

В. И. КУДРЯШОВА

**АПОФИЛЛИТ ИЗ ШАРОВЫХ ЛАВ РАЙОНА ПОС. ТУРА  
(Эвенкийский национальный округ)**

Апофиллит является довольно распространенным и во всяком случае постоянным минералом ассоциации гидротермальных минералов среди эффузивных траппов среднего течения Нижней Тунгуски.

Первое описание его дал В. С. Соболев (1936), позже некоторые сведения о нем были приведены А. П. Лебедевым (1955), А. В. Скропышевым (1945, 1955), Е. Я. Киевленко (1959) и другими исследователями месторождений исландского шпата Сибири.

Наиболее широко апофиллит развит в покровах шаровых лав, к которым приурочены массовые скопления разнообразных цеолитов и кристаллов исландского шпата. Выходы таких лав наблюдаются в береговых скалах по Нижней Тунгуске выше и ниже пос. Тура, по притокам Нидым, Гончак, Виви и др.

Апофиллит образует хорошо ограненные белые, изредка зеленоватые кристаллы, которые вместе с белыми и розовыми розетками цеолитов и медово-желтыми кристаллами исландского шпата дают красивые штуфы. Кристаллы имеют различные морфологические формы, причем для разных участков района характерны определенные габитусы. На участках по Нижней Тунгуске выше пос. Тура встречаются кристаллы наиболее простого типа. На них присутствуют грани тетрагональной призмы  $a$  (100) и пинакоида  $c$  (001), а также слабо развитые грани  $p$  (111) и  $y$  (310) (рис. 1,  $a$ ,  $b$ ). Нередко кристаллы образуют параллельные или взаимно перпендикулярные сростки (рис. 2). Грани призмы кристаллов гладкие и блестящие, пинакоида — неровные с перламутровым блеском. Близкие формы отмечаются и у кристаллов апофиллита с р. Нидым. Здесь преобладают формы призмы  $a$  (100) и пирамиды  $p$  (111). В районе месторождений Скалы Сулова и Гончак распространены кристаллы апофиллита кубооктаэдрического габитуса. На них преобладают формы пинакоида  $c$  (001) и пирамиды  $p$  (111), грани призмы  $a$  (100) и другие развиты очень слабо (рис. 1,  $в$ ,  $г$ ). Все грани этих кристаллов гладкие и блестящие. По р. Виви были встречены кристаллы апофиллита табличатого габитуса (рис. 1,  $д$ ). Необычными формами апофиллита являются сферолитовые стяжения диаметром до 5—7 см радиально-шестоватого строения (рис. 3). Сферолиты иногда имеют зональное строение — внутри крупного стяжения находится сферолит меньшего диаметра, отделенный от крупного тонким прослоем глинистого вещества.

Для нижнетунгусского апофиллита весьма специфично замещение минералами кремнезема и глинистым веществом, определенным как железистый сапонит (Кудряшова, 1962). Наиболее интенсивно апофиллит замещался железистым сапонитом, вплоть до образования полных псевдоморфоз. Замещение апофиллита идет от периферии к центру и от основания к вершине

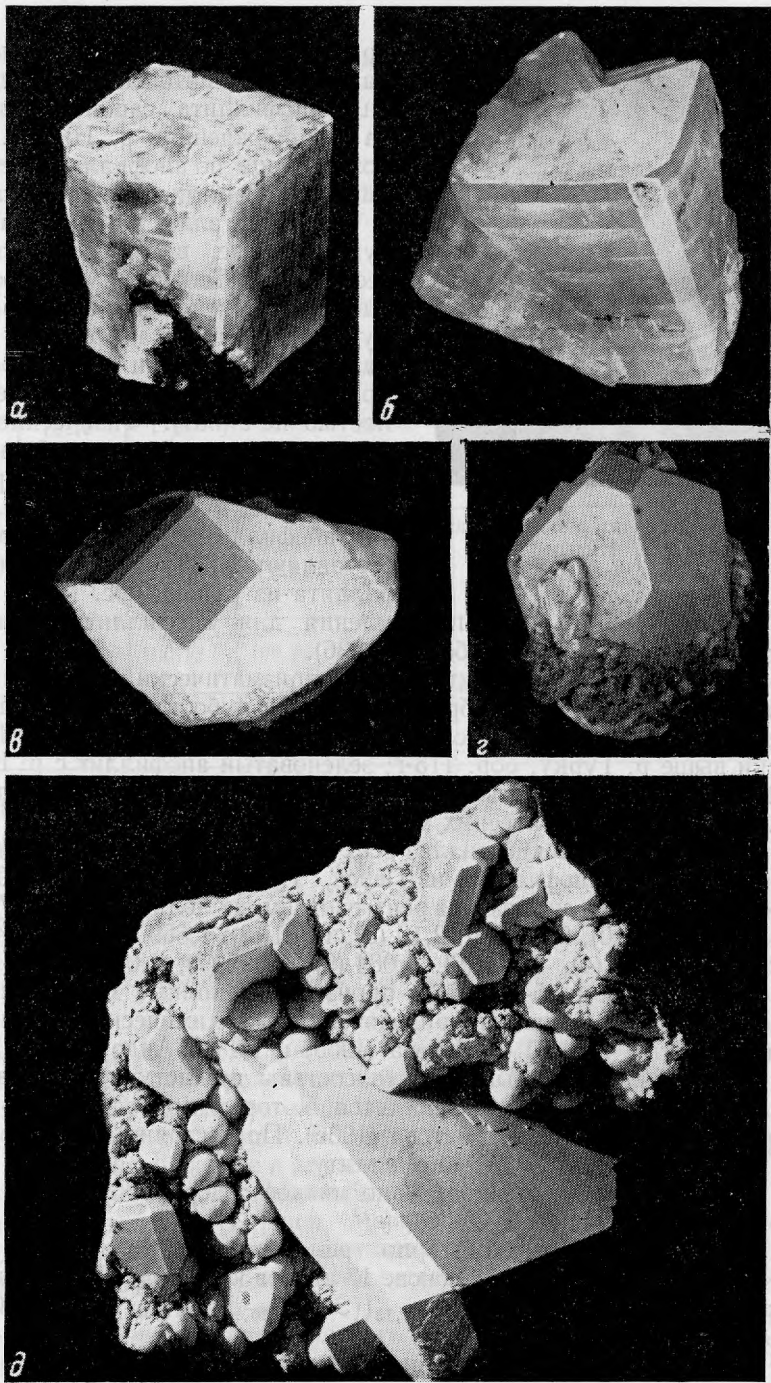


Рис. 1. Форма кристаллов апофиллита  
 а — б — р. Нижняя Тунгуска около пос.  
 Тура; в — Скалы Суслова; з — р. Гон-  
 чак; д — р. Виви



Рис. 2. Форма сростков кристал-  
 лов апофиллита с р. Нижней Тун-  
 гуски



Рис. 3. Сферолитовые агрегаты апофиллита с р. Нидым

кристалла с некоторым увеличением объема. Особенно интенсивно процесс замещения апофиллита сапонитом проявляется на месторождениях р. Нидым. Псевдоморфозы кварца по апофиллиту встречались в миндалекаменных базальтах на р. Гончак.

Все кристаллы апофиллита белые, полупрозрачные, в осколках прозрачные и бесцветные. Только на месторождениях р. Нидым встречен светло-зеленоватый (изумрудного оттенка) апофиллит. Кристаллы разбиты трещинами отдельности поперек призмы и обладают совершенной спайностью по  $c$  (001). Физические и оптические свойства апофиллита обычные для этого минерала. Показатели преломления, измеренные в иммерсионных жидкостях, для апофиллитов из разных мест обычно составляют 1,533—1,532 и только для апофиллита из района пос. Тура 1,538. Такую

же величину показателя преломления для апофиллита с Нижней Тунгуски приводит В. С. Соболев (1936).

Ряд образцов апофиллита (белый призматический апофиллит из обнажения около пос. Тура, обр. 169-п; белый кубооктаэдрический апофиллит из месторождения Скалы Сулова, обр. 556; белый апофиллит с Нижней Тунгуски выше р. Турку, обр. 115-г; зеленоватый апофиллит с р. Нидым, обр. 543; радиально-шестоватый апофиллит с р. Нидым, обр. 546) был исследован комплексом диагностических методов.

Рентгенометрический анализ всех образцов дал рентгенограммы, близкие рентгенограмме апофиллита из Перса, ГрузССР (Гвахария, 1952). Наиболее интенсивными линиями на рентгенограммах являются: 4,48 (7) \*, 3,91 (8), 3,55 (7), 2,95 (10), 2,46 (10), 2,10 (8), 1,761 (8), 1,669 (5), 1,542 (4), 1,484 (4), 1,277 (4), 1,239 (4), 1,114 (9), 1,084 (9), 1,025 (7), 1,0004 (6).

Для обр. 169-п, 546 и 543 произведены полные химические анализы (табл. 1). Для сравнения приводятся также химические анализы апофиллитов, взятые у А. П. Лебедева (1955) и Н. И. Андрусенко (1971).

Все анализы показывают, что составы нижнетунгусских апофиллитов соответствуют составам апофиллитов, которые приводятся в работе В. И. Вернадского и С. М. Курбатова (1936). По постоянному содержанию фтора все они относятся к  $\beta$ -апофиллиту.

Для всех анализов характерно низкое содержание  $Al_2O_3$ ,  $MgO$ ,  $Na_2O$  и редкое присутствие  $Fe_2O_3$ .

Пересчет средних данных по трем химическим анализам апофиллита на формулу проводился на основе 13 атомов катионов. Получена следующая формула:  $(K_{0,71}Na_{0,07})_{0,78}Ca_{4,15}[(Si_{8,04}O_{20,00})][F_{0,68}(OH)_{0,09}O_{0,23}]_{1,00} \times 9,12H_2O$ .

Недостаток щелочей компенсируется избытком кальция. Основная часть полученной формулы близка к теоретической; отличие заключается лишь в избытке молекул «цеолитной» воды.

По результатам спектральных анализов (табл. 2) апофиллиты из бассейна Нижней Тунгуски делятся на белые и зеленые разновидности. Для всех апофиллитов спектральными анализами выявлено постоянное присутствие Na, Mg, Si, Al, Ca,  $CaF_2$  и в некоторых образцах (независимо от окраски) — Mn, Ti, Fe, Sr, Ba. Зеленые апофиллиты с р. Нидым и р. Виви в отличие от белых разновидностей содержат ванадий (0,08—0,09%).

\* В скобках здесь и далее указана интенсивность.

## Химический состав апофиллитов с р. Нижней Тунгуски

Компоненты	1	2	3	4	5	6	7
SiO <sub>2</sub>	51,81	51,72	51,35	51,85	52,35	51,60	50,2—53,3
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,07	0,33	0,40	0,25	0,20	0,32	0,0—1,8
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	—	—	—	0,10	0,05	0,0—0,3
MgO	0,06	0,12	0,08	0,09	0,09	0,02	0,0—0,5
CaO	25,22	24,97	25,17	25,09	25,21	24,94	23,2—26,7
Na <sub>2</sub> O	0,30	0,59	0,20	0,28	0,04	0,12	0,0—1,1
K <sub>2</sub> O	3,90	3,01	3,46	3,61	4,22	4,00	3,1—6,3
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,12	0,29	0,22	0,18	0,10	—	15,4—17,0
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	18,10	17,87	17,79	17,68	16,97	15,79	—
F	1,2	2,1	2,00	1,40	1,12	2,62	0,0—2,2
CO <sub>2</sub>	—	—	—	—	—	0,97	—
С у м м а	100,78	101,00	100,67	—	100,40	100,43	—
—O=F <sub>2</sub>	0,50	0,88	0,84	—	0,17	—	—
С у м м а	100,28	100,12	99,83	—	100,23	—	—
N	1,538	1,533	1,532	—	—	—	—
Аналитик Е. Ломейко	—	—	—	—	—	—	—

1 — белый призматический апофиллит, пос. Тура, обр. 169-п;

2 — радиально-лучистый апофиллит, р. Нидым, обр. 546;

3 — зеленоватый апофиллит, р. Нидым, обр. 543;

4 — средний анализ;

5 — апофиллит, Скалы Сулова (Лебедев, 1955);

6 — апофиллит, Нижняя Тунгуска (Андрусенко, 1971);

7 — колебания химического состава апофиллитов (Вернадский, Курбатов, 1936).

Г. Е. Белоусов и В. И. Кудряшова (1963) предполагали, что ванадий в апофиллите находится в трехвалентной форме, так как соединения его обычно окрашены в зеленый цвет. При этом они считали, что катион V<sup>3+</sup> в минерале реагирует с группой К, образуя двойные соединения типа M<sub>2</sub>VF<sub>5</sub>, где М — одновалентные и двухвалентные металлы (Некрасов, 1939). Позже зеленый апофиллит с р. Нидым был исследован методом электронного парамагнитного резонанса (Бершов, Марфуин, 1965). Результаты этого анализа подтвердили наличие в зеленом апофиллите ванадия, находящегося в форме ванадила. При этом однозначно устанавливается изоморфное включение (YO)<sup>2+</sup>→Са и (YO)<sup>2+</sup>→К.

Для пяти образцов нижнетунгусского апофиллита (115-г, 169-п, 546, 543 и 556) получены дифференциально-термические кривые и кривые потери веса (рис. 4). На всех кривых дифференциального нагревания апофиллитов в интервале 200—500°С наблюдаются две характерные эндотермические реакции. Первая реакция имеет максимум при температуре 350—375°С, вторая — при температуре 470°С. В общем виде кривая ДТА в области температур 200—500°С имеет отрицательную двугорбую форму. Экзотермический эффект отмечается в интервале температур от 830—850 до 910°С. На кривых потери веса первому эндотермическому эффекту соответствует 5,05—12,19% потери веса, причем конец этой реакции фиксируется при 390—400°С. К концу второго эндотермического эффекта при 500—550°С потеря

Спектральные анализы апофиллитов из бассейна среднего течения Нижней Тунгуски  
(в вес. %)

Исходный материал	Mn	V	Na	Ti	Mg	Si	Al	Fe	Ca	Sr	Ba	CaF <sub>2</sub>
Белый апофиллит пос. Тура (обр. 169-п)	—	—	0,1	0,004	0,04	10	0,04	—	10	—	—	Есть
Белый апофиллит, Скалы Суслова (обр. 556)	—	—	0,1	—	0,08	10	0,04	—	10	—	—	»
Зеленоватый апофиллит, р. Нидым (обр. 543)	—	0,09	0,2	0,008	0,02	10	0,2	—	10	—	—	»
Зеленоватый апофиллит, р. Виви (обр. 559)	0,02	0,09	0,2	0,004	0,008	10	0,2	0,009	10	0,02	—	Следы

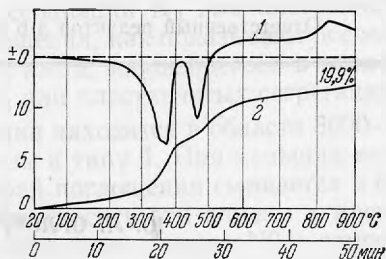
веса составляет 12,62—18,8%. Суммарная потеря веса для пяти образцов апофиллитов колеблется от 19,9 до 24,4%. Расчеты показывают, что первой эндотермической реакции отвечают 25—55% от суммарной потери веса, т. е. от  $\frac{1}{3}$  до  $\frac{1}{2}$  всей воды, а к концу второй реакции в среднем до 75% потери веса от общей суммы, или  $\frac{3}{4}$  от суммы, т. е. второй реакции отвечает до  $\frac{1}{4}$  потери веса. Все исследователи апофиллитов (Вернадский, Курбатов, 1936; Гвахария, 1952; Спиридонов, 1964, и др.) считают, что при первой эндотермической реакции до температуры 375°С происходит выделение воды цеолитного типа, а в ходе второй резкой эндотермической реакции при 475°С теряется химически связанная, или конституционная вода. Остаток потери веса выше 500°С отвечает, очевидно, выделению фтора. Результаты термического анализа ставят под сомнение принятую в настоящее время формулу апофиллита относительно вида воды, по которой вся вода является цеолитной, и конец ее выделения отодвигают до температуры 500—550°С. Если же принять первое предположение, формула апофиллита должна выглядеть следующим образом:  $K(F, OH)Ca_4[Si_4O_{20}](OH)_x \cdot 8H_2O$ .

Такой вид формулы логичен и более понятен с точки зрения кристаллохимических особенностей кальциевых гидросиликатов, к которым сейчас относят апофиллит, однако требует дальнейших исследований методами структурного анализа и физическими методами, уточняющими поведение и природу воды в минерале.

Апофиллит не только кристаллохимически, но и генетически тесно связан с минералами группы кальциевых водосодержащих силикатов. Автором среди гидротермальных минералов в шаровых лавах района среднего течения Нижней Тунгуски были обнаружены и охарактеризованы гиролит (Кудряшова, 1958), новый минерал тунгусит (Кудряшова, 1966) и пектолит (Кудряшова, 1971). Все эти минералы выделялись в последовательности: тунгусит → гиролит → пектолит → апофиллит. Сопоставление химических составов этих минералов показывает, что вначале выделялся тунгусит, обогащенный железом и содержащий относительно большое количество алюминия и марганца. Гиролит является чисто кальциевым силикатом, но еще с заметным содержанием алюминия. В пектолите алюминия мало, но в нем

резко возрастает роль натрия, это — собственно кальциево-натриевый силикат. Апофиллит представляет собой кальциево-калиевый силикат, обогащенный фтором. Все это дает возможность наметить следующую схему

Рис. 4. Кривые дифференциально-термического анализа (1) и потери веса (2) апофиллитов с Нижней Тунгуски (обр. 543)



изменения катионного состава описанных силикатов:  $\text{CaFe}^{2+} \rightarrow \text{Ca} \rightarrow \text{CaNa} \rightarrow \text{CaK}$ . На основании этой схемы можно предположить, что минералообразующие растворы всегда имели известковый состав, но в начале процесса кристаллизации заметную роль играли петрогенные элементы, а в конце — щелочи и фтор. Так как гидротермальный процесс в шаровых лавах завершается чистым кальцитом, можно предположить, что гидротермальные растворы в заключительную стадию имели чисто известковый углекислый состав. Температура раствора, очевидно, не превышала  $200\text{--}250^\circ\text{C}$  в начале процесса минералособразования и  $30\text{--}50^\circ\text{C}$  в конце его. Температура образования апофиллита уточнена последними исследованиями Н. И. Андрусенко и М. С. Васильевой (1968), которые показали, что при всех особенностях поведения воды при нагревании не исключается возможность гомогенизации жидких включений в апофиллите до  $120\text{--}130^\circ\text{C}$ .

#### Литература

- Андрусенко Н. И. Минералогия и генезис исландского шпата Сибирской платформы. Изд-во «Недра», 1971.
- Андрусенко Н. И., Васильева М. С. О жидких включениях в апофиллите. — Мин. сб. Львовск. ун-та, 1968, вып. 1, № 22.
- Белоусов Г. Е., Кудряшова В. И. Зеленый апофиллит с р. Нидым (Эвенкийский нац. округ). — Труды Мин. музея АН СССР, 1963, вып. 14.
- Бершов Л. В., Марфуниц А. С. Электронный парамагнитный резонанс ванадия в титаните и апофиллите. — Изв. АН СССР, серия геол., 1965, № 9.
- Вернадский В. И., Курбатов С. М. Земные силикаты, алюмосиликаты и их аналоги. ОНТИ, 1936.
- Гвахария Г. В. Цеолиты Грузии. Тбилиси, изд-во АН ГрузССР, 1952.
- Киевленко Е. Я. Исландский шпат в траппах Сибирской платформы. — Труды ВНИИП, 1959, 3, вып. 1.
- Кудряшова В. И. Гиролит из эффузивных траппов р. Нижней Тунгуски. — Докл. АН СССР, 1958, 123, № 3.
- Кудряшова В. И. Железистый сапонит и селадонит из шаровых лав сибирских траппов. — Труды Мин. музея АН СССР, 1962, вып. 13.
- Кудряшова В. И. Тунгусит — новый минерал из группы водных силикатов кальция. — Докл. АН СССР, 1966, 171, № 5.
- Кудряшова В. И. Пектолит из шаровых лав Нижней Тунгуски. — Новые данные о минералах СССР, 1971, вып. 20.
- Лебедев А. П. Трапповая формация центральной части Тунгусского бассейна. — Труды ГИН, 1955, вып. 161.
- Некрасов Б. В. Курс общей химии. ГОНТИ, 1939.
- Скропышев А. В. Нижне-Тунгусские месторождения исландского шпата. — Мат-лы по геол. нерудн. полезн. ископ. Сибири, вып. 1. Иркутск, 1945.
- Скропышев А. В. О твердых включениях в исландском шпате. — Записки Ленингр. горн. ин-та, 1955, 30, вып. 2.
- Соболев В. С. Петрология траппов Сибирской платформы. — Труды Аркт. ин-та, 1936, вып. 43.
- Спиридонов Э. М. Апофиллит одного из месторождений Северного Казахстана. — Вестник МГУ. Геол., 1964, № 4.