

Е. П. ГУРОВ, Е. П. ГУРОВА

## ПАХНОЛИТ И ТОМСЕНОЛИТ ИЗ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОД УКРАИНЫ

(Представлено академиком Ф. В. Чухровым 14 I 1971)

Изучение комплекса алюмофторидов, развитых среди метасоматических пород северо-западной части Украинского кристаллического щита, позволило установить здесь, кроме ранее описанных криолита, веберита, прозопита и геаркутита (<sup>1</sup>, <sup>2</sup>), также пахнолит и томсенолит. Пахнолит и томсенолит диморфны. Они имеют одинаковый химический состав и близкие свойства. В природных условиях эти минералы часто встречаются совместно в виде продуктов изменения криолита.

Пахнолит и томсенолит развиты в тесной ассоциации с другими алюмофторидами среди метасоматически измененных гранитоидов и метасоматитов разнообразного состава. Все эти минералы образуют невыдержанные по мощности и простираению прожилки, которые обычно приурочены к зонам контактов кварцевых жил и прожилков с вмещающими метасоматитами. Постоянно наблюдается более поздняя кристаллизация алюмофторидов по отношению к кварцевым прожилкам.

Пахнолит установлен в виде мелких зерен неправильной формы среди плотных микро- или мелкозернистых масс алюмофторидов, состоящих главным образом из веберита. Характерны неправильные, часто изъеденные контуры зерен и выделений пахнолита в связи с процессом его замещения агрегатами более позднего веберита. Совместно с томсенолитом пахнолит иногда наблюдается по периферии гнезд и кристаллов криолита вместе с другими фторидами. Более поздними являются хорошо образованные кристаллы пахнолита на поверхности линзовидных пустот выщелачивания среди плотных масс веберита. Здесь пахнолит находится в тесной ассоциации с томсенолитом, однако ориентированные их сростания, как в криолитовом месторождении Ивигтут в Гренландии (<sup>3</sup>), нами не наблюдались. Наиболее поздними минералами в подобных пустотах выщелачивания являются ралльстонит в виде прозрачных октаэдрических кристаллов и геаркутит, образующий белые землистые массы.

Форма кристаллов пахнолита короткопризматическая или короткостолбчатая с отчетливо выраженной плоскостью (001). В свежем состоянии пахнолит — прозрачный минерал со стеклянным блеском; при процессах вторичного изменения наблюдается его помутнение. Оптические константы минерала для монохроматического света ( $\lambda = 589$  мμ):  $N_g = 1.418$ ;  $N_m = 1.410$  (вычислено);  $N_p = 1.407$ ; двупреломление 0,011. Угол оптических осей положительный, равен  $65,4^\circ$ . У пахнолита наблюдается система несовершенной спайности по (001). Ориентировка оптической индикатрисы относительно спайности минерала:  $N_g: \perp (001) = 53^\circ$ ;  $N_m: \perp (001) = 77^\circ$ ;  $N_p: \perp (001) = 40^\circ$ . В некоторых кристаллах пахнолита наблюдаются простые двойники.

Дебаеграмма изученного пахнолита (табл. 1) близка к дебаеграмме пахнолита из месторождения Ивигтут (<sup>4</sup>), отличаясь несколько большим числом линий\*.

\* На вероятное присутствие пахнолита среди микрозернистых масс веберита и некоторых других фторидов из метасоматических пород северо-западной части Украинского кристаллического щита указывал О. В. Зипченко по наличию линий 3,918 и 2,781 Å на дебаеграммах веберита, хотя сам минерал этим исследователем не наблюдался.

Более широкое распространение среди алюмофторидов имеет томсенолит. В пределах Советского Союза томсенолит упоминается в составе криолитового пегматита из Ильменских гор на Урале и более подробно охарактеризован в метасоматически измененных гранитах Эрзинского массива (<sup>5</sup>, <sup>6</sup>). В последнее время томсенолит установлен в метасоматических породах северо-западной части Украинского кристаллического щита (<sup>7</sup>).

В состав прожилков алюмофторидов томсенолит, подобно пахнолиту, приурочен к краевым частям зерен и скоплений криолита, а также образу-

Таблица 1

Межплоскостные расстояния пахнолита и томсенолита из метасоматитов УССР

| 1                       |          | 2                       |          | 3                       |          | 4                       |          | 5                       |          | 1                       |          | 2                       |          | 3                       |          | 4                       |          | 5                       |       |
|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|----------|-------------------------|-------|
| <i>d</i> / <i>n</i> , Å | <i>I</i> | <i>d</i> / <i>n</i> , Å | <i>I</i> | <i>d</i> / <i>n</i> , Å | <i>I</i> | <i>d</i> / <i>n</i> , Å | <i>I</i> | <i>d</i> / <i>n</i> , Å | <i>I</i> | <i>d</i> / <i>n</i> , Å | <i>I</i> | <i>d</i> / <i>n</i> , Å | <i>I</i> | <i>d</i> / <i>n</i> , Å | <i>I</i> | <i>d</i> / <i>n</i> , Å | <i>I</i> | <i>d</i> / <i>n</i> , Å |       |
| 9,0                     |          |                         | 3ш       | 8,9                     | 5        | 8,19                    |          |                         |          | 1                       | 1,349    |                         |          | 5                       | 1,642    | 20                      | 1,640    | 7                       | 1,642 |
| 5,4                     |          |                         | 4        | 4,4                     |          |                         |          |                         |          | 4                       | 1,329    |                         |          | 4                       | 1,605    | 5                       | 1,606    |                         |       |
| 4,7                     |          |                         | 2        | 4,3                     |          |                         |          | 3                       | 4,2      | 3ш                      | 1,320    |                         |          |                         |          |                         |          | 2                       | 1,598 |
| 4,3                     |          |                         | 1        | 4,1                     |          |                         |          |                         |          | 3                       | 1,289    |                         |          |                         |          |                         |          | 4                       | 1,568 |
| 3,9                     | 100      | 3,95                    | 6        | 4,0                     | 100      | 4,02                    |          |                         |          | 1                       | 1,272    |                         |          | 3                       | 1,540    | 5                       | 1,540    | 2                       | 1,540 |
| 3,6                     |          |                         | 3        | 3,9                     |          |                         |          | 1                       | 3,9      | 4                       | 1,255    |                         |          | 4                       | 1,522    | 5                       | 1,513    |                         |       |
| 3,29                    | 10       | 3,26                    | 1        | 3,6                     |          |                         |          |                         |          | 1                       | 1,241    |                         |          |                         |          |                         |          | 2                       | 1,504 |
| 3,05                    | 20       | 3,02                    | 2        | 3,43                    | 10       | 3,43                    | 4        | 3,46                    |          | 4ш                      | 1,225    |                         |          | 1                       | 1,499    |                         |          |                         |       |
| 2,93                    | 10       | 2,92                    | 4ш       | 3,23                    | 10       | 3,28                    |          |                         |          | 1                       | 1,200    |                         |          | 3                       | 1,456    | 5                       | 1,450    | 3                       | 1,391 |
| 2,79                    | 70       | 2,79                    |          |                         |          |                         | 7        | 3,14                    |          | 8                       | 1,170    |                         |          | 2                       | 1,408    |                         |          |                         |       |
| 2,60                    |          |                         | 3        | 3,05                    | 5        | 3,04                    |          |                         |          | 1                       | 1,144    |                         |          | 3                       | 1,381    | 10                      | 1,385    | 5                       | 1,363 |
| 2,40                    | 10       | 2,40                    | 5        | 2,91                    | 50       | 2,92                    | 3        | 2,94                    | 4        | 4                       | 1,128    |                         |          | 4                       | 1,370    |                         |          |                         |       |
| 2,33                    | 5        | 2,34                    | 4        | 2,78                    | 10       | 2,78                    | 4        | 2,74                    |          | 1                       | 1,116    |                         |          | 2                       | 1,347    | 10                      | 1,340    |                         |       |
| 2,29                    | 10       | 2,27                    | 2ш       | 2,70                    | 5        | 2,70                    |          |                         | 1        | 3                       | 1,103    |                         |          | 5                       | 1,332    |                         |          | 1                       | 1,300 |
| 2,17                    | 50       | 2,16                    | 1        | 2,53                    |          |                         | 1        | 2,56                    |          | 2                       | 1,087    |                         |          | 2                       | 1,316    |                         |          |                         |       |
| 2,15                    |          |                         | 2        | 2,48                    | 5        | 2,47                    |          |                         | 1        | 2                       | 1,065    |                         |          | 3                       | 1,295    | 10                      | 1,292    |                         |       |
| 2,11                    |          |                         | 2ш       | 2,40                    | 5        | 2,40                    | 1        | 2,41                    |          | 3                       | 1,050    |                         |          | 3                       | 1,290    |                         |          | 1                       | 1,277 |
| 2,05                    |          |                         | 4ш       | 2,30                    | 10       | 2,29                    | 2        | 2,32                    | 7        | 1                       | 1,034    |                         |          | 1                       | 1,277    |                         |          | 1                       | 1,250 |
| 1,998                   |          |                         | 5        | 2,21                    |          |                         | 2        | 2,22                    | 4        |                         | 1,025    |                         |          | 3                       | 1,270    |                         |          |                         |       |
| 1,974                   | 90       | 1,971                   | 6        | 2,16                    | 20       | 2,16                    | 2        | 2,18                    |          |                         |          |                         |          | 4                       | 1,243    | 10                      | 1,245    | 5                       | 1,226 |
| 1,912                   | 5        | 1,916                   | 1        | 2,12                    |          |                         | 5        | 2,12                    |          |                         |          |                         |          | 5                       | 1,228    |                         |          | 1                       | 1,290 |
| 1,857                   | 10       | 1,857                   | 4        | 2,10                    | 5        | 2,09                    |          |                         |          |                         |          |                         |          | 7                       | 1,201    |                         |          |                         |       |
| 1,842                   |          |                         | 1        | 2,07                    |          |                         |          |                         |          |                         |          |                         |          | 1                       | 1,184    |                         |          |                         |       |
| 1,750                   | 10       | 1,754                   | 10       | 2,00                    | 80       | 1,996                   | 4        | 1,999                   |          |                         |          |                         |          | 4                       | 1,174    |                         |          |                         |       |
| 1,699                   | 10       | 1,696                   | 9ш       | 1,956                   | 90       | 1,963                   |          |                         |          |                         |          |                         |          | 1                       | 1,165    |                         |          | 2                       | 1,156 |
| 1,674                   | 5        | 1,679                   | 2        | 1,931                   |          |                         |          |                         |          |                         |          |                         |          | 7ш                      | 1,151    |                         |          |                         |       |
| 1,636                   | 5        | 1,610                   |          |                         |          |                         | 10       | 1,924                   |          |                         |          |                         |          | 2                       | 1,142    |                         |          | 8                       | 1,114 |
| 1,602                   |          |                         | 6        | 1,885                   | 10       | 1,883                   |          |                         | 2        | 1,860                   |          |                         |          | 4                       | 1,120    |                         |          | 2                       | 1,104 |
| 1,572                   | 5        | 1,571                   | 1        | 1,844                   |          |                         |          |                         |          |                         |          |                         |          | 4ш                      | 1,103    |                         |          |                         |       |
|                         | 5        | 1,540                   | 4        | 1,821                   | 5        | 1,823                   |          |                         |          |                         |          |                         |          | 1                       | 1,094    |                         |          | 1                       | 1,080 |
| 1,540                   | 5        | 1,511                   |          |                         |          |                         | 4        | 1,809                   |          |                         |          |                         |          | 3ш                      | 1,079    |                         |          | 2                       | 1,063 |
| 1,485                   | 10       | 1,485                   | 5        | 1,764                   | 30       | 1,761                   |          |                         |          |                         |          |                         |          | 4ш                      | 1,068    |                         |          |                         |       |
| 1,422                   | 5        | 1,423                   | 4        | 1,749                   |          |                         |          |                         |          |                         |          |                         |          | 5                       | 1,061    |                         |          |                         |       |
| 1,391                   | 10       | 1,394                   | 4        | 1,715                   | 10       | 1,714                   |          |                         |          |                         |          |                         |          | 3ш                      | 1,044    |                         |          |                         |       |
| 1,370                   |          |                         | 4        | 1,674                   | 10       | 1,679                   |          |                         |          |                         |          |                         |          | 5ш                      | 1,027    |                         |          |                         |       |

Примечание. 1 — пахнолит из метасоматитов Украины; 2 — пахнолит из Ивиггута, ASTM (<sup>4</sup>); 3 — сенолит из метасоматитов Украины; 4 — томсенолит из Ивиггута, ASTM (<sup>4</sup>); 5 — продукты прокаливания томсенолита при температуре 600°. Условия съемки: Fe-излучение, *D* = 57,3 мм, *d* = 0,5 мм. Аналитик — Сизова.

включения в илстных массах веберита и прозопита. На поверхности выделений криолита томсенолит нарастает без определенной ориентировки. Хорошо образованные кристаллы томсенолита также приурочены к пустотам выщелачивания в прожилках алюмофторидов. Для подобных образований томсенолита предполагается более поздняя кристаллизация по отношению к вебериту. Кристаллы томсенолита прозрачные, бесцветные, имеют стеклянный блеск. Форма кристаллов томсенолита уплощенная по (110) или близкая к изометричной. Четко выражены две системы трещин спайности по (001) и (110), пересекающиеся под углом около 90°. Наличие этих систем совершенной спайности позволяет отличать томсенолит от криолита к нему по внешнему виду и свойствам пахнолита.

Показатели преломления томсенолита для монохроматического света ( $\lambda = 589$  мμ) равны:  $N_g = 1,415$ ;  $N_m = 1,413$  (вычислено);  $N_p = 1,407$ ; дисперсия 0,008. Угол оптических осей отрицательный, равен 50,5°. Ориентировка оптической индикатрисы относительно совершенной спайности по (001):  $N_g : \perp (001) = 90^\circ$ ;  $N_m : \perp (001) = 44^\circ$ ;  $N_p : \perp (001) = 46^\circ$ . Для

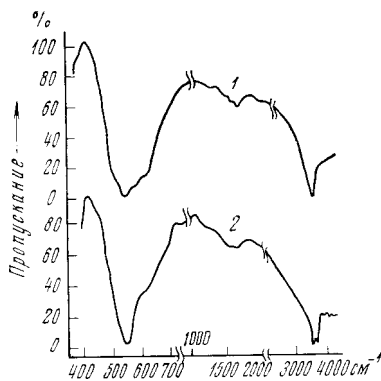


Рис. 1. Инфракрасные спектры поглощения пахнолита (1) и томсенолита (2) из метасоматических пород Украинского кристаллического щита

чается от теоретического состава более низким содержанием фтора, составляющим 48,60%, и повышенным содержанием  $H_2O^+$ . Вероятно, в составе изученного минерала имеет место ограниченное замещение части фтора гидроксильной группой. Кроме того, в составе минерала установлено содержание Mg в количестве 0,69%, что одновременно с пониженным содержанием Са свидетельствует об их изоморфизме. Необходимо отметить, что в томсенолите из месторождений Ивигтут в Гренландии также отмечено содержание Mg в количестве 0,39% при несколько пониженном содержании Са (4).

Для получения дополнительных данных по точной диагностике минералов и их структуре Е. И. Гончаровой на спектрофотометре ИКС-14 были записаны и.к. спектры поглощения томсенолита и пахнолита из метасоматитов Украины (рис. 1). Интенсивные полосы поглощения при 560—620  $cm^{-1}$  связаны с валентными колебаниями полиэдра  $AlF_6$ , являющегося основной структурной единицей обоих минералов (9). Интенсивные полосы поглощения в области около 3500  $cm^{-1}$  связаны с валентными колебаниями O — H входящей в состав минералов молекулы воды, причем у пахнолита в этой области наблюдается максимум при 3460  $cm^{-1}$ , а у томсенолита полоса поглощения с двумя максимумами — при 3300 и 3500  $cm^{-1}$ . Полосы поглощения пахнолита и томсенолита при 1600  $cm^{-1}$  связаны с деформационными колебаниями H — O — H молекулы воды (10). На и.к. спектре поглощения томсенолита наблюдается полоса поглощения при 900  $cm^{-1}$ , отсутствующая в спектре поглощения пахнолита. По данным

некоторых кристаллов томсенолита характерно развитие полисинтетических двойников.

Межплоскостные расстояния томсенолита Украины близки к межплоскостным расстояниям томсенолита из Ивигтута (4). Наиболее интенсивные линии продуктов прокаливания томсенолита соответствуют межплоскостным расстояниям флюорита (3,14; 1,924; 1,642; 1,114 и др.), более слабые — межплоскостным расстояниям криолита (2,74; 2,57; 2,32; 1,568), а также хиолита (2,32; 1,999 и др.) (см. табл. 1).

Химический состав пахнолита из метасоматитов Украины близок к теоретическому составу минерала, а также к составу наиболее чистой разности проанализированного пахнолита из криолитовых пегматитов Пайкс Пик в Колорадо (8) (табл. 2).

Химический состав томсенолита отли-

Таблица 2

Химический состав пахнолита и томсенолита из метасоматических пород Украинского кристаллического щита (%)

| Компонент | 1       | 2       | 3     | 4       |
|-----------|---------|---------|-------|---------|
| Na        | 11,00   | 10,25   | 10,00 | 10,02   |
| K         | 0,02    | —       | 0,02  | —       |
| Ca        | 18,30   | 18,04   | 16,58 | 17,22   |
| Mg        | Не опр. | —       | 0,69  | 0,39    |
| Al        | 11,75   | 12,36   | 12,40 | 13,04   |
| F         | 50,51   | 51,30*  | 48,60 | 50,65   |
| $H_2O^+$  | 8,07    | 8,05    | 11,00 | 8,48    |
| $SiO_2$   | Не опр. | Не опр. | —     | —       |
| $Fe_2O_3$ | » »     | » »     | 0,06  | Не опр. |
| $TiO_2$   | » »     | » »     | —     | » »     |
| MnO       | » »     | » »     | —     | » »     |
| Сумма     | 99,65   | 100,00  | 99,89 | 99,80   |

Примечание. 1 — пахнолит из метасоматитов Украины (аналитик А. Е. Василевская); 2 — пахнолит из Пайкс-Пик (8); 3 — томсенолит из метасоматитов Украины (аналитик Н. И. Шувалова); 4 — томсенолит из Ивигтута (4). Звездочкой отмечен случай определения по разности.

А. Накамото (<sup>10</sup>), в этом интервале (1200—600 см<sup>-1</sup>) наблюдаются полосы поглощения, связанные с деформационными колебаниями М—О—Н и характерные для гидроокислов металлов. Кроме того, полосы поглощения в этом интервале отчетливо проявлены в спектрах поглощения других алюмофторидов, содержащих гидроксил (<sup>9</sup>). Таким образом, полоса поглощения при 900 см<sup>-1</sup> у изученного томсенолита подтверждает содержание в его составе гидроксила, замещающего фтор.

Пахнолит и томсенолит являются редкими минералами из группы алюмофторидов. До последнего времени пахнолит установлен как продукт изменения криолита на месторождениях Ивигтут и Пайкс-Пик (<sup>3</sup>, <sup>8</sup>) и в комплексе с другими фторидами среди карбонатных пород в округе Фремонт в Колорадо (<sup>11</sup>). Томсенолит, кроме упомянутых месторождений, в последнее время обнаружен в составе апогранитов, в массивах которых проявлен фторидный процесс. Установление пахнолита и томсенолита среди метасоматических пород Украины расширяет представления об этих минералах и их генезисе.

Институт минеральных ресурсов  
Симферополь

Поступило  
7 I 1971

#### ЦИТИРОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

- <sup>1</sup> О. В. Зинченко, Минералогич. сборн. Львовск. геол. общ., **22**, в. 3, 304 (1968).  
<sup>2</sup> Е. П. Гуров, Е. П. Гурова, Е. Я. Марченко, ДАН, **191**, № 2, 422 (1970).  
<sup>3</sup> О. В. Bøggild, Medd. Grønland, **149**, № 3 (1953). <sup>4</sup> Минералы, **2**, в. 1, М., 1963.  
<sup>5</sup> В. И. Степанов, В. А. Молева, Зап. Всесоюз. мин. общ., **91**, в. 5, 556 (1962).  
<sup>6</sup> В. С. Кудрин, М. А. Кудрина, Тр. Мин. музея им. А. Е. Ферсмана, в. 18, 80 (1968). <sup>7</sup> Ю. Ю. Юрк, Е. П. Гуров, Е. П. Гурова, Докл. АН УССР, сер. Б, № 5, 408 (1970). <sup>8</sup> W. Cross, W. F. Hillebrand, Am. J. Sci., **26**, № 154, 271 (1883). <sup>9</sup> А. С. Поваренных, А. Д. Лебедева, Докл. АН УССР, сер. Б, № 1, 31 (1970). <sup>10</sup> А. Накамото, Инфракрасные спектры поглощения неорганических и координационных соединений, М., 1966. <sup>11</sup> E. W. Heinrich, H. Quon Shi, Geol. Soc. Am. Spec. Paper, № 73 (1963).