

# ПРОЯВЛЕНИЯ ДЕМАНТОИДА В АЛЬПИНОТИПНЫХ ГИПЕРБАЗИТАХ ВЕРХ-НЕЙВИНСКОГО МАССИВА (СРЕДНИЙ УРАЛ) И ИХ ГЕНЕЗИС

В.В. Мурзин, А.Ю. Кисин, Н.А. Мамин

Верх-Нейвинский массив альпинотипных гипербазитов располагается на стыке Тагильского мегасинклиория и Восточно-Уральского поднятия, в зоне Серовско-Маукского глубинного разлома. В его строении участвуют два интрузивных комплекса - дунит-гарцбургитовый ( $O_3-S_1$ ), слагающий внутренние части массива и плагиогранит-диорит-габбровый ( $S_2-D_2$ ) - в периферических его частях, исключая северо-западную (рис.1). В зонах контакта указанных интрузивных комплексов развит контактово-метаморфический полосчатый дунит-верлит-клинопироксенитовый комплекс, в котором дуниты являются реликтовыми останцами. Все породы перечисленных комплексов серпентинизированы. Кроме того, к тектоническим нарушениям

в пределах массива приурочена серия небольших тел плагиогранитов и кварцевых диоритов ( $C_1$ ). В пределах массива развиты многочисленные тектонические зоны хрупких и пластичных деформаций северо-западного и северо-восточного направлений. Северо-западные зоны преимущественно хрупких деформаций - ранние и носят локальный характер. Они контролируют проявления хромитов, отдельные мелкие тела габбро и габбро-диабазов и практически все известные тела плагиогранитов и кварцевых

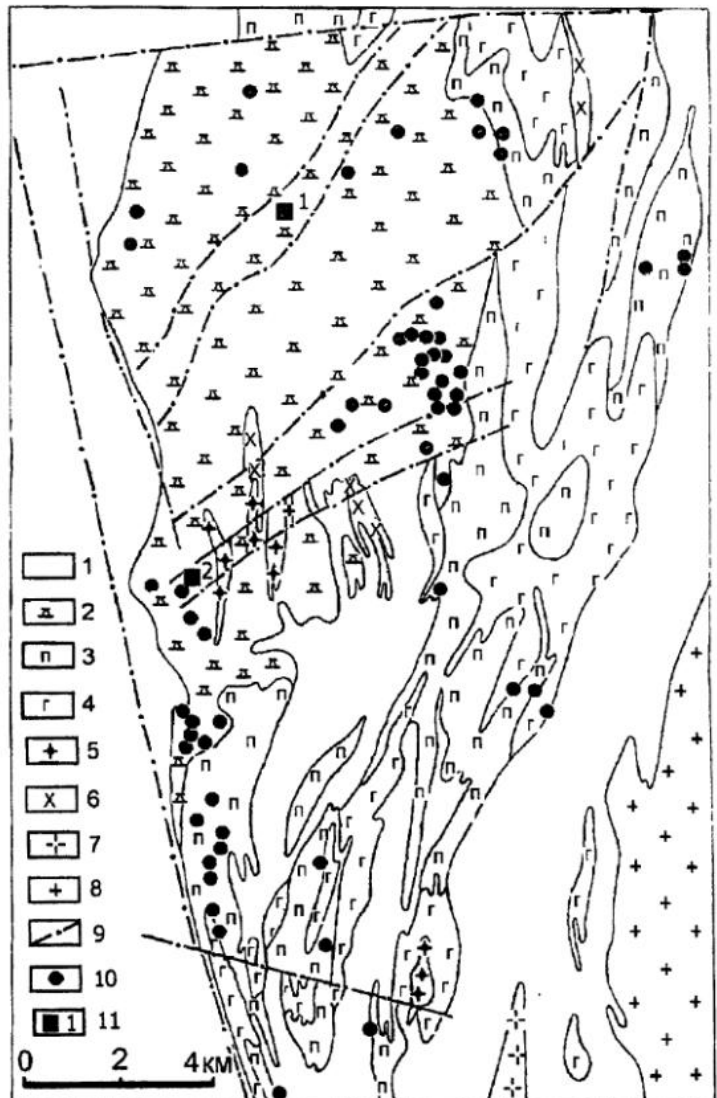


Рис.1. Схема геологического строения Верх-Нейвинского массива (по Н.А.Мамину). 1 - Комплекс вулканогенно-осадочных формаций Тагильского мегасинклиория ( $S_1-D_2$ ) и Восточно-Уральского поднятия ( $S_2-D_2$ ); 2-8 - интрузивные комплексы: 2 - дунит-гарцбургитовый ( $O_3-S_1$ ), 3 - дунит-верлит-клинопироксенитовый ( $S_2-D_2$ ), 4-7 - плагиогранит-диорит-габбровый ( $S_2-D_2$ ) (4 - габбро, 5 - плагиогранодиориты, 6 - кварцевые диориты, 7 - плагиограниты и плагиогранодиориты), 8 - тоналит-гранодиоритовый Верх-Исетского гранитного массива ( $C_1$ ), 9 - разрывные нарушения, 10 - месторождения и проявления хромитов, 11 - проявления демантоида (1 - Каменское, 2 - Гранового лога)

диоритов. Северо-восточные зоны хрупких и пластичных деформаций более поздние и прослеживаются через весь массив. Они трассируются более мелкими зонами расщепления, милонитизации и метасоматических изменений талькового, тальк-карбонатного, хлоритового и антигоритового составов, а также трещинами с демантоидом. В пределах Верх-Нейвинского массива известно два коренных (Граневой лог и Каменское) и несколько россыпных проявлений демантоида, приуроченных преимущественно к его западной части [Murzin et al., 1995]. Одной из особенностей демантоидной минерализации в изученном массиве является локализация ее не в связи с телами диалягитов, которые обычно являются вмещающими в месторождениях Каркодинского массива и большинством исследователей рассматриваются в качестве основного источника кальция [Кисин, 1990; Кропанцев, 1998 и др.]. Обломки последних не обнаруживаются даже в алювиально-делювиальных отложениях с демантоидом.

В геммологической литературе «демантидом» принято называть ювелирные разновидности андрадита от зеленого до зеленовато-желтого, а «топазолитом» - желтого и желтовато-оранжевого цвета. Для бурого (коричневого) граната собственного названия нет. При этом практически во всех известных месторождениях присутствуют в различных пропорциях все разновидности андрадита, часто они фиксируются одновременно в отдельных выделениях граната в виде зон. Учитывая данные обстоятельства, а также то, что провести границу между чисто желтым и зеленовато-желтым цветом очень сложно, мы объединяем в данной работе под термином «демантидом» все цветовые разновидности андрадита. Анализ их распределения в коренных и россыпных проявлениях показал, что зеленые разновидности тяготеют к эндоконтактной зоне массива, где развиты хромитоносные дуниты (проявление Граневого Лога), а желтые и бурые сосредоточены во внутренней части массива, сложенной серпентинизированными гарцбургитами (Каменское проявление).

Проявление демантидома в верховьях Граневого лога локализуется в аподунитовых серпентинитах, вблизи субмеридионального дугообразного разлома с небольшими телами гранитов. Демантидом приурочен к системе тонких прожилков, рассекающих небольшие линзы хромита. Местами прожилки образуют гнездо-

и жилообразные раздувы (до 10 см мощностью), выполненные антигоритом, а также кристаллами клинохлора, кеммерерита и граната. Демантидом представлен хорошо ограненными ромбододекаэдрическими кристаллами размером до 3 мм. Цвет его темно-зеленый, обусловленный очень высоким содержанием хрома ( $\text{Cr}_2\text{O}_3$  9,9-12,0% (табл.1). По химическому составу он принадлежит средним членам гранатов андрадит-уваровитового ряда.

На Каменском проявлении продуктивная на демантидом зона имеет северо-восточное простирание и ширину 400-500 м и прослеживается на расстояние до 1 километра. Она зажата между двумя полосами расщепленных, оталькованных и хлоритизированных серпентинитов, картирующихся по минимальным значениям магнитного поля. Коренная минерализация представлена сетью тонких (до нескольких сантиметров) трещин в апогарцбургитовых серпентинитах, выполненных демантидом и/или серпентином в ассоциации с магнетитом. Некоторые трещины заполнены кальцит-серпентиновой массой. Рентгенографически установлено, что в минерализованных трещинах в ассоциации с демантидом серпентин представлен антигоритом, а в ассоциации с кальцитом - хризотилом. По химическому составу кальцит весьма чист. Наиболее характерные для него примесные компоненты - Mg, Fe и Mn присутствуют в количествах ниже чувствительности рентгеноспектрального микроанализа (0,02 мас.%). Магнетит представлен агрегатами кристаллов небольшого размера (до 1 мм) вкрапленными в серпентиновую массу. Химический состав его по данным микроанализа пяти зерен из трещины с зеленым демантидом следующий (мас.%):  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  70,3-71,0;  $\text{FeO}$  26,2-26,8;  $\text{Cr}_2\text{O}_3$  - 0,10-0,19;  $\text{V}_2\text{O}_5$  - 0,04-0,07;  $\text{MgO}$  - 1,54-1,83;  $\text{MnO}$  - 0,18-0,21;  $\text{NiO}$  - 0,94-1,08;  $\text{ZnO}$  - 0,10-0,27;  $\text{TiO}_2$  - 0,08-0,09; сумма - 100,2-100,7.

Выделения демантидома имеют сферолитовое строение и очень редко кристаллические (ромбододекаэдр). При этом демантидом Граневого лога присутствует исключительно в виде ограненных кристаллов, в то время как в Каменском проявлении он имеет сферолитовое строение. Размеры индивидов достигают 6 мм, а их агрегатов - нескольких сантиметров. Агрегатные выделения демантидома обволакиваются волокнистым антигоритом, и несут на своей поверхности отпечатки последнего. Цвет граната преимущественно желтый (топазолит)

Химический состав (мас.%) и параметр элементарной ячейки ( $a_0$ ) зерен демантоида различного цвета Каменского (ан. 1-7) и проявления Граневого лога (ан. 8,9)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
	желтый		коричневый			зеленый		темно-зеленый	
SiO <sub>2</sub>	33,97	35,37	34,25	35,01	33,75	34,13	35,26	34,46	34,26
TiO <sub>2</sub>	0,02	0,05	0,43	0,27	0,99	0,14	0,36	0,15	0,23
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,08	0,08	0,11	0,06	0,0	0,20	0,12	0,34	0,19
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,04	0,0	0,07	0,07	0,05	1,68	0,81	12,01	9,92
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	30,96	30,46	30,40	29,79	28,94	29,00	29,20	18,46	20,39
MnO	0,0	0,09	0,09	0,10	0,30	0,0	0,10	0,06	0,0
MgO	0,0	0,03	0,04	0,15	0,16	0,08	0,05	0,03	0,06
CaO	32,94	33,26	33,45	33,37	32,90	33,24	33,56	33,88	33,95
Na <sub>2</sub> O	0,04	0,09	0,20	0,25	0,05	0,0	0,24	0,0	0,0
NiO	0,10	0,36	0,29	0,0	0,07	0,0	0,0	0,11	0,08
Сумма	98,15	99,79	99,39	99,07	97,21	98,47	99,70	99,50	99,08
$a_0$ , Е	12,049		12,050			12,041		12,013	

или бурый, в меньшей степени развиты коричневая, светло-зеленая и зеленая разновидности. Изредка отмечаются зональные по цвету выделения – центральная часть их сложена зеленым гранатом, промежуточная – желтым, а краевая – бурым.

Во всех цветовых разновидностях демантоида сферолитового строения отмечаются тонкие волосовидные включения, расходящиеся пучками чаще всего из центральной части зерна. Происхождение этих включений дискуссионно. Большинство исследователей они отнесены к вроскам хризотила или биссолита [Александров, 1975; Кропанцев, 1998; Phillips, Talantsev, 1996 и др.]. Предпринятое нами изучение волосовидных включений показало, что в основной своей массе они являются трубчатыми полыми образованиями [Кисин, Мурзин, 1997]. Механизм формирования полых включений до конца не ясен. Были высказаны мнения, что они обусловлены спецификой роста сферолитов и являются одним из элементов индукционных поверхностей [Кисин, Мурзин, 1997], а также, что они возникли после выщелачивания вросков минералов - хризотила [Алферова, 2000] или гидрокарбоната магния (артинита) при повышении роли углекислоты к концу отложения демантоида [Таланцев, 2000]. Не исключено, что полые включения являются трубчатыми газовыми или газовой-жидкими, разгерметизированными вследствие выхода

их на поверхность сферолитов. По меньшей мере, обычные ГЖВ в почковидных выделениях демантоида не обнаруживаются не только нами, но и другими исследователями [Ахметшин, 1997].

Химический состав цветовых разновидностей демантоида изученных проявлений указывает на обогащенность зеленого граната хромом, а коричневого – титаном (см. табл. 1). Обращает на себя внимание также низкое содержание гроссулярового компонента (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не более 0,34%), что отличает демантоид всех уральских проявлений от Камчатских - Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> от 0,2 до 3,4% [Крылова и др., 1985; Чернавцев, 1985]. Тем не менее, отчетлива тенденция увеличения гроссулярового минала от желтой разновидности к зеленым. Параметр элементарной ячейки изученных демантоидов (см. табл. 1) уменьшается с возрастанием хромового уваровитового компонента, что соответствует его значениям для синтетических андрадита и уваровита [Минералы, 1972].

Модельные представления о происхождении демантоидной минерализации разработаны достаточно слабо. Э.М. Спиридонов относит ее к продуктам регионального метаморфизма пумпеллит-актинолитовой и пренит-пумпеллитовой фаций (T=340-350°C, P=4 кбар) [Спиридонов и др., 1997]. Однако сам факт весьма локального распространения зон с демантоидом, а также отчетливые признаки их гидротермаль-

но-метасоматического генезиса не позволяет безоговорочно принять это положение. Исследователи проявлений демантоида на Дальнем Востоке (Куюльский, Тамватнейский массивы) связывают последние с воздействием на ультраосновные породы углекислых гидротерм, источником которых являются габброидные и гранитоидные интрузивы, каргирующиеся в непосредственной близости к этим проявлениям [Чернавцев, 1985; Крылова и др., 1985; Семенов, 1988]. Наконец, для уральских месторождений демантоида О.К.Ивановым предложена модель их формирования синхронно с брусит-магнетит-антигоритовыми серпентинитами (шурпихитами) – продуктами динамотермального метаморфизма, обусловленного выделением фрикционного тепла при шарьировании ультрамафитов [Иванов, 1998]. По мнению этого исследователя температура процесса, судя по отсутствию оливина, составляла 250-450°C.

Нами предполагается, что гидротермальные растворы, сформировавшие демантоидную минерализацию в изученном массиве, имеют метаморфогенное происхождение и выделились при локальном термальном метаморфизме вулканогенно-осадочных пород с выделением поровой воды в западном контакте их с гипербазитами, что наиболее соответствует модели динамотермального метаморфизма. Об этом свидетельствует изотопный состав флюида, рассчитанный исходя из изотопного состава углерода и кислорода кальцита в парагенезисе с хризотилом из прожилков Каменского проявления (табл.2).

Изотопные характеристики флюида указывают на его метаморфогенную природу, а состав карбоната сходен с карбонатами морского происхождения. Возможно, растворялся и сам известняк. Изначально нагретый раствор,

обогащенный Са и углекислотой был достаточно кислым, что не способствовало отложению андрадита в тектонической зоне контакта. В дальнейшем фильтрация его вдоль оперяющих систем трещин во внутренние части массива привела к обогащению его Mg, Si, Cr, потере части CO<sub>2</sub> с повышением щелочности и эффективной концентрации Fe<sup>3+</sup>, т.е. созданию условий, благоприятных для отложения демантоида [Шведенков, 1972]. В.Л.Поляков, увидевший сходство признаков сферолитовых нодулей демантоида и хризотил-асбестовых жил, предположил, что сферолитовые разности демантоида отлагались из стареющих гелей в закрытых объемах трещин, в то время как зерна с кристаллической огранкой – в условиях гидродинамически открытых систем [Поляков, 1999].

Источником хрома являлся хромшпинелид вмещающих пород. Процесс выноса хрома в раствор из рудного или акцессорного хромшпинелида происходит при замещении его магнетитом и хроммагнетитом и аналогичен такому, сопряженному с хризотиловой или антигоритовой серпентинизацией. Особенно отчетливо это видно в проявлении Граневого лога, где развитие магнетитизации наблюдалось в оторочках шириной 5-10 мм вдоль тонких (1-2 мм) прожилков демантоида, пересекающих густо вкрапленные хромитовые руды. В этом случае содержание Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в демантоиде достигает 12 мас.%, а цвет его становится темно-зеленым. В Каменском проявлении растворы фильтровали породы, из которых хром был вынесен в предшествующий период серпентинизации гарцбургитов с образованием магнетита практически нацело заместившего хромшпинелид. Этим обстоятельством объясняется преобладание в данном проявлении андрадита желтого и бурого цвета с содержанием Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> не более 0,5%.

Таблица 2

Изотопный состав С и О флюида, равновесного с кальцитом в ассоциации с хризотилом из поздних прожилков Каменского проявления

№ № проб	Изотопный состав кальцита		Т°С для расчета	Изотопный состав флюида	
	δ <sup>13</sup> С, ‰ (PDB)	δ <sup>18</sup> О, ‰ (SMOW)		δ <sup>13</sup> С, ‰ (PDB)	δ <sup>18</sup> О, ‰ (SMOW)
65/1	+1,39	+25,89	200	+1,58	+17,86
65/2	+1,50	+25,74	200	+1,69	+17,71

Анализы изотопов выполнены в ИГЕМ РАН. Расчет произведен по реакциям равновесия: кальцит-CO<sub>2</sub> [Ohmoto, Rye, 1979] и кальцит-H<sub>2</sub>O [Golyshev, 1981].

## Список литературы

*Александров А.И.* Демантоид – хромсодержащий андрадит из Елизаветинской Бобровки (Средний Урал) // Труды СГИ. 1975. Вып.106. С.140-145.

*Алферова М.С.* О минералогии Каркодинского месторождения демантоида, Средний Урал // Материалы Уральской летней минералогической школы –2000: Екатеринбург: Изд. УГГТА, 2000. С.15-21.

*Ахметшин Э.А.* К вопросу генезиса коренных месторождений демантоида // 3 межд. конф. “Новые идеи в науках о Земле”: Тезисы пленарных заседаний. Т.2. М., 1997. С.22.

*Иванов О.К.* Генезис демантоидных месторождений Урала // Уральский геологический журнал. 1998. №1. С.19-21.

*Кисин А.Ю.* К геологии и минералогии Полдневского месторождения демантоида // Материалы к минералогии Урала. Свердловск: УрО РАН. 1990. С.101-106.

*Кисин А.Ю., Мурзин В.В.* Волосовидные включения в демантоиде: Что это? // Ежегодник-1996 ИГГ. Екатеринбург: УрО РАН. 1997. С. 113-115.

*Кропанцев С.Ю.* Ново-Каркодинское месторождение демантоида как уникальный источник ювелирного топазолита // Изв. Уральской горно-геологической академии. 1998. №8. С.64-69.

*Крылова Г.И., Кокарев Г.Н., Смирнов А.А. и др.* Проявления цветных камней в Куюльском массиве ультрамафитов // Вопросы оруденения в ультрамафитах. М.:Наука. 1985. С.117-125.

*Минералы.* Справочник. Т.3. Вып.1. М.:Наука. 1972. С.82.

*Поляков В.Л.* Уральские демантоиды: соотношение известных и новых данных // Уральский геологический журнал. 1999. № 5. С.103-127.

*Семенов В.Л.* Новые проявления демантоидов Корякского нагорья // Вулканогенные исследования на Камчатке. Петропавловск-Камчатский: Институт вулканологии АН СССР. 1988. С.42-45.

*Спирidonov Э.М., Барсукова Н.С., Гекимянц В.М. и др.* Метаморфиты пумпеллиит-актинолитовой, пренит-пумпеллиитовой и цеолитовой фаций Южного и Среднего Урала // Магматизм, метаморфизм и глубинное строение Урала: Тез. докл. VI Уральского петрографического сов. Ч.1. Екатеринбург: УрО РАН. 1997. С. 219-221.

*Таланцев А.С.* О “полых включениях” в демантоидах // Материалы Уральской летней минералогической школы –2000. Екатеринбург: Изд. УГГТА, 2000. С. 249-251.

*Чернавцев В.С.* Цветные камни Тамватнейского ультрамафитового массива // Вопросы оруденения в ультрамафитах. М.:Наука, 1985. С. 141-149.

*Шведенков Г.Ю.* Влияние углекислоты на синтез андрадита в гидротермальных условиях // Экспериментальные исследования по минералогии. Новосибирск: Наука, 1972. С. 59-62.

*Golyshev S.I., Padalko N.L., Pechenkin S.A.* Fractionation of stable oxygen and carbon isotopes in carbonate systems. *Geochemistry International*. 1981. 18. P. 85-99.

*Murzin V.V., Mamin N.A., Kissin A.J., Demchuk I.G.* Demantoid garnet mineralization of the Verh-Neivinskii alpinotype ultramafic intrusion (Urals) // Precious stones and metals. 3 rd Bi-annual meeting «Intergems». Turnov, Czech Republic, 1995. P. 38-41.

*Ohmoto H., Rye R.O.* Isotope of sulfur and carbon / Barnes, H. L. Ed., *Geochemistry of Hydrothermal deposits*, John Wiley & Sons. 1979. P. 509-567.  
*Phillips W.R., Talantsev A.S.* Russian demantoid, czar of the garnet family // *Gems and Gemology*. V.32. N2. P.100-111.