

Н. Н. ПЕРЦЕВ, А. В. ДОРОФЕЕВ

ДАНБУРИТОВАЯ МИНЕРАЛИЗАЦИЯ В КАЛЬЦИТОВЫХ ЖИЛАХ МАГНЕЗИАЛЬНО-СКАРНОВОГО МЕСТОРОЖДЕНИЯ

Данбуритовая минерализация в кальцитовый жильной породе обнаружена при изучении одного из магнезиально-скарновых месторождений Восточной Сибири. Месторождение расположено в контактовом ореоле мезозойского гранитоидного массива, сложенного главным образом гранодиоритом и залегающего в доломитовых мраморах верхнего девона. Поверхность контакта гранитоида крайне извилиста. Скарноворудные тела следуют ей, давая линзообразные раздувы в вогнутых участках гранитоида. Магнезиальные скарны построены довольно просто. К гранитоиду примыкает зона шпинель-диопсидового состава, затем идет шпинель-форстеритовая зона, далее — шпинель-форстеритовый кальцифир и зона апопериклазовых бруситовых мраморов. Зоны собственно скарнов имеют сравнительно небольшую мощность — от нескольких дециметров до нескольких метров. Приконтактная часть гранита и шпинель — диопсидового скарна обычно замещена известковоскарновыми образованиями, сложенными преимущественно гранатами гроссуляр — андрадитового ряда и кливопироксеном.

Оруденение представлено ссайбелиитовыми (апусанитовыми и аполюдвиговитовыми) рудами, развитыми с замещением собственно магнезиально-скарновых зон. В рудах, кроме ссайбелиита, присутствуют кальцит, небольшие количества флогопита, пироксена, минералов гумитовой группы, амфибола актинолитового ряда (развит по пироксену) и сульфидов, главным образом арсенопирита.

Местами на скарны и руды наложена кальцитовая жильная порода с гигантокристаллическим кальцитом. Схематически положение этой жильной породы в скарноворудном контакте показано на разрезе, наблюдаемом в борту одной из канав (рис. 1). Кроме кальцита, в жильной породе отмечаются хлориты, арсенопирит и пирит, актинолит, кварц, турмалин, сфен, магнетит и иногда обильный данбурит. Последний образует две морфологические разновидности. Он присутствует либо в виде отдельных призматических кристаллов и их групп либо в виде радиальнолучистых агрегатов. Отдельные призматические кристаллы достигают 3 см в длину и 0,5 см в поперечнике. Они имеют белый, слегка розоватый цвет и из-за этого очень трудно различимы среди гигантокристаллического кальцита.

Радиальнолучистые агрегаты данбурита (рис. 2) дают гнездовые скопления и прожилки в несколько дециметров по мощности. Длина отдельных «лучей» в агрегатах достигает 2 см. Данбурит здесь, как правило, прозрачный, со стекляннным блеском, бесцветный или светло-желтый. При ударе довольно легко рассыпается на отдельные игловидные призмы.

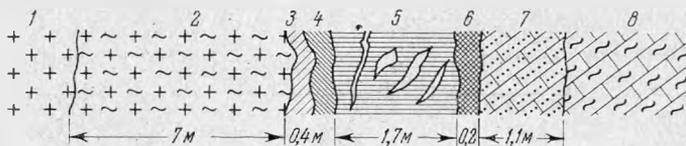


Рис. 1. Схематический разрез через скарноворудную зону

1 — среднезернистые биотит-амфиболовые гранодиориты; 2 — измененные гранодиориты с прожилками и гнездами аксинита и турмалина, с эпидотом, волластонитом и сульфидами (арсенопирит, пирротин) в части, примыкающей к зоне 3; 3 — пироксен-гранатовый скарн; 4 — пироксеновый скарн; 5 — порода, сложенная крупнокристаллическим кальцитом с магнетитом, ильваем см, турмалином, актинолитом, тальком, реликтами пироксена с прожилками и гнездами данбурита, имеющими мощность до 30 см; 6 — ссабеллит-магнетитовая руда с реликтами людовигита и псевдоморфозами ссабеллита по суаниту; 7 — кальцифир с форстеритом, людовигитом и апосуанитовым ссабеллитом; 8 — бруситовый (апопериклазовый) мрамор

Состав и свойства этого данбурита приведены в таблице. Пересчет анализа дает формулу: $\text{Ca}_{1,027} \text{V}_{1,000} \text{Si}_{1,980} \text{O}_{7,987}$.

Микроскопическое изучение показало, что данбурит тесно ассоциирует с кальцитом, турмалином, магнетитом, сфеном, ильванитом, тремолитом, хлоритом и тальком. В редких случаях наблюдается гистерогенное замещение данбурита датолитом.

Турмалин развит в породе также в виде радиальнолучистых агрегатов, обычно очень мелких (до 1—2 мм в диаметре). Эти агрегаты присутствуют и среди кристаллов кальцита, и в данбурите, и в тальковом или хлоритовом агрегате. В тех случаях, когда вместе с турмалином присутствует магнетит, турмалин окрашен в густые синевато-зеленые цвета по N_o и светло-желтые по N_e . В образцах без магнетита турмалин очень светло окрашен и слабо плеохроирует в буроватых тонах n_o и n_e турмалина из ассоциации с магнетитом соответственно 1,671 и 1,651, тогда как n_o и n_e наиболее светлого турмалина 1,639 и 1,618 (все $\pm 0,002$).

Установлено, что турмалины скарновых месторождений имеют ряд особенностей. В частности, они содержат много CaO , мало Na_2O и существенное количество Fe_2O_3 . Ввиду этого для определения общей желе-

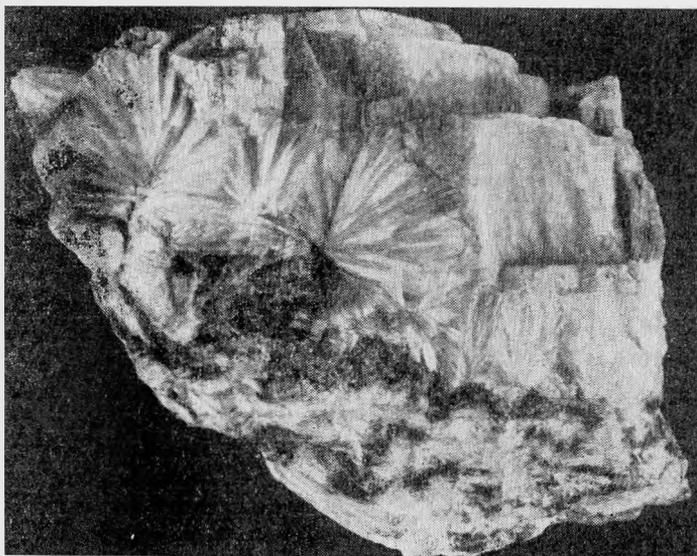


Рис. 2. Радиальнолучистые агрегаты данбурита в крупнокристаллическом кальците; темное — хлорит. 4/3 натур. вел.

Состав и свойства радиальнолучистого данбурита

Компоненты	Вес. %	Мол. колич.	Соотношения	Теоретический состав
SiO ₂	48,01	7994	1,980	48,93
TiO ₂	Нет	—	—	—
Al ₂ O ₃	»	—	—	—
Fe ₂ O ₃	»	—	—	—
FeO	»	—	—	—
MnO	»	—	—	—
MgO	»	—	—	—
CaO	23,27	4149	1,027	22,75
H ₂ O ⁻	0,40	—	—	—
H ₂ O ⁺	0,25	133	0,032	—
CO ₂	Нет	—	—	—
B ₂ O ₃	28,10	4035	1,000	28,32
Сумма	100,03	—	—	100,00
Уд. вес	2,991			
<i>n_g</i>	1,635			
<i>n_m</i>	1,633 ± 0,002			
<i>n_p</i>	1,630			
2 <i>V</i>	-87° ± 2°; <i>r</i> < <i>v</i>			

Примечание. Химический анализ выполнен И. Б. Никитиной. Спектральный полуколичественный анализ, выполненный А. С. Дудыкиной, показал также присутствие около 0,1% Al, Sr, Na; в сотых долях процента — Mg, Fe, Ba; в тысячных — Mn, Zr, Ti и десятитысячных — Be.

зистости¹ турмалинов скарновых месторождений по их оптических свойствам нужно пользоваться специальными диаграммами (Шабьини и др., 1964). Общая железистость, определенная по ним для ассоциирующего с магнетитом турмалина, равна 43%, а для светлого турмалина — 2—4%.

Обычно наблюдается под микроскопом зональное распределение окраски; причем более густая окраска присуща внешним частям зерен. В тех случаях, когда турмалин ассоциирует с магнетитом, он находится с ним в независимых отношениях, хотя местами удается наблюдать, что турмалиновые агрегаты корродируют кристаллы магнетита, заходят внутрь, рассекают их (рис. 3). Турмалин наблюдался в кальцитовой жильной породе и вне данбуритовой ассоциации. В этих случаях характерен его парагенезис с кварцем.

Магнетит, как отмечено выше, присутствует далеко не во всех образцах. Он образует кристаллики в основном с довольно правильными октаэдрическими очертаниями как в кальците, так и в данбурите, турмалине, тальке и хлорите.

Ильваит встречается сравнительно редко. Он присутствует в виде игольчатых кристаллов, одиночных или собранных в пучки. Обычно располагается в кальците, но иногда и в данбурите. Почти непрозрачен. Только в очень тонких иглах удается наблюдать плеохроизм от бурого поперек удлинения до непрозрачного вдоль удлинения.

¹ Молекулярное отношение $\frac{\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{MgO}}$.

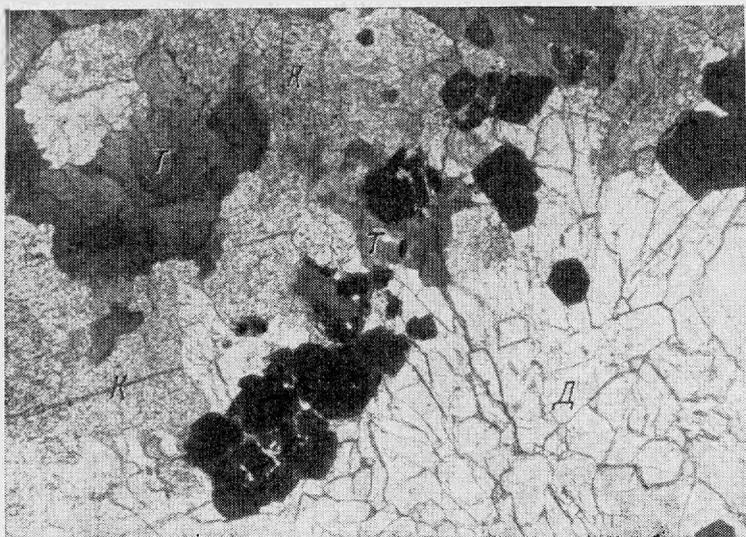


Рис. 3. Кристаллы магнетита (черное), заключенные в турмалиновых каймах, (Т); К — кальцит, Д — данбурит. Без анализатора, увел. 30

Сфен в виде клиновидных кристаллов изредка наблюдается в породе. В некоторых случаях видно, что кристаллы сфена пересекаются иглами данбурита.

Тремолит встречен не во всех образцах. Развита в виде призматических, сильно удлинённых кристаллов, часто расщепляющихся на концах на тонкие иглы. Иногда внутри крупных кристаллов тремолита и их групп встречаются реликты клинопироксена. Оптические свойства тремолита ($n_g = 1,632 \pm 0,002$; $2V = -84^\circ \pm 3^\circ$; $cNg = 18 \pm 3^\circ$) говорят о невысокой, порядка нескольких процентов, железистости минерала.

Тальк развит в виде мелких пластинчатых агрегатов, иногда радиальных, изредка в сравнительно крупных лейстах. Он нередко выполняет интерстиции между кристаллами данбурита (рис. 4). Кроме изучения оптических свойств ($n_m = 1,587$; $n_p = 1,544 \pm 0,002$; почти одноосный, отрицательный), выполнена порошковая диаграмма, которая подтвердила принадлежность минерала к тальку.

Хлорит встречается во многих образцах обычно в небольшом количестве. Присутствует в виде отдельных табличек или смятых агрегатов. Бесцветный, оптически отрицательный, $n_m = 1,593 \pm 0,002$; $n_g - n_p = 0,009$. Наблюдался в стыках со всеми описанными минералами.

Датолит найден лишь в нескольких образцах, где гистерогенно развит по данбуриту в виде густой сети микропрожилков. Образование датолита проявлено узко локально и не сопровождается какой-нибудь отличной от описанной минерализацией. Интересно, что в большинстве образцов, где данбурит находится в тесной ассоциации с такими низкотемпературными минералами, как тальк, хлорит, в нем не наблюдается даже следов развития датолита.

Данбурит, насколько нам известно, описывается в магнезиально-скарновом месторождении впервые и, по-видимому, представляет в этих условиях значительную редкость, тогда как сходный с ним по составу и условиям образования датолит не является чем-нибудь необычным в гипабиссальных магнезиально-скарновых месторождениях. В рассматриваемом рудном районе датолит встречается довольно часто в эндоконтактных

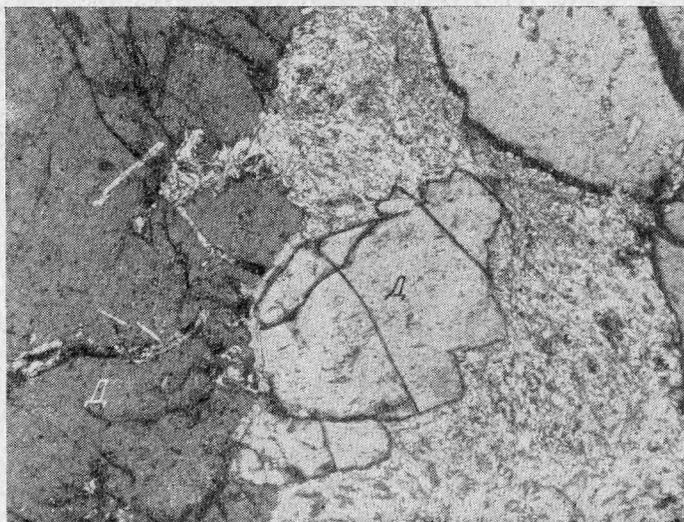


Рис. 4. Тальковый агрегат с частичным замещением данбурита (Д). Данбурит не подвержен гистерогенному замещению датолитом. Николи +, увел. 70

известково-скарновых наложениях, где развивается с замещением аксинита, пироксена, граната, кальцита, вторичного кварца и пренита. Реже встречается в экзоскарнах. В одном случае установлено его развитие с замещением вонсенита.

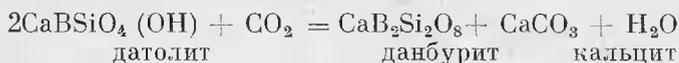
На основе парагенетического анализа и экспериментальных данных попробуем проследить различие условий, необходимых для возникновения данбурита и датолита.

Некоторые физико-химические условия образования минеральных ассоциаций с данбуритом

В последние годы появились две экспериментальные работы по гидротермальному синтезу данбурита и датолита (Барсуков, Дерюгина, 1961; Eugster, Wise, 1963). В первой изучались продукты реакции между известняком и водным раствором буры и хлористого кальция с добавлением кварца или метасиликата натрия при температуре 360—400° С и различных начальных рН (от 6,3 до 9,1), создаваемых добавлением различных количеств HCl. Отмечена тенденция к преимущественному развитию данбурита при меньшей щелочности, а датолита — при большей. При высокой начальной щелочности (рН = 9,1) ни датолит, ни данбурит не образовывались. Во второй работе проведено систематическое изучение составов датолита, данбурита и точки пересечения реакции датолит + кварц = данбурит + волластонит при различных температурах и давлениях 1000 и 2000 бар с водой, присутствующей в избытке.

Полученные результаты говорят о том, что верхний предел температурной устойчивости датолита в присутствии воды ~ 500° С. Данбурит может образовываться при более высоких температурах, а также при низких, вплоть до нормальных (осадочный данбурит). Равновесная температура для реакции датолит + кварц = данбурит + волластонит ~ 495° С при 2000 бар водного давления. Отстроена схематическая изобарная изотермическая диаграмма в координатах P_{H_2O} и P_{CO_2} . Из этой схематической диа-

граммы следует, что для реакции



повышение P_{CO_2} будет благоприятно для сдвига равновесия вправо. Отсюда Эйгстером и Вайзом (Eugster, Wise, 1963) делается вывод, что выявленная в работе В. Л. Барсукова и Н. Н. Дерюгиной (1964) тенденция к преимущественному развитию данбурита при меньших рН связана не с рН, а с давлением CO_2 , поскольку при меньшей рН больше CO_2 переходило в раствор. К сожалению, приводимую Эйгстером и Вайзом изобарно-изотермную диаграмму трудно использовать при изучении природных объектов, так как в последних, как известно, обнаруживается очень сильная зависимость $p_{\text{H}_2\text{O}}$ от температуры и p_{CO_2} — от общего давления (Коржинский, 1960).

Рассмотрим, как различные факторы должны влиять на устойчивость датолитовых и данбуритовых природных минеральных ассоциаций.

Температура. Обычно считается, что датолит — более низкотемпературное соединение, чем данбурит. Это обосновывается, во-первых, экспериментальными данными по температурной устойчивости датолита; во-вторых, обычным гистерогенным развитием датолита по данбуриту (Утехин, 1961); в-третьих, реакцией перехода данбурита в датолит (например, кальцит + данбурит + H_2O → датолит + CO_2 , где при прочих равных условиях присоединение воды, т. е. более низкая температура способствует образованию датолита).

Очевидно, однако, что температура не всегда играет решающую роль в наборе условий, необходимых для образования датолита и данбурита. Действительно, известен низкотемпературный данбурит (в осадочных месторождениях). Следует помнить также, что при переходе от экспериментальных данных к природным ассоциациям по температурной устойчивости минералов и ассоциаций, в состав которых входит вода, температуру следует снижать в силу уменьшения химического потенциала H_2O за счет растворения в воде различных компонентов, прямо не участвующих в реакции. Для равновесной реакции данбурит-датолитового перехода это изменение $\mu_{\text{H}_2\text{O}}$ может, вероятно, очень сильно сказываться на предельной температуре (поскольку осадочный данбурит встречается только в солевых отложениях, где растворы насыщены легкорастворимыми солями). В нашем случае данбурит чаще всего без каких-либо признаков замещения датолитом тесно ассоциирует с такими низкотемпературными минералами, как тальк и серпентин, т. е. он возник, вероятно, при температурах ~ 300° С или несколько ниже. Данбурит также тесно ассоциирует с кальцитом, другими словами, находится в предельной ассоциации данбурит + кальцит + H_2O = датолит + CO_2 . Предельная температура реакции перехода должна зависеть от P_{CO_2} и, как увидим ниже, от щелочности растворов. Очевидно, для наших условий щелочности и давления CO_2 (периклазовая фация глубинности Д. С. Коржинского) эта предельная температура не выше 300° С.

Давление нагрузки и давление CO_2 . Согласно теории фаций глубинности Д. С. Коржинского (1960), парциальное давление CO_2 связано прямой зависимостью с общим давлением нагрузки или с глубиной. Как показано выше, в реакции при переходе от ассоциации данбурит + кальцит к датолиту участвует не только H_2O , но и CO_2 . Теоретически повышение давления CO_2 должно способствовать образованию данбурита. Однако, если обратимся к природным объектам, то можно заметить, что датолит присутствует практически везде, где известен данбурит, и оба эти минерала не появляются в месторождениях больших глубин. Таким образом, природные соотношения показывают, что давление не играет сколь угодно заметной роли в данбурит-датолитовом равновесии. Поэтому

Редкость такого рода данбуритовых образований в магнезиально-скарновых месторождениях объясняется, на наш взгляд, во-первых, редкостью суанит-диопсидовых руд вообще и в том числе в гипабиссальных месторождениях (данбури́т — абиссофобный минерал) и, во-вторых, сравнительной редкостью столь обширного проявления карбонатизации в магнезиальных скарнах во время этапа кислотного выщелачивания.

Условия для образования датолита возникают гораздо чаще, поскольку для него не нужна такая высокая активность бора в растворе, как для образования данбури́та. Главная особенность появления данбури́та в скарновых месторождениях — высокие концентрации бора, сравнимые с концентрациями, необходимыми для суанитовых руд, возникающие или сохраняющиеся при переходе от раннещелочного этапа к этапу кислотного выщелачивания.

Л И Т Е Р А Т У Р А

- Барсуков В. Л., Дерюгина Н. Н. Некоторые экспериментальные данные по условиям образования данбури́та и датолита. — *Геохимия*, 1961, № 3.
- Коржинский Д. С. Минеральные парагенезисы системы $MgO-SiO_2-H_2O-CO_2$ и режим воды и углекислоты при метаморфизме. — *Мин. сб. Львовск. геол. об-ва*, 1960, вып. 14.
- Утехин Г. М. О гистерогенных превращениях некоторых минералов. — *Труды ВСЕГЕИ*, новая серия, 1961, 60.
- Шабьнин Л. И., Перцев Н. Н., Малинко С. В. Условия нахождения и диагностические признаки минералов бора в скарновых месторождениях. Изд-во «Недра», 1964.
- Eugster H. P., Wise W. S. Synthesis and stability of datolite and danburite. — *Schweiz mineral und petrogr. Mitt.*, 1963, 43, N 1.