

А. Г. ЖАБИН, А. А. ВОРОНКОВ,  
Е. Б. ХАЛЕЗОВА, М. Е. КАЗАКОВА

**НОВЫЕ ДАННЫЕ ОБ АКЦЕССОРНОМ ДАВИДИТЕ  
ИЗ ВИШНЕВЫХ ГОР НА УРАЛЕ  
И О ТАК НАЗЫВАЕМЫХ УФЕРТИТЕ И ФЕРУТИТЕ**

**К ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ДАВИДИТА**

Давидит — титанат железа, урана и редких земель — мало распространенный минерал. Однако в некоторых месторождениях (например, Радий Хилл, Южная Австралия) его концентрация достигает промышленных значений, и тогда он используется как сырье для извлечения урана. В настоящее время давидит известен во многих странах мира. Впервые этот минерал найден и описан в Южной Австралии Моусоном в 1906 г. (Mowson, 1906).

Первый химический анализ давидита опубликован в 1916 г. (Crook, 1916). С тех пор этот минерал подвергался неоднократному изучению, причем различными исследователями высказывались самые противоречивые точки зрения на его природу и свойства. Некоторые авторы (Crook and Blake, 1910; Strunz, 1957; Whittle, 1959) выражали даже сомнение относительно самостоятельности этого минерального вида или считали давидит смесью нескольких минералов (ильменита, магнетита, рутила и пр.). Другие на основании морфологических и рентгеновских данных приписывали минералам этого семейства из разных месторождений различную симметрию и структуру, предлагая несколько самостоятельных названий. Так, Баннистером и Хорном (1950) описан в районе Тетэ (Мозамбик, Восточная Африка) радиоактивный урансодержащий минерал, отнесенный ими к семейству давидита, но образующий, в противоположность австралийским образцам, тригональные кристаллы с морфологическим отношением осей  $a : c = 1 : 1,37$ . Этот вид в дальнейшем фигурировал в литературе под названием «минерал из Мозамбика».

В 1950 г. на одном из отечественных месторождений П. В. Вейнерман и Н. И. Балашов обнаружили и описали минерал, близкий по своим физическим свойствам и химическому составу к давидиту. Он был назван уфертитом (Соболева и Пудовкина, 1957). Последующее детальное изучение этого минерала (Балашов, 1961) с привлечением рентгеновского анализа привело автора к выводу о том, что «уфертит по структурным параметрам стоит близко к известному минералу давидиту (и минералу из Мозамбика), но в то же время отличается своеобразием структуры. Давидит, относящийся к тригональной или псевдокубической сингонии, как известно, имеет кубообразную форму выделений» (стр. 11).

Ю. В. Казицин (1956) выделил новый самостоятельный минерал из той же группы, найденный в СССР в 1954 г. и названный ферутитом. Отмечено, что он образует тригональные кристаллы (Гецева и Савельева, 1956). Специальное изучение этого минерала заставило Ю. В. Казицина объединить его с «минералом из Мозамбика» и резко противопоставить давидиту, имеющему, по его утверждению, тетрагональную симметрию. Вывод автора сводится к следующему: «Ферутит (минерал из Мозамбика) является самостоятельным минералом, близким к давидиту, но существенно отличается от него конституцией. Ферутит относится к гексагональной сингонии... Параметры его ячейки  $a=8,33 \text{ Кх}$ ;  $c=22,8 \text{ Кх}$ . Давидит относится к тетрагональной сингонии (может быть, псевдокубический)... Параметры его ячейки  $a=5,74 \text{ Кх}$ ;  $c=13,37 \text{ Кх}$ ».

В то же время в литературе неоднократно появлялись указания на необоснованность и сомнительность выделения таких минеральных видов, как уфертит и ферутит. Так, Флейшер (1958) считает, что эти образования, по-видимому, являются разновидностью давидита, поскольку оба минерала дают очень сходные рентгенограммы порошка.

Наряду с таким разнообразием мнений, все авторы без исключения сходятся в одном: химический состав всех перечисленных минералов очень близок. Близки и рентгеновские данные различных образцов давидита, однако метамиктный характер образцов и связанная с этим необходимость их прокаливании для получения четких дифракционных картин, осложняет идентификацию. Некоторые исследователи (Butler, 1960) определенно указывали на необходимость дифференцированного подбора термических условий прокаливании для разных образцов с целью получения конформных дебаеграмм.

В 1959 г. при проведении минералогических работ в северной части массива миаскитов (биотитовых нефелиновых сиенитов) Вишневых гор на Урале А. Г. Жабин обнаружил минерал, оказавшийся титанатом железа и редких земель. Физические свойства, химический состав и данные рентгеновского анализа позволили отождествить его с давидитом. В противоположность большинству разновидностей давидита вишневогорские образцы оказались неметамиктными. Это обстоятельство дало возможность впервые монокристалльным рентгеновским методом определить симметрию и параметры ячейки давидита, а также провести детальное сравнительное изучение отечественных и зарубежных образцов.

Однако еще до завершения настоящей работы в печати появилась краткая заметка (Pabst and Thomssen, 1959), а затем большая статья А. Пабста (1961), в которой подробно описан давидит из Аризоны (США). Исследованные им образцы, подобно вишневогорским, были использованы для получения рентгенограмм от монокристалла. Параллельно А. Пабст исследовал образцы из шести других зарубежных месторождений, включая «минерал из Мозамбика», и убедительно доказал их тождественность. Таким образом, часть той задачи, которую мы ставили перед собой, оказалась выполненной. Важно отметить, что параметры ячейки и пространственная группа давидита из Аризоны полностью совпали с данными по вишневогорскому образцу. Вместе с тем, оставался нерешенным вопрос об идентификации отечественных образцов давидита. Его выяснению и посвящена настоящая работа. Для сравнения в ней приводятся данные А. Пабста по американскому образцу (Аризона), сведения о «минерале из Мозамбика» (Whittle, 1959), а также наш собственный экспериментальный материал для образца из Австралии. Помимо этого, здесь сделана попытка систематизировать парагенетические ассоциации минералов, в которых встречается давидит в различных месторождениях.

## ПАРАГЕНЕТИЧЕСКИЕ АССОЦИИ ДАВИДИТА В РАЗЛИЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЯХ

К настоящему времени давидит обнаружен в следующих местах:

а) на месторождениях района Радиум Хилл в округе Олари, Южной Австралии (Mawson, 1906);

б) на месторождениях района Тетэ в Мозамбике, Африка. Здесь Баннистером и Хорном был найден минерал, близкий к давидиту. В последующей литературе этот минерал фигурировал под названием «минерала из Мозамбика» (Bannister, Horne, 1950);

в) в горах Кихотоу в Аризоне, США (Pabst, Thomssen, 1959);

г) в гранитном пегматите Тафтан в Норвегии (Neumann, Sverdrup, 1961);

д) в ряде мест СССР (Вишневые горы на Урале, в Сибири).

Австралийский давидит изучен наиболее подробно. Многочисленные месторождения этого минерала в Австралии находятся среди метаморфических архейских и протерозойских пород. Ассоциирующий с браннеритом и урансодержащим ортитом давидит образует здесь крупные скопления, представляющие собой важнейшие источники уранового сырья. Лоуренсом (1954) выделены следующие типы подобной урановой минерализации: а) минерализованные мигматиты архей; б) минерализованные сланцы; в) протяженные тела крупнозернистого кальцита в биотитовых сланцах; г) зоны пироксеново-скаполитовых гранулитов с участками актинолитово-кальцитовых пород близ контакта с фельзитовыми риолитами и аггломератами; д) в аляскитах как аксессуарные минералы и е) в гроссуляро-геденбергитовых с ортитом скарнах, заключенных между зонами пироксеновых гранулитов. Давидит особенно характерен для кальцитовых жил и аляскитов. Упомянулось, что он найден также в пегматитах с турмалином (Lawrence, See, McBrige, Hofer, 1957).

Все исследователи австралийского давидита определяют его генезис как метаморфический. Позднее подчеркивалось, что в многочисленных месторождениях района Радиум Хилл он встречен также в биотитовых телах среди гранитов; в прожилках со слюдой, сагенитовым кварцем, ториевым браннеритом, бетафитом и ильменорутилом, сопровождающихся альбитизацией; в метасоматических альбитовых горизонтах среди докембрийских гнейсов и т. п. (Whittle, 1959). Наиболее характерной чертой многочисленных парагенетических ассоциаций австралийского давидита является обилие среди них минералов Fe и Ti: ильменита, рутила, браннерита, магнетита и т. п. Очень часто давидит тесно сростается с этими минералами.

Месторождения давидита из района Тетэ (Мозамбик, Африка) находятся на площади развития габбро-норитовой интрузии, которая пересекается основными дайками, сиенитами и кварцевыми жилами. Давидит находится здесь в минерализованных зонах, вокруг которых нориты превращаются в эпидиориты и роговообманковые гнейсы основного состава. Он встречен в следующих типах жильного выполнения этих зон (Davidson, Bennet, 1950): а) в скаполитово-кальцитовых жилах с доломитом, сульфидами железа, рутилом, магнетитом, ильменитом, апатитом и небольшим количеством турмалина; особенно тесно давидит ассоциирует здесь с апатитом, б) в крупнозернистых пегматитоподобных породах, около которых происходит скаполитизация вмещающих пород и в) в плагиоклазитовых жилах (альбититах?). Описанный Баннистером и Хорном минерал из Тетэ образует хорошо образованные кристаллы тригонального облика.

Давидит из района гор Кихотоу в Аризоне (США) обнаружен в контактной зоне метаспессартитовой дайки и кварцевого монзонита, которая сложена альбитом, эпидотом, хлоритом, кварцем, сфеном, каль-

цитом и небольшими количествами апатита, спекулярита и ортита. По метамиктному давидиту развивается рутил, сфен и «лейкоксен» (Pabst, Thomssen, 1959).

Последняя находка давидита сделана в жиле гранитного пегматита Тафтан в Норвегии, где минерал ассоциировал с ильменитом и рутилом и где также были встречены тортвейтит, гадолинит, эвксенит, блонстрандин и др. Давидит в этом месторождении образует кристаллы гексагонального габитуса (Neumann, Sverdrup, 1961).

Давидит из Вишневых гор найден в микроклиновой сильно альбитизированной жиле, залегающей в ореоле фенитизированных метаморфических пород вокруг интрузии. Можно предполагать, что это метаморфическая кварцево-микроклиновая жила, подвергшаяся фенитизации, которая обусловила появление давидита. Минерал находился в пустотке внутри жилы вместе с псевдоморфозами шаркастой текстуры мусковитоподобной слюдки по кристаллам сфена (?) и был окружен друзами призматических ( $2 \times 2 \times 10$  мм) кристаллов темно-красного рутила. Сам давидит образует здесь неправильной формы зерна размером до  $10 \times 20$  мм и грубопористые агрегаты. Цвет его черный, в очень тонких осколках просвечивает темно-бурым. Излом неровный, острооскользящий. В отраженном свете минерал серый, отражательная способность выше, чем у рутила, отчетливо анизотропный. Твердость определена на приборе МПТ-3 и составляет  $800 \text{ кг/мм}^2$ , что соответствует 6,0 единицам в шкале Мооса. Удельный вес анализировавшегося образца — 4,60. Минерал не метамиктный, и это представляет особую ценность, поскольку составляет исключение из описанных до сих пор давидитов.

#### РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДАВИДИТА

Исследованию подвергались образцы давидита из следующих шести мест:

- 1) Вишневые горы, Урал, СССР (описывается впервые);
- 2) Сибирь, СССР (фигурирует под названием: «давидит из СССР»);
- 3) СССР (образец передан Н. И. Балашовым и фигурирует под названием «уфертит»);
- 4) Аризона, США (образец передан проф. А. Пабстом; в таблицах не фигурирует);
- 5) Норвегия (образец передан доктором Н. Нейманом; в таблице не фигурирует);
- 6) Радиум Хилл, Австралия (образец из Минералогического музея АН СССР, Москва).

Рентгенограмму порошка с непрокаленного материала дали только давидит из Аризоны и из Вишневых Гор. Качество снимков вишневогорского образца было значительно выше. Для получения дебаграмм остальных образцов, а также повышения качества снимков первых двух, все они подвергались прокаливанию при  $1100^\circ \text{C}$ . Сравнение дифракционных картин, полученных с прокаленного и непрокаленного материала приводит к выводу о тождественности низко- и высокотемпературных фаз. В дальнейшем все расчеты проводились лишь для прокаленных образцов.

Для неметамиктных образцов вишневогорского давидита монокристалльным методом была четко установлена тригональная сингония (класс Лауэ 3). По рентгенограммам качания определены параметры гексагональной ячейки:  $a = 10,42 \pm 0,04 \text{ \AA}$  и  $c = 20,88 \pm 0,08 \text{ \AA}$ . На ее основе хорошо проинципировалась эталонная рентгенограмма порошка, полученная на Сг-излучении в камере ВРС большого диаметра (140 мм). Параметры, уточненные по этой рентгенограмме, равны:  $a = 10,405 \pm 0,010 \text{ \AA}$ ;  $c = 20,88 \pm 0,02 \text{ \AA}$ .

Для контроля индирования в камере КФОР были сняты развертки нулевой и первой, а также нулевой — третьей слоевых линий при вращении соответственно вокруг осей  $a$  и  $c$ . Эти же рентгенограммы были использованы для определения пространственной группы давидита.

Анализ систематических погасаний на развертках слоевых линий приводит к следующему закону:

1) из всех отражений  $hkl$  присутствуют лишь те, у которых сумма —  $h+k+l=3n$ ;

2) из отражений типа  $h\bar{h}0l$  имеются те, у которых сумма  $2h+l$  кратна трем;

3) у всех отражений типа  $hh2\bar{h}l$  и  $000l$   $l=3n$ .

Этот закон погасаний приводит к двум возможным пространственным группам:  $C_{3i}^2-R\bar{3}$  и  $C_3^4-R3$ .

Таким образом, были получены исходные данные для исследования остальных образцов давидита. В случае их тождественности, соответствующие дебаеграммы, имеющие качественное сходство, должны были бы проиндироваться в таких же или очень близких по значению параметрах гексагональной ячейки. Именно на этой стадии исследования появились в печати американские данные по давидиту из Аризоны. Они оказались в точности совпадающими с результатами, полученными для вишневогорского образца.

Все исследование американского автора в целом позволило изъять из рассмотрения образцы иностранных месторождений и ограничиться приведением экспериментальных данных лишь для австралийского давидита как первого представителя всего семейства и использованием литературных данных по аризонскому образцу, принятому за эталон. Вместо результатов, полученных Ю. В. Казициным для ферутита, взяты опубликованные в печати экспериментальные материалы по «минералу из Мозамбика» (Whittle, 1959). Расчет теоретических значений  $d_{hkl}$  и индирование дебаеграммы проведены нами.

Результаты рентгенографического исследования представлены в табл. 1. Из нее следует, во-первых, что дебаеграммы всех без исключения образцов хорошо проиндировались на основе гексагональной ячейки с параметрами, близкими к таковым для эталонного образца 6. Удовлетворительность индирования подтверждается близостью экспериментальных и вычисленных значений межплоскостных расстояний ( $d_{hkl}$ ). Значения параметров  $a$  и  $c$  для всех образцов, полученные расчетным путем из рентгенограмм порошка, приведены в табл. 2.

Далее из табл. 1 видно, что все рентгенограммы характеризуются в основном одним и тем же набором индексов. Имеющиеся отклонения касаются главным образом слабых отражений ( $I < 1$ ). Отсутствие таких линий на отдельных дебаеграммах, имеющих в общем довольно низкое качество, можно объяснить пропуском соответствующих отражений. Внимательное рассмотрение расчетных данных для всех образцов приводит к несомненному выводу об их идентичности. Незначительные колебания в значениях  $d_{hkl}$  для линий с одинаковыми индексами объясняются некоторым различием в параметрах решетки соответствующих образцов. Совпадение интенсивностей одноименных отражений вполне удовлетворительное, особенно если учесть некоторую вариацию химического состава в разных образцах.

Из существующих в табл. 1 несоответствий можно отметить лишь отсутствие на рентгенограммах № 1, 3 и 5 линии  $0\bar{4}\bar{4}5$  ( $d=1,982$ ;  $l \sim 1-2$ ), вместо которой на них отмечено отражение  $1\bar{4}\bar{5}0$  ( $d=1,965$ ) с той же интенсивностью. Однако сравнительно малое значение  $I$  обеих линий позволяет пренебречь указанным отклонением. Что касается

Таблица 1

## Расчет рентгенограмм порошка давидита из разных месторождений

№ п/п	hkl	Давидит (Винные горы)			Давидит (СССР)			Уфертит (СССР)			Давидит (Австралия)			Давидит Мозамбик			Давидит (Аризона)				Рутил	
		1			2			3			4			5			6				7	
		I	d <sub>эксп.</sub>	d <sub>выч.</sub>	I	d <sub>эксп.</sub>	d <sub>выч.</sub>	I	d <sub>эксп.</sub>	d <sub>выч.</sub>	I	d <sub>эксп.</sub>	d <sub>выч.</sub>	I	d <sub>эксп.</sub>	d <sub>выч.</sub>	hkl	I	d <sub>эксп.</sub>	d <sub>выч.</sub>	I	d
1																0003	1,8	6,86	6,96			
2	1120															1120	1,5	5,21	5,18			
3	1123														3ш	1123	2,4	4,18	4,16			
4	2022				2	4,13	4,13															
5	0115				1	3,78	3,78									0115	0,7	3,81	3,79			
6	0006	1	3,47	3,48	1	3,48	3,46															
7	0024	6	3,41	3,416	5	3,35	3,40	5	3,41	3,41	3	3,36	3,40	7	3,40	3,41	2024	7,2	3,42	3,40		
8	2314													2	3,35	3,35	2131	0,8	3,36	3,35		
9		9	3,25		9	3,24		5	3,23		9	3,26		4	3,26		1232	2	3,21	3,228	9	3,243
10	2025	6	3,06	3,067	5	3,04	3,05	5	3,05	3,06	5	3,06	3,06									
11	3030	4	3,00	3,00	4	2,98	2,93	4	2,98	2,93	4	2,99	2,99	5	3,00	2,99						
12	1126	9	2,898	2,836	9	2,875	2,876	7	2,886	2,883	7	2,883	2,883	10	2,89	2,89	1126	10	2,895	2,889		
13	1017 2134	6	2,854	2,855	6	2,822	2,840	5	2,837	2,842	5	2,828	2,842	6	2,84	2,85	2134	6	2,850	2,845		
14	3033	3	2,742	2,757	2	2,743	2,743	2	2,748	2,747	6**	2,747	2,747	1	2,76	2,75	3033	2,2	2,755	2,748		
15	1235	3	2,641	2,641	3	2,630	2,629	3	2,632	2,634	3	2,632	2,634	3	2,63	2,63	1235	3,3	2,640	2,633		
16	2240	1	2,607	2,601							1	2,592	2,590	2	2,59	2,59	2240	1,8	2,595	2,593		
17		6	2,496		5	2,480		6	2,476		5	2,481		5 оч.ш.	2,473						4	2,494
18	3412 2243	3	2,433	2,436	3	2,421	2,423	2	2,427	2,427	3	2,423	2,427	4	2,425	2,425	2243	2,5	2,429	2,429		
19	1314	6	2,257	2,256	6	2,243	2,244	6	2,248	2,247	7	2,245	2,247	6	2,246	2,247	1314	5	2,248	2,248		
20		3	2,191		2	2,194		2	2,186		3	2,196		2	2,189						3	2,190
21	3145	5	2,144	2,146	5	2,132	2,134	4	2,133	2,138	6	2,134	2,138	5	2,136	2,138	3145	4	2,139	2,139		
22	1238				2	2,062	2,062	2	2,065	2,066				сл.	2,065	2,070	1238	0,5	2,072	2,068	3	2,053
23	1.0.1.10				2	2,024	2,024							2	2,030	2,037	1.0.1.10	0,5	2,029	2,033		
24	0445				1	1,972	1,973			1,975	2	1,970	1,975			1,978	0445	1,2	1,982	1,977		
25	1450	2	1,965	1,966				2	1,958	1,958			1,958	1	1,958	1,956						
26	3254	4	1,920	1,922	3	1,911	1,912	3	1,911	1,915	4	1,912	1,915	4	1,912	1,914	3254	2,5	1,919	1,916		
27	0.2.2.10													2	1,890	1,895	0.2.2.10	0,5	1,897	1,893		
28	2355	3	1,856	1,854				3	1,849	1,846	3	1,843	1,846	2	1,841	1,846	2355	1	1,849	1,847		

Таблица 1 (окончание)

№ п/п	hkil	Давидит (Вишневые горы)			Давидит (СССР)			Уфертит (СССР)			Давидит (Австралия)			Давидит (Мозамбик)			Давидит (Аризона)				Рутила		
		1			2			3			4			5			6				7		
		I	d <sub>эксп.</sub>	d <sub>выч.</sub>	I	d <sub>эксп.</sub>	d <sub>выч.</sub>	I	d <sub>эксп.</sub>	d <sub>выч.</sub>	I	d <sub>эксп.</sub>	d <sub>выч.</sub>	I	d <sub>эксп.</sub>	d <sub>выч.</sub>	I	hkil	d <sub>эксп.</sub>	d <sub>выч.</sub>	I	d	
29	4077 3148	6	1,808	1,806	6	1,801	1,736	7	1,804	1,798	7	1,802	1,798	4	1,802	1,802	3148	3,8	1,803	1,801			
30	0.0.0.12													1	1,740	1,742	00312	<0,5	1,741	1,739			
31	3360				1*	1,726	1,725	1*	1,731	1,727													
32	4155	4	1,712	1,712				4	1,707	1,705	4	1,704	1,705	3	1,706	1,706	4155	2,2	1,708	1,707	10	1,689	
33														3	1,691								
34	1.1.2.12	2	1,656	1,650	2	1,644	1,641	2	1,644	1,645	2	1,650	1,645	2	1,650	1,651	1.1.2.12	1,2	1,652	1,649	8	1,624	
35		3	1,627		2	1,626		5	1,628		5	1,626		2	1,625								
36	1562. 41.3.10	10	1,605	1,603	9	1,534	1,594	9	1,601	1,598	10	1,597	1,598	5	1,595	1,601	1.3.4.10	4	1,601	1,600			
37	4285	1	1,574	1,577	1	1,572	1,569	1	1,571	1,571	1	1,572	1,571	1	1,566	1,570	4285	<0,5	1,572	1,572			
38	3383	3	1,552	1,552	3	1,545	1,544	4	1,549	1,546	4	1,545	1,546			1,546	3383	1	1,548	1,548			
39	5164	1	1,545	1,546										2ш	1,541	1,539							
40	1565 3.1.4.11	6**	1,513	1,512	5**	1,534	1,504	5**	1,507	1,507	6**	1,504	1,507	2	1,506	1,506	3.1.4.11	1,5	1,509	1,509	3	1,482	
41		3	1,485											сл.	1,483								
42	3.2.5.10	2	1,467	1,463	2	1,460	1,461	1	1,450	1,463	2	1,460	1,463	сл.	1,462	1,466	3.2.5.10	0,5	1,467	1,466	4	1,453	
43		3	1,456		5	1,458		1			2	1,457											
44	2570	10	1,443	1,443	10	1,435	1,435	10	1,437	1,437	10	1,437	1,437	4	1,435	1,435	2570	4	1,439	1,438			
	Литератур- ные источ- ники	Новые данные										A. W. G. Whittle, 1959			A. Pabst, 1961				Михеев, 1957				

Примечание. Межплоскостные расстояния № 9, 17, 23, 33, 35, 41, 43 соответствуют таковым рутила (графа 7).

\* Возможно, линии ильменита.

\*\* Возможно, наложение линий ильменита, за счет чего увеличилась интенсивность.

Таблица 2

## Параметры элементарной ячейки давидитов (в Å)

Параметры	Давидит (Вишневые горы)	Давидит (СССР)	Уфертит (СССР)	Давидит (Австралия)	Давидит (Мозамбик)*	Давидит (Аризона)
<i>a</i>	10,405	10,35	10,36	10,36	10,35	10,37
<i>c</i>	20,88	20,74	20,82	20,84	20,91	20,87
<i>c:a</i>	2,006	2,004	2,010	2,012	2,020	2,013
Литератур- ный источ- ник	Новые данные					Pabst, 1961

\* Параметры, рассчитанные по экспериментальным данным Уайтла (Whittle, 1959)

Таблица 3

## Химический состав давидитов

Компоненты	Давидит (Вишневые горы, СССР)	Уфертит (СССР)	Давидит (Австралия, Раднум Хвилл)	Давидит (Мозамбик, Африка)	Давидит (Аризона, США)
SiO <sub>2</sub>	0,09	1,2	—	—	1,69
TiO <sub>2</sub>	59,54	59,12	54,30	54,5	54,34
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,30	0,20	—	—	0,37
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,09	11,00	13,00	10,2	18,84
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	—	1,20	—	—	0,37
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	—	0,37	—	—	3,56
Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	1,36	—	—	—	—
FeO	9,98	14,00	16,00	16,5	7,14
PbO	0,21	0,20	1,50	0,72	—
MnO	3,08	—	—	—	0,21
MgO	0,27	—	0,60	—	0,73
CaO	0,64	—	1,50	0,3	1,28
SrO	—	—	—	—	0,26
TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11,12	11,58	8,3	5,6	8,96
ThO <sub>2</sub>	не обнар.	0,16	1,10	0,07	0,43
U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	не обнар.	—	—	9,8	—
UO <sub>2</sub>	—	2,61	4,60*	—	3,56
ZrO <sub>2</sub>	0,56	—	—	0,4	0,52
Na <sub>2</sub> O	0,75	—	—	0,15	0,03
K <sub>2</sub> O	0,19	—	—	—	0,08
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0,11	—	—	—	—
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0,61	—	—	0,05	0,17
Сумма	99,90	101,64	100,90	99,92	99,82
Удельный вес	4,60	4,33	—	4,46	4,42
Аналитик	М. Е. Казакова, 1961	П. Н. Дорофее- ва, 1951	W. T. Crook, 1916	W. Ryan and P. J. Maple	C. A. Inge- mells
Литератур- ный источ- ник	Новые данные	Соболева и Пу- довкина, 1957	Crook, 1916	Bannister and Horne, 1950	Pabst, 1961

\* Сумма U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>, Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>.

линий 2025<sup>г</sup> ( $d=3,05$ ) и 3030 ( $d=3,00$ ), которые отсутствуют в литературных данных по давидиту из Аризоны, то наш эксперимент доказали их наличие на дебаеграмме соответствующего образца. Возможно, что здесь сказались разные условия термической обработки.

### ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ФОРМУЛА ДАВИДИТА

В таблице 3 приводятся химические анализы давидита из пяти месторождений. Из нее следует, что по химическому составу все пять образцов очень близки. Основными компонентами являются  $Fe^{++}$ ,  $Fe^{+++}$ , Ti, TR и U. Образцы из отечественных месторождений (1 и 2) отличаются повышенным содержанием Ti и TR. Весьма характерная особенность химического состава вишневогорского давидита (табл. 3) — полное отсутствие в нем U. Таким образом, вишневогорский образец представляет собой редкоземельную безурановую разновидность давидита.

Однако, несмотря на такое существенное отличие в составе, химическая формула этого образца хорошо согласуется с химической форму-

Таблица 4

Содержание отдельных элементов в ячейке давидита

Элемент	Атомные количества	Число атомов на гексагональную ячейку	Число атомов на ромбоэдрическую ячейку	Пересчет на 36 атомов кислорода	Элемент	Атомные количества	Число атомов на гексагональную ячейку	Число атомов на ромбоэдрическую ячейку	Пересчет на 36 атомов кислорода
Si	0,0015	0,08	0,03	0,03	Mg	0,0067	0,36	0,12	0,11
Ti	0,7452	40,39	13,46	12,74	Ca	0,0114	0,62	0,21	0,20
Al	0,0058	0,31	0,10	0,10	Na	0,0384	2,08	0,69	0,66
$Fe^{+++}$	0,1388	7,52	2,51	2,37	K	0,0070	0,38	0,13	0,12
Nb	0,0102	0,55	0,18	0,17	Zr	0,0045	0,24	0,08	0,08
		48,85	16,28	15,41	Pb	0,0009	0,05	0,02	0,02
$Fe^{++}$	0,1389	7,53	2,51	2,38	TR	0,0699	3,79	1,26	1,20
Mn	0,0434	2,35	0,78	0,74			17,40	5,80	5,51
					O	2,1050	114,09	38,03	36,00

Состав лантаноидов в давидитах

Минерал и месторождение	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd
1. Давидит из Раднум Хилл, Австралия	48	29	1,3	1,7	2,2	0,9	1,2
2. То же	47	35	1,0	1,7	0,2	0,03	0,23
3. » »	47	35	0,8	1,4	0,2	0,03	0,23
4. » »	45	32	1,2	2,1	0,2	0,03	0,35
5. Давидит из Тетэ, Мозамбик	49	39	0,7	2,3	0,2	0,03	0,23
6. Давидит из Вишневыхгор, Урал	38	32	1,5	3,6	1,0	0,1	2,6
7. Уфертит, СССР	15	19,2	0,8	1,5	0,2	—	0,4
8. Давидит, СССР	4	3,7	—	—	—	—	0,1
9. Давидит, Норвегия, Тафтаг	22	32	2,4	2,8	<0,2	0,4	<0,1
10. Давидит, Аризона, США	25,5	23,5	0,6	2,5	0,3	—	0,5

Примечание. Лантаноиды в образцах 7, 8, 9 и 10, определены рентгено-спектральным химически. В образце уфертита (получен от К. Л. Волочковича) определено 11,73%  $TR_2O_3$  — вычислялся по разности  $\Sigma TR_2O_3 (La—Yb) - \Sigma (La—Lu)$ . Лантаноиды в обр. 8 определя-

лой давидита. Исходя из содержания отдельных химических компонентов в одной ромбоэдрической ячейке, А. Пабст дает для образцов 3, 4 и 5 следующую формулу:  $A_6V_{15}O_{36}$  или  $3(A_2V_5O_{12})$ , где  $A=Fe^{++}$ , TR, U, Ca, Mg, Th, а  $V=Ti, Fe^{+++}, Al, Si$ . В табл. 4 приведен расчет содержания отдельных элементов на ту же ячейку вишневогорского образца. Пересчет всех величин на 36 атомов кислорода приводит к формуле  $A_{5,51}V_{15,41}O_{36}$ . Если допустить незначительное перераспределение катионов в группах А и В (например,  $Fe^{++}$  и  $Fe^{+++}$ ), то в окончательном варианте она будет иметь вид:  $A_{5,92}V_{15}O_{36}$  или  $A_6V_{15}O_{36}$ .

Состав редких земель в давидите характеризуется аномальным лантановым максимумом (табл. 5). Впервые он установлен в двух образцах из различных участков месторождения Радий Хилл (Духоп, Wylie, 1951). Позднее эту особенность редких земель давидита из Австралии и Мозамбика подтвердили многочисленные анализы (Hayton, 1960). Подобный состав редких земель некоторые исследователи объясняют их упорядоченным расположением в структуре давидита (Butler, Hall, 1960; Butler, 1961). Образец из Вишневых гор также имеет лантановый максимум редких земель. Нами определены лантаноиды также и в образце из Аризоны. В связи с обсуждением этого вопроса нужно подчеркнуть, что в Вишневых горах лантановый максимум редких земель обнаружен лишь в двух минералах — давидите и гипергенном повеллите.

#### ВЫВОДЫ

1. Для образцов давидита из Вишневых гор (Урал) рентгенографическими методами установлена тригональная сингония (класс Лауэ  $\bar{3}$ ), определены параметры ячейки  $a=10,405 \pm 0,010$  А;  $c=20,88 \pm 0,02$  А и пространственная группа  $R\bar{3}$  или  $R3$ .

2. Химическая формула вишневогорского образца может быть представлена в виде  $A_6V_{15}O_{36}$ . Окончательный ее вариант может быть установлен лишь в результате полной расшифровки структуры.

3. Проведенное рентгенографическое исследование, а также данные химического состава однозначно устанавливают принадлежность изученных образцов к одному и тому же минеральному виду. Это положение полностью согласуется с выводами А. Пабста в отношении образцов

Таблица 5

из различных месторождений ( $\Sigma TR_2O_3 = 100\%$ )

Ть	Ду	Но	Ег	Ту	Уь	Лу	У	Молекулярный вес	Литературный источник
0,6	0,9	0,9	6,5	0,6	6,1	0,6	~14		Dixon, Wylie, 1951
0,23	1,7	0,2	1,7	0,2	1,7	0,3	~9	331	Hayton, 1960
0,17	1,4	0,2	2,3	0,3	2,2	0,3	~9	332	» »
0,23	2,1	0,3	2,3	0,2	2,2	0,5	~11	332	» »
0,12	0,7	0,2	0,6	0,1	1,2	0,3	~5	329	» »
0,4	3,0	0,7	2,4	0,4	2,3	0,4	~11	322	Новые данные
0,2	1,6	0,5	2,4	0,4	3,8	0,6	~44		» »
—	0,2	—	0,3	—	0,4	—	—		» »
0,2	1,6	0,55	2,5	1,2	9,5	1,7	~23		Neumann, Sverdrup, 1961
0,1	1,7	0,4	2,1	0,3	3,7	0,4	~40		Новые данные

методом Р. Л. Баринским. Лантаноиды из образцов 7, 9 и 10 предварительно выделялись в давидите из Аризоны определено 8,24%  $TR_2O_3$ , а из Норвегии 11,27%  $TR_2O_3$ . Иттрий лишь непосредственно из минерала.

из зарубежных месторождений, но находится в противоречии с утверждениями Н. И. Балашова и Ю. В. Казницына по поводу самостоятельности минералов уфертита и ферутита. Для всех имеющихся в настоящее время минералов этого семейства необходимо оставить одно название, а именно (в порядке приоритета) — давидит. Термины же «минерал из Мозамбика», «уфертит» и «ферутит» должны быть изъяты из употребления.

В заключение авторы благодарят профессора А. Пабста (Калифорнийский университет, Берклей, Калифорния, США), доктора Х. Неймана (Минералогический музей, Университет в Осло, Норвегия), Н. И. Балашова (ВИМС, Москва) и К. Л. Волочковича (ИМГРЭ, Москва) за предоставленные для изучения образцы минералов, а также В. Б. Александрова (ИМГРЭ) за дружескую помощь в работе.

#### ЛИТЕРАТУРА

- Балашов Н. И. Уфертит — новый минерал из группы давидита.— Бюлл. научно-техн. информ. Министерства геол. и охраны недр, № 2 (30), 1961.
- Гецева Д. В., Савельева К. Т. Руководство по определению урановых минералов. М., Госгеолтехиздат, 1956.
- Михеев В. И. Рентгенометрический определитель минералов. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Казницын Ю. В. О ферутите. Краткая аннотация сообщения на научной сессии Федоровского ин-та.— Записки Всес. мин. об-ва, ч. 83, № 4, 1954.
- Казницын Ю. В. Ферутит и давидит. В кн.: «Кристаллография». М., 1956.
- Соболева М. В. и Пудовкина И. А. Минералы урана. М., Госгеолтехиздат, 1957.
- Bannister F. A., Horne E. T. A radioactive mineral from Mozambique, related to davidite.— *Min. Mag.*, vol. 21, p. 101, 1950.
- Butler I. R. and Rosmary Hall. Chemical characteristics of davidite.— *Econ. Geol.*, vol. 55, N 7, 1960.
- Butler I. R. The constitution of davidite (discussion).— *Econ. Geol.*, vol. 56, N 2, 1961.
- Crook W. T. Chemical notes on davidite.— *Trans. Proc. Roy. Soc. S. Australia*, 40, 1916.
- Crook W. T., Black G. On carnotite and an associated mineral complex from S. Australia.— *Min. Mag.*, vol. 15, p. 71, 1910.
- Davidson C. F. and Bennet I. A. The uranium deposits of the Tete district, Mozambique.— *Min. Mag.*, vol. 29, p. 291, 1950.
- Dixon P., Wylie A. W. An unusual distribution of the lanthanous. *Nature*, vol. 167, 1951.
- Lawrence L. I. Uranium mineralization in the Cloncurry-Mt. Isa Area. *Proc. Royal Soc. Queensland*, vol. 66, N 5, 1954.
- Lawrence L. I., See G. T., McBride F., Hofer H. Davidites from the Mt. Isa-Cloncurry district, Queensland.— *Econ. Geol.*, vol. 52, N 2, 1957.
- Fleischer M. New Mineral Names. *Am. Min.*, vol. 43, N 3—4, 1958.
- Hayton I. D. The constitution of davidite.— *Econ. Geol.*, vol. 55, N 5, 1960.
- Mawson D. On certain new mineral species associated with carnotite in the radioactive ore body near Olary. *Trans. Proc. Roy. Soc. S. Australia*, vol. 30, 1906.
- Mawson D. Mineral notes. *Trans. Roy. Soc. S. Australia*, vol. 40, p. 262, 1916.
- Mawson D. The nature and occurrence of uraniferous mineral deposits in S. Australia. *Trans. Roy. Soc. S. Australia*, vol. 68, p. 334, 1944.
- Neumann H., Sverdrup T. L. Contributions to the Mineralogy of Norway. N 8. Davidite from Tuftan, Iveland. *Norsk. Geol. Tidsskrift*, b. 40, h. 3—4, 1960.
- Pabst A. X-ray crystallography of davidite Am.— *Min.*, vol. 45, N 5—6, 1961.
- Pabst A., Thomssen R. W. Davidite from the Quijotoa Mountains, Prima county Arisona.— *Bull. Geol. Soc. Amer.*, vol. 70, p. 2, N 12, 1959.
- Whittle A. W. G. The nature of davidite.— *Econ. Geol.*, vol. 54, N 1, 1959.
- Strunz G. *Mineralogische Tabellen*. Leipzig, 1957.