегатом линейно ориентированной текстуры. Зерна присутствующего в нем граната каплеобразной, чечевицеобразной, овальной формы. Они вытянуты согласно линейности шестоватого агрегата. Средний размер зерен от 0,5 x 1,0 мм до 4 x 6 мм. Наиболее крупные редкие индивиды до 12 x 14 мм. Окраска от светло- до ярко-зеленой с желтоватыми оттенками.

На контакте с зоной повышенного содержания граната пироксен-амфибол-серпентиновый агрегат обволакивает обломки диаллагита с образованием теней давления. Здесь присутствует гранат зеленовато-желтого, медово-желтого и буровато-коричневого цвета, преимущественно изометричной шаровидной формы. Окраска часто зональная. Центральная часть зерна окрашена обычно в зеленый цвет, периферийная - в желтый. У кристаллов, прикрепленных к подложке, основание имеет насыщенную зеленую окраску, тогда как внешняя часть окрашена в зеленовато-желтый или золотисто-желтый цвет.

Гранат нередко раздроблен на блоки, между которыми находятся тонкие (менее 0,1 мм) пленки белого серпентина.

Среднее содержание топазолита и демантоида в зоне катаклазированного диаллагита около 50-60 г/м<sup>3</sup>.

Постепенное уменьшение антигоритизации и содержания граната характеризует переход к следующей зоне, представленной массивным, темно-серым неизменным диаллагитом лепидогранобластовой структуры. Его состав: диопсид - 68-73%, антигорит - 25-30%, магнетит - до 2%, гранат - до 1%. Размер зерен диопсида увеличивается до 5-7 мм. Какой-либо преимущественной ориентировки их в породе не отмечается. Трещины спайности грубые, по ним развивается антигорит. Характерно наличие совершенной спайности по (100).

Контакты зон маркируются тектоническими трещинами, иногда с зеркалами скольжения.

Кристаллизация топазолита связана с процессом локальной серпентинизации перидотитов в тектонически ослабленных зонах краевых частей гипербазитовых массивов. Особенностью минерализованных зон Ново-Каркодинского месторождения является сочетание в них как тектонических трещин, так и трещин отдельности. При этом наиболее благоприятными для образования крупного и чистого топазолита являются трещины тектонического происхождения. Размер кристаллов топазолита, а также их количество зависят от ширины минерализованной трещины и от интенсивности локальной антигоритизации блоков и обломков исходной породы. Высококачественный топазолит образуется в минерализованных зонах среди антигоритизированного клинопироксенита (диаллагита), который служит источником кальция, железа, кремния. Наиболее продуктивными являются минерализованные зоны в маломощных жилородных телах, сложенных среднезернистым диаллагитом, который интенсивно антигоритизирован в автометаморфическую стадию серпентинизации. Топазолит представляет собой позднюю генерацию андрадита в минерализованной зоне. Ему предшествуют: более ранний - высокохромистый демантоид и промежуточный - малохромистый и бесхромовый демантоид.

Кристаллохимическая формула Ново-Каркодинского топазолита представлена в таблице. По сравнению с медово-желтым топазолитом из Италии (Sanero, 1935), Ново-Каркодинский имеет повышенное содержание кальция и кремния, но менее богат алюминием и титаном. Размер зерен

от 0,1 до 6-10 мм. Редкими считаются прозрачные образцы размером более 15 мм. На месторождении был найден уникальный кристалл топазолита весом 31 грамм.

### Кристаллохимические формулы топазолита Ново-Каркодинского месторождения

| № | Участок зерна | Si    | Ti     | Cr    | Al    | Fe <sup>3+</sup> | Fe <sup>2+</sup> | Mn    | Mg    | Na    | K     | Ca    |
|---|---------------|-------|--------|-------|-------|------------------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | Центр         | 2,981 | 0,0001 | 0,031 | 0,003 | 1,983            | 0,000            | 0,000 | 0,009 | 0,000 | 0,000 | 3,017 |
|   | Край          | 2,980 | 0,002  | 0,028 | 0,005 | 1,983            | 0,002            | 0,000 | 0,012 | 0,000 | 0,000 | 2,986 |
| 2 | Центр         | 2,972 | 0,000  | 0,013 | 0,004 | 2,010            | 0,000            | 0,001 | 0,003 | 0,007 | 0,000 | 3,025 |
|   | Край          | 2,970 | 0,001  | 0,020 | 0,002 | 2,007            | 0,000            | 0,000 | 0,003 | 0,001 | 0,000 | 3,035 |
| 3 | Центр         | 3,064 | 0,007  | 0,016 | 0,006 | 1,901            | 0,068            | 0,002 | 0,000 | 0,005 | 0,000 | 2,925 |
|   | Край          | 3,064 | 0,008  | 0,015 | 0,004 | 1,901            | 0,068            | 0,002 | 0,000 | 0,005 | 0,000 | 2,925 |
| 4 | Центр         | 3,014 | 0,001  | 0,001 | 0,004 | 1,972            | 0,077            | 0,003 | 0,000 | 0,005 | 0,000 | 2,915 |
|   | Край          | 3,042 | 0,000  | 0,000 | 0,010 | 1,954            | 0,086            | 0,003 | 0,000 | 0,005 | 0,000 | 2,906 |

Примечания. 1 - зеленовато-желтый; 2 - зеленовато-коричневый; 3 - золотисто-желтый; 4 - желтовато-коричневый. Расчет Fe<sup>3+</sup> и Fe<sup>2+</sup> по стехиометрии.

Топазолит встречается в виде шарообразных, чечевицеобразных, бочонковидных или неправильной формы зерен. Часто образует друзовые гроздьевидные, шестоватые сростки. Также отмечаются сростки кристаллов в виде эллипсоида, наиболее крупные из которых достигают до 70 мм в диаметре.

Образует кристаллы с комбинацией тетрагонтриоктаэдра с ромбододекаэдром. В большинстве случаев грани кристаллов нечеткие. Поверхность шагреновая, с множеством бороздок, ориентированных по удлинению вытянутых зерен.

Спайность отсутствует. Излом раковистый или неровный. Зерна трещиноваты. Перистые, радиальные серии трещин приурочены к скоплениям тонковолокнистых включений. Зональные зерна с густо-зеленым ядром и коричневой периферией часто имеют систему скорлуповатых трещин, связанную с различием химического состава отдельных зон, и вызванными этим структурными напряжениями. Отдельные зерна имеют грубые трещины дробления. По трещинам развиваются гидроокислы железа.

Твердость 6,5 по шкале Мооса. Микротвердость 927-1054 кг/мм<sup>2</sup> при нагрузке 50 г. Хрупкий. Удельный вес 3,80 - 3,83.

Цвет топазолита от бледного зеленовато-желтого, золотисто-желтого, медово-желтого до желтовато- и буровато-коричневого. При различном освещении у топазолита из Ново-Каркодинского месторождения нередко изменяется тональность окраски: для источника, имитирующего дневное освещение, происходит появление зеленоватого оттенка, а для источника искусственного освещения (лампа накаливания) - усиление желтого цвета. Наиболее ярко этот эффект выражен в бледных зеленовато-желтых андрадитах, представляющих собой переходную от демантоида к топазолиту разновидность. При дневном освещении эти гранаты по цветовому признаку можно отнести к демантоиду (желтовато-зеленые), при искусственном - к топазолиту (медово-желтые, коричневатые).

Присутствие примеси хрома (до 0,2 вес. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) придает топазолиту зеленоватый оттенок, усиливающийся при дневном освещении. Наличие в таких образцах незначительной примеси титана (0,11 - 0,13 вес. % TiO<sub>2</sub>), при сравнительно невысоком содержании суммарного железа (28,62 вес. %), вызывает усиление желтого цвета, который наиболее интенсивно проявляется при искусственном освещении. Повышение содержания суммарного железа до 29,57 вес. % и отсутствие примеси хрома (от 0,000 до 0,02 вес. % Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) обуславливает появление устойчивой желтой окраски топазолита вне зависимости от освещения.

Оптические спектры топазолита имеют полосы поглощения: 25400 см<sup>-1</sup>, 22500 см<sup>-1</sup>, 15800 см<sup>-1</sup>, 11700 см<sup>-1</sup> (рис.3). В спектре светло-желтого топазолита присутствует слабая полоса поглощения 20200 см<sup>-1</sup>, которая образуется за счет смещения полосы поглощения 19800 см<sup>-1</sup> в спектре желтовато-зеленого демантоида в коротковолновую область. Увеличение интенсивности

полосы поглощения  $25400\text{ см}^{-1}$  и уширение полосы  $22500\text{ см}^{-1}$  связано с усилением коричневой окраски в топазоците. Полоса поглощения ионов  $\text{Cr}^{3+}$  в демантоиде ( $16100\text{ см}^{-1}$ ) с увеличением желтой окраски смещается в длинноволновую часть спектра, образуя полосу поглощения  $15800\text{ см}^{-1}$  у светло-желтого топазоцита. По аналогии с оптическими спектрами бледно-зеленыхgrossуляров [6] полосу поглощения  $15800\text{ см}^{-1}$  можно отнести к действию ионов  $\text{Fe}^{3+}$ .

Параметр элементарной ячейки  $a_0$  топазоцита  $12,059 \pm 0,001\text{ \AA}$ . Он увеличивается с усилением желтой окраски до коричневатой до  $12,061 \pm 0,001\text{ \AA}$ . У буровато-коричневых разновидностей андрацита параметр  $a_0$  равен  $12,066 \pm 0,001\text{ \AA}$ .

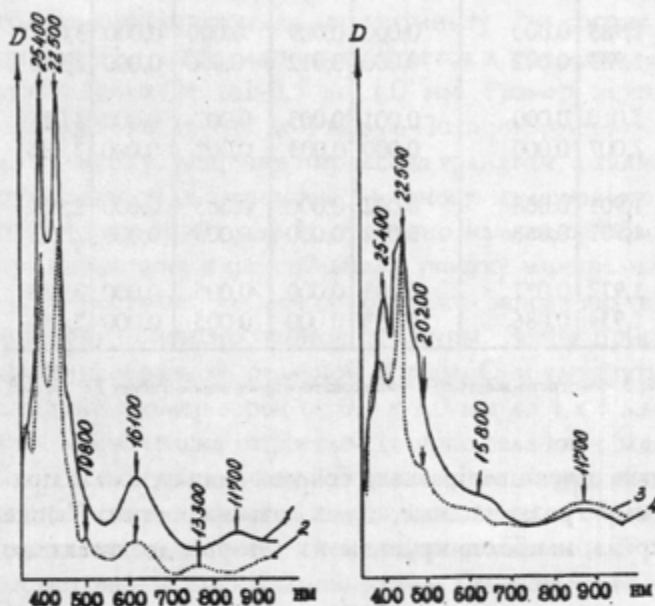


Рис.3. Оптические спектры поглощения демантоида и топазоцита из Ново-Каркодинского месторождения:

1 - темно-зеленый демантоид; 2 - светлый желтовато-зеленый демантоид; 3 - светло-желтый топазоцит; 4 - буровато-коричневый топазоцит

ны топазоцит бледно-желтый до коричневатого. Изотропный. Включения довольно однотипны и представлены в основном тонкими волокнами амфибола, а также, в некоторых случаях, хризотила. Наиболее густо насыщенные волокнистыми включениями зерна имеют эффект «кошачьего глаза». Несмотря на неоднородность тонковолокнистых включений, они остаются одним из главных диагностических признаков как для демантоида, так и для топазоцита из уральских месторождений. В топазоците включения также представлены магнетитом, хромитом и бурым полупрозрачным андрацитом. Топазоцит гранится в форме бриллиантовой огранки. Превосходно полируется. Ограниченные камни имеют сильную световую «игру» и яркий блеск, которые не уступают, а иногда и превосходят аналогичные характеристики лучших сортов уральского демантоида.

Наиболее распространенный размер ограниченного топазоцита 3-4 мм. Редким считается высококачественный ограниченный топазоцит весом более 1,5-2 карат.

Помимо ограниченного сырья топазоцит в виде отдельных кристаллов и в штуфах может использоваться в качестве коллекционного материала.

Среди известных уральских месторождений демантоида Ново-Каркодинское является единственным, где встречается крупный, превосходного ювелирного качества, топазоцит. До недавнего

Для топазоцита характерен сильный алмазный блеск, обусловленный высоким показателем преломления 1,891-1,895. Он повышается с увеличением содержания железа и максимальный у буровато-коричневых разновидностей (рис.4).

Дисперсия показателей преломления в интервале длин волн 486-656 нм составляет  $0,036 \pm 0,002$ . В этом интервале спектра она близка к дисперсии, измеряемой для членов grossуляр-андрацитового ряда [5], которая изменяется от 0,032 до 0,034. В интервале 687 - 430,8 нм (B-G) дисперсия показателей преломления топазоцита составляет  $0,064 \pm 0,002$  (см.рис.4). Полученные данные превышают приводимое в литературе значение дисперсии демантоида - 0,057.

В шлифах нормальной толщины

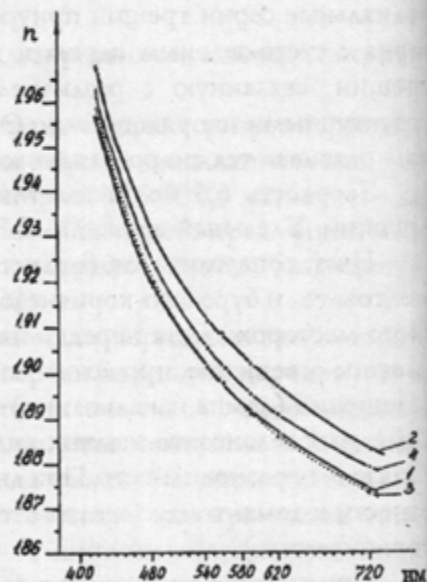


Рис.4. Зависимость показателя преломления от длины световой волны у разноокрашенных демантоидов и топазоцитов Ново-Каркодинского месторождения:

1 - темно-зеленый демантоид; 2 - светлый желтовато-зеленый демантоид; 3 - светло-желтый топазоцит; 4 - буровато-коричневый топазоцит



считалось, что желтая разновидность андрадита была бы эффективным самоцветом, но она не встречается в виде достаточно крупных и чистых кристаллов. Небольшие красивые кристаллы топазолита найдены в долине Ала в Италии и в Церматте в Швейцарии, но они очень не пригодны для ювелирных изделий [8].

Этим объясняется малая популярность топазолита в ювелирной промышленности, отсутствие технических требований к сырью. С открытием Ново-Каркодинского месторождения открываются новые перспективы в изучении и использовании ювелирных разновидностей андрадита. С этой точки зрения, месторождение является уникальным не только в России, а в частности на Урале, но и во всем мире.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Дир У.А., Хауи Р.А., Зусман Дж. Породообразующие минералы. Т.1. - М.: Мир, 1965. С.110-111.
2. Иванов О.К. Динамотермальное минералообразование в ультрамафических массивах Урала // Минералы к минералогии Урала. - Свердловск: Изд-во АН СССР ВМОУО, 1990.-С.93-111.
3. Киевленко Е.Я., Сенкевич Н.Н., Гаврилов А.П. Геология месторождений драгоценных камней. - Недра, 1982.-С. 193-197.
4. Кропанцев С.Ю. Демантоид Ново-Каркодинского месторождения (Средний Урал) // Уральская минералогическая школа-95. - Екатеринбург: УГГА, УОРМО, 1995.-С.84-88.
5. Минералы: Справочник. Т. III, вып.1. - М.: Наука, 1972.-С. 25, 73-82.
6. Платонов А.Н., Таран М.Н., Балицкий В.С. Природа окраски самоцветов. - М.: Недра, 1984.- С. 105-107.
7. Самсонов Я.П., Туринге А.П. Самоцветы СССР. - М.: Недра, 1985.-С.71.
8. Смит Г. Драгоценные камни. - М.: Мир, 1984.-С. 101-102; 345-346.

ISSN 552.12:553.878(470.55/58)

Н.М.Дружинина

## МИКРОСТРУКТУРНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ЮЖНОУРАЛЬСКИХ ЯШМ

Многообразие текстурно-структурных особенностей яшм отражает длительную историю их образования. Это «отражение» рассматривается в работах А.Н.Игумнова [1,2], А.П.Смолина [3,68], Ю.Г. Крежевских [3]. При этом авторы опираются на макроскопический анализ строения яшм. Однако микроскопические структуры не менее информативны, но данные по ним представлены в основном схематически.

Классические южноуральские яшмы - типоморфный компонент вулканогенно-осадочных формаций - содержат различные текстурно-структурные элементы, отражающие стадии прежде всего литогенеза, через которые прошло вещество, прежде чем стало яшмой.

На стадии седиментогенеза происходило послойное накопление осадка, о чем говорят широко распространенные в яшмах слоистые текстуры, которые фиксируются как на макро-, так и на микроуровне; наличие реликтов морских организмов свидетельствует о том, что это накопление шло в подводных условиях.

Для диагенеза характерны явления и деформации в еще не уплотненном осадке, ведущие к образованию оползневых текстур.

Наиболее ярко выраженными механизмами катагенеза являются уплотнение, растворение под давлением, хрупкие деформации с последующим залечиванием трещин существенно кварцевым агрегатом (в зависимости от условий метабенеза могут появляться пренит, пумпеллиит, хлорит, эпидот,