

Р. В. ГЕЦЕВА И С. А. ЗАВРАЖЬЕВ

**Руководство  
по определению  
урановых  
минералов**

Р. В. ГЕЦЕВА и К. Т. САВЕЛЬЕВА

РУКОВОДСТВО  
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ  
УРАНОВЫХ МИНЕРАЛОВ



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО  
ЛИТЕРАТУРЫ ПО ГЕОЛОГИИ И ОХРАНЕ НЕДР  
МОСКВА 1956

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Многообразие минеральных видов, образуемых ураном в природе, сложность и изменчивость химического состава и физических свойств при внешнем сходстве ряда минералов, вызывают значительные трудности при их диагностике. Эти трудности иногда не преодолимы даже с помощью химических анализов, так как не всегда удается выделить необходимое для надежных результатов количество минерала без примесей. Кроме того, для некоторых минералов, описанных в литературе, вообще не приводится точной характеристики химического состава.

Предлагаемое руководство составлено в основном в 1951—1952 гг. по материалам советских и зарубежных исследователей. Позднее оно было дополнено данными 1953 г., а по отдельным минералам, в том числе впервые описанным, также данными 1954—1955 гг.

Руководство состоит из двух частей: «Определитель» и «Описание минералов».

В начале определителя приводится систематика всех известных минералов урана и описываются их физические и химические свойства.

В связи с критическим подходом к материалам и уточнением в процессе проверки ряда опорных диагностических признаков, некоторые сведения по отдельным минералам, помещенные в данном руководстве, расходятся со сведениями, приведенными в других справочниках, даже в наиболее новых.

Происхождение многих минералов (водные окислы, отдельные силикаты урана) трактуется в руководстве в свете новых представлений, опирающихся на геолого-разведочные работы последних лет.

В списки минералов-спутников включены не все указанные в литературе, а только те минералы, которые связаны с данным урановым минералом по условиям образования или явились исходным веществом для его возникновения.

Для диагностики минерала не по системе данного определителя, а по какому-либо отдельному признаку, наблюдение которого доступно для исследователя, кроме сводных определительных таблиц, приводятся таблицы и диаграммы, характеризующие оптические свойства, люминесценцию, данные значения удельного веса, процентное содержание урана в минерале и таблицы рентгенометрических констант ( $d/n$ ,  $I$ ).

Сведения об урановых минералах, не охваченных сводными определительными таблицами (мало достоверные и недостаточно изученные минералы) даны в особых таблицах.

В определителе с различной детальностью приведено описание некоторых методик открытия и определения урановых минералов, частью дополненных и уточненных.

Из установленных в настоящее время 190 урановых и ураносодержащих минералов особо выделена группа наиболее достоверных минералов (113 видов), для которых составлен настоящий определитель и приведено краткое описание.

Определитель построен в форме сводных таблиц, составленных по принципу систематического подбора физических и физико-химических свойств, позволяющих последовательно разделять и большей частью однозначно определять минералы. Ведущее диагностическое значение принадлежит цвету минерала и отчасти цвету черты, по которым минералы разбиваются на четыре основные группы. Для каждой из этих групп подобраны свои руководящие диагностические признаки, благодаря чему в процессе диагностики исследователь освобождается от выполнения многих химических реакций и выявления целого ряда нехарактерных, трудно определяющихся или неясно выраженных признаков. Эти последние, выделяемые в рубрику «дополнительные признаки», в зависимости от имеющихся у исследователя возможностей позволяют в ряде случаев уточнить определение минерала.

Физические свойства, используемые в качестве дополнительных диагностических признаков, в процессе составления руководства не проверялись, и приведенные сведения о них заимствованы из различных источников. В случае противоречивости приводимых в них констант, выбирались те, которые относятся к минералам, охарактеризованным химическими анализами, или в крайнем случае к минералам, точно определенным с помощью других констант.

Во второй части настоящего руководства приводится описание 113 наиболее твердо обоснованных минералов урана, вошедших в сводные определительные таблицы. Изложенный здесь материал отражает в сжатой форме все необходимые сведения для диагностики и не претендует на подробную монографию по этим минералам.

Описание минералов расположено в порядке химической классификации А. Г. Бетехтина.

Приводимый в конце работы общий список литературы включает не все источники по тому или иному минералу, а лишь наиболее новые, где подытоживаются предыдущие исследования и содержатся более подробные списки литературы. В случае неполноты изложенных в этих работах сведений о минерале, читатель отсылается к более ранней литературе.

Авторы выражают глубокую признательность Ю. А. Арапову, В. В. Щербина, В. С. Карленко, В. А. Поликарповой и Ц. Л. Амбарцумян за ценные замечания по рукописи и особенно В. Г. Мелкову, консультировавшему авторов по основным вопросам минералогии урана.



*ЧАСТЬ ПЕРВАЯ*

СИСТЕМАТИКА И ОПРЕДЕЛИТЕЛЬ  
УРАНОВЫХ МИНЕРАЛОВ

## МИНЕРАЛЫ УРАНА, ИХ СИСТЕМАТИКА, КЛАССИФИКАЦИЯ И ПРОИСХОЖДЕНИЕ

Сложная геохимия урана — нахождение его в природе в формах  $U^{4+}$  и  $U^{6+}$ , неограниченный изоморфизм при высоких температурах четырехвалентного урана с торием, редкими землями, цирконием и кальцием, исключительная подвижность и легкая гидролизуемость в поверхностных условиях соединений шестивалентного урана, обуславливают многочисленность и сложность минералов урана.

В природе известны минералы, в состав которых уран входит в четырехвалентной форме, минералы, содержащие уран в шестивалентной форме, и минералы, содержащие как четырех-, так и шестивалентный уран.

Характерной особенностью всех этих минералов является принадлежность их исключительно к кислородным соединениям<sup>1</sup>. Последние характеризуются или относительно простой химической конституцией (окислы урана и тория, гидроокислы, карбонаты, уранилсиликаты, фосфаты, арсенаты, ванадаты, сульфаты), или представляют собой сложные соединения урана с многими другими элементами (торосиликаты, сложные окислы, содержащие титан, тантал и ниобий).

В настоящее время известны далеко не все минералы урана, и их список пополняется почти ежегодно. Выявлению и изучению урановых минералов не благоприятствуют условия нахождения их в природе (относительная редкость, малые количества, тесное взаимное прорастание), а также трудности диагностики. Этим же объясняется слабая изученность известных минералов, что, в свою очередь, отразилось на их систематике и классификации, требующих уточнения, а также и на отсутствии достаточно обоснованного списка урановых минералов.

Многие опубликованные списки наряду с достоверными минералами урана обычно включают и такие, существование которых вызывает сомнение или даже опровергнуто. Кроме того, многие открытые и описанные под разными названиями минералы не являются самостоятельными минеральными видами, а представляют собой разновидности или аналоги уже известных минералов.

Имеются тенденции под видом отдельных минералов выделять соединения, представляющие члены непрерывных рядов с постепенно меняющимися свойствами. Наконец, списки урановых минералов перегружаются также за счет минералов, в состав которых уран входит не постоянно, а лишь в качестве незначительной, подчас случайной примеси.

Если принять предельное минимальное содержание урана в гипогенных минералах сотые доли процента, а в гипергенных — тысячные доли процента и объединить сохранившиеся до сего времени во многих списках в качестве самостоятельных явно идентичные минералы урана, то можно выделить 190 известных минеральных видов и разновидностей, в состав

<sup>1</sup> В состав органических соединений уран входит, повидимому, также в форме окисла.

которых как основной компонент или примесь входит уран. По содержанию урана выделяются две группы минералов:

А. Урановые — уран является основным элементом или в значительном количестве изоморфно замещает Th, TR, Zr и другие элементы (144 минерала).

Б. Урансодержащие — уран присутствует непостоянно и обычно в качестве незначительной примеси (не менее 45 минералов).

## УРАНОВЫЕ МИНЕРАЛЫ

Урановые минералы, сообразно со степенью достоверности имеющих о них сведений, разделяются на четыре неравноценные группы:

1-я группа — минералы, вошедшие в литературу, но не подтвержденные дальнейшими исследованиями;

2-я группа — минералы, выделенные недостаточно обоснованно;

3-я группа — новые минералы, описанные в литературе без химических анализов;

4-я группа — виды и разновидности урановых минералов, достаточно изученные для их выделения.

### МИНЕРАЛЫ, ВОШЕДШИЕ В ЛИТЕРАТУРУ, НО НЕ ПОДТВЕРЖДЕННЫЕ ДАЛЬНЕЙШИМИ ИССЛЕДОВАНИЯМИ

1. Уранохальцит (uranochalcite)  $UO \cdot U_2O_3 \cdot CuSO_4 \cdot 2CaSO_4 \cdot 18H_2O$ .

2. Фоглианит (voglianite)  $2(3U_3O_4 \cdot 2SO_3) \cdot CaSO_4 \cdot 10H_2O$ .

3. Гуммит (gummite) водный силикат U, Pb и Ca.

Уранохальцит и фоглианит были описаны только Фоглем (Vogl) в 1856 г., как водные сульфаты уранила, меди и кальция. Однако Новачек (Novacek), занимаясь в 1935 г. специальным изучением вторичных минералов того же месторождения, не обнаружил этих минералов урана. Музейные образцы «уранохальцита», согласно его определению, оказались или купросколовскитом или минералами, не содержащими уран. За последние годы на том же месторождении, кроме иоганнита, также не обнаружено ни одного уранового сульфата, в состав которого входила бы медь.

Гуммитом называют оранжево-красные продукты изменения уранинита и настурана, непостоянного состава, в основном состоящие из  $UO_3$ ,  $PbO$ ,  $SiO_2$ ,  $H_2O$ . Дэна (Дена и др., 1951) применяет этот термин для продуктов конечных стадий окисления и гидратации уранинита, имеющих желтый, оранжевый, красный, коричневый и черный цвет, являющихся смесью окислов урана обычно с Pb, Th и относительно большим количеством  $H_2O$ .

Несмотря на то, что рядом исследователей отмечается неоднородность гуммита, а Скуп и Линмер (Schoep, Leepmer) еще в 1937 г., применив рентгеноструктурный анализ, вполне определенно доказали, что гуммит представляет собой смесь в основном кюрита и соддиита, название «гуммит» прочно вошло в литературу. Начало этому было положено в 1883 г., когда Г. Фуллон объединил под этим термином ранее существовавшие названия подобных минералов: гуммиэртц, элиасит, питтинит и корацит.

При проверке некоторых гуммитов в связи с проведением настоящей работы нам удалось из состава гуммитов, замещающих уранинит и настуран, выделить мономинеральные фракции оранжево-красного окисла — ториевый кюрит (см. стр. 179) при замещении уранинита и плотную разность обычного кюрита при замещении настурана. Желтая составляющая гуммитов, как показали анализы, является смесью силиката типа соддиита и уранофана, причем в первом случае в ней установлено около 10%  $ThO_2$ .

Таким образом, согласно приведенным данным, гуммит не является мономинеральным образованием, а представляет собой смесь минимум трех компонентов: при замещении уранинита — смесь ториевого кюрита и торийсодержащих силикатов, при замещении настурана — смесь кюрита и силикатов типа соддинита и уранофана.

Можно считать, что приведенных данных достаточно для того, чтобы уранохальцит, фоглианит и гуммит исключить из списка урановых минералов — первые два как не существующие, а третий как полиминеральную смесь.

#### МИНЕРАЛЫ, ВЫДЕЛЕНИЕ КОТОРЫХ ОБОСНОВАНО НЕДОСТАТОЧНО

- |                    |                  |
|--------------------|------------------|
| 1. Иттрогуммит     | 6. Ураномолибдит |
| 2. Ториевый гуммит | 7. Писекит       |
| 3. Торогуммит      | 8. Минерал Y     |
| 4. Меджидит        | 9. Хиблит        |
| 5. Эналит          | 10. Тоддит       |

Все эти минералы почти совершенно не изучены и сведения о них большей частью ограничиваются простым упоминанием о нахождении. В ряде случаев существование этих минералов вызывает сомнение, тем более, что находки их не повторялись. Некоторые из этих минералов (иттрогуммит, ториевый гуммит, торогуммит, тоддит), повидимому, являются полиминеральными смесями. По этой причине они не вошли в определитель, и данные о них сообщаются отдельно в табл. 3.

#### НОВЫЕ МИНЕРАЛЫ, ОПИСАННЫЕ В ЛИТЕРАТУРЕ БЕЗ ХИМИЧЕСКИХ АНАЛИЗОВ (1946—1955 гг.)

- |                                       |                            |
|---------------------------------------|----------------------------|
| 1. Смешанные урановые слюдки          | 10. Неогастунит            |
| 2. Водный уранофосфат висмута         | 11. Другмансит             |
| 3. Шелковистый сульфат-карбонат урана | 12. Умохоит                |
| 4. Масюит                             | 13. Водородный отенит      |
| 5. Вандендрисшеит                     | 14. Водородный ураноспинит |
| 6. Ришетит                            | 15. Коффинит               |
| 7. Дидерихит                          | 16. Абернатит              |
| 8. Студтит                            | 17. Калерит                |
| 9. Шуилингит                          | 18. Цералит                |

Состав этих минералов в литературе почти не охарактеризован. Также недостаточны сведения о их физических свойствах. Данные об этих минералах приводятся так же как и для предыдущей группы отдельно, в табл. 4.

#### УРАНОВЫЕ МИНЕРАЛЫ, ДОСТАТОЧНО ИЗУЧЕННЫЕ ДЛЯ ИХ ВЫДЕЛЕНИЯ

Эта группа охватывает наиболее достоверные урановые минералы, количество которых исчисляется 113 минеральными видами и разновидностями.

Необходимо, однако, отметить, что и эти минералы изучены не в одинаковой мере и соответственно в той или иной степени нуждаются в проверке и дополнительном исследовании. Следует также учитывать, что ряд таких минералов, как иттрокразит, иттроколумбит и некоторые другие сложные окислы, отнесен в группу урановых (а не урансодержащих) минералов в известной мере условно, так как каждый из них охарактеризован всего одним или двумя химическими анализами с невысоким (1,5—3%) содержанием урана. Также достаточно условно помещены в список

органические соединения (тухолит, карбуран, согренит), поскольку на примере тухолита установлено, что присутствие урана в них связано с микроскопическими включениями уранинита.

## СПИСОК УРАНОВЫХ МИНЕРАЛОВ

### I. Окислы

#### A. БЕЗВОДНЫЕ ОКИСЛЫ

##### 1. Безводные окислы урана

Настуран  $(U_{1-x}^{4+} U_x^{6+})O_{2+x}$  или  $UO_{2,16-2,70}$

Бесториевый уранинит  $(U_{1-x}^{4+} U_x^{6+})O_{2+x}$

Урановая чернь  $(U_{1-x}^{4+} U_x^{6+})O_{2+x}$  или  $UO_{2,70-2,92}$

##### 2. Безводные окислы урана и тория

Уранинит  $[(U^{4+}, Th)_{1-x} U_x^{6+}]O_{2+x}$ ;  $UO_2 : ThO_2 = 8,5-68$

Брэггерит  $[(U^{4+}, Th)_{1-x} U_x^{6+}]O_{2+x}$  — разновидность уранинита с содержанием  $ThO_2$  7,8—13,9%.

Клевеит  $[(U^{4+}, Th, TR)_{1-x} U_x^{6+}]O_{2+x}$  — разновидность уранинита с содержанием TR 2,24—15,01%

Алданит  $[(Th, U^{4+})_{1-x} U_x^{6+}]O_{2+x}$ ;  $UO_2 : ThO_2 = 0,20-0,26$

Торианит  $(Th, U)O_2$ ;  $UO_2 : ThO_2 = 0,05-0,20$

##### 3. Сложные безводные окислы, содержащие титан (титанаты)

Давидит  $AO_2?$  A = Ti, Fe, U, (Ce), Pb, Ca

Ферутит  $(Fe^{2+}, U, Ce)(Ti, Fe^{3+})_3(O, OH)_7$

Делоренцит  $(Y, U, Fe)(Ti, Sn?)_3O_8?$

Браннерит  $(U, Ca, Fe, Y, Th)_3Ti_5O_{16}$

Иттрокразит  $(Y, Th, U, Ca)_2(Ti, Fe, W)_4O_{11}?$

Лодочникит  $2(U, Th)O_2 \cdot 3UO_3 \cdot 14TiO_2$

Уфертит  $20FeO \cdot 8Fe_2O_3 \cdot 4TR_2O_3 \cdot UO_2 \cdot 74TiO_2$

##### 4. Сложные безводные окислы, содержащие Ta, Nb, Ti (танталониобаты и титанотанталониобаты)

###### а) Танталониобаты

Фергюсонит  $(Y, Er, Ce, U, Fe)(Nb, Ta, Ti)O_4$

Самарскит  $(Y, Er, Ce, U, Th, Fe)_4[(Nb, Ta)_2O_7]_3$

Кальциосамарскит  $(Ca, Y, Er, Ce, U, Th)_3(Nb, Ta, Fe)_5O_{15}?$

Плюмбониобит — сложный окисел или ниобат Y, U, Pb, Fe

Ишикаваит  $(U, Fe, Y, Er, Ce)(Nb, Ta)_2O_7?$

Обручевит  $3Na_2O \cdot 4(Ca, Fe)O \cdot 3Y_2O_3 \cdot (U, Th)O_2 \cdot 5(Ta, Nb)_2O_5 \cdot 20H_2O?$

Гиельмит — водный окисел или ниоботанталат Y, Fe, U и Ca

Ампангабеит  $(Y, Er, U, Ca, Th)_2(Nb, Ta, Fe, Ti)_7O_{18}?$

Иттротанталит  $(Fe, Y, Er, U, Ca)_4[(Ta, Nb)_2O_7]_3$ ; Ta > Nb

Иттроколумбит  $(Fe, Y, Ce, U, Th, Ca)_4[(Nb, Ta)_2O_7]_3$ ; Nb > Ta

Джалмаит  $(U, Ca, Pb, Fe)(Ta, Nb, Zr)_3O_9 \cdot nH_2O$

###### б) Титанотанталониобаты

Бетафит  $(U, Ca, Th, Y, Ce)(Nb, Ta, Ti)_3O_9 \cdot nH_2O?$

Самиресит  $(U, Pb, Ce)(Nb, Ta, Ti)_3O_9 \cdot nH_2O?$

Бломстрандит  $(U, Ca, Fe, Ce)(Nb, Ta, Ti)_3O_9 \cdot nH_2O?$

Гатчетголит  $(Ca, U, Fe)_2(Nb, Ta, Ti)_2O_6(O, OH)$

Менделеевит  $(U, Ca, Fe)_2(Nb, Ta, Ti)_2O_6(O, OH)$

Эльсвортит  $(U, Ca, Fe)_2(Nb, Ta, Ti)_2O_6(O, OH)?$   
 Хлопинит  $(Y, U, Th)(Nb, Ta, Ti, Fe)_2O_6?$   
 Бломстрандин  $(Y, Er, Ca, Th, U)(Ti, Nb)_2O_6$   
 Приорит  $(Y, Er, Ca, U, Th)(Ti, Nb)_2O_6$   
 Эвксенит  $(Y, Ce, Ca, U, Th)(Ti, Nb, Ta)_2O_6$   
 Поликраз  $(Y, Ce, Ca, U, Th)(Ti, Nb, Ta)_2O_6$   
 Виикит — сложный окисел или силико-титано-тантало-ниобат  $U, Y, Ca, Fe$ .

## В. ВОДНЫЕ ОКИСЛЫ (ГИДРООКИСЛЫ)

### 1. Водные окислы урана простые

Янтинит  $2UO_2 \cdot 7H_2O?$   
 Беккерелит  $\begin{cases} 3UO_3 \cdot 5H_2O \\ 3[(U, Pb)O_3] \cdot 5H_2O \end{cases}$   
 Эпиянтинит  $UO_3 \cdot 2H_2O$   
 Минерал X  $5UO_3 \cdot 9H_2O$   
 Параскупит  $5UO_3 \cdot 9\frac{1}{2}H_2O$   
 Скупит  $4UO_3 \cdot 9H_2O$   
 Гидронастуран  $(U_{1-x}^{4+} U_x^{6+}) O_{2+x} \cdot n H_2O, n=3-9$ ; или  $UO_{2,5,2,8} \cdot n H_2O$   
 Ургит  $UO_3 \cdot nH_2O; n = 1,7-3,1$

### 2. Водные окислы урана сложные (уранаты)

Биллетит  $BaO \cdot 6UO_3 \cdot 10-11H_2O$   
 Кюри́т  $2PbO \cdot 5UO_3 \cdot 4H_2O$   
 Фурмарьерит  $PbO \cdot 4UO_3 \cdot 5H_2O$   
 Ванденбрандеит  $CuO \cdot UO_3 \cdot 2-2,5H_2O$   
 Ураноферит  $Bi_2O_3 \cdot 2UO_3 \cdot 3H_2O$   
 Кларкеит  $(Na, K)_{2-2x}(Ca, Pb)_x U_2O_7 \cdot yH_2O$   
 Ториевый кюри́т  $2PbO \cdot ThO_2 \cdot 5UO_3 \cdot 6H_2O$

## II. Кислородные соли

### 1. Карбонаты и сульфат-карбонаты

#### а) Карбонаты

Рётзерфордин  $(UO_2)CO_3?$   
 Шарпит  $(UO_2)_6[CO_3]_6[OH]_2 \cdot 7H_2O$   
 Ураноталлит  $Ca_2(UO_2)[CO_3]_3 \cdot 8-11H_2O$   
 Фоглит  $2CaO \cdot CuO \cdot UO_3 \cdot 5CO_2 \cdot 6H_2O$   
 Байлеит  $Mg_2(UO_2)[CO_3]_3 \cdot 18H_2O$   
 Андерсонит  $Na_2Ca(UO_2)[CO_3]_3 \cdot 6H_2O$   
 Свартцит  $MgCa(UO_2)[CO_3]_3 \cdot 12H_2O$   
 Раббиттит  $Ca_3Mg_3(UO_2)_2[CO_3]_6[OH]_4 \cdot 18H_2O$

#### б) Сульфат-карбонаты

Шрёкингерит  $NaCa_3(UO_2)[CO_3]_3[SO_4]F \cdot 10H_2O$

### 2. Сульфаты

Уранопилит  $(UO_2)_6[SO_4][OH]_{10} \cdot 12H_2O$   
 $\beta$ -уранопилит  $(UO_2)_6[SO_4][OH]_{10} \cdot 5H_2O$   
 Циппеит  $(UO_2)_2[SO_4][OH]_2 \cdot 3-5H_2O$   
 Ураконит  $3UO_3 \cdot SO_3 \cdot 14H_2O?$   
 Иоганнит  $Cu(UO_2)_2[SO_4]_2[OH]_2 \cdot 6H_2O$

### 3. Молибдаты

Молуранит  $U_2^{4+}[MoO_4]_3[OH]_2 \cdot 10H_2O?$   
 Иригинит  $U_2^{6+}[MoO_4][OH]_4 \cdot 4H_2O$

#### 4. Фосфаты, арсенаты, ванадаты

##### а) Фосфаты

Лермонтовит  $(U^{4+}, Ca_2, TR)_3[PO_4]_4 \cdot 6H_2O$   
Фосфуранилит  $(UO_2)_3[PO_4]_2 \cdot 6H_2O$   
Отенит  $Ca(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 8-10H_2O$   
Ураношпатит  $Ca(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 12H_2O$   
Салеит  $Mg(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 8-10H_2O$   
Ураноцирцит  $Ba(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 8H_2O$   
Бассетит  $Fe(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 6-8H_2O$   
Фритчеит  $Mn(UO_2)_2[PO_4, VO_4]_2 \cdot 8H_2O?$   
Торбернит  $Cu(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 12H_2O$   
Метаторбернит  $Cu(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 8H_2O$   
Пржевальскийит  $Pb(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 4H_2O$   
Ренардит  $Pb(UO_2)_4[PO_4]_2[OH]_4 \cdot 7H_2O$   
Девиндит  $Pb_3(UO_2)_5[PO_4]_4[OH]_4 \cdot 10H_2O$   
Дюмонтит  $Pb_2(UO_2)_3[PO_4]_2[OH]_4 \cdot 3H_2O$   
Парсонсит  $Pb_2(UO_2)[PO_4]_2 \cdot H_2O$   
Сабугалиит  $NaAl(UO_2)_4[PO_4]_4 \cdot 16H_2O$

##### б) Арсенаты

Трөггерит  $(UO_2)_3[AsO_4]_2 \cdot 12H_2O$   
Ураноспинит  $Ca(UO_2)_2[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$   
Цейнерит  $Cu(UO_2)_2[AsO_4]_2 \cdot 10H_2O$   
Метацейнерит  $Cu(UO_2)_2[AsO_4]_2 \cdot 8H_2O$   
Вальпургит  $UO_3 \cdot 2Bi_2O_3 \cdot As_2O_5 \cdot 3H_2O$   
Новачекит  $Mg(UO_2)_2[AsO_4]_2 \cdot 8-10H_2O$

##### в) Ванадаты

Ферганиит  $(UO_2)_3[VO_4]_2 \cdot 6H_2O?$   
Уванит  $(UO_2)_2V_6O_{17} \cdot 15H_2O$   
Тюямунит  $Ca(UO_2)_2[VO_4]_2 \cdot 8H_2O$   
Раувит  $CaO \cdot 2UO_3 \cdot 6V_2O_5 \cdot 20H_2O?$   
Карнотит  $K_2(UO_2)_2[VO_4]_2 \cdot 3H_2O$   
Сенжьерит  $Cu_2(UO_2)_2[VO_4]_2[OH]_2 \cdot 9H_2O$

#### 5. Силикаты

##### а) Силикаты шестивалентного урана

Соддиит  $(UO_2)_5[SiO_4]_2[OH]_2 \cdot 5H_2O$   
Складовскит  $Mg(UO_2)_2Si_2O_7 \cdot 7H_2O$   
Уранофан  $Ca(UO_2)_2Si_2O_7 \cdot 6H_2O$   
 $\beta$ -уранофан  $Ca(UO_2)_2Si_2O_7 \cdot 6H_2O$   
Купроскладовскит  $Cu(UO_2)_2Si_2O_7 \cdot 6H_2O$   
Казолит  $Pb(UO_2)SiO_4 \cdot nH_2O; n = 1-1,6$   
Орлит  $Pb_3(UO_2)_3[Si_2O_7]_2 \cdot 6H_2O$

##### б) Силикаты тория и урана

Ураноторит  $(Th, U)SiO_4 \cdot nH_2O; n = 1-1,5$   
Майтландит  $(Pb, Ca)_2Th_3U_4^{4+}Si_8O_{32} \cdot 23H_2O$   
Макинтошит  $(Th, U)SiO_4 \cdot H_2O; Th : U = 3 : 1$  или  $2 : 1$   
Николайит  $(Pb, Ca)_2Th_3U_4^{6+}Si_8O_{36} \cdot 21H_2O$   
Пильбарит  $PbTh(UO_2)[OH]_2Si_2O_7 \cdot 3H_2O$

Ненадкевит  $\left\{ \begin{array}{l} 1. (U^{4+}, Y, Ce)U^{6+}(Mg, Ca, Pb)_2[SiO_4][OH]_{4-8} \cdot nH_2O \\ 2. (U^{6+}, Y, Ce)(Ca, Mg, Pb)_2[Si_2O_7][OH]_{4-3} \cdot nH_2O \end{array} \right.$

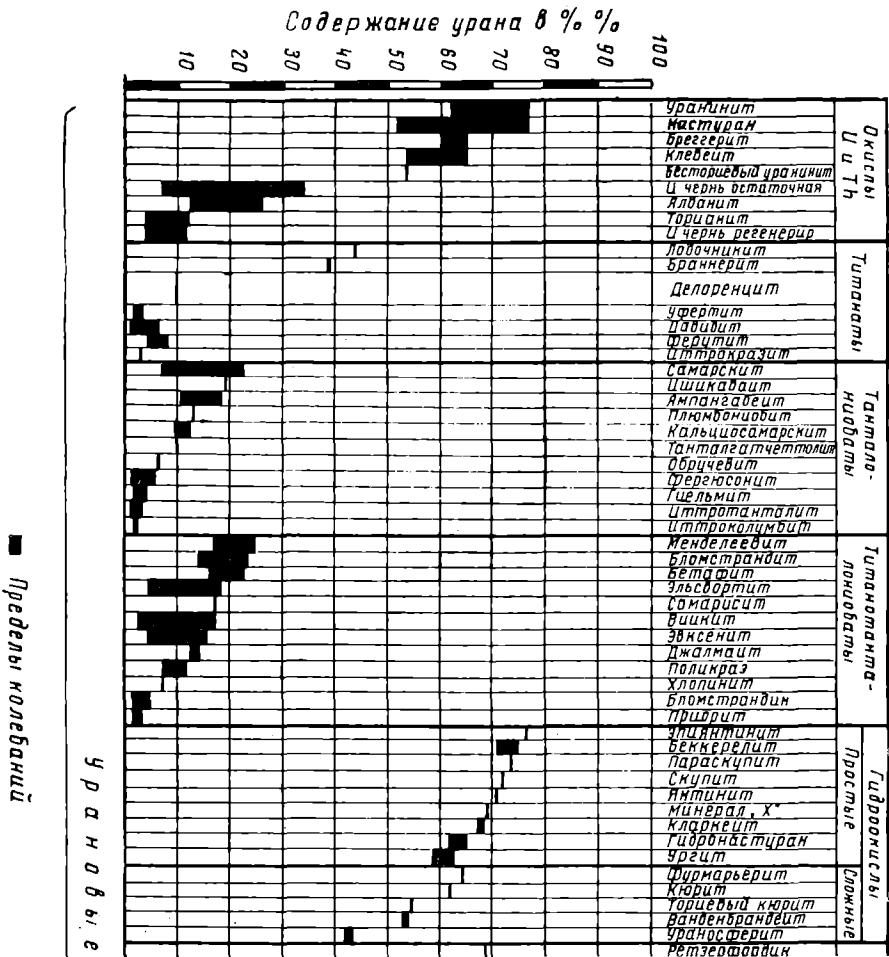
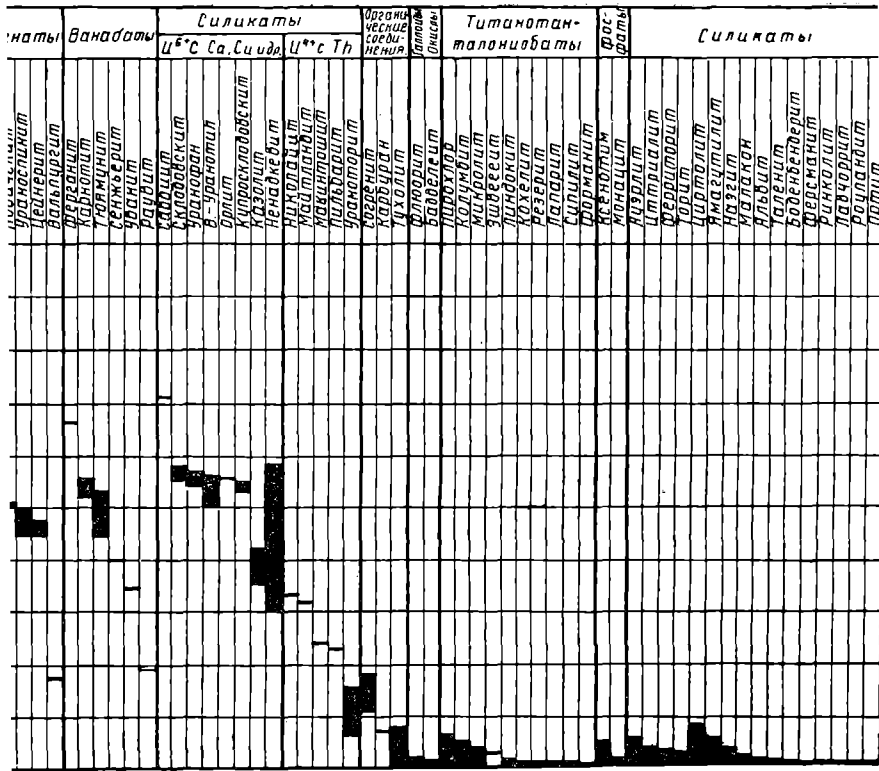


Рис. 1. Д)







Ураносодержащие  
минералы

и урансодержащие минералы, иногда являются источником некоторой концентрации урана в россыпях.

Возникающие такими путями различные генетические типы месторождений характеризуются определенными комплексами минералов.

#### МИНЕРАЛЫ МЕСТОРОЖДЕНИЙ ПЕГМАТИТОВОГО И ПНЕВМАТОЛИТОВОГО ТИПОВ

Урановая минерализация месторождений пегматитового типа, особенно пегматит-пневматолитовых образований и собственно пневматолитовых месторождений, отличается большим разнообразием и сложностью соединений, насчитывающих 39 минеральных видов и разновидностей (считая только наиболее достоверные минералы, вошедшие в определитель): уранинит, брёггерит, клеветит, торианит, алданит, ураноторит, макинтошит, майтландит, ненадквит, николайит, делоренцит, браннерит, иттрокразит, лодочникит, уфертит, давидит, джалмаит, фергюсонит, самарскит, кальциосамарскит, плюмбониобит, обручевит, ишикаваит, гиельмит, амлангабит, иттроколумбит, иттротанталит, бетафит, самиресит, блонстрандит, гатчеттолит, менделеевит, эльсвортит, хлопинит, блонстрандин, приорит, поликраз, эвксенит, виикит.

Для высокотемпературных пегматитов наиболее характерны окислы урана, всегда содержащиеся в своем составе изоморфные примеси тория и редких земель (уранинит, брёггерит, клеветит) и меньше окислы того же ряда, в которых торий преобладает над ураном (торианит, алданит): встречаются также титанаты и черные разности некоторых титанотанталониобатов. С пегматитами этого типа в основном связаны также цирконо-силикаты, торосиликаты и редкоземельные фосфаты, содержащиеся в своем составе уран в качестве примеси.

Урановые минералы низкотемпературных пегматитов и пневматолитовых месторождений представлены темно- и светло-окрашенными разновидностями титанотанталониобатов, титанатами, наиболее богатыми ураном представителями торосиликатов и цирконо-силикатов. Окислы урана менее характерны и представлены уранинитом, отличающимся от высокотемпературных уранинитов относительной сложностью кристаллографических очертаний, бедностью торием и редкими землями.

За немногими исключениями (бетафит, эвксенит, менделеевит, виикит, браннерит, эльсвортит), урановые минералы пегматитовых жил не имеют промышленного значения.

#### МИНЕРАЛЫ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Гидротермальные месторождения имеют наиболее важное промышленное значение среди других генетических типов месторождений урана. Для них характерно присутствие только двух гипогенных минералов урана из группы окислов — бесториевого уранинита и настурана, различающихся между собой морфологически (первый обладает кристаллическими формами, второй — внешне аморфный).

Бесториевый уранинит связан с наиболее высокотемпературными образованиями — скарнами (непромышленный тип), пневматогидротермальными кварцевыми жилами, метасоматическими месторождениями.

Настуран характеризует типичные гидротермальные жилы средних и низких температур.

#### МИНЕРАЛЫ ЗОНЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ГИДРОТЕРМАЛЬНЫХ И ПЕГМАТИТОВЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В минералогическом отношении, в соответствии с физико-химическим характером выветривания, составом первичных руд и вмещающих пород, резко выделяются два комплекса минералов, связанные с различными типами зон выветривания.

1. Минералы зоны выветривания, образующиеся при кислотном процессе выветривания, сопровождающемся значительным выносом и рассеиванием металла, представляют типично выраженную зону окисления (выщелачивания) и зону цементации гидротермальных месторождений урана, богатых сульфидами. Для нижней части зоны окисления (подзона частичного окисления) характерно развитие остаточных урановых черней как промежуточной стадии изменения настурана. В ряде месторождений наблюдаются также регенерированные черни, иногда фосфат четырехвалентного урана (лермонтовит), являющиеся индикаторами восстановительных (по отношению к верхней зоне с  $U^{6+}$ ) условий, характеризующих зону цементации или вторичного обогащения. Урановые черни, особенно остаточные, нередко являются рудой на уран, причем как правило, они незначительно уступают по своему промышленному значению рудам первичной зоны данного месторождения.

Минералы зоны окисления в ее верхней части — подзоне полного окисления (железная шляпа) представлены соединениями шестивалентного урана — фосфата, арсенатами и обычно небольшим количеством силикатов. Всего для этой зоны отмечено 24 вторичных минерала: фосфуранилит, отенит, ураношпатит, салейт, ураноцирцит, бассегит, фритчсит, торбернит, метаторбернит, пржевальскит, ренардит, девиндтит, дюмонтит, парсонсит, сабугалит, шрёкингерит, ураноспинит, цейнерит, метацейнерит, вальпургит, новачекит, уранофан, склодовскит, купросклодовскит.

Фосфаты и арсенаты имеют иногда практическое значение, представляя бедные сорта промышленных руд урана. В условиях земной поверхности они приобретают важное поисковое значение как самые характерные типоморфные минералы зоны окисления гидротермальных месторождений.

2. Минералы зоны выветривания, возникающие в щелочной среде, характеризуют своеобразную мало разубоженную зону окисления гидротермальных месторождений, относительно бедных сульфидами или залегающих в непосредственной близости от пород богатых нейтриторами (граниты, липариты, карбонатные породы). С этим же типом выветривания связывается окисление урановых минералов в пегматитах.

Наиболее характерной формой выделения урановых минералов при этом процессе являются псевдоморфозы по настурану и ураниниту, реже мелкокристаллические друзы в пустотах настурана.

Вторичные урановые минералы зоны окисления гидротермальных месторождений представлены здесь почти всеми минеральными видами группы водных окислов урана и большинством силикатов шестивалентного урана. Ниже уровня грунтовых вод в подзоне частичного окисления образуются янтинит и гидронастуран, в подзоне полного окисления — гидроокислы шестивалентного урана: беккерелит, эпиянтинит, бильтетит, скупит, параскупит, минерал X, кюрит, фурмарьерит, ванденбрандеит, ураносферит, ургит и уранилсиликаты, образующиеся за счет гидроокислов: соддиит (или землестый силикат типа соддиита),  $\beta$ -уранофан, казолит, орлит, уранофан. Всего в зоне окисления данного типа можно отметить 18 минеральных видов.

Скопления водных окислов и силикатов в верхних частях гидротермальных месторождений имеют не только поисковое, но и самостоятельное промышленное значение наравне с первичными рудами, поскольку они образуются на месте линз настурана без заметного выщелачивания металла.

Геолого-минералогическими наблюдениями последних лет в ряде гидротермальных месторождений установлено, что вблизи поверхности гидроокислы и силикаты шестивалентного урана в той или иной степени замещаются более молодыми уранофосфатами или ураноарсенатами, а гидронастуран ниже уровня грунтовых вод — чернями. В ряде же случаев зона окисления щелочного типа оказывается почти целиком разрушенной вследствие развития более молодого кислотного процесса, харак-

теризующегося образованием фосфатов и арсенатов урана. При этом такая стадийность развития зоны окисления связывается со сменой геохимического режима при неравномерном развитии эрозионного цикла.

#### МИНЕРАЛЫ ОСАДОЧНЫХ И ОСАДОЧНО-МЕТАМОРФОГЕННЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

В месторождениях этих типов, кроме особо сильно метаморфизованных, главная масса урана находится в рассеянном состоянии, будучи связана с органическим веществом, являвшимся осадителем урана при осадконакоплении и диагенезе. В виде обособившихся более или менее определенных соединений уран известен в органогенных известняках, различных песчаниках, углях, известково-глинистых и углистых сланцах, где он встречается в форме закиси-окиси урана типа остаточной черни, а на глубоких горизонтах — плотного окисла, определяющегося как настуран. Ураноносными, однако, без различаемой урановой минерализации (исключая минералы зоны окисления) являются также фосфориты, асфальтиты, скелеты рыб, скопления гуматов и углеродистого вещества в угольных пластах.

В сильно метаморфизованных месторождениях (метаморфогенный тип) известны минералы из группы титанатов, молибдатов и окислов, такие, как ферутит, молуранит, настуран.

#### МИНЕРАЛЫ ЗОНЫ ВЫВЕТРИВАНИЯ ОСАДОЧНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Зона выветривания месторождений осадочного типа в минералогическом отношении заметно отличается от зоны выветривания гидротермальных и пегматитовых месторождений. Она характеризуется развитием ванадатов, главным образом карнотита, иногда образующих скопления промышленного значения. Встречаются также отдельные карбонаты, сульфат-карбонаты, фосфаты, сульфаты и силикаты. Всего в этой зоне выделено 11 минералов шестивалентного урана: ферганит, уванит, тюямунит, рауцит, карнотит, сенджерит, ураноталлит, шрёкингерит, отенит, уранофан и шарпит. На более глубоких горизонтах, повидимому, ниже зоны активного водообмена, при разрушении первичных руд осадочных месторождений образуются урановые черни, как остаточные, так и регенерированные.

#### МИНЕРАЛЫ РОССЫПНЫХ МЕСТОРОЖДЕНИЙ

Из урановых минералов в россыпях встречаются лишь немногие представители минералов пегматитовых жил. Помимо относительно распространенного урансодержащего монацита, здесь известны торий-урановые окислы (уранинит, алданит, торианит), урансодержащие разности цирконосиликатов (наэгит, циртолит) и изредка танталониобаты (самарскит) и титанаты (браннерит, делоренцит). Настуран в россыпях обычно не накапливается, в условиях заполярного климата отмечена концентрация его на расстоянии нескольких километров от коренного гидротермального месторождения. В элювии и аллювиальных отложениях в непосредственной близости от размывающихся головных частей пегматитовых жил фиксируются также неустойчивые к выветриванию минералы группы титанотанталониобатов — хлопинит, фергюсонит, приорит, ампангабит, менделеевит, эшвегит, зерна которых в результате разрушения большей частью покрыты с поверхности осветленной «рубашкой».

Все перечисленные минералы не образуют сколько-нибудь крупных россыпных месторождений урана. Как источник добычи урана из россыпей можно отметить лишь урансодержащий монацит Мадагаскара.

#### МИНЕРАЛЫ, ОБРАЗУЮЩИЕСЯ В ГОРНЫХ ВЫРАБОТКАХ И ОТВАЛАХ

Особо должна быть отмечена группа легко растворимых обычно кратковременно существующих минералов, образующихся в горных вы-

работках, отвалах и штабелях руды. Эти минералы развиваются в условиях кислой среды при быстром испарении рудничных вод в депрессионных воронках, возникших при проходке горных выработок. Они отлагаются в виде налетов и корочек на стенках выработок как непосредственно на руде, так и за пределами рудных линз, на обломочном материале в закладке отработанных блоков, в отвалах и штабелях руды. Здесь чаще всего образуются сульфаты, сульфат-карбонаты и карбонаты. Всего среди них установлено двенадцать минералов: уранопилит,  $\beta$ -уранопилит, ципшеит, ураконит, иоганнит, фоглит, байлеит, андерсонит, свартцит, шарпит, ураноталлит и шрёкингерит. Последние три минерала известны также как продукты естественного разрушения руд, главным образом осадочных, в условиях жаркого сухого климата.

Сульфаты и карбонаты, легко различающиеся по яркой окраске и люминесценции, используются при ревизии гидротермальных месторождений на уран по отвалам и старым подземным выработкам.

## УРАНСОДЕРЖАЩИЕ МИНЕРАЛЫ

Ниже приводится список минералов, которые иногда содержат в своем составе примесь урана. В гипогенных минералах количество урана обычно не превосходит десятые доли процента, изредка доходит до нескольких процентов. В гипергенных урансодержащих минералах оно не более сотых, изредка десятых, долей процента.

### ГИПОГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ

Галлоидные соединения		U, %
Флюорит . . . . .		0—1,786
Окислы		
Бадделеит . . . . .		0—1
Ильменит . . . . .		0—1
Смирновит . . . . .		1,35
Колумбит . . . . .		0—4
Ризерит, кохелит, форманит, сипилит, (разновидности фергюсонита) . . . . .		0—0,97
Эшинит . . . . .		0—0,1
Микролит (помимо джалмаита) . . . . .		0—3,5
Лопарит . . . . .	0,03—0,05	
Пирохлор (помимо гатчеттолита) . . . . .		0—5,4
Линдокит (разновидность эвксенита) . . . . .	0,03—0,65	
Эшвегеит . . . . .		1,63
Фосфаты		
Монацит . . . . .		0—0,76
		иногда > 10
Ксенотим . . . . .		0—4,6
Апатит . . . . .		0—0,064
Силикаты		
Циркон с разновидностями (малакон, альвит, циртолит, наэ-гит, ямагутилит) . . . . .		0—4,2
Ортит . . . . .	0,009—2	
Таленит . . . . .		0—0,9
Роуландит . . . . .		0—0,5
Ринколит . . . . .	0,03—0,2	
Ловчоррит . . . . .	0,02—0,2	
Боденбендерит . . . . .		0,39
Ферсманит . . . . .		0,034
Сфен . . . . .		0—4,5
Торит, оранжит, гидроторит . . . . .		0—2,5
Ауэрлит . . . . .		0—5,7
Ферриторит . . . . .		0—2,38
Иттриалит . . . . .		0,7—3,3

## ГИПЕРГЕННЫЕ МИНЕРАЛЫ

Сульфиды	Форма нахождения урана
Халькозин	Механическая примесь регенерированной урановой черны
Окислы	
Опал	Мельчайшие включения минералов шестивалентного урана, сорбция
Гиалит	
Халцедон	?
Агат	
Псилометан-вад	Сорбция, мельчайшие включения урановых слюдок, регенерированных черной и других урановых минералов
Пирролизит	
Лимонит	
Карбонаты	
Кальцит	?
Сульфаты	
Гипс	?
Фосфаты	
Вивианит	?
Дельвоксит	?
Коллофан	?
Фосфат кальция типа фторапатита	Сорбция
Силикаты	
Галлуазит	Сорбция
Монтмориллонит	
Пальгорскит	?
Аллофан	?

Данный список, безусловно, не исчерпывает всех известных в природе минералов с примесью урана; в него включены только те минералы, для которых уран более или менее типичен. Особенно это касается гипергенных минералов, при образовании которых вблизи разрушающихся урановых месторождений исключительно сильно распространены явления сорбции урана, а также захвата мельчайших включений вторичных урановых минералов. Для лимонитов например верхний предел сорбции урана установлен в 0,04%, выше которого начинается соосаждение соединений железа и урана.

Как видно из приведенного списка и рис. 1, рассматриваемые минералы резко отличаются от собственно урановых минералов по низкому и непостоянному содержанию в них урана, что без труда фиксируется перловым люминесцентным анализом.

По своим свойствам, за исключением радиоактивности и в ряде случаев (гипергенные минералы) люминесценции, урансодержащие минералы ничем не отличаются от таких же минералов без примеси урана.

Иногда урансодержащие люминесцирующие минералы, особенно гиалиты, имеют важное поисковое значение. В последние годы выявлено также практическое значение минералов-сорбентов, в частности лимонитов как индикаторов урановой минерализации.

Перечисленные в списке урансодержащие минералы в дальнейшем тексте не рассматриваются.

Кроме урансодержащих минералов, выявляющихся по повышенной радиоактивности, известна большая группа радийсодержащих минералов, причиной активности которых является радий. По имеющимся аналитическим данным, содержание Ra в этих минералах не превосходит  $n \cdot 10^{-7}$  г/г. Среди них могут быть названы: радиокальцит, радиофлюорит, радиобарит, гокутолит, церуссит, пироморфит, вульфенит, лимонит, хризоколла, бирюза. Они в определителе не рассматриваются.

## НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКИХ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ УРАНОВЫХ МИНЕРАЛОВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ПРИ ИХ ОПРЕДЕЛЕНИИ

Урановые минералы обладают радиоактивностью и во многих случаях способностью люминесцировать. Эти их свойства, наряду с такими свойствами, как цвет, форма выделений, блеск, магнитность, твердость, удельный вес, растворимость и др., широко используются при диагностике. Ниже приводится краткая характеристика указанных свойств.

### РАДИОАКТИВНОСТЬ

Радиоактивность — свойство ядра атома урана, так же как тория, радия и других радиоактивных элементов, непрерывно и самопроизвольно распадаться с последовательным превращением в другие элементы.

Установлены три главных ряда радиоактивных превращений: 1) ряд урана, 2) ряд актиния и 3) ряд тория. В урановых минералах, помимо урана, как правило, имеются элементы его ряда, последовательно образующиеся в результате радиоактивного распада:  $U_I$ ,  $U_{X_1}$ ,  $U_{X_2}$ ,  $U_Z$ ,  $U_{II}$ ,  $Io$ ,  $Ra$  и его производные, заканчивающиеся  $RaG$  (радиогенный свинец).

С течением времени в урановых минералах между радиоактивными элементами ряда устанавливается так называемое радиоактивное равновесие, при котором число распадающихся в единицу времени атомов какого-либо радиоактивного элемента равно числу атомов этого же элемента, возникающих за единицу времени из материнского вещества (урана). При радиоактивном равновесии отношение весовых количеств каждого члена ряда к урану есть величина постоянная. В частности, отношение радия к урану при равновесии равно  $3,4 \cdot 10^{-7}$ . В соответствии с этим в минералогии радиоактивно-равновесными считаются такие минералы, в которых соблюдается указанное выше отношение радия к урану. Отсутствие равновесия в минерале указывает на избирательное выщелачивание урана или радия или на недавнее время образования минерала. Все геологически молодые вторичные минералы урана, особенно современные отложения сульфатов и карбонатов в горных выработках, радиоактивно неравновесны и содержат избыток урана по отношению к радю.

В процессе радиоактивного распада происходит выделение больших количеств энергии в форме различного рода излучений:  $\alpha$ -частиц,  $\beta$ -частиц и  $\gamma$ -лучей. Современные методы определения радиоактивности, в частности урановых минералов, базируются на измерении ионизации воздуха, производимой  $\alpha$ - и  $\beta$ -частицами и  $\gamma$ -лучами, а также — на прямом подсчете числа этих частиц.



В зависимости от того, какое излучение используется для измерения, различают  $\alpha$ -,  $\beta$ - и  $\gamma$ -методы. При этом на точность результатов большое влияние оказывает нарушение радиоактивного равновесия и наличие тория.

При избытке в минералах радия результаты радиометрического определения урана обычно бывают завышены по сравнению с результатами химического определения, а в случае недостатка — занижены.

Наибольшее искажение содержания получается при измерениях  $\gamma$ -методом, так как практически все  $\gamma$ -излучатели представлены в ряде уран — радий продуктами распада радия.

На результаты измерений  $\beta$ -методом сдвиг радиоактивного равновесия оказывает наименьшее влияние.

Содержание урана в неравновесных минералах и в минералах, содержащих примеси тория определяется с большой точностью комбинированным методом ( $\beta$ - $\gamma$ -метод).

При минералогических исследованиях радиометрические методы позволяют:

1) быстро производить оценку радиоактивности в минеральных соединениях урана, тория и радия, с выделением их из всех других существующих минеральных видов;

2) установить природу радиоактивности (уран, торий или радий) и выделить группы урановых, уран-ториевых, ториевых и радийсодержащих минералов.

### ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ

Под люминесценцией понимают свечение, испускаемое холодным (не раскаленным) веществом, в частности минералом, под влиянием внешних воздействий.

В зависимости от источника возбуждения различают катодолюминесценцию — явление свечения вещества под влиянием бомбардировки электронами, фотолюминесценцию — явление свечения вещества под влиянием поглощенной лучистой энергии ультрафиолетовых лучей и другие виды люминесценции.

По характеру свечения различают флуоресценцию и фосфоресценцию. Флуоресценция — люминесценция, прекращающаяся сразу после удаления источника возбуждения; фосфоресценция — люминесценция, продолжающаяся после удаления источника возбуждения.

Свойством люминесценции обладают многие минералы, в том числе и урановые.

Катодолюминесценция свойственна минералам урана и минералам других групп: алмазу, шеелиту, апатиту, флюориту, кальциту, кварцу и др.

Фотолюминесценция в зеленоватых тонах, наблюдаемая в ультрафиолетовых лучах длинных волн ( $\lambda \sim 300\text{—}400 \text{ м}\mu$ ), является характерным свойством урановых минералов, тогда как фотолюминесценция в коротковолновых ультрафиолетовых лучах, кроме урановых, распространяется также на ряд других минералов — шеелит, апатит, топаз, кальцит и др.

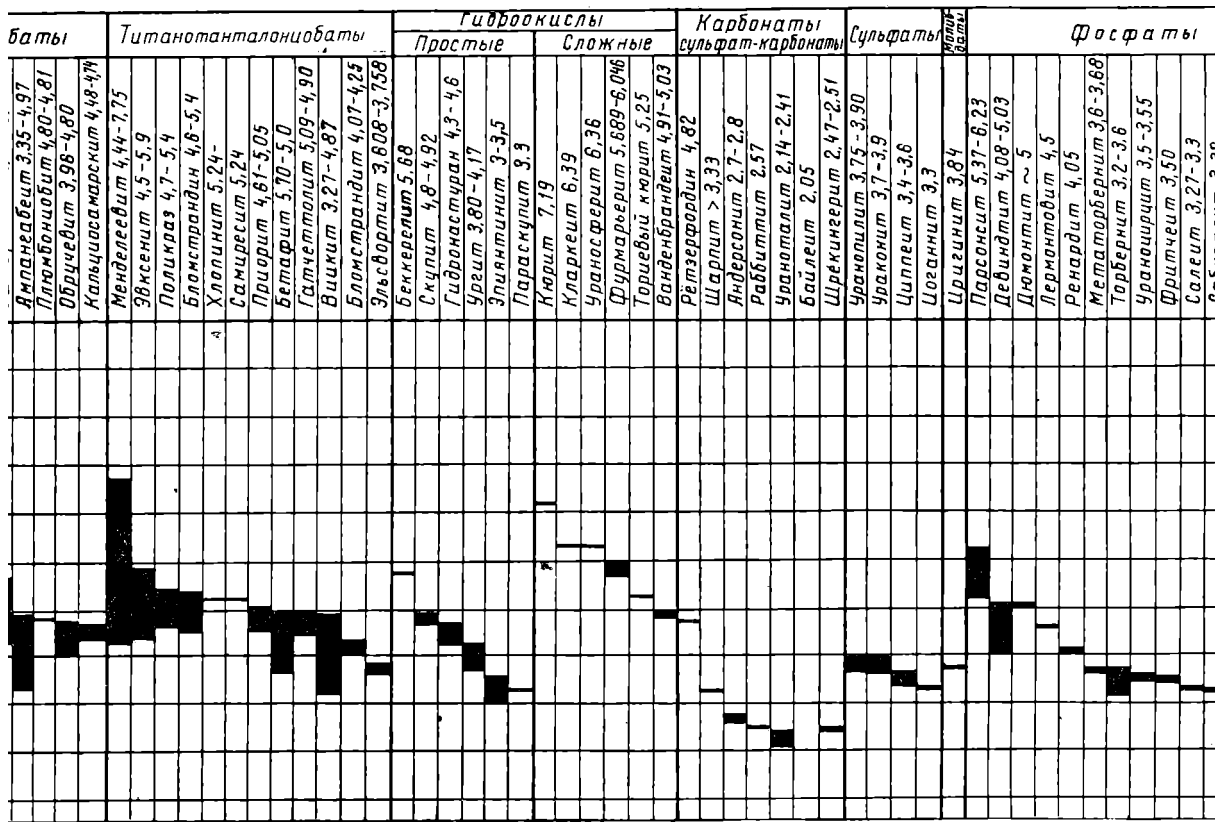
Из урановых минералов люминесцируют не все, а лишь соединения шестивалентного урана, в состав которых уран входит в форме уранила  $(\text{UO}_2)^{2+}$ , обладающего свойствами двухвалентного катиона. Однако не все минералы, содержащие уранил, люминесцируют, так как большое влияние на люминесценцию оказывают сопутствующие ему другие катионы и анионы.

Из элементов анионного комплекса люминесценцию гасят или значительно ослабляют кремний и ванадий, поэтому силикаты и ванадаты не люминесцируют или люминесцируют слабо. Карбонаты, сульфат-карбонаты, фосфаты, арсенаты и сульфаты люминесцируют отчетливо.

Влияние катионов на люминесценцию урановых минералов различно.

10  
9  
8  
7  
6  
5  
4  
3  
2  
1

Окислы U и Th	Титанаты	Танталониобаты	Титанотанталони
Уранинит 7,6-10,8			
Торанит 8,97-9,87			
Браззевит 6,89-9,62			
Алданит 8,648-8,92			
Клевейт 7,49-8,71			
Бесториевый уранинит			
Настуран 4,8-7,7			
Урановая чернь 3,1-4,8			
Урановая чернь реген 2,84-2,89			
Лодзинит 5,88			
Браннерит 4,5-5,43			
Цитрокразит 4,80			
Делоренит 4,7			
Лавидит 4,50			
Уфертит 4,33			
Ферутит 4,46			
Цишквандит 6,2-6,4			
Цитротанталит 5,5-5,9			
Цитроколуцит 5,5-5,9			
Цжалмаит 5,75-5,88			
Гивемит 5,26-5,82			
Ференсит 5,5-5,8			
Самарскит 4,48-5,69			
Ампагеабейт 3,35-4,97			
Люмбоницит 4,80-4,81			
Обручевит 3,98-4,80			
Кальциосамарскит 4,48-4,74			
Менделеевит 4,44-7,75			
Эвксенит 4,5-5,9			
Поликраз 4,7-5,4			
Блоксграндин 4,6-5,4			
Хлопинит 5,24			
Приорит 4,61-5,05			
Бетафит 5,70-5,0			



■ Пределы колебаний

Рис. 2. Диаграмма удельных весов

Фосфаты	Арсенаты	Ванадаты	Силикаты U <sup>6+</sup>	Силикаты тория, урана	Органические соединения
Циллеит 3,4-3,6					
Шоганнит 3,3					
Црицит 3,84					
Парсонсит 5,37-6,23					
Дебнитит 4,08-5,03					
Дюмонит ~ 5					
Лермондит 4,5					
Ренардит 4,05					
Метаторвернит 3,6-3,60					
Торбернит 3,2-3,6					
Ураноцирит 3,5-3,55					
Фритчеит 3,50					
Салейт 3,27-3,3					
Сабугалит 3,32					
Отенит 3,05-3,19					
Бассетит 3,1					
Фосфуранилит ~3,0					
Ураношлотит 2,5					
Вальдургит 5,64-5,80					
Цейнерит 3,27-3,7					
Ураноспитит 3,45					
Теггерит 3,23-3,30					
Метациейнерит 3,28					
Новачекит 3,25					
Карнозит 4,46					
Тюямунит 3,31-4,35					
Сеньерит ~ 4					
Ферганит 3,31					
Казолит 5,81-5,96					
Орлит 5,307					
Соддит 3,605-4,627					
В-ураноцит 3,95-4,08					
Уранофан 3,81-3,96					
Складовский 3,54-3,605					
Макинтошит 5,44-5,45					
Пильбарит 4,4-4,7					
Ураноторит 3,9-4,5					
Майландит 4,31-4,45					
Невадквит 3,5-4,81					
Николайит 4,13					
Соеренит 2,0-2,1					
Тухолит 1,57-2,00					
Карбуран 1,6					

Катионы  $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{K}^{+}$ ,  $\text{Ba}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  и  $\text{Al}^{3+}$  являются активаторами люминесценции. В присутствии их упомянутые группы химических соединений (карбонаты, сульфат-карбонаты, фосфаты, арсенаты и сульфаты) сильно люминесцируют. При этом, с увеличением атомного веса катиона, а также ионного радиуса и общей растворимости соединений, люминесценция ослабевает. Тяжелые катионы  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Pb}^{2+}$ ,  $\text{V}^{3+}$  являются гасителями люминесценции во всех урановых минералах.

Увеличение отношения  $\text{H}_2\text{O} : \text{UO}_3$  и  $\text{SO}_3 : \text{UO}_3$  в минералах влечет ослабление люминесценции до полного ее исчезновения.

Люминесценция урановых минералов обычно наблюдается в длинноволновых ультрафиолетовых лучах с  $\lambda \sim 300 - 400 \text{ м}\mu$ , при этом она характеризуется интенсивностью, цветом и строением спектра.

По интенсивности различают очень сильную, сильную, умеренную, слабую и очень слабую люминесценции. Спектр люминесценции характеризуется зелеными и желтыми тонами различных оттенков; строение спектра полосчатое; он характеризуется пятью полосами в желто-зеленой и частично голубой части спектра.

Люминесцентные свойства урановых минералов в ультрафиолетовых лучах длинных волн приведены на стр. 85. Как видно из этих данных, наряду с минералами, в состав которых входит четырехвалентный уран, люминесценция отсутствует у двадцати двух минералов шестивалентного урана, содержащих в своем составе, как правило, Pb, Cu, Mn, Fe или V.

Для пяти минералов люминесценция не выяснена, остальные вторичные соединения обнаруживают люминесценцию того или иного оттенка и интенсивности.

#### **ЦВЕТ**

Цвет минерала и отчасти цвет черты, зависящие от формы валентности входящего в их состав урана, а иногда от присутствия других элементов (Cu, Pb, Mn, Ta, Nb, Ti и др.), являются характерными признаками, позволяющими разделить урановые минералы на наиболее крупные группы.

Минералы, образованные одновременно четырех- и шестивалентным ураном (окислы) обычно черные или серые с черной и почти черной чертой. Минерал четырехвалентного урана (лермонтовит) имеет темный зеленовато-серый цвет. Минералы других редких элементов, содержащие в своем составе четырехвалентный уран (танталониобаты, титанаты, тории цирконосиликаты) обычно черные или темноокрашенные с цветной чертой. Минералы шестивалентного урана (гидроокислы, карбонаты, уранилсиликаты, фосфаты, арсенаты, ванадаты, сульфаты) ярко и светло окрашены в желтые, бурые, красные или зеленые тона различных оттенков.

#### **ФОРМА ВЫДЕЛЕНИЙ**

Форма выделений — облик кристаллов и характер агрегатов иногда имеют для урановых минералов важное значение в качестве руководящего диагностического признака, как группового, так и индивидуального.

Различают урановые минералы кристаллические (группа уранинит — торинит, гидроокислы, карбонаты, силикаты, фосфаты, арсенаты, ванадаты, сульфаты), метамиктные (торосиликаты, танталониобаты, титанотанталониобаты), аморфные и скрытокристаллические (настуран, хлопинит, урановые черни, ряд гидроокислов, некоторые силикаты и другие соединения).

Облик кристаллов как один из основных руководящих групповых признаков приобретает исключительно важное значение при диагностике темных и черных минералов урана. Среди них следует выделять, с одной стороны, более или менее удлиненно-призматические кристаллы ромбической или гексагональной сингоний и, с другой, кристаллы изометри-

ческих очертаний кубической сингонии. Пластинчатый и слюдоподобный облик кристаллов свойственны фосфатам, арсенатам и ванадатам (урановые слюдки). Игольчатая форма кристаллов характерна для силикатов и некоторых сульфатов. По облику кристаллов удастся отличить карбонаты от сульфат-карбонатов.

Характер агрегатов (вкрапленники, друзы, прожилки, корочки, пленки) до известной степени, так же как и облик кристаллов, способствует разделению урановых минералов, так как во многом зависит от особенностей их генезиса.

#### **БЛЕСК**

Блеск лишь для небольшой части минералов имеет руководящее значение при диагностике (ряд настуран — остаточные черни). Большинство же минералов урана обладает сходным блеском: первичные минералы — смоляным, алмазным и иногда жирным, вторичные, как правило, — стеклянным, реже восковым, перламутровым, матовым и редко (гидроокислы) алмазным.

#### **МАГНИТНОСТЬ**

Магнитные свойства, характерные для черных и темноокрашенных танталониобатов и большинства титанатов, дают возможность отделять их при помощи обычного электромагнита от группы немагнитных урановых минералов, в которую входят темноокрашенные гидроокислы, торо-силикаты и единичные представители титанатов.

Окислы урана, благодаря наличию примесей, практически все электромагнитны; фосфаты, арсенаты и остальные минералы шестивалентного урана магнитными свойствами не обладают.

#### **ТВЕРДОСТЬ**

Твердость, колеблющаяся у урановых минералов в весьма широких пределах (от 1 до 6—7), является дополнительным признаком, уточняющим определение того или иного вида. Лишь для группы окислов твердость приобретает руководящее значение, позволяя разделять настуран и остаточные черни, а также отражая различные стадии окисления настурана; при этом приближенное определение твердости при помощи эталонов десятибалльной шкалы Мооса должно быть заменено более точным измерением микротвердости с помощью микросклерометра.

#### **УДЕЛЬНЫЙ ВЕС**

Удельный вес хотя и является одной из наиболее твердых и надежных констант в минералогии, однако для большинства урановых минералов используется лишь как вспомогательный диагностический признак. Это отчасти объясняется тем, что значения удельных весов для сходных минералов перекрываются (группа титанатов, танталониобатов, силикатов, арсенатов и др.) и тем, что минералы более легко разделяются по другим признакам, требующим для своего определения значительно меньшего количества чистого материала.

Как руководящий диагностический признак, удельный вес используется для выделения органических соединений урана (тухолит, карбуран, согренит) из остальных черных минералов с черной чертой, причем проведения точных измерений с помощью пикнометра в этом случае не требуется.

Пределные колебания величины удельного веса урановых минералов показаны на рис. 2.

Наибольшие колебания величины удельного веса свойственны минералам непостоянного химического состава — окислам, танталониобатам и титанотанталониобатам. У окислов, как доказано специальными исследованиями, удельный вес находится в зависимости от степени окисленности

минерала, а у ниобатов он зависит от процентного содержания основных катионов и от степени гидратации минерала. У минералов шестивалентного урана, содержащих в своем составе цеолитную воду (фосфаты, ванадаты и др.) на значение удельного веса влияет главным образом количество воды (обратная зависимость).

Однако нужно иметь в виду, что, помимо указанных причин, показанные на рис. 2 колебания величины удельного веса для многих минералов, в известной мере находятся в прямой зависимости от количества имеющихся измерений удельного веса. В частности, полное отсутствие колебаний удельного веса, как правило, падает на минералы с единичными измерениями.

### **ОПТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА**

Оптические свойства, в частности светопреломление и угол погасания, как видно из определительных таблиц (III—IV), для многих прозрачных минералов урана являются руководящим признаком, позволяющим разбивать их на группы, или чаще выделять минералы однозначно (уранилсиликаты, фосфаты, арсенаты и др.).

Кроме того, для всех минералов, как прозрачных, так и непрозрачных, различные оптические свойства (для первых наблюдаемые главным образом в проходящем, для вторых — в отраженном свете) являются характерными константами, позволяющими проверять и уточнять диагностику минералов (дополнительные признаки).

### **РАСТВОРИМОСТЬ**

Растворимость урановых минералов имеет большое значение для их определения и анализа. В зависимости от формы валентности урана и кристаллохимических особенностей, урановые минералы по-разному реагируют с теми или иными растворителями, что используется при разделении их методом фазового анализа.

Относительно легкая растворимость главной массы урановых минералов в кислотах положена в основу простейших химических методов определения в них урана и других элементов, а также метода отпечатков.

При определении урановых минералов, в частности, при качественных химических реакциях, нужно учитывать следующие данные о растворимости минералов:

- 1) отдельные сульфаты (иоганнит) растворимы в воде;
- 2) сульфат-карбонаты (шрёкингерит) частично растворимы в воде и полностью растворимы в разбавленной (20%-ной) HCl на холоду с выделением пузырьков углекислоты;
- 3) карбонаты легко растворимы в разбавленной (20%-ной) HCl и других кислотах на холоду с выделением многочисленных пузырьков углекислоты;
- 4) простые и сложные гидроокислы урана растворяются в разбавленной (20%-ной) HCl при нагревании с выделением редких пузырьков хлора;
- 5) уранилсиликаты и торосиликаты разлагаются в разбавленной (50%-ной) HCl при нагревании с переходом урана и других металлов в раствор и выделением геля кремнезема;
- 6) ванадаты, сульфаты, фосфаты и арсенаты растворяются в разбавленных HCl и HNO<sub>3</sub> при подогревании;
- 7) окислы урана полностью растворяются только в крепкой HNO<sub>3</sub>;
- 8) титанаты, танталониобаты, титанотанталониобаты практически в кислотах нерастворимы (при длительном кипячении с H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> они частично разлагаются с поверхности); перевод их в раствор осуществляется сначала сплавлением с K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub>, KHSO<sub>4</sub>, NaF или KF, а затем в разбавленных кислотах.

# ТАБЛИЦЫ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНОВЫХ МИНЕРАЛОВ

## СТРОЕНИЕ СВОДНЫХ ОПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТАБЛИЦ И ОБЩИЙ ХОД СИСТЕМАТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ МИНЕРАЛОВ

Предлагаемые таблицы рассчитаны на работу с урановыми минералами, определение которых, при систематическом ходе анализа, доступно простыми методами минералогического исследования (внешние признаки, люминесценция, оптические и химические свойства и т. д.). Для проведения такого исследования достаточно выделить несколько, по возможности свободных, зерен минерала общим весом около 10 мг.

Тесно сросшиеся полиминеральные агрегаты с микроскопическими зёрнами урановых минералов, не поддающихся выделению, могут быть определены не в ходе систематического минералогического анализа, а оптическими методами с помощью таблицы оптических свойств или методом фазового химического анализа. Тонкодисперсные массы, в которых отсутствует видимая урановая минерализация, требуют более точных минералого-химических или других исследований. К урановым образованиям, нуждающимся в проведении специальных исследований для выяснения природы урана, относятся некоторые угли, битуминозные сланцы, асфальтиты, фосфориты.

Определительными таблицами не охвачены также минералы, в состав которых уран входит в качестве непостоянной и незначительной примеси, — так называемые урансодержащие минералы. Сведения о них в данном руководстве ограничиваются лишь списком этих минералов с указанием процентного содержания в них урана, а для гипергенных соединений также указанием люминесцентных свойств.

Общий ход определения урановых минералов обычными минералогическими приемами по системе, принятой в данном определителе, сводится к следующему:

1. Устанавливается радиоактивность штуфа (пробы, зерна) радиометрическим или радиографическим методом.

2. Выясняется природа радиоактивности комбинированным  $\beta$ - $\gamma$ -методом (U, Th или только Ra), или в подозреваемых на уран зернах определяется непосредственно уран по фотолюминесценции в штуфе (для части минералов  $U^{6+}$ ), в перле NaF (все минералы урана), по отпечатку (кроме танталониобатов и титанатов) или химической реакции.

3. После установления принадлежности радиоактивного минерала к урановым соединениям, выделяют его для минералогических исследований; в случае необходимости, из зерен руды или породы изготовляют прозрачные и полированные шлифы<sup>1</sup>, проверяют чистоту материала под бинокулярной лупой, люминескопом и микроскопом. При этом, в случае микроскопических сростаний испытуемого минерала с другим, также неизвестным минералом (включения и др.), изготовляют радиографию шлифов или зерен. Если минерал хорошо обнажен (мономинеральные корочки и др.), то наблюдения внешних признаков и ряд свойств производится непосредственно в штуфе.

4. Если в ходе качественного определения выясняется малое количество урана, производят количественное определение его (с помощью перла или др.) для отнесения минерала к собственно урановым или урансодержащим соединениям. Последние определяются так же, как их разности, не содержащие уран, по любому минералогическому справочнику.

5. Выделив урановый минерал, приступают к его определению с помощью таблиц I—IV.

В основу сводных определительных таблиц положена систематика некоторых наиболее характерных и доступных для наблюдения физиче-

<sup>1</sup> При изготовлении шлифов необходимо учитывать, что многие вторичные минералы при этом могут потерять часть воды и изменить свои свойства.



ских и химических свойств минералов, а также и других их свойств, которые служат в качестве дополнительных диагностических признаков.

По руководящим признакам урановые минералы разбиты на ряд крупных групп, которые, в свою очередь, последовательно разделены на все более и более мелкие подгруппы, в конце концов состоящие из одного или нескольких минеральных видов. По дополнительным признакам, определяемым подобно с имеющимися в данной лаборатории возможностями, производится проверка и уточнение определения минерала, проведенного по руководящим диагностическим признакам.

Руководящими признаками для урановых минералов прежде всего является цвет минерала, в зависимости от которого и отчасти от цвета черты, они разделяются на четыре основные группы. Каждой группе соответствует самостоятельная таблица (I, II, III, IV).

В основу каждой из этих групп минералов положены свои руководящие диагностические признаки, которые позволяют вначале разбить минералы на укрупненные группы, далее на более мелкие и, наконец, при помощи наиболее характерных свойств выделять минералы однозначно или в относительно малочисленные группы.

Для черных и серых минералов с черной и почти черной чертой (табл. I) руководящими признаками являются: уд. вес, по которому минералы разбиты на две неравноценные группы, блеск и форма выделений, способность давать отпечаток, процентное содержание урана, твердость, присутствие Ta и Nb.

Для черных с цветной чертой и темноокрашенных минералов (табл. II и III) первым основным признаком является магнитность, вторым — присутствие или отсутствие Ta и Nb; третьим — отсутствие или примерное содержание титана (очень много — около 50%  $TiO_2$  — содержание, характерное для титанатов; много т. е.  $>5\%$  и мало, т. е.  $<5\%$ ) и четвертым — облик кристаллов и форма агрегатов. Наиболее характерными признаками, позволяющими проводить дальнейшее деление групп или, в худшем случае, подтверждать предыдущее деление по морфологическим признакам, являются: растворимость, реакция на  $SiO_2$  или процентное содержание урана. Поскольку табл. I и II охватывают основную массу наиболее трудно диагностируемых танталониобатов, последние при помощи совокупности указанных руководящих признаков, как правило, разделяются не однозначно, а на группы по 3—6 минералов.

Для ярко- и светлоокрашенных минералов, сведенных в табл. IV, после разбивки их на шесть более мелких подгрупп по цвету, используется прежде всего свойство люминесценции (фотолюминесценция). С учетом цвета и интенсивности люминесценции многочисленные практически неразличимые минералы каждой подгруппы сразу разбиваются на ряд более мелких подгрупп. Следующим необходимым этапом, обеспечивающим дальнейшую разбивку по химическому признаку, является определение в минерале тех или иных анионов, указанных в соответствующей графе для данной подгруппы. Из других характерных свойств в качестве руководящих, в каждом отдельном случае используются: катионы, оптические свойства и, в редких случаях, облик минерала.

6. При пользовании таблицами для отнесения анализируемого минерала к тому или иному минеральному виду или группе, в общем случае достаточно проводить последовательное определение всех тех констант, которые указаны в рубрике «руководящие диагностические признаки». При этом нужно иметь в виду, что выпадение отдельных признаков подтверждается другим групповым признаком, помещенным в следующей графе (по вертикали), или приводит к укрупнению групп. Для пояснения этого можно привести следующие примеры:

а) в случае затруднения в разделении уранинита и черного самарскита (табл. I) по форме кристаллов, они хорошо различаются по следующему признаку — отпечатку или реакции на Ta и Nb;

б) при отсутствии возможности определить облик кристаллов черных танталониобатов с высоким содержанием титана (табл. II), в самом неблагоприятном случае минералы из четырех групп этой таблицы (21, 22, 23 и 24) объединяются в одну группу из девяти названий.

7. После отнесения испытуемого минерала к определенному виду или группе по руководящим диагностическим признакам, помещенным в таблицах перед названием минералов, необходимо, сообразно с имеющимися у исследователя возможностями, проверить и уточнить диагностику минерала по дополнительным признакам, указанным в таблицах после названия минералов. Подробные сведения о минерале исследователь может получить во второй части руководства.

Из 113 минералов, рассматриваемых в данном определителе, при условии использования всех указанных в таблицах руководящих диагностических признаков, в 80 случаях минералы определяются однозначно и в 33 случаях объединены в группы из двух или нескольких названий. В ряде случаев, при наличии возможности точного определения оптических констант, удельного веса, сингонии минерала и других дополнительных диагностических признаков, удается производить дальнейшее разделение групп и иногда выделять минерал однозначно.

Ход определения минерала с помощью определительных таблиц иллюстрируется следующими примерами.

1 п р и м е р. Минерал из электромагнитной фракции шлиха, обнаруживающей радиоактивность.

Отделенный от сопутствующих компонентов (колумбит, элидот, гранат, ксенотим и др.) минерал показывает высокую активность. Навеска 0,2 г дает 900 импульсов в минуту (по измерению  $\beta$ -методом). На основании химической реакции в минерале устанавливается наличие урана. Далее урановый минерал подвергается определению по таблицам с помощью руководящих диагностических признаков.

По черному цвету и цветной черте минерал попадает в табл. II в которой объединены в 15 группах (с 13 по 27) 29 минералов. По электромагнитности минерала число групп, в одну из которых он должен попасть, сокращается до 10 (с 18 по 27), а число минералов до 24. Наличие Nb и Ta в минерале позволяет сузить число групп до 6 (с 22 по 27), а число минералов до 18. По высокому содержанию в минерале  $TiO_2$  остаются только 4 группы (с 22 по 25), в которых объединено 9 минералов.

Наличие среди отобранных зерен кристаллов с формами куба и додекаэдра позволяет отнести минерал к группе 25 (группа кубических титанотанталониобатов), состоящей из четырех минералов: бетафита, блонстрандита, эльсвортита и менделеевита.

Далее при помощи других (дополнительных) признаков удается определить минерал более точно. Так как уд. вес исследуемого минерала  $> 4,2$  (тонет в жидкости Клериче), он уже не может быть эльсвортитом, уд. вес которого 3,7. Следовательно, в группе 25 остается для определения три минерала, но присутствие в исследуемом минерале марганца указывает на то, что из числа возможных названий отпадает бетафит, не содержащий в своем составе Mn, а по резкому преобладанию в минерале Nb над Ta отпадает блонстрандит, у которого  $Nb_2O_5$  и  $Ta_2O_5$  содержатся практически в одинаковых количествах. Таким образом, исследуемый минерал определяется как менделеевит.

Другие дополнительные свойства, как сильный блеск, средняя твердость (4,5), кремовые «рубашки», подтверждают правильность определения минерала.

2 п р и м е р. Минерал желтый образует корочки на лимонитизированной породе (кварцево-мусковитовом сланце). Штуф радиоактивный.

По фотолюминесценции устанавливается принадлежность минерала к группе урановых соединений. Согласно яркой окраске, его следует оп-

ределять по табл. IV, объединяющей в 80 группах (с 38 по 117) 83 минерала. Цвет минерала позволяет число минеральных групп, в одну из которых он входит, сократить до 37 (всего 37 минералов), объединяющихся по цвету как «Желтые (золотистый, соломенный, лимонный и зеленоватый оттенки)». Люминесценция минерала сильная желтовато-зеленая (типа отенита) дает возможность сократить число групп до 6 (с 64 по 69) — 6 минералов. По наличию в минерале иона  $SO_4^{2-}$  он может относиться только к группе 69, представленной уранопилитом.

Другие характерные свойства, указанные в рубрике руководящих диагностических признаков, в частности оптические:  $N_g = 1,631—1,634$  угол погасания  $15—18^\circ$ , а также дополнительные признаки: уплощенно-игльчатая форма кристаллов и радиально-лучистое строение агрегатов подтверждают правильность определения исследуемого минерала.

В определительных таблицах (даны на отдельных листах) минералы распределены по следующим руководящим диагностическим признакам:

Т а б л и ц а I. Минералы черные и серые с черной, почти черной и серой чертой

Уд. вес.  $> 2,8$

Уд. вес.  $< 2,2$

Т а б л и ц а II. Минералы черные с цветной чертой

Неэлектромагнитные

Электромагнитные

Без Ta и Nb

C Ta и Nb

Т а б л и ц а III. Минералы темноокрашенные

1. Коричневые, бурые и зеленовато-бурые

Неэлектромагнитные

Электромагнитные

2. Зеленые

Неэлектромагнитные

Т а б л и ц а IV. Минералы ярко и светлоокрашенные

1. Красные и оранжево-красные

Люминесценция отсутствует

Люминесценция не выяснена

2. Коричневые, бурые, желтовато- и зеленовато-бурые

Люминесценция отсутствует

3. Оранжево-красновато- и буровато-желтые

Люминесценция очень слабая грязножелтовато-зеленая

Люминесценция отсутствует

Люминесценция не выяснена

4. Желтые (золотистый, соломенный, серый, лимонный и зеленоватый оттенки)

Люминесценция очень сильная голубовато-зеленая

Люминесценция сильная желто-зеленая

Люминесценция умеренная желтая

Люминесценция слабая буровато-желтая

Люминесценция слабая голубовато-зеленая

Люминесценция очень слабая грязножелтовато-зеленая

Люминесценция отсутствует

Люминесценция не выяснена

5. Желтовато-зеленые

Люминесценция очень сильная голубовато-зеленая

Люминесценция сильная голубовато-зеленая

Люминесценция сильная желто-зеленая

Люминесценция слабая голубовато-зеленая

Люминесценция не выяснена

Люминесценция отсутствует

6. Изумрудно-, голубовато- и травяно-зеленые

В отношении минералов урана, которые не удастся диагностировать с помощью определительных таблиц, несмотря на определение всех необходимых диагностических признаков, следует обратиться к таблицам свойств урановых минералов, не вошедших в определитель (табл. 1, 2, 3, 4), или подвергнуть минерал детальному химико-минералогическому изучению.

ДАнные для Определения Урановых Минералов

Оптические константы

А. Минералы прозрачные и

N	Минерал и его формула	Сингония, облик
1	2	3
1,617	Николайит (Pb, Ca) <sub>2</sub> Th <sub>3</sub> U <sub>4</sub> <sup>6+</sup> Si <sub>8</sub> O <sub>38</sub> · 2H <sub>2</sub> O	Аморфный
1,618—1,635	Ненадкевит (светлоокрашенная разновидность) (U <sup>6+</sup> , Y, Ce) (Ca Mg Pb) <sub>2</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ] [OH] <sub>4-8</sub> · n H <sub>2</sub> O	Призматический
1,656—1,705	Ургит UO <sub>3</sub> · nH <sub>2</sub> O n = 1,7—3,1	Аморфный
1,710	Ураноторит (Th, U) SiO <sub>4</sub> · nH <sub>2</sub> O n = 1—1,5	Тетрагональная Призматический, дипирамидальный
1,715—1,780	Гидронастуран (U <sub>1-x</sub> <sup>4+</sup> U <sub>x</sub> <sup>6+</sup> ) O <sub>2+x</sub> · n H <sub>2</sub> O; n = 3—9; или UO <sub>2,5-2,8</sub> · n H <sub>2</sub> O	Аморфный
1,716—1,781	Ненадкевит (черная разновидность) (U <sup>4+</sup> , Y, Ce)U <sup>6+</sup> (Mg Ca Pb) <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] [OH] <sub>4-8</sub> · nH <sub>2</sub> O	Призматический
1,730—1,760	Пильбарит Pb Th (UO <sub>2</sub> ) [OH] <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> · 3H <sub>2</sub> O	Аморфный
1,770	Макинтошит (Th, U) SiO <sub>4</sub> · H <sub>2</sub> O; Th : U = 3 : 1 или 2 : 1	Тетрагональная Призматический
1,786	Ториевый кюрит 2PbO · ThO <sub>2</sub> · 5UO <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Аморфный
1,800—1,860	Ампангабеит (Y, Er, U, Ca, Th) <sub>2</sub> (Nb, Ta, Fe, Ti) <sub>7</sub> O <sub>18</sub> ?	Ромбическая Призматическая
1,870—2,000	Виикит—сложный окисел или силикотитанотанталониобат U, Y, Ca, Fe	Ромбическая Призматический, Аморфный

## урановых минералов

## полупрозрачные изотропные

Проходящий свет		Отраженный свет	Примечание
Цвет	Явления анизотропии	Цв., отр. способность (R), вн. рефлекс, микротв.	
4	5	6	7
—	—	—	—
Желтый, зелено- вато-желтый	Агрегационная по- ляризация Аномальная интер- ференционная окра- ска в изумрудно-зе- леных тонах	Серый $R \ll R$ настурана — —	Метамиктный
Лимонно-желтый до желто-бурого	Очень часто агрега- ционная поляриза- ция. Кристалличе- ские индивиды дву- осны: $Nq = 1,669-1,680$ , $Np = 1,647-1,657$	—	Преобладают изо- тропные участки
—	—	—	Метамиктный
Бутылочно-зеле- ный, зеленовато- бурый	Местами слабоанизо- тропный	Серый 7—11,4% Буровато-желтые 87—263 кг/мм <sup>2</sup>	—
Темнобутылочно- зеленый	Иногда анизотроп- ный	Серый $R \ll R$ настурана — —	Метамиктный
—	—	—	—
—	—	—	Метамиктный
Красновато-жел- тый	Местами слабо ани- зотропный, иногда с аномальной интер- ференцией	— — — 263—292 кг/мм <sup>2</sup>	
Буро-желтый, от темного до свет- ло-зеленого	—	Серый Средняя Красновато-коричневые до желтых	Метамиктный
От темнобурого до светлозелено- вато-бурого	—	Серый Слабая Коричнево-серые, коричнево- желтые	»

N	Минерал и его формула	Сингония, облик
1	2	3
1,890	Эльсвортит (U, Ca, Fe) <sub>2</sub> (Nb, Ta, Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O, OH)?	Кубическая Октаэдрический
1,895—1,925	Бетафит (U, Ca, Th, Y, Ce) (Nb, Ta, Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> · nH <sub>2</sub> O?	Кубическая Октаэдрический, ромбо- додекаэдрический, таблит- чатый
1,920—1,960	Самиресит (U, Pb, Ce) (Nb, Ta, Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> · nH <sub>2</sub> O?	Кубическая Октаэдрический
1,970	Джалмаит (U, Ca, Pb, Fe) (Ta, Nb, Zr) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> · nH <sub>2</sub> O	Кубическая Октаэдрический
1,970—1,980	Молуранит U <sub>2</sub> <sup>4+</sup> [MoO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub> [OH] <sub>2</sub> · 10H <sub>2</sub> O (?)	?
1,980—2,100	Гатчеттолит (Ca, U, Fe) <sub>2</sub> (Nb, Ta, Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O, OH)	Кубическая Октаэдрический
2,015—2,095	Кальциосамарскит (Ca, Y, Er, Ce, U, Th) <sub>3</sub> (Nb, Ta, Fe) <sub>5</sub> O <sub>15</sub> ?	Ромбическая Призматический
2,060—2,190	Фергюсонит (Y, Er, Ce, U, Fe) (Nb, Ta, Ti)O <sub>4</sub>	Тетрагональная Призматический
2,060—2,200	Эвксенит (Y, Ce, Ca, U, Th) (Ti, Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Ромбическая Призматический
2,100—2,250	Самарскит (Y, Er, Ce, U, Th, Fe) <sub>4</sub> [(Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ] <sub>3</sub>	Ромбическая Призматический
~2,100—2,150	Иттротанталит (Fe, Y, Er, U, Ca) <sub>4</sub> [(Ta, Nb) <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ] <sub>3</sub> Ta > Nb	Ромбическая Плотный, иногда призма- тический
2,120—2,150	Иттрокразит (Y, Th, U, Ca) <sub>2</sub> (Ti, Fe, W) <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ?	Ромбическая
>2,100	Лодочникит 2(Y, Th)O <sub>2</sub> · 3UO <sub>3</sub> · 14TiO <sub>2</sub>	—

Цвет	Проходящий свет		Отраженный свет		
	Явления анизотропии		Цв. отр. способность (R), вн., рефлекс, микротив.		
4	5		6		7
—	—		Серый Средняя Серовато-желтые до свет- локоричневых		Метамиктный
Светложелтый до бесцветного	—		—		»
—	—		—		»
—	—		—		»
—	—		Немного ниже 11,7%		»
Буро-красный до красновато- желтого	—		Серый Средняя Темнокрасные, красновато- коричневые		»
Коричневатый	—		—		»
От светло- до темнобурого	Некоторые образ- цы		Кремово-серый Хорошая Красновато-коричневые		»
Коричнево-бу- рый до светло- желтого, почти бесцветного	—		Кремово-серый 12—15% Слабые (?) темнокрасные, буро-красные		»
От светло- до темнобурого	—		Кремово-серый Хорошая Очень слабые красновато- коричневые		»
Красновато-бу- рый до светло- желтого	Иногда неоднород- ный Очень слабо ани- зотропный		Коричневато-серый ~13% Желтовато-серая и жел- тые		»
Густоянтарный до желтого	Частью слабо ани- зотропный		—		»
—	—		Темносерый		»

N	Минерал и его формула	Сингония, облик
1	2	3
2,140—2,200	Приорит (Y,Er, Ca, U, Th) (Ti, Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Ромбическая Призматический по оси a; таблитчатый
2,150	Иттроколумбит (Fe, Y, Ce, U, Th, Ca) [(Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ] <sub>3</sub> Nb > Ta	Ромбическая
2,150—2,200	Хлопинит (Y, U, Th) (Nb, Ta, Ti, Fe) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ?	Микрокристаллический
2,248	Поликраз (Y, Ce, Ca, U, Th) (Ti, Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Ромбическая Таблитчатый по оси c
2,300—2,350	Браннерит (U, Ca, Fe, Y, Th) <sub>3</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>18</sub>	Моноклинная Призматический
?	Менделеевит (U, Ca, Fe) <sub>2</sub> (Nb, Ta, Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O, OH)	Кубическая
»	Бломстрандин (Y, Er, Ca, Th, U) (Ti, Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Ромбическая Призматический по оси a; таблитчатый
»	Делоренцит (Y, U, Fe) (Ti, Sn?) <sub>3</sub> O <sub>6</sub> ?	Ромбическая Таблитчатый по оси c
»	Плюмбониобит — сложный окисел или ниобат Y, U, Pb, Fe	Ромбическая
»	Уфертит 20FeO · 8Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 4TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · UO <sub>2</sub> · 74TiO <sub>2</sub>	—
»	Ферутит (Fe <sup>2+</sup> , U, Ce) (Ti, Fe <sup>3+</sup> ) <sub>3</sub> (O,OH) <sub>7</sub>	Гексагональная Ромбоэдрический



Цвет	Проходящий свет	Отраженный свет	Примечание
	Явления анизотропии	Цв., отр. спссобность (R), вн. рефлексы, микротив.	
4	5	6	7
Красновато-коричневый до светлорубого	—	Кремowo-серый Средняя Коричневато-желтые	Метамиктный
—	—	—	»
Темнобурый, светлоричневый	—	Кремowo-серый >8% Слабые красновато-коричневые	»
Бурый	—	—	»
Желтовато-зеленый	—	Серый В иммерсии слабые буровато-красные	»
—	—	Кремowo-серый Средняя Слабые коричнево-бурые	»
Бледножелтый	—	—	—
Каштаново-бурый	—	—	Метамиктный
Коричневый неоднородный	—	—	»
—	—	Светлосерый 19%	—
—	—	Серый 19,5%	—

№	№	Минерал и его формула	Сингония, облик
1	2	3	4
1,540—1,542	1,520—1,526	Андерсонит $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Оптически Тригональная Бипирамидальный
1,625	1,623	Мэтакторбернит $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Тетрагональная Пластинчатый Таблитчатый
1,485—1,501	1,539—1,545	Шрёкингерит: $\text{NaCa}_3(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3[\text{SO}_4]\text{F} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Оптически Гексагональная? Тонкопластинчатый Слюдopodobный
1,550—1,560	1,572—1,589	Ураноспинит $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$	Псевдотетрагональная Таблитчатый
1,550—1,590	1,576—1,606	Отенит $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 8-10\text{H}_2\text{O}$	Псевдотетрагональная Таблитчатый, пластинчатый
1,576—1,582	1,590—1,593	Торбернит $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Тетрагональная Таблитчатый, пластинчатый
1,580—1,586	1,627—1,631	Трёгерит $(\text{UO}_2)_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Тетрагональная Таблитчатый, чешуйчатый
1,620—1,623	?	Новачекит $\text{Mg}(\text{UO}_2)_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8-10\text{H}_2\text{O}$	Тетрагональная Пластинчатый
1,622—1,635	1,642—1,651	Цейнерит $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	Тетрагональная Таблитчатый, пластинчатый

(даются в порядке возрастания наименьшего значения  $N_e$  или  $N_t$ )

осные

Продолжение табл. 1

Спайность	Характер погасания	Цв. в прх. св. и плеохроизм	$N_q-N_p$	Примечание
5	6	7	8	9
положительные				
—	—	$N_e$ — бледно-зеленый $N_o$ — бесцветный	0,020—0,016	Указывается также как оптически стрижательный и слабо двуосный
Совершенная по (001), ясная (100)	Прямое к [001]	Ясный $N_o$ — темнозеленый $N_e$ — светлозеленый или светлосиний	0,002 Наблюдается аномальная, темносиняя и фиолетовая окраска	Иногда слабо-двуосный
отрицательные				
Совершенная (001), ясная (100)	Прямое к [001]	$N_o$ — бледнозелено-вато-желтый $N_e$ — бесцветный	0,045—0,050	Редко двуосный
Совершенная (001), ясная (010) и (100)	Прямое к [001]	Слабый $N_o$ — бледножелтый или светложелто-вато-зеленый, $N_e$ — бесцветный	—	Иногда двуосный
Весьма совершенная (001), менее отчетливая (100), иногда также (010) и (110)	Прямое к [001]	Слабый $N_o$ — светложелтый, $N_e$ — бесцветный	0,023—0,035	Иногда двуосный Двойники прорастания по (110)
—	—	Ясный $N_o$ — темнозеленый, $N_e$ — светлозеленый	0,010	Иногда двуосный Известны двойники прорастания по (101) и (010) в препарате наблюдается $N_o$
Совершенная по (001), ясная (010) и (100)	—	Слабый $N_o$ — бледножелтый или желтовато-зеленый $N_e$ — бледнобуровато-желтый до бесцветного	0,044—0,045	Редко слабодвуосный
Ясная (001)	—	—	—	Иногда двуосный
Совершенная (001), ясная (101)	—	Сильный $\perp c$ —голубовато-синий, $\parallel c$ —изумрудно-зеленый	0,016—0,020 Характерны аномальные индигово-синие цвета интерференции	В препарате наблюдается $N_o$

<i>Nm</i>	<i>Np</i>	<i>Ng</i>	Минерал и его формула	Сингония, облик	Спайность
1	2	3	4	5	6
1,498—1,056	1,494—1,501	1,524—1,543	Ураноталлит $\text{Ca}_2(\text{UO}_2)[\text{CO}_3]_3 \cdot 8-11 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Призматический, пластинчатый	Оптически Ясная (100)
1,508	1,502	1,525	Раббиттит $\text{Ca}_3\text{Mg}_3(\text{UO}_2)_2 [\text{CO}_3]_6 [\text{OH}]_4 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$	Множклинная Игольчатый	(001)
1,544—1,547	1,541	1,564	Фоглит $2\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot \text{UO}_3 \cdot 5\text{CO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Триклинная Изометрический, иногда чешуеподобный	—
1,580—1,597	1,572—1,577	1,611—1,620	Иоганнит $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2 [\text{SO}_4]_2 [\text{OH}]_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	Триклинная Таблитчатый, брусковидный, игольчатый	По (001) и (011)
—	1,620—1,633	1,720	Шарпит $(\text{UO}_2)_6 [\text{CO}_3]_5 [\text{OH}]_2 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Волокнистый, чешуйчатый	—
1,623—1,625	1,620—1,624	1,631—1,634	Уранопилит $(\text{UO}_2)_6 [\text{SO}_4] [\text{OH}]_{10} \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	Тонкоигольчатый до волоковидного	Совершенная по (010)
1,662	1,645	—	Соддит $(\text{UO}_2)_5 [\text{SiO}_4]_2 [\text{OH}]_2 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Бипирамидальный, призматический	—
1,750	1,720	1,800	Рётзерфордин $(\text{UO}_2) \text{CO}_3?$	Ромбическая Волокнистый	—
1,752—1,790	1,732—1,750	1,850	Ураконит $3\text{UO}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}?$	Ромбическая Тонкотаблитчатый	—
1,763	1,762	1,765	Девиндит $\text{Pb}_3(\text{UO}_2)_5 [\text{PO}_4]_4 [\text{OH}]_4 \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Призматический, таблитчатый	Ясная (100)
1,780	1,743—1,770	1,782—1,800	Ванденбрандеит $\text{CuO} \cdot \text{UO}_3 \cdot 2-2,5 \text{H}_2\text{O}$	Триклинная Пластинчатый	По (110)

Погасание	Цв. в пр. св., плеохроизм	$N_g-N_p$	$2V$ , дисперсия	Другие оптические свойства
7	8	9	10	11
—	Очень слабый $N_g$ — зелено-желтый, $N_m$ — желтоватый, $N_p$ — бесцветный	0,037—0,044	30—48° Ясная $\gamma > \nu$	$N_g = a$ , Оптически отрицатель- ный
—	—	—	Большой	$c : N_g = 15^\circ; N_m = b$
33° (к удлинению)	Очень резкий $N_p$ и $N_m$ — темный синевато-зеленый, $N_g$ — бледножелтый	0,023	60° Сильная $\gamma < \nu$	$N_p \perp$ чешуйкам $N_g \perp$ удл., штриховка
$N_m : c =$ $= 4-8^\circ$	Сильный $N_g$ — желто-зеленый, $N_m$ — слабозеленый, $N_p$ — бесцветный	0,036—0,047	80—90° Сильная	Часты полисинтетические двойники, $N_p = b$ ; оптически отрицательный
—	$N_g$ — светложелтый, $N_p$ — буроватый	—	—	Удл. +
$N_m : c =$ $= 15-18^\circ$	Слабый $N_g$ и $N_m$ — бледножелтый $N_p$ — бесцветный	0,010—0,012	$\approx 52-60^\circ$ Сильная $\gamma > \nu$	Удл. — В препарате наблюдаются $N_g$ и $N_m$ $N_p \perp (010)$
—	Отсутствует	—	$\gamma < \nu$	Пл. о.о. (010) острая биссектр. $\perp (100)$ $N_m = b; N_p = c; N_g = a$
—	Бледножелтый, отсутствует	0,08	—	Удл. —
Косое, точных данных нет	Слабый, от бледножелтого до интенсивножелтого	0,10	Средний Сильная $\gamma < \nu$	Пл. о. о. (010)
Прямое	Отсутствует	0,003	Очень большой $\gamma < \nu$	—
35° на спайных пластинках	Сильный, от зеленого до почти бесцветного	0,02—0,04	Большой Сильная	Пл. о. о. $\perp (001)$

<i>Nm</i>	<i>Np</i>	<i>Ng</i>	Минерал и его формула	Сингония, облик	Спайность
1	2	3	4	5	6
1,810	1,785	1,820	Минерал X $5\text{UO}_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Таблитчатый	Совершенная по (001)
1,879	1,817	2,057	Уванит $(\text{UO}_2)_2 \text{V}_6\text{O}_{17} \cdot 15 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая	—
1,870—1,890	1,880	—	Дюмонтит $\text{Pb}_2(\text{UO}_2)_3 [\text{PO}_4]_2 \cdot [\text{OH}]_4 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Призматический, таблитчатый	—
1,880—1,910	1,850—1,895	1,950—1,950	Каголит $\text{Pb}(\text{UO}_2)_3 \text{SiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ $n=1-1,6$	Моноклиная Призматический, волокнистый	Совершенная (001), несовершенная (100), (010)
1,985	1,955	2,050	Ураносферит $\text{V}_2\text{O}_5 \cdot 2\text{UO}_3 \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Остропирамидальный, полусферовидный	Совершенная (100)
2,110	2,060	2,150	Кюрит $2\text{PbO} \cdot 5\text{UO}_3 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Призматический, игольчатый	Совершенная (100) или (110)
О п т и ч е с к и					
1,539—1,545	1,485—1,501	1,539—1,545	Шрёкингерит $\text{NaC}_2\text{O}_3(\text{UO}_2) [\text{CO}_3]_3 [\text{SO}_4] \text{F} \cdot 10 \text{H}_2\text{O}$	Гексагональная? Таблитчатый, блюдopodobный	Совершенная (001), ясная (100)
1,490	1,455	1,500	Байлеит $\text{Mg}_2(\text{UO}_2) [\text{CO}_3]_3 \cdot 18 \text{H}_2\text{O}$	Моноклиная Призматический	—
1,498—1,506	1,494—1,501	1,524—1,543	Ураноталлит $\text{Ca}_2(\text{UO}_2) [\text{CO}_3]_3 \cdot 8-11 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Призматический, пластинчатый	Ясная (100)
1,510	1,465	1,540	Сварцит $\text{MgCa}(\text{UO}_2) [\text{CO}_3]_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Моноклиная Призматический	—
1,510	1,488	1,521	Ураношпатит $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 [\text{PO}_4]_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Удлинённо-таблитчатый	Совершенная (001)

Погасание	Цв. в пр. св., плекроизм	$N_g-N_p$	2V, дисперсия	Другие оптические свойства
6	8	9	10	11
—	$N_g$ и $N_m$ — желтый $N_p$ — бесцветный	0,035	Средний до $52^\circ$ $\gamma > \nu$	Может быть, оптиче- ски отрицательный $N_g = a$ ; $N_p = c$
—	Сильный $N_g$ — зелено-желтый, $N_m$ — темнобурый, $N_p$ — светлобурый	0,24	$52^\circ$	—
Прямое	Сильный по удлинению ( $c$ ) темнозеленый; светложелтый; ( $a = b$ )	—	Большой	Пл. о. о. (100)
Прямое (к удлинению)	Отсутствует	0,055	$35-40^\circ$	Пл. о. о. (100) удл. —
—	—	0,095	Очень большой Сильная $\gamma < \nu$	$N_g = c$ Пл. о. о. (100)
Прямое	$N_g$ — темный, красно- оранжевый; $N_m$ — свет- локрасно-оранжевый; $N_p$ — бледножелтый	0,09	Большой Сильная $\gamma > \nu$	Вдоль оси $c$ штрихов- ка. Удл. + $N_p = b$ ; $N_g = c$

## отрицательные

Прямое к [001]	$N_g$ — бледнозеленова- то-желтый $N_p$ — бесцветный	0,045—0,050	$5-25^\circ$ Иногда $\gamma < \nu$	Как правило, одноос- ный $N_p \perp (001)$
$N_p : c = 15^\circ$	$N_g, N_m$ — бледнозеленый, $N_p$ — розовый	0,045	$30^\circ$	—
—	Очень слабый $N_g$ — зелено-желтый, $N_m$ — желтоватый, $N_p$ — бесцветный	0,037—0,044	$40-48^\circ$ $\gamma > \nu$	Может быть оптически положительным $N_g = a$
—	Отчетл. $N_g$ , $N_m$ — желтый, $N_p$ — бесцветный	0,075	$40^\circ$	—
—	$N_g, N_m$ — темножелтый, $N_p$ — желтоватый	0,033	$69^\circ$	$N_g = a$

<i>Nm</i>	<i>Np</i>	<i>Ng</i>	Минерал и его формула	Сингония, облик	Спайность
1	2	3	4	5	6
1,567—1,586	1,550—1,560	1,572—1,589	Ураноспинит $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 [\text{AsO}_4]_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$	Псевдотетрагональная Таблитчатый	Совершенная (001), ясная (010), (100)
1,570—1,582	1,554—1,565	1,571—1,585	Салеит $\text{Mg}(\text{UO}_2)_2 [\text{PO}_4]_2 \cdot 8-10 \text{H}_2\text{O}$	Псевдотетрагональная Тонкотаблитчатый	Совершенная (001), ясная (100), (010)
1,573—1,605	1,550—1,590	1,576—1,606	Отенит $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 [\text{PO}_4]_2 \cdot 8-10 \text{H}_2\text{O}$	Псевдотетрагональная Таблитчатый, пластинчатый	Совершенная (001), менее отчетливая по другим
1,574	1,558	1,580	Бассетит $\text{Fe}(\text{UO}_2)_2 [\text{PO}_4]_2 \cdot 6-8 \text{H}_2\text{O}$	Моноклиная Таблитчатый	Совершенная (010), менее совершенная (100), (001)
1,580—1,597	1,572—1,577	1,611—1,620	Иоганнит $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2 [\text{SO}_4]_2 [\text{OH}]_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	Триклиная Таблитчатый, брусковидный, игольчатый	По (001) » (011)
1,581—1,583	1,564—1,565	1,582—1,584	Сабугалит $\text{Na}(\text{UO}_2)_4 [\text{PO}_4]_4 \cdot 16 \text{H}_2\text{O}$	Псевдотетрагональная Таблитчатый	Ясная (001)
1,590—1,593	1,576—1,582	1,590—1,593	Торбернит $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2 [\text{PO}_4]_2 \cdot 12 \text{H}_2\text{O}$	Тетрагональная Тонкотаблитчатый	Совершенная (001), ясная (010), (100)
1,615—1,710	1,575—1,636	1,635—1,739	Циппеит $(\text{UO}_2)_2 [\text{SO}_4] \cdot [\text{OH}]_2 \cdot 3-5 \text{H}_2\text{O}$	Моноклиная Пластинчатый, линзовидный	Совершенная (010)
1,620—1,623	1,620—1,623	?	Новачекит $\text{Mg}(\text{UO}_2)_2 [\text{AsO}_4]_2 \cdot 8-10 \text{H}_2\text{O}$	Тетрагональная Пластинчатый	Ясная (001)
1,623	1,610	1,623	Ураноцирцит $\text{Ba}(\text{UO}_2)_2 [\text{PO}_4]_2 \cdot 8 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Тонкопластинчатый	Совершенная (001), ясная (010), (100)
1,635—1,642	1,611—1,618	1,646—1,657	Складовскит $\text{Mg}(\text{UO}_2)_2 \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Призматический, игольчатый	Совершенная (100), (110)
1,661—1,670	1,640—1,650	1,666—1,676	Уранофан $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Игольчатый, призматический	По (110)



Погасание	Цв. в пр. св., плеохроизм	$N_g-N_p$	$2V$ , дисперсия	Другие оптические свойства
7	8	9	10	11
Прямое к [001]	$N_g, N_m$ —бледножелтый, $N_p$ —бесцветный	—	0—62° ясная $\gamma > \nu$	Иногда одноосный $N_p = c$
—	$N_g, N_m$ —бледножелтый, $N_p$ —бесцветный	0,016—0,018	61—65° Иногда $\gamma > \nu$	Мышьяксодержащая разность иногда одноосна. $N_p = c$ ; двойники (201), под углом 90°
Прямое к [001]	$N_g, N_m$ —светложелтый, $N_p$ —бесцветный	0,023—0,035	0—45° Сильная $\gamma > \nu$	Иногда одноосный Пл. о. о. (010)
Прямое	От светложелтого до густожелтого	0,022	62—86°	—
$N_m : c =$ $= 4-8^\circ$	Сильный $N_g$ —желтозеленый, $N_m$ —зеленоватый, $N_p$ —бесцветный	0,036—0,047	80—90°	Иногда оптически + $N_p \approx b$
—	$N_g, N_m$ —желтый, $N_p$ —бесцветный	—	От малого до среднего	—
—	$N_m, N_g$ —темнозеленый, $N_p$ —светлозеленый	0,010	Малый $\gamma > \nu$	Как правило, одноос- ный
$N_g : c =$ $= 32-40^\circ$	$N_g$ —темножелтый, $N_p$ —бесцветный или бледножелтый	Большой Слабая 0,071—0,116	Большой Слабая	$N_g \parallel$ удлинению
—	$N_g, N_m$ —бледножелтый, $N_p$ —бесцветный	—	0—15° $\gamma > \nu$	Иногда одноосный
—	$N_g, N_m$ —бледножелтый, $N_p$ —бесцветный	0,013	10—25°	Пл. о. о. (010) $N_p = c$
—	$N_g$ —желтый, $N_m$ —бледножелтый, $N_p$ —бесцветный	—	Большой Очень сильная, $\gamma > \nu$	Пл. о. о. (001) $N_m = c$
$N_g : c = 4^\circ$	$N_g$ —яркожелтый, $N_m$ —бледножелтый, $N_p$ —почти бесцветный	0,022—0,026 Аномальная интерферен- ционная окраска	32—45° Сильная $\gamma < \nu$	Удлинению + $N_g \parallel$ удлинению

<i>Nm</i>	<i>Np</i>	<i>Ng</i>	Минерал и его формула	Сингония, облик	Спайность
1	2	3	4	5	6
1,664—1,667	1,654—1,665	1,664—1,667	Купроскладовскит $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2 \cdot \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Игольчатый	—
1,680—1,695	1,656—1,676	1,685—1,704	$\beta$ -уранофан $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2 \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	Моноклинная Призматический, игольчатый, таблитчатый	Совершенная (010)
1,690—1,723	1,691	1,720	Фосфуранилит $(\text{UO}_2)_3 [\text{PO}_4]_2 \cdot 6 \text{H}_2\text{O}$	Моноклинная Таблитчатый	(010)
1,714—1,730 (1,760)	1,702—1,705	1,769—1,770	Параскупит $5\text{UO}_3 \cdot 9\frac{1}{2} \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Игольчатый, пластинчатый	Совершенная (001)
1,730—1,790	1,695—1,700	1,790—1,793	Эпипантинит $\text{UO}_3 \cdot 2 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Призматический	Совершенная (001)
1,732—1,736	1,713—1,715	1,737—1,739	Ренардит $\text{Pb}(\text{UO}_2)_4 [\text{PO}_4]_3 [\text{OH}]_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Таблитчатый	Совершенная (100)
1,749—1,750	1,739	1,752—1,753	Пржевальскит $\text{Pb}(\text{UO}_2)_2 [\text{PO}_4]_2 \cdot 4 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Таблитчатый	Совершенная (001)
1,760	1,720	1,760	$\beta$ -уранопилит $(\text{UO}_2)_6 [\text{SO}_4] [\text{OH}]_{10} \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	Игольчатый Пластинчатый	Совершенная (010)
1,810	1,785	1,820	Минерал «X» $5 \text{UO}_3 \cdot 9 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Таблитчатый	Совершенная (001)
1,820—1,825 1,870	1,725—1,735 1,750	1,830 1,880	Беккерелит $3 \text{UO}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$ $3[(\text{U}, \text{Pb})\text{O}_3] \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Призматический, игольчатый, таблитчатый	Совершенная (001), менее совершенная (101), (110)
1,822	1,730	1,828	Бильетит $\text{BaO} \cdot 6 \text{UO}_3 \cdot 10\text{—}11 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Пластинчатый	Совершенная (010) или (001)
1,822 и 1,920	1,730 и 1,850	1,830 и 1,940	Фурмарьерит $\text{PbO} \cdot 4 \text{UO}_3 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$	Ромбическая Таблитчатый	—

Погасание	Цв. в пр. св., плеохроизм	$N_g-N_p$	$2 V$ , дисперсия	Другие оптические свойства
7	8	9	10	11
Прямое	$N_g, N_m$ — зелено-желтый, $N_p$ — бесцветный	Аномальная интерферен- ционная окраска	$\gamma > \nu$	Удлинение +
$N_g : c =$ $= 44-48^\circ$ и $52-57^\circ$	Сильный $N_g, N_m$ — желтые, $N_p$ — бледножелтый или бесцветный	Аномальная интерферен- ционная окраска	$60-65^\circ$ $\gamma \times \nu$	$N_p \perp (010)$
$10-13^\circ$	$N_g, N_m$ — желтый, $N_p$ — бесцветный	—	До $10^\circ$ Очень силь- ная, $\gamma > \nu$	$N_p \perp (010)$
Прямое	$N_g, N_m$ — желтый; $N_p$ — почти бесцветный	0,065	$46^\circ$ $\gamma > \nu$	Пл. о. о. (010) $N_p = c = \text{Удл.} +$
—	—	—	Очень маленький до $50^\circ$	Пл. о. о. (010) $N_p = c$
—	$N_g, N_m$ — бесцветный, $N_p$ — желтый	0,024	$60-70^\circ$ $\gamma > \nu$	Пл. о. о. (001)
Прямое	$N_g$ — густозеленый, $N_m$ — светложелтый, $N_p$ — бесцветный	—	Средний	Удл. —
Прямое к удлинению	Очень слабый $N_g$ — бледножелтый, $N_p$ — бесцветный	—	Небольшой	$N_g$ в плоскости (010)
—	$N_g, N_m$ — желтый, $N_p$ — бесцветный	0,035	$52^\circ$ $\gamma > \nu$	Иногда оптически + $N_p = c; N_g = a$
—	$N_g$ — темножелтый, $N_m$ — бледножелтый, $N_p$ — бесцветный	0,095—0,100 0,130	$30-35^\circ$ $\gamma > \nu$	Двойники простые и полисинтетические по (110). Пл. о. о. (100)
—	$N_g$ — густожелтый, $N_m$ — желтый, $N_p$ — бесцветный	—	$36^\circ$ $\gamma > \nu$	Пл. о. о. $\parallel (100)$ или $\parallel (001)$
—	$N_g$ — темножелтый, $N_m$ — бледножелтый, $N_p$ — бесцветный	0,09—0,10	Большой $\gamma > \nu$	Пл. о. о. (001) $N_p = c$

<i>Nm</i>	<i>Np</i>	<i>Ng</i>	Минерал и его формула	Сингония, облик	Спайность
1	2	3	4	5	6
—	1,795—1,870	1,860—1,900	Парсонсит $Pb_2(UO_2)[PO_4]_2 \cdot H_2O$	Моноклинная или триклинная	—
1,870—1,932	1,670—1,800	1,895—1,968	Тюямунит $Ca(UO_2)_2[VO_4]_2 \cdot 8 H_2O$	Ромбическая Тонкопластинчатый	—
1,900	1,674	1,920	Янтинит $2UO_2 \cdot 7H_2O?$	Ромбическая Пластинчатый, призматический	—
1,925—2,040	1,750	1,950—2,080	Карнотит $K_2(UO_2)_2[VO_4]_2 \cdot 3H_2O$	Ромбическая	Совершенная (001)
1,940	1,740	1,970	Сенжьерит $Cu_3(UO_2)_3[VO_4]_2 \cdot [OH]_2 \cdot 9H_2O$	Ромбическая Бипирамидальный	Совершенная (001)
1,975—2,000	1,871—1,900	2,000—2,050	Вальпургит $UO_3 \cdot 2Bi_2O_3 \cdot As_2O_5 \cdot 3H_2O$	Триклинная Таблитчатый	Совершенная (010)
2,098	1,997	2,108	Кларкеит $(Na, K)_{2-2x} \cdot (Ca Pb)_x U_2O_7 \cdot yH_2O$	Призматический, плотные массы	—

Двуосные минералы неопреде

—	1,562—1,702	1,574—1,726	Лермонтовит $(U^{4+}, Ca, TR)_3 [PO_4]_4 \cdot 6H_2O$	Игольчатый	—
1,714	1,690	1,765	Скупит $4UO_3 \cdot 9H_2O$	Ромбическая Таблитчатый, бипирамидальный	Совершенная (001)
1,788	—	1,793?	Орлит $Pb_3(UO_2)_3[Si_2O_7]_2 \cdot 6H_2O$	Игольчатый	—
N ср. = 1,880—1,890	—	—	Раувит $CaO \cdot 2UO_3 \cdot 6V_2O_5 \cdot 20H_2O?$	—	—
—	—	—	Ферганит $(UO_2)_3[VO_4]_2 \cdot 6 H_2O?$	Ромбическая Чешуйчатый	—

Погасание	Цв. в пр. св., плеохроизм	$N_g-N_p$	$2V$ , дисперсия	Другие оптические свойства
7	8	9	10	11
$N_g : c =$ $= 6-23^\circ$	—	—	$\gamma < \nu$	Удл. +
—	$N_g, N_m$ — желтый, $N_p$ — бесцветный	0,154	$36-57^\circ$ $\gamma < \nu$	$N_g = a : N_p = c$
—	$N_g$ — темнофиолетовый, $N_m$ — более светлый, $N_p$ — бесцветный	0,246	—	Штриховка    удлинению Пл. о. о. (001) $N_p = a$
—	$N_g, N_m$ — желтый, $N_p$ — серовато-желтый	0,200	$50^\circ$	—
—	$N_g$ — желто-зеленый до бесцветного, $N_m$ — оливково-зеленый, $N_p$ — синевато-зеленый	0,230	$37-39^\circ$ $\gamma < \nu$	$N_g = a : N_p = c$
$N_m : c = 8^\circ$	—	0,14—0,15	$52^\circ$ Дисперсия слабая	$N_p \approx \perp (010)$
—	Цвет красно-бурый до оранжево-бурого. Плеохроизм, в оранже- вых тонах	0,11	$30-50^\circ$ $\gamma < \nu$	—

## ленного оптического характера

Прямое	Травяно-зеленый	—	—	Радиальнолучистый и концентрически зональ- ный
—	$N_g, N_m$ — желтый, $N_p$ — бесцветный (на гра- нях призмы)	0,045	$89^\circ 20'$ $\gamma > \nu$	Из-за большого $2V$ оптический характер не установлен Пл. о. о. (010); $N_p = c$
Прямое	Желто-бурый	—	—	Удл. —
—	—	—	—	—
—	Почти не плеохроирует	Незначи- тельное	Большой	—

Отражательная способность (R), %	Минерал и его формула	Сингония, облик
1	2	3
11,60	Урановая чернь (U <sub>1-x</sub> <sup>4+</sup> U <sub>x</sub> <sup>6+</sup> )O <sub>2+x</sub> или UO <sub>2,70-2,92</sub>	Аморфный
11,60—16,80	Настуран (U <sub>1-x</sub> <sup>4+</sup> U <sub>x</sub> <sup>6+</sup> )O <sub>2+x</sub> или UO <sub>2,16-2,70</sub>	Кубическая Аморфный
12,50—14,40	Бесториевый уранинит (U <sub>1-x</sub> <sup>4+</sup> U <sub>x</sub> <sup>6+</sup> )O <sub>2+x</sub>	Кубическая Кубический
12,5—17,5	Уранинит [(U <sup>4+</sup> , Th) <sub>1-x</sub> U <sub>x</sub> <sup>6+</sup> ]O <sub>2+x</sub>	Кубическая Кубический, октаэдрический
15	Брёггерит [(U <sup>4+</sup> , Th) <sub>1-x</sub> U <sub>x</sub> <sup>6+</sup> ]O <sub>2+x</sub> разновидность уранинита с содержанием ThO <sub>2</sub> 7,8—13,9%	Кубическая Кубический
20	Алданит [(Th, U <sup>4+</sup> ) <sub>1-x</sub> U <sub>x</sub> <sup>6+</sup> ]O <sub>2+x</sub>	Кубическая Кубический, октаэдрический

константы даны для отраженного света)

Цв., вн. рефлексы, микроть.	Примечание
4	5
От серого до темносерого	Включение настурана Колломорфная структура (у плотных разновидностей остаточных черней)
Серый Отсутствуют, иногда по трещинам, бурые, зеленые 471—727 кг/мм <sup>3</sup>	Включения сульфидов, магнетита, галенита, карбонатов. Концентрически-зональная, колломорфная структура
Серый, Отсутствуют 410—594 кг/мм <sup>3</sup>	—
Серый Отсутствуют. У окисленного слабо бурые 378—602 кг/мм <sup>3</sup>	—
Серый	—
Серовато-белый Буровато-красные	Двойники по (111)

ДААННЫЕ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНОВЫХ МИНЕРАЛОВ ПО РЕНТГЕНОМЕТРИЧЕСКИМ КОНСТАНТАМ

Таблица 2

Расчеты межплоскостных расстояний (d/n) и относительной интенсивности дифракционных линий (I) по рентгенопорошкограммам различных лет

Н а с т у р а н

1951 г.		1951 г.		1951 г.		1951 г.		1952 г.		1952 г.		1952 г.		1951 г.	
d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I
—	—	—	—	(13,419)	2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,650	1	—	—	—	—	—	—	4,65	5	4,63	5	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	3,39	8ш	3,44	6	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,32	1	3,08	9	—	—
3,120	8	3,13	8-7	3,111	6	3,17	6	—	—	3,11	—	—	—	3,12	9
—	—	3,03	1	—	—	—	—	3,04	10	—	—	—	—	3,01	3
2,700	7	2,69	3-2	2,701	4	2,76	4	—	—	—	—	—	—	2,70	3
—	—	2,63	2	—	—	—	—	2,64	4ш	2,64	1	2,67	6	2,62	2
2,510	3	—	—	—	—	—	—	2,42	4ш	2,41	9	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	2,29	5	—	—	—	—	—	—
2,200	1	—	—	—	—	—	—	2,20	2	2,21	9	—	—	—	—
—	—	—	—	(2,077)	3	—	—	2,09	5	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	1,95	6	—	—	1,988	3	—	—	—	—
1,920	6	1,91	6-7	1,897	8p	—	—	1,919	7	1,911	8	1,902	10	1,90	10
—	—	1,86	2	—	—	—	—	1,883	3	—	—	—	—	1,85	6
1,820	1	—	—	—	—	—	—	1,825	7	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	(1,768)	3	—	—	—	—	1,797	7	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	1,734	5	1,729	2	—	—	—	—
1,670	2	—	—	—	—	1,67	6	—	—	—	—	—	—	—	—
1,630	6	1,63	6	—	—	—	—	1,636	7	1,631	10	1,625	10	1,63	10
1,590	1	1,61	1	1,610	10p	1,60	2	1,609	2	—	—	—	—	1,59	2
—	—	1,56	1	1,554	3p	—	—	—	—	1,560	4	—	—	1,56	3
—	—	—	—	—	—	—	—	1,547	1	—	—	1,543	1	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	1,512	1	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,503	6	—	—	—	—
1,470	3	—	—	—	—	—	—	1,451	4	—	—	—	—	—	—
1,430	2	—	—	—	—	—	—	—	—	1,443	8	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	1,418	1	—	—	—	—	—	—
—	—	1,37	0-5	—	—	—	—	—	—	—	—	1,350	2	1,36	1
1,290	1	1,25	3	—	—	1,271	4	1,250	3	1,250	4	—	—	1,25	3
1,240	5	1,22	3	1,230	6p	1,235	4	—	—	—	—	1,233	4	1,24	5
1,210	4-3	1,19	1-2	1,198	6p	—	—	—	—	1,213	5	1,204	4	1,21	3
—	—	—	—	—	—	—	—	1,181	2	1,184	5	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	1,157	4	1,154	4	1,138	2	—	—
1,110	4-3	1,11	2	1,094	7p	1,117	3	1,059	1	1,105	5	1,098	4	—	—
1,050	4	1,05	2	1,032	9p	1,070	4	1,045	8	1,084	10	1,038	4	—	—

Бесториевый уранинит  
1951 г.

d/n	I	d/n	I
3,66	2	1,59	1-2
3,14	10	1,48	4-3
2,71	8	1,44	3-2
2,52	4-5	1,30	2
2,20	1-2	1,25	6-7
1,93	9	1,21	5
1,83	2	1,11	5-6
1,68	3	1,05	5-6
1,64	8	—	—



**У р а н и н и т**

1951 г.		1951 г.		1951 г.		1952 г.		1952 г.	
d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I
(13,4091)	2	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	3,428	1	—	—
3,086	5	3,110	6	3,140	10	—	—	3,112	6
2,922	1	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	2,730	6	—	—	—	—
2,678	4	2,700	5	—	—	2,698	6	2,698	5
(2,099)	3	—	—	—	—	2,113	5	—	—
—	—	—	—	1,940	9—10	—	—	—	—
1,905	8	1,92	8	—	—	1,917	2	1,917	8
—	—	—	—	—	—	1,806	8	—	—
(1,793)	8	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1,650	10	—	—	—	—
1,628	10	1,630	8	—	—	1,634	2	1,634	8
1,557	4	1,560	2	1,580	3	1,564	8	1,564	2
—	—	—	—	—	—	1,494	2	—	—
1,359	2	—	—	—	—	1,358	2	1,358	2
1,350	3	—	—	—	—	—	—	—	—
1,330	2	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1,260	7—8	—	—	—	—
—	—	1,250	4	—	—	1,246	4	1,246	4
1,239	8	—	—	—	—	—	—	—	—
1,208	7	1,210	4	1,220	7—8	1,213	4	1,213	4
1,146	3	1,150	4	—	—	1,149	2	1,149	2
—	—	1,110	4	1,120	6—7	—	—	—	—
1,104	10	—	—	—	—	1,105	4	1,105	4
1,041	10	1,040	3	1,050	6—7	1,043	3	1,043	3
1,007	2	—	—	—	—	—	—	—	—

**Давидит  
1950 г.**

Прокаленный на воздухе			Прокаленный в азоте	
d/n	I	Примечание	d/n	I
3,45	4	—	—	—
3,32	4	—	3,65	5
3,37	4	—	3,36	4
3,22	7	Рутил	—	—
3,03	1	—	—	—
2,97	1	—	3,04	1
2,87	6	—	—	—
2,82	1	—	2,90	10
2,74	4	—	—	—
2,48	6	Рутил	2,72	10
2,42	3	—	2,52	8
2,24	4	—	—	—
2,19	4	Рутил	2,32	2
2,13	4	—	2,23	6
1,90	1	—	2,13	3
1,86	4	—	1,86	5
1,80	4	—	1,79	7
1,70	10	—	1,71	7
1,68	10	Рутил	1,60	5
1,62	3	—	—	—
1,60	4	—	1,52	6
1,54	3	—	1,50	6
1,436	4	—	1,461	6
1,370	1	—	1,417	6
1,357	2	Рутил	—	—
1,349	2	—	—	—
1,096	1	—	1,074	5
1,042	6	—	1,035	5

Феррит, прокаленный на воздухе

1952 г.			1950 г.	
$\frac{d\alpha}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$	l	$\frac{d}{n}$	l
4,14	3,76	1	4,1	4
(3,76)	73,41	2	3,64	1
3,314	(3,040)	3	—	—
3,40	(3,08)	4	3,37	3
3,246	(2,942)	6	3,21	6
3,056	2,770	3	3,03	5
2,983	2,704	3	2,96	5
2,885	(2,615)	6	2,86	8
2,843	(2,577)	4	2,82	7
2,621	3,376	1	2,74	3
2,480	(2,248)	7	2,49	4
—	—	—	2,46	4
2,417	2,191	3	2,41	3
2,295	2,081	1	—	—
2,242	2,032	5	2,23	8
2,169	1,966	3	2,18	3
2,134	1,934	4	2,13	7
2,067	1,873	1	—	—
2,021	1,832	1	—	—
1,956	1,773	2	1,91	3
1,914	1,735	4	1,89	7
1,797	(1,628)	5	1,80	7
1,769	1,604	1	—	—
1,704	1,544	3	1,70	10
1,687	(1,529)	10	1,69	10
1,653	1,498	1	—	—
1,620	1,468	3	—	—
1,596	1,447	3	1,59	9
1,566	1,420	2	—	—
1,543	1,398	3	1,54	2
1,508	1,367	2	1,51	3
1,448	(1,313)	2	—	—
1,435	1,301	3	1,435	10
1,416	1,283	—	—	—
1,375	1,246	2	1,373	7
1,360	1,232	3	1,364	7
1,344	1,219	2	1,349	2
1,326	1,202	?	—	—
1,301	1,179	1	—	—
1,278	1,158	1	—	—
1,210	1,097	1	1,213	3
1,171	1,061	1	—	—
1,158	1,050	2	1,153	4
1,148	1,041	2	—	—
1,136	1,029	3	—	—
1,124	1,019	5	1,123	3
1,110	1,006	2	—	—
1,088	0,9858	5	—	—
1,084	0,9826	4	—	—
1,072	0,9712	4	—	—
1,044	0,9465	1	—	—

Браннерит, прокаленный при 600—750°  
1951 г.

l	$\frac{d\alpha}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$	I	$\frac{dz}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$
3	(7,22)	6,54			
5	6,52	(5,91)	2	6,54	5,93
3	5,24	4,75	3	5,27	4,78
1	5,14	4,66			
1	4,76	4,32	1	4,88	4,43
4	4,73	4,29			
			3	4,73	4,29
1	4,53	4,10	1	4,62	4,19
1	4,46	4,00	1	4,56	4,14
1	4,33	3,92	1	4,30	3,90
			1	4,34	3,93
			3	4,28	3,88
2	4,19	3,80			
5	4,14	3,75	3	4,15	3,76
3	3,85	3,50	1	3,85	3,50
3	(3,76)	3,40	2	3,76	3,41
			1	3,61	3,21
			1	3,58	3,25
10	3,44	(3,12)	10	3,43	3,11
4	3,33	3,02	3	3,34	3,02
3	3,27	2,96	3	3,27	2,96
3	3,24	2,94			
3	(3,20)	2,90			
4	3,18	2,88			
			5	3,04	2,734
6	(2,889)	(2,628)	7	2,911	2,638
5	2,734	2,478	6	2,761	2,503
			1	(2,690)	2,432
8	2,617	(2,372)	9	2,635	(2,388)
3д	2,522	2,298	5	2,523	2,287
3д	(2,493)	2,250	1	(2,495)	2,261
7д	(2,463)	2,233	5	2,456	2,226
2д	2,430	2,203	1	2,433	2,205
1	2,297	2,083			
8	2,278	(2,065)	8	2,278	(2,065)
1	2,185	1,981	2	2,187	1,983
2ш	2,151	1,950	3	2,166	1,966
1ш	2,087	1,892	1	2,104	1,917
3	2,062	1,869	4	2,058	1,865
3д	2,036	1,846	4	2,037	1,847
2д	2,006	—	2	2,013	1,824
1д	1,973	1,788	2	1,977	1,792
2	(1,960)	1,776	5	(1,950)	1,767
6	1,903	1,725	8	1,906	1,728
6	1,862	1,688	5	1,861	1,687
1	1,841	1,669	—	—	—
1р	(1,786)	1,619	2р	(1,783)	1,616
10	1,765	(1,599)	10	1,768	(1,603)
4р	(1,732)	1,569	3р	(1,735)	1,573
3	1,711	1,551	—	—	—
3	1,701	1,542	4	1,704	1,544
3	1,687	1,529	4	1,686	1,529
1ш	1,672	1,516	—	—	—
7	1,624	1,472	9	1,625	(1,473)
3	1,605	1,452	4	1,609	1,458
1	1,582	1,434	—	—	—
8	1,567	(1,421)	7д	1,563	(1,417)
2	1,560	1,414	7д	1,517	1,427
6—7	1,480	(1,342)	3	1,480	1,341
2ш	1,456	1,320	3	1,557	1,321
1	1,441	1,307	3ш	1,447	1,311
1	1,420	1,287	—	—	—
3ш	1,375	(1,246)	5	1,374	(1,246)
2ш	(1,366)	1,238	2	(1,358)	1,231

I	$\frac{dz}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$	I	$\frac{dz}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$
1ш	1,316	1,193	—	—	—
—	—	—	3р	1,309	1,189
—	—	—	2	1,289	1,168
1	1,287	1,166	2р	1,282	1,162
3	1,279	1,160	3	1,276	1,156
3	1,254	1,137	5	1,260	(1,142)
6	1,230	1,150	7	1,238	(1,117)
3ш	1,212	1,099	2р	1,213	1,099
3ш	(1,195)	1,083	2	(1,195)	1,083
2ш	1,170	1,060	4	1,169	1,059
—	—	—	2ч	1,164	1,055
2ш	1,155	1,047	2	1,153	1,046
—	—	—	2	1,147	1,040
3	1,137	1,031	5	1,138	1,032
—	—	—	3	1,131	1,026
3	1,127	1,022	3	1,126	1,021
3	1,094	0,991	—	—	—
10	1,085	(0,983)	10	1,086	(10,984)

Эвксенит  
1954 г.

d/n	I	d/n	I
(3,99)	1		
3,66	2	3,66	3
(3,30)	3		
(3,09)	1		
2,98	10	2,98	10
2,77	4	2,77	2
2,59	3	2,58	2
2,45	2	2,43	3
2,32	2	2,30	1
2,199	2	2,199	1
2,114	4	2,106	2
2,014	1	2,025	1
(1,944)	1	1,970	1
(1,896)	3	—	—
1,885	5	—	—
(1,832)	3	1,823	4
1,772	5	1,769	3
1,727	8	1,723	4
(1,680)	1	1,679	0,5
1,635	7	1,635	3
1,610	3	—	—
1,589	3	1,583	—
1,563	9	1,560	—
1,490	6	1,501	—
1,465	1	1,487	4
1,440	3	1,457	1
1,394	1	1,391	—
(1,364)	1	1,391	—
1,304	1	1,311	1
1,286	1	1,292	1
(1,266)	1	—	—
1,231	5	—	—
1,185	2	1,182	2
1,175	2	1,173	2
1,158	5	1,156	3
1,1436	1	1,143	—
1,1028	2	1,100	1
1,083	2	1,080	2
1,057	1	1,051	1

**Беккерелит  
1953 г.**

d/n	I	d/n	I
8,51	1	2,97	2
7,50	10	2,88	3
6,63	2	2,73	1
6,24	1	2,58	7
5,63	1	2,47	2
4,73	6	2,44	2
4,31	1	2,38	2
3,75	8	2,31	3
3,56	8	2,21	1
3,48	2	2,11	2
3,39	2	2,07	3
3,22	9	2,04	4
3,13	1		

**Эпиянтинит  
1954 г.**

d/n	I	d/n	I
7,63	10	1,673	4
5,37	2	1,632	2
4,13	4	1,615	2
3,78	9	1,595	2
3,60	3	1,574	5
3,36	7	1,541	1
3,20	8	1,510	1
2,96	6	1,470	1
2,67	5	1,436	3
2,60	1	1,405	1
2,51	5	1,380	1
2,38	4	1,343	2
2,29	2	1,313	4
2,24	2	1,256	2
2,14	5	1,226	3
2,06	2	1,168	1
2,03	3	1,158	1
1,978	2	1,139	3
1,950	2	1,127	3
1,915	2	1,115	2
1,889	4	1,102	1
1,883	2	1,086	3
1,783	3	1,067	2
1,756	1	1,027	4
1,734	2	1,009	1

**Параскупит  
1952 г.**

d/n	I	d/n	I
8,227	7	7,879	7
4,299	3	4,266	3
3,983	4	3,983	6
3,810	4	3,785	6
3,375	9	3,375	9
3,080	10	3,088	10
2,869	10	2,890	10
2,559	6	2,581	6
2,430	6	2,440	6
2,214	2	2,226	2
2,137	5	2,152	5
2,073	7	2,084	9
1,880	5	1,888	5
1,851	6	1,822	8
1,716	3	1,714	3
1,655	3	1,659	3
—	—	1,612	1
1,590	3	1,590	8
1,542	1	1,528	2
1,509	2	1,509	2
1,437	5	1,444	8
1,375	5	1,381	7
1,306	3	1,309	3
1,275	3	1,278	3
1,229	3	1,227	3
1,198	2	1,200	3

**Билетит  
1953 г.**

d/n	I	d/n	I
7,53	10	2,79	2
4,59	2	2,56	3
3,77	9	2,49	4
3,54	5	2,30	2
3,17	8	2,19	1
3,02	1	2,10	3
2,89	1	2,03	6

**Ториевый кюрит  
1952 г.**

d/n	I	d/n	I
3,451	8	1,521	1
3,091	10	1,416	1
2,442	2	1,398	1
2,125	7	1,317	2
2,004	5	1,287	3
1,925	7	1,225	1
1,729	6	1,193	1
1,686	3	1,139	2
1,558	2		

Ванденбрандеит

1951 г.

d/n	I	d/n	I
5,05	4	1,417	½
4,28	10	1,395	½
3,84	2	1,345	2
3,71	2	1,330	½
3,32	2	1,314	3
3,06	1	1,297	½
2,91	8	1,273	½
2,76	½	1,250	2
2,55	4	1,243	½
2,47	½	1,224	1
2,39	½	1,195	½
2,35	1	1,171	½
2,28	1	1,154	½
2,19	½	1,127	½
2,15	½	1,094	2
2,09	3	1,074	2
1,963	2	1,066	½
1,909	1	1,053	½
1,847	3	1,042	½
1,819	½	1,035	½
1,789	1	1,026	½
1,747	½	1,018	½
1,705	1	1,010	½
1,682	½	1,001	½
1,654	½	0,988	1
1,621	2	0,976	½
1,576	½	0,966	½
1,554	1	0,952	1
1,524	1	0,942	1
1,495	1	0,937	1
1,469	3	0,929	1
1,435	½	0,925	½

Кларкеит

1954 г.

Природный		Синтетический		Na <sub>2</sub> U <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	
d/n	I	d/n	I	d/n	I
5,75	5	5,76	5	5,80	7
3,66	f	3,66	f	3,66	1
3,48	f	3,46	1	3,49	1
3,39	6	3,337	6	3,323	8
3,156	10	3,138	10	3,156	10
2,920	2	2,912	4	2,945	3
2,683	5	2,662	5	2,689	4
2,435	1	2,423	4	2,444	2
2,164	1	2,152	1	2,165	1
—	—	2,012	1	2,029	2b
1,960	6	1,942	7	1,965	7
1,845	5b	1,838	8	1,856	8
—	—	—	—	1,694	2
1,673	1	1,674	1	—	—
—	—	1,650	1	1,668	2
1,633	4	1,619	3	1,635	6
1,550	f	1,556	2	1,557	2b
1,526	f	1,517	1	1,535	2
—	—	—	—	1,484	1
—	—	1,443	1	1,458	1
—	—	—	—	1,415	1
1,386	1	1,379	2	1,393	3
1,350	1	1,344	1	1,352	1
1,275	2b	1,259	1	1,273	2b

Ураноталлит

1950 г.		1950 г.		1953 г.	
d/n	I	d/n	I	d/n	I
—	—	—	—	8,542	8
7,389	10	—	—	—	—
—	—	6,81	9	6,620	10
5,948	7	6,07	2	—	—
—	—	5,37	10	—	—
—	—	—	—	5,306	10
4,812	4	4,98	1	—	—
—	—	4,55	6	—	—
—	—	—	—	4,468	7
4,100	3	4,10	5	4,011	4
—	—	3,93	1	—	—
2,808	8	3,79	2	—	—
1,689	7	3,60	4	—	—
3,512	4	—	—	—	—
3,372	7	3,35	7	3,307	1
3,123	5	3,16	8	3,080	10
3,029	7	3,04	2	—	—
2,925	4	2,85	2	2,821	3
2,776	3	2,78	2	—	—
2,665	4	2,71	1	—	—
—	—	2,59	4	2,537	5
—	—	2,47	3	2,430	2
2,238	3	2,32	3	—	—
—	—	2,28	3	2,280	4
2,163	2	2,18	4	—	—
2,139	7	2,12	2	2,141	5
2,096	5	—	—	—	—
2,048	6	2,05	1	—	—
2,016	4	2,01	5	—	—
1,982	5	1,929	2	1,973	10
1,886	3	—	—	1,888	3
1,854	7	1,852	1	—	—
—	—	—	—	1,825	3
1,760	4	1,731	4	—	—
1,711	6	1,684	2	1,714	9
—	—	1,681	1	1,673	5
1,597	3	—	—	—	—
1,588	4	1,575	2	—	—
1,558	4	1,547	1	1,562	1
1,528	7	1,497	1	1,528	1
1,480	5	1,473	2	1,484	1
1,453	6	1,451	1	1,461	1
1,427	1	1,423	1	—	—
1,409	2	1,402	1	—	—
1,371	3	—	—	—	—
1,352	3	1,358	2	—	—
1,325	2	1,329	1	—	—
1,312	1	1,301	2	—	—
1,287	3	1,285	2	—	—
—	—	—	—	—	—
1,228	3	1,258	2	—	—
1,198	8	1,222	2	—	—
1,177	8	1,182	1	—	—
1,160	6	1,167	1	—	—
1,135	7	—	—	—	—
1,121	4	—	—	—	—
1,102	7	—	—	—	—
1,090	2	—	—	—	—
1,007	3	—	—	—	—
1,023	3	—	—	—	—
1,009	3	—	—	—	—



**Байлеит**

1951 г.

d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I
13,1	9	4,54	2	2,96	2	2,12	4
7,66	10	4,41	2	2,88	4	1,908	3b
6,53	4	3,83	6	2,69	5	1,796	2b
5,85	4b	3,70	2	2,42	2	1,754	2b
5,08	4	3,26	4	2,37	2	1,682	1
4,89	4	3,15	2	2,30	2	1,378	1
4,71	1	3,05	2	2,21	5	1,247	1

**Продукт дегидратации байлеита**

1951 г.

d/n	I	d/n	I
8,27	10	2,64	4
7,25	2	2,47	2
6,24	1	2,44	3
5,54	1	2,32	4
5,34	5	2,26	3
5,13	3	2,14	3
4,77	9	2,12	3
4,62	2	2,08	2
4,51	3	2,05	3
4,42	3	1,973	2
4,23	7	1,881	4
4,00	3	1,848	3
3,75	2	1,811	2
3,56	2	1,787	3
3,49	3	1,752	2
3,20	3	1,695	3
3,11	4	1,578	3
3,07	3	1,551	2
3,02	3	1,352	2b
2,89	2	—	—
2,86	2	—	—
2,76	3	—	—
2,71	3	—	—

**Андерсонит**

1951 г.

d/n	I	d/n	I
13,0		2,04	4
9,51	10	2,01	4
7,97	3	1,977	4
6,56	10	1,957	4
5,68	2	1,933	4
5,22	10	1,895	4
4,35	10	1,852	4
4,19	6	1,749	5
4,04	6	1,684	3
3,82	4	1,573	4
3,71	3	1,393	3
3,49	8	1,344	3
3,34	2	1,262	3
3,15	2	1,232	3
3,00	5b	1,038	2
2,79	7	0,9803	2
2,45	6	0,9505	2
2,39	5	0,8192	2
2,36	5	0,8011	2
2,21	4		
	7		

Сварцит  
1951 г.

d/n	I	d/n	I
8,76	10	3,11	2
7,31	9	3,04	1
6,35	5	2,91	8
5,83	1	2,82	2
5,50	10	2,61	5
5,13	1	2,28	4
4,82	8	2,23	3
4,62	2	2,19	2
4,46	2	2,10	2
4,37	2	2,06	8
3,85	2	1,817	5
3,66	7	1,707	8
3,53	5	1,375	2
3,39	1	1,268	2
3,31	1	1,217	3
3,25	1	0,9615	2
3,19	7		

Раббитит  
1955 г.

d/n	I	d/n	I
19,4	3	5,22	3
18,6	1	4,81	5
11,28	5	4,71	7
8,63	3	4,51	1
8,24	10	4,37	8
7,79	8	4,28	1
7,15	3	4,05	3
6,81	1	4,03	3
6,47	3	3,84	3
6,35	1	3,71	1
5,83	5	3,60	3
5,72	5	3,33	5

Шрёкингерит  
1951 г.

d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I
7,70	2	7,60	1	—	—	—	—
—	—	—	—	7,28	3	7,26	5
—	—	6,96	5	—	—	—	—
6,65	6	—	—	—	—	—	—
5,51	0,5	—	—	—	—	—	—
5,23	1	5,10	1	—	—	—	—
4,75	5	4,07	4	4,76	3	4,72	3
4,11	1	—	—	—	—	—	—
3,34	2	3,49	0,5	—	—	—	—
—	—	3,19	5	—	—	—	—
3,11	2	3,06	3	3,09	0,5	3,12	1
2,86	5—6	2,85	4	2,85	1	2,86	5
2,77	2	2,76	4	2,73	0,5	2,75	2
2,39	2	2,37	0,5	—	—	—	—
2,30	1	2,24	0,5	—	—	2,24	0,5
2,12	1	2,04	0,5	—	—	2,12	1
2,06	3	2,02	5	—	—	—	—
1,99	1	—	—	—	—	1,98	0,5
1,91	1	—	—	1,90	0,5	1,89	2
—	—	—	—	—	—	1,81	4
1,81	2	1,79	8	1,79	2	1,78	4
—	—	1,66	6	—	—	1,07	1
1,58	2	—	—	—	—	1,56	1
1,507	1	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	1,39	0,5
—	—	—	—	—	—	1,36	0,5
1,269	1	1,265	1	—	—	—	—
—	—	1,231	1	—	—	—	—
—	—	1,126	2	—	—	—	—
1,200	0,5	—	—	—	—	—	—
—	—	1,060	2	—	—	—	—

**Уранопилит**  
1952 г.

d/n	I	d/n	I
8,76A	3	2,88	6
7,97	3	2,72	2
6,97	10	2,66	4
5,87	5	2,56	½
5,44	6	2,49	½
5,07	1	2,40	½
4,60	2	2,33	½
4,21	9	2,24	¼
3,95	½	2,14	2
3,82	½	2,11	1
3,60	3	2,00	4
3,47	1	1,95	2
3,34	1	1,89	½
3,24	1	1,81	3
3,03	1	—	—
2,95	1	—	—

**Циппеит**

1951 г.		1946 г.	
d/n	I	d/n	I
7,03	7	—	—
3,62	3	3,42	3
3,09	6	3,06	4
2,65	2	2,78	2
2,51	2	2,76	5
2,42	1	—	—
2,24	1	—	—
2,19	2	—	—
2,11	3	—	—
2,00	2	—	—
1,89	2	—	—
1,75	5	1,93	4
1,70	5	—	—
1,62	1	—	—
1,59	3	—	—
1,46	1	—	—
1,42	3	—	—
1,34	3	1,57	5
1,31	1	1,52	5
1,27	1	—	—
1,23	1	—	—
1,21	1	1,36	2
1,16	1	—	—
1,05	1	1,22	3
—	1	—	—
—	1	—	—

Иоганнит

1946 г.		1952 г.			
d/n	I	d/n	I	d/n	I
7,83	6	—	—	—	—
—	—	7,611	7	7,58	10
6,15	9	—	—	6,07	1
5,57	5	—	—	—	—
4,90	1	—	—	—	—
4,40	1	—	—	—	—
3,82	10 ш	3,849	10	3,83	10
3,53	2	—	—	3,70	2
3,41	8	3,395	8	3,49	1
3,23	1	3,016	8	3,39	3
3,10	7 ш	—	—	3,04	4
2,94	3	—	—	2,94	2
				2,91	1
2,80	2 ш	2,787	5	2,84	3
2,67	3	2,650	5	2,64	4
2,59	4	2,576	5	2,58	5
2,44	2	2,435	3	—	—
2,38	1	—	—	—	—
2,32	1	—	—	—	—
2,24	3	2,226	4	—	—
2,19	2	2,183	4	—	—
2,13	3	2,134	7	2,13	3
2,09	3	2,084	5	2,09	1
2,05	1	2,040	4	—	—
2,01	3	1,998	5	1,99	1
1,929	4	1,925	9	1,93	6
1,899	3 ш	—	—	—	—
—	—	1,838	9	1,85	4
1,801	1	1,797	5	—	—
1,765	2	1,759	7	1,75	7
1,710	3 ш	1,699	8	1,71	4
1,647		1,651	3	1,65	4
1,595	3	1,594	7	—	—
1,563	2	1,547	3	1,55	3
1,526	3	1,527	10	1,53	4
1,484	2	1,480	4	1,48	4
1,459	2	1,456	4	1,46	4
1,433	1	—	—	1,43	2
1,412	1	1,410	5	—	—
1,375	1	1,371	1	—	—
1,351	1	1,355	3	—	—
1,326	1	1,326	3	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	1,196	7	—	—
—	—	1,178	7	—	—
—	—	1,159	7	—	—
—	—	1,135	5	—	—
—	—	1,124	5	—	—
—	—	1,104	5	—	—

## Иригинит

1952 г.

$\frac{d\tau}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$	I	$\frac{d\tau}{n}$	$\frac{d\beta}{n}$	I
6,4	5,80	5	1,462	(1,325)	3
4,30	3,90	1	1,435	1,301	1
(3,552)	3,219	2	1,420	1,287	2
(3,442)	3,120	1	1,403	1,272	1
3,323	3,012	1	1,392	1,262	2
3,222	(2,920)	10	(1,379)	1,250	1
3,110	(2,819)	4	1,354	1,228	1
2,963	2,685	2	(1,342)	1,216	1
(2,883)	2,613	1	(1,310)	1,188	3
2,785	2,524	1	(1,273)	1,154	1
2,625	(2,379)	6	1,249	(1,132)	6
2,565	2,325	1	1,299	(1,114)	2
(2,353)	2,135	1	1,206	(1,093)	6
(2,295)	2,081	1	1,188	(1,077)	6
2,142	(1,942)	6	1,165	(1,056)	6
2,075	(1,880)	4	1,147	1,040	1
(2,024)	1,835	2	1,129	(1,024)	8
1,987	1,801	1	1,104	1,001	2
1,968	1,784	3	1,074	0,973	1
1,941	1,759	1	1,064	0,952	3
1,918	1,738	3	1,051	0,9520	1
1,870	1,695	2	1,034	0,9375	3
1,836	(1,664)	6	1,024	0,9281	2
(1,797)	1,629	2	—	—	—
1,757	(1,592)	4	—	—	—
1,733	1,571	2	—	—	—
1,693	(1,535)	3	—	—	—
1,660	1,505	3	—	—	—
1,630	(1,478)	4	—	—	—
1,671	1,460	2	—	—	—
1,584	1,436	1	—	—	—
1,545	1,400	1	—	—	—
1,533	1,389	5	—	—	—
1,520	1,377	1	—	—	—
1,493	1,353	1	—	—	—

## Фосфуранилит

1948 г.		1952 г.	
d/n	I	d/n	I
(8,28)	2	8,167	9
7,71	6	—	—
(4,43)	0,5	—	—
4,17	1	—	—
3,91	3	—	—
3,78	2	—	—
3,34	4	3,405	9
3,07	6	3,104	10
2,87	6	—	—
2,60	2	2,587	7
2,56	1	—	—
2,43	3	2,435	5
2,38	0,5	—	—
2,30	0,5	—	—
2,14	2	2,152	4

Фосфуранилит

1948 г.		1952 г.	
d/n	I	d/n	I
2,09	5	2,091	6
2,01	2	2,017	1
1,98	2	1,976	1
1,90	2	1,891	6
1,88	2	—	—
1,84	2	—	—
1,82	2	1,825	7
1,77	0,5	—	—
1,72	3	1,714	4
—	—	1,657	4
1,63	0,5	—	—
1,59	3	—	—
1,58	1	—	—
1,57	1	—	—
1,56	1	—	—
1,55	1	1,545	2
1,52	0,5	—	—

Отенит

1948 г.		1951 г.							
d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I
8,42	4	8,40	3	8,05	4	8,45	4	8,10	5
5,24	1	6,50	1	—	—	5,09	0,5	6,48	0,5
—	—	5,03	0,5	—	—	5,28	0,5	5,23	1
4,26	1	4,24	0,4	4,19	3	4,29	3	4,14	3
3,97	3	3,83	0,5	—	—	—	—	3,92	0,5
3,63	8	3,78	0,5	—	—	—	—	3,79	0,5
3,46	4	3,67	7	3,49	6	3,53	6	3,57	8
3,19	1	3,52	0,5	—	—	—	—	3,45	1
—	—	3,28	2	3,27	1	3,22	1	3,21	2
2,88	2	2,97	1	2,94	0,5	2,96	1	2,91	2
2,62	5	2,63	6	2,60	6	2,61	6	2,59	6
2,51	2	2,50	1	2,50	0,5	—	—	2,51	0,5
2,40	2	2,49	0,5	2,43	0,5	—	—	2,44	0,5
2,36	1	2,30	0,5	—	—	—	—	2,34	0,5
2,28	1	2,25	0,5	2,26	0,5	1,203	1	2,21	1
2,22	2	2,132	0,5	2,113	5	2,100	5	2,106	6
—	—	2,005	3	2,020	2	2,011	3	2,031	3
2,16	2	1,948	4	1,960	5	1,900	4	1,940	5
2,11	1	1,882	0,5	—	—	—	—	1,876	1
2,08	6	1,808	2	1,803	2	1,810	2	1,808	3
2,01	3	1,760	2	1,760	2	1,759	2	1,762	3
1,95	5	1,693	0,5	—	—	—	—	1,690	1
1,87	1	1,608	7	1,600	6	1,597	6	1,600	8
—	—	1,560	0,5	—	—	1,573	0,5	1,569	1
1,79	4	1,536	4	1,520	3	1,530	3	1,527	5
1,74	5	—	—	—	—	1,480	0,5	1,488	0,5
—	—	1,378	1	1,382	0,5	1,382	0,5	1,384	2
—	—	—	—	—	—	1,349	0,5	1,348	2
—	—	—	—	—	—	—	—	1,194	1
1,61	2	1,154	0,5	—	—	1,154	0,5	1,154	1
1,55	2	—	—	—	—	—	—	1,300	1

Ураншпатит (отенит с 12 H<sub>2</sub>O)

1954 г.

d/n	I	d/n	I
4,203	1	1,883	1
3,618	4	1,797	3
3,456	4	1,743	3
3,207	5	1,601	5
2,897	2	1,564	3
2,593	3	1,523	4
2,190	2	1,377	1
2,101	2	1,350	1
2,020	3	1,257	1
1,946	2	1,186	1

Салент

1951 г.

d/n	I	d/n	I
9,94	10	3,34	3
8,76	5	3,12	3
7,90	3	2,99	2
6,61	3	2,89	3
5,91	1	2,49	3
5,47	1	2,23	3
5,01	8	2,00	2
4,42	3	1,86	1
3,95	1	1,77	1
3,71	1	1,67	1
3,52	9	1,57	1

Ураноцирцит

1951 г.

d/n	I	d/n	I
9,45	1	1,93	0,5
8,67	3	1,83	0,5
5,43	1	1,77	1
4,87	1	1,74	0,5
4,67	0,5	1,70	0,5
4,07	2	1,66	3 ?
3,73	4	1,62	0,5
3,59	0,5	1,57	0,5
3,47	0,5	1,54	0,5
3,23	2	1,52	0,5
2,97	1	1,465	2
2,72	3	1,431	0,5
2,60	0,5	1,403	0,5
2,44	0,5	1,370	1
2,43	1	1,296	2
2,38	0,5	1,251	0,5
2,21	2	1,241	0,5
2,15	1	1,220	1
2,11	1		
2,03	2		

## Ураноцирцит

1954 г.

Природный		Синтетический		Природный	
d/n	I	d/n	I	d/n	I
8,19	7	8,42	7	—	—
—	—	6,27	1	—	—
5,37	6	5,30	7	—	—
4,90	3	4,79	2	—	—
4,21	5	4,25	5	—	—
3,58	10	3,65	10	3,69	10
3,39	2	3,41	4	—	—
3,21	5	3,18	7	3,22	4
—	—	—	—	3,12	1
2,91	3	2,90	4	2,93	3
2,67	0,5	2,69	5	2,69	9
2,59	4	2,52	1	2,52	1
2,41	0,5	2,43	1	2,42	2
2,35	1	2,35	2	2,35	3
2,18	2	2,17	7	2,19	8
2,12	1	2,12	7	2,13	4
2,08	7	2,07	0,5	2,09	7
2,01	4	2,03	1	2,00	5
—	—	1,992	0,5	—	—
1,924	3	1,928	1	1,93	2
1,883	0,5	—	—	1,88	1
1,796	3	1,809	0,5	1,82	2
1,741	3	1,754	1	1,75	5
—	—	1,723	0,5	—	—
1,676	0,5	1,690	1	1,69	2
—	—	1,646	1	1,65	8
1,589	5	1,600	1	1,61	1
1,559	1	1,550	4	1,56	2
—	—	—	—	1,54	2
1,518	5	1,522	1	1,51	2
—	—	—	—	1,456	4
—	—	—	—	1,427	3
—	—	—	—	1,398	4
—	—	—	—	1,366	3
—	—	—	—	1,346	2
—	—	—	—	1,288	4
—	—	—	—	1,252	2
—	—	—	—	1,232	3
—	—	—	—	1,212	4
—	—	—	—	1,162	2
—	—	—	—	1,144	1
—	—	—	—	1,114	2
—	—	—	—	1,094	1
—	—	—	—	1,082	2
—	—	—	—	1,069	4
—	—	—	—	0,967	1
—	—	—	—	0,957	3
—	—	—	—	0,931	3
—	—	—	—	0,907	3
—	—	—	—	0,903	2
—	—	—	—	0,880	3
—	—	—	—	0,865	3
—	—	—	—	0,851	3



Торбернит  
1952 г.

d/n	I	d/n	I
—	—	9,41	1
—	—	8,85	5
—	—	—	—
5,184	8	5,47	2
4,935	8	4,96	2
—	—	4,37	3
3,573	10	3,69	10
—	—	3,52	4
3,298	8	3,26	5
—	—	—	—
—	—	—	—
2,897	7	2,95	3
2,723	8	2,68	5
—	—	2,56	3
2,495	6	2,49	2
2,406	6	2,39	2
2,292	3	2,26	1
2,214	7	2,22	2
2,183	7	2,18	5
2,148	7	2,14	3
2,067	8	2,07	4
2,030	9	—	—
—	—	1,989	6
1,911	8	1,892	1
1,856	6	1,852	2
1,835	4	1,821	1
1,760	5	1,781	2
1,747	5	1,746	1
1,720	5	1,713	1
1,671	2	—	—
—	—	—	—
1,624	8	1,642	7
1,569	7	1,583	2
1,547	7	1,556	8
1,515	6	—	—
1,484	4	1,461	1
—	—	1,449	1
1,420	8	1,419	5
1,400	1	1,389	2
1,363	9	1,366	5
1,340	2	—	—
1,330	7	1,319	4
1,294	5	—	—
1,266	7	1,764	1
1,252	2	1,247	1
1,243	2	1,243	2
1,233	8	1,222	2
—	—	1,211	2
1,193	7	1,197	1
1,164	5	1,159	5
1,139	6	—	—
1,129	3	—	—
1,113	6	—	—
1,103	7	—	—
1,093	1	—	—
1,076	10	—	—
1,063	3	—	—
1,043	5	—	—

Метаторбернит

1951 г.				1952 г.			
d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I
(9,29)	2	—	—	—	—	—	—
—	—	8,50	10	—	—	—	—
8,20	5	—	—	—	—	8,351	4
5,30	2	5,31	1	—	—	5,408	2
4,88	2	4,82	1	—	—	4,850	3
4,24	2	4,28	2	—	—	4,219	1
4,04	3	4,01	2	—	—	—	—
3,64	2	3,53	8	3,653	10	3,642	10
3,45	6	3,44	2	3,466	8	3,477	8
3,20	4	3,18	3	3,207	8	3,198	8
2,92	3	3,06	3	2,919	6	2,904	5
2,65	4	2,64	5	2,656	7	2,644	5
2,51	2	2,52	3	2,516	7	2,527	5
(2,45)	0	—	—	2,455	2	2,465	2
2,36	1	2,36	3	2,35	5	2,368	5
—	—	2,24	3	—	—	—	—
2,19	1	2,19	2	2,21	8	2,206	8
2,15	3	2,15	8	2,16	7	2,152	5
(2,09)	2	2,11	3	2,108	3	2,116	4
2,05	2	2,04	4	—	—	2,046	8
2,03	2	—	—	2,033	8	—	—
1,97	5	1,97	6	1,976	8	1,973	8
1,87	1	1,86	1	1,875	4	1,888	1
1,84	1,5	1,83	2	1,832	6	1,832	1
1,79	1	1,79	1	1,797	6	—	—
1,75	1,5	1,74	1	1,757	8	1,761	7
1,72	1,5	1,72	1	1,734	7	—	—
—	—	—	—	1,707	7	—	—
1,69	1	1,69	1	—	—	—	—
—	—	1,66	1	1,633	9	—	—
1,62	5	1,62	6	1,605	9	1,629	7
1,59	1,5	—	—	1,576	6	1,578	5
1,56	1,5	—	—	1,543	9	1,540	10
1,53	5	1,53	5	—	—	—	—
(1,446)	0,5	—	—	1,495	1	1,465	1
1,432	1	1,43	1	1,462	3	1,445	1
—	—	—	—	1,441	3	—	—
1,402	3	1,40	5	1,411	7	1,410	6
—	—	—	—	1,387	9	1,386	4
1,376	1	1,37	3	1,383	3	—	—
1,35	3	1,35	5	—	—	1,362	7
1,32	2	1,32	3	1,328	7	1,330	4
1,300	3	—	—	1,306	6	1,313	4
(1,243)	0,5	—	—	—	—	—	—
1,220	0,5	—	—	—	—	—	—
1,210	0,5	—	—	1,212	1	—	—
1,200	1	—	—	1,200	1	—	—
1,184	0,5	—	—	1,180	1	—	—
1,170	0,5	—	—	1,151	9	1,158	6
1,144	5 ш	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	1,110	4	—	—
1,093	2 ш	—	—	1,093	4	—	—
1,062	—	—	—	1,069	4	—	—
—	—	—	—	1,041	1	—	—
1,032	1	—	—	—	—	—	—
1,013	1	—	—	—	—	—	—

**Ренардит  
1951 г.**

d/n	I	d/n	I
(8,07)	1	1,71	3
7,32	3	(1,67)	0,5?
6,10	1	1,59	1
4,60	1	1,54	2
(4,30)	1	(1,51)	0,5?
3,90	4	1,436	2
3,34	3 ш	1,368	1 ш
3,10	3	1,300	1
3,05	3	1,280	2 ш
2,84	4	1,268	0,5
2,46	0,5	1,258	0,5
2,42	2	1,229	1
2,20	1	1,210	0,5
2,16	1	1,199	1
(2,13)	0,5	1,80	2
2,08	3	1,134	0,5
2,06	1	1,120	0,5
(2,00)	0,5	1,102	1
1,88	3	1,067	2
1,84	2	1,054	0,5
1,78	1		

**Парсонит  
1950 г.**

d/n	I	d/n	I	d/n	I
4,13	8	2,38	1	1,77	4
3,90	1	2,29	2	1,71	4
3,38	9	2,24	2	1,64	7
3,22	10	2,21	2	1,61	2
3,14	3	2,18	2	1,57	2
2,97	1	2,10	6	1,53	1
2,89	2	2,02	2	1,50	1
2,77	3	1,96	2	1,42	3
2,69	1	1,93	1	1,39	2
2,61	2	1,90	1	1,36	3
2,52	1	1,87	2	—	—
2,42	1	1,83	4	—	—

**Сабугалит  
1951 г.**

d/n	I	d/n	I
9,69	10	2,818	1
6,56	1	2,452	2
5,59	1	2,389	2
4,86	9	2,188	6
4,39	4	1,792	1
3,47	8	1,726	1
3,36	1	1,641	1/2
3,22	1/2	1,552	1
3,06	1/2	1,364	1

Трөггерит  
1954 г.

d/n	I	d/n	I	d/n	I
9,24	0,5	3,25	3	2,07	1
6,77	0,5	2,95	2	1,86	1
5,32	0,5	2,73	3	1,77	0,5
4,75	1	2,55	1	1,65	3
4,36	0,5	2,39	0,5	1,60	2
4,68	0,5	2,24	1	1,497	3
3,46	3	2,18	0,5		

Ураноспинит  
1952 г.

d/n	I	d/n	I
3,541	3	3,607	2
3,336	1	3,304	2
—	—	3,040	1
2,275	1	2,485	1
2,250	1	2,250	1
1,768	1	1,780	1
1,587	1	1,596	1

Цейнерит  
1951 г.

d/n	I	d/n	I
9,24	0,5	9,20	1
7,93	2	8,22	4
—	—	4,18	2
—	—	3,97	1
3,57	4	3,60	5
3,46	1	3,42	1
3,21	2	3,21	2
2,89	1	2,90	1
2,61	3	2,62	3
—	—	2,50	0,5
—	—	2,45	1
2,204	0,5	2,36	1
2,107	3	2,14	3
—	—	2,10	1
2,025	2	2,045	2
1,932	3	1,96	4
—	—	1,88	1
1,813	1	1,83	1
—	—	1,77	0,5
1,751	2	1,75	0,5
1,685	2	1,622	5
1,598	6	1,578	1
1,569	1	1,540	5
1,526	5	1,437	0,5
—	—	1,405	3
1,458	1	1,380	1
1,391	1	1,366	2
1,355	1	1,336	0,5
1,332	0,5	1,286	2-1
1,268	0,5	1,267	0,5
1,252	0,5	1,227	1
—	—	1,213	2
—	—	1,161	3
1,187	1	1,149	2
1,139	1	1,081	2
1,099	0,5		

Метацеллерит

1952 г.						1951 г.			
d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	искусственный	
								d/n	I
9,910	5	—	—	10,46	5	—	—	—	—
8,609	8	—	—	8,80	4	8,93	10	8,76	10
—	—	—	—	—	—	6,56	1	—	—
—	—	—	—	—	—	5,95	1	—	—
5,541	7	5,569	7	—	—	5,54	6	5,47	5
—	—	5,161	6	4,93	1	5,04	5	5,04	4
4,331	5	—	—	4,12	1	4,35	3	4,35	3
4,040	5	—	—	3,94	1	4,15	1	—	—
3,700	10	3,688	10	3,72	5	3,72	9	3,71	9
3,551	9	3,585	9	3,60	7	3,56	7	3,55	7
3,279	8	3,298	9	—	—	3,30	8	3,28	8
—	—	—	—	—	—	3,12	1	—	—
2,970	4	2,970	5	2,99	5	3,01	3	2,99	3
2,755	6	—	—	—	—	2,77	2	2,75	2
2,686	4	—	—	—	—	2,71	2	2,67	3
2,565	6	2,559	8	2,55	3	2,59	3	2,57	4
2,516	8	2,511	8	—	—	2,52	4	2,51	4
2,415	5	2,420	7	—	—	2,42	3	2,42	3
2,297	7	—	—	—	—	2,30	1	2,29	1
2,254	3	2,259	7	—	—	2,26	2	2,24	2
2,182	6	2,179	7	2,18	4	2,19	2	2,18	2
2,152	4	—	—	2,13	—	2,15	2	2,15	2
2,080	8	2,077	8	2,09	6	2,09	4	2,08	3
1,998	9	2,001	9	2,00	5	2,01	4	1,994	3
1,925	3	1,931	1	1,92	6	1,937	1	1,922	1
1,856	3	1,851	1	1,86	2	1,855	2	1,841	1
1,788	7	1,780	8	1,80	6	1,797	3	1,784	3
1,743	3	1,743	3	—	—	1,749	2	1,746	1
1,694	2	1,692	1	1,69	2	1,695	2	1,689	1
1,651	5	1,649	9	1,64	6	1,656	4	1,637	2
1,609	5	1,596	6	1,59	5	1,605	3	1,600	2
1,592	5	—	—	—	—	—	—	—	—
1,565	10	1,562	10	—	—	1,570	—	1,566	6
1,523	2	—	—	1,520	5	—	—	—	—
1,490	1	1,490	1	—	—	—	—	1,486	6
1,461	8	—	—	—	—	—	—	1,451	1
1,426	5	1,425	6	1,430	4	1,429	2	1,423	1
1,397	10	1,398	3	1,40	3	1,406	2	1,400	1
1,380	10	1,381	8	1,38	6	1,382	3	1,375	2
1,353	6	1,355	5	1,36	5	1,358	2	1,354	1
1,325	6	1,326	5	—	—	1,329	2	1,324	1
1,280	5	1,281	3	1,29	2	1,290	1	1,281	1
1,261	5	1,262	4	—	—	1,265	1	1,262	1
1,240	6	1,243	3	—	—	1,247	1	1,242	1
1,223	6	1,225	2	—	—	1,225	1	1,224	1
1,208	5	1,208	2	—	—	1,209	1	1,208	1
1,176	9	1,177	5	—	—	1,176	2	1,175	2
1,161	8	1,160	4	—	—	1,161	1	1,160	1
1,126	7	1,127	5	—	—	1,130	1	1,127	2
1,114	7	1,115	4	—	—	—	—	1,118	1
1,103	9	—	—	—	—	—	—	—	—
1,091	7	1,090	7	—	—	1,092	1	1,088	1
1,079	8	—	—	—	—	—	—	1,077	1
1,066	8	—	—	—	—	—	—	1,065	1
1,055	8	—	—	—	—	—	—	—	—
1,043	8	—	—	—	—	1,055	1	—	—
1,032	8	—	—	—	—	—	—	—	—

Сенжьерит 1949 г.		Тюямунит 1949 г.		Карнотит 1949 г.	
d/n	I	d/n	I	d/n	I
9,883	10	10,180	10	11,142	3
6,566	1	6,620	3	6,425	10
5,736	1	—	—	—	—
4,915	10	5,019	9	5,063	3
4,160	2	—	—	—	—
4,020	3	4,021	2	—	—
3,710	3	—	—	—	—
—	—	3,366	3	3,493	6
3,153	10	3,202	5	3,208	3
—	—	3,123	3	3,092	8
2,951	2	—	—	2,998	3
2,836	2	—	—	2,822	1
2,721	1	2,693	1	2,742	2
2,549	3	—	—	2,552	3
2,433	3	2,484	1	2,452	2
—	—	—	—	2,336	1/2
2,252	1	2,275	1	2,267	1
2,128	3	2,159	1	2,146	3
2,086	3	2,096	1	2,081	2
2,052	1	2,039	4	—	—
2,001	4	—	—	2,016	2
—	—	1,964	1	1,934	3
—	—	1,911	2	1,901	2
1,857	3	1,870	1	1,864	1
1,802	1	—	—	1,816	1
1,760	3	—	—	1,756	1
1,715	2	—	—	—	—
1,667	1	—	—	1,670	2
1,632	1	—	—	—	—
1,588	1	—	—	1,599	2
1,508	1	—	—	1,500	2

**Соддиит  
1952 г.**

d/n	I	d/n	I
6,28	9	1,412	4
4,79	3	1,386	1/2
4,57	10	1,365	4
3,80	2	1,344	1/2
3,36	9	1,275	3
3,00	9	1,228	4
2,82	5	1,155	4
2,73	8	1,142	1/2
2,49	8	1,121	1/2
2,33	1	1,088	4
2,28	2	1,046	1
2,22	1/2	1,022	1
2,10	5	0,999	1/2
2,05	3	0,984	1/2
1,990	5	0,946	3
1,918	5	0,931	1/2
1,867	6	0,912	1
1,771	3	0,903	1/2
1,710	3	0,892	1/2
1,681	2	0,875	2
1,654	4	0,861	1/2
1,606	2	0,833	1/2
1,557	1/2	0,819	2
1,524	3	0,803	1
1,502	1/2	0,796	1/2

Уранофан

1952 г.		1951 г.	
d/n	I	d/n	I
7,663	5	7,50	3
—	—	5,06	1
3,811	5	3,81	4
3,445	2	3,46	1
3,138	4	3,14	1
3,008	4	—	—
2,768	5	2,76	2
2,559	5	2,56	4
2,341	2	2,35	0,5
2,175	3	—	—
2,063	4	2,058	0,5
2,001	5	1,992	0,5
1,914	4	1,921	2
1,832	2	1,849	2
1,771	3	1,789	2
1,734	4	1,728	1
1,692	2	1,685	0,5
1,612	4	1,617	2
1,542	3	1,552	0,5
—	—	1,513	0,5
—	—	1,458	0,5
—	—	1,430	0,5
—	—	1,379	0,5
1,348	4	1,345	1
—	—	1,261	0,5
1,189	1	1,180	0,5
1,157	2	1,155	1
1,138	1	1,183	1
—	—	1,116	0,5
—	—	1,109	0,5

β - уранофан  
1951 г.

d/n	I	d/n	I	d/n	I
7,50	3	7,39	2	7,45	4
—	—	—	—	—	—
3,84	4	3,82	4	3,86	5
3,46	0,5	—	—	3,49	1
3,15	0,5	3,15	1	3,16	1
2,73	1	2,74	1—2	2,80	2
2,52	3—4	2,56	4	2,60	5
—	—	2,35	0,5	2,36	1
—	—	—	—	2,06	0,5
—	—	—	—	—	—
1,985	1	1,926	1—2	1,925	2
1,848	1	1,850	1	1,842	1
1,783	1	1,786	1	1,791	2
1,726	0,5	1,728	0,5	1,731	1
—	—	—	—	—	—
1,616	1	1,617	1—2	1,622	2
—	—	—	—	1,555	0,5
—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—
—	—	1,431	0,5	1,430	0,5
—	—	—	—	1,376	0,5?
1,345	0,5	1,349	0,5	1,350	1
—	—	—	—	1,268	0,5
—	—	—	—	1,182	0,5
—	—	1,150	0,5	1,153	1
—	—	1,132	0,5	1,133	1
—	—	—	—	—	—

Казолит

1951 г.		1951 г.		1952 г.		1952 г.		1952 г.		1948 г.		1948 г.	
d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I
—	—	3,95	0,5	4,209	2	4,112	1	4,054	2	4,09	3	4,13	1
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	3,65	1
3,48	8	3,42	2	3,537	4	3,508	7	3,508	7	—	—	3,44	4
3,11	10	3,12	5	3,257	8	3,216	10	3,216	10	3,21	8	3,17	10
—	—	—	—	3,083	5	3,040	7	3,040	7	3,03	3	3,01	5
2,74	5	2,90	1	2,941	7	2,890	9	2,897	8	2,91	5	2,06	7
—	—	—	—	2,720	1	2,717	3	2,705	2	—	—	2,70	1
2,47	5	2,54	0,5	2,612	1	2,621	3	2,615	2	—	—	2,57	1
—	—	2,43	1	2,480	1	2,456	2	2,465	2	—	—	2,43	1
—	—	2,28	0,5	—	—	2,387	2	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	2,341	2	2,345	2	—	—	—	—
2,10	5	2,104	2	2,181	6	2,145	4	2,145	5	2,11	2	2,14	4
—	—	—	—	—	—	2,091	2	2,101	4	2,05	3	2,08	2
—	—	1,983	0,5	2,036	1	2,033	4	2,033	6	—	—	2,04	3
1,96	8	—	—	1,970	5	1,958	7	1,958	8	1,968	5	2,00	3
—	—	1,904	2	1,876	6	—	—	1,914	4	—	—	1,94	5
—	—	—	—	1,860	2	1,886	5	1,886	5	1,862	3	1,85	3
—	—	1,784	0,5	1,807	1	1,837	5	1,830	5	—	—	1,81	3
1,74	6	1,692	3	1,733	8	1,734	6	1,736	7	1,744	5	1,72	5
—	—	1,632	4	1,677	6	1,631	7	1,671	7	1,678	6	—	—
—	—	—	—	1,656	3	1,653	7	1,650	7	—	—	1,65	5
—	—	1,422	4	1,617	1	1,612	1	1,612	1	—	—	—	—
—	—	—	—	1,594	1	1,560	2	1,564	1	—	—	—	—
—	—	1,346	0,5	1,560	1	—	—	1,533	1	—	—	—	—
—	—	1,310	2	1,530	1	—	—	1,498	2	—	—	—	—
—	—	1,280	2	1,496	1	1,477	6	1,477	5	—	—	1,46	1
—	—	—	—	1,475	1	1,456	7	1,458	7	1,461	7	1,44	4
—	—	—	—	1,457	5 ш	—	—	1,396	1	—	—	—	—
—	—	1,163	1	1,361	3	1,363	6	1,365	6	1,372	5	1,35	4
—	—	1,138	0,5	1,326	5	1,325	6	1,328	5	1,334	5	1,31	4
—	—	—	—	1,305	4	1,297	6	1,298	5	1,305	4	—	—
—	—	—	—	1,272	3	1,260	4	1,257	4	1,255	3	—	—
—	—	—	—	—	—	1,245	4	1,239	3	1,240	3	—	—
—	—	—	—	—	—	1,233	2	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	1,225	2	1,222	1	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	1,180	4	1,181	4	1,187	4	—	—
—	—	—	—	—	—	1,148	5	1,144	5	1,155	4	—	—
—	—	—	—	—	—	1,113	3	1,114	3	1,118	3	—	—
—	—	—	—	—	—	1,100	3	1,101	3	1,092	3	—	—
—	—	—	—	—	—	1,087	3	1,088	3	1,066	2	—	—



Орлит  
1952 г.

d/n	I	d/n	I
6,356	5	1,733	4
4,191	1	1,678	7
3,555	4	1,630	0,5
3,226	10	1,564	0,5
3,075	2	1,499	1
2,897	4	1,472	2
2,751	3	1,461	4
2,642	1	1,366	2
2,403	1	1,325	3
2,168	3	1,302	4
2,068	2	1,252	2
2,036	2	1,237	2
1,967	5	1,185	1
1,920	2	1,149	3
1,876	3	1,116	3
1,849	5	1,061	1м
1,785	0,5	1,035	2м
—	—	1,503	3
1,447	4	1,447	2
1,384	3	1,377	4
1,308	1	—	—
1,294	0,5	—	—
1,278	1	1,277	2
1,265	1	—	—
1,231	0,5	1,233	4
1,205	1	1,201	4
1,147	0,5	—	—
1,097	0,5	—	—
1,088	1	—	—
1,044	0,5	—	—
1,024	1	—	—

Купроскладовскит  
1954 г.

d/n	I	d/n	I	d/n	I
3,93	2	2,06	2	1,397	1
3,57	5	1,98	1	1,351	1
3,57	2	—	0,5	1,307	1
3,16	1	1,79	3	1,264	1
2,95	2	1,75	1	—	0,5
2,75	1	1,69	2	1,161	2ш
2,53	3ш	1,64	2	1,126	2ш
2,42	1	1,599	3	1,086	2ш
2,26	2	1,531	2	1,054	2ш
2,18	1	—	0,5	—	—

Карбуран  
1953 г.

d/n	I	d/n	I
4,32	3	1,552	7
3,69	3	1,383	10
3,378	10	1,294	4
2,631	3	1,260	4
2,299	3	1,204	5
1,733	6	1,186	5
1,675	2	0,084	9

Черная разность				Темнокоричневая разность (исходный материал)				Коричневая раз- ный	
исходный мате- риал		после нагрева- ния до 1000°							
d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
		—	—	4,73	1	4,84	1	—	—
		—	—	4,50	3	4,29	2	—	—
		—	—	3,91	2	3,95	4	—	—
		—	—	3,52	5	3,54	4	—	—
		—	—	3,40	1	—	—	—	—
		3,5	3	3,33	1	—	—	—	—
		3,21	8	3,24	4	3,20	3	3,333	3
		3,02	3	3,10	6	—	—	3,166	8
		—	—	2,93	10	2,96	5	—	—
		—	—	2,79	1	—	—	2,955	4
		2,74	3	2,71	1	—	—	2,694	7
		2,52	1	2,52	2	—	—	—	—
		—	—	2,41	2	—	—	2,459	3
		—	—	2,29	1	—	—	—	—
		—	—	2,20	6	2,21	3	—	—
		—	—	2,15	2	—	—	2,195	4
		—	—	2,10	3	2,09	4	—	—
		1,98	6	2,05	3	—	—	2,068	2
		—	—	1,99	3	1,97	2	1,965	8
		1,89	2	1,89	7	1,90	4	—	—
		1,84	2	1,83	—	—	—	1,866	8
		1,70	2	1,75	6	1,76	2	1,818	1
		1,69	2	1,70	2	—	—	1,752	1
		1,61	3	1,65	2	1,66	1	1,710	1
		—	—	1,61	4	1,61	1	1,674	3
		—	—	1,55	2	1,51	1	1,638	7
		—	—	1,499	1	1,499	1	1,602	3
		—	—	1,458	3	—	—	1,572	3
		1,417	2	1,420	1	—	—	1,536	1
		1,376	2	1,357	1	—	—	1,477	2
		1,285	2	1,325	1	—	—	1,405	3
		1,248	2	1,285	2	—	—	1,351	4
		1,217	1	1,235	3	—	—	1,277	6
		—	—	1,193	1	—	—	1,238	5
		—	—	1,167	2	—	—	1,215	1
		—	—	—	—	—	—	1,187	6
		1,142	1	—	—	—	—	1,173	1—2
		1,123	1	—	—	—	—	1,152	1
		1,099	1	—	—	—	—	1,140	3
		—	—	—	—	—	—	1,118	6
		—	—	—	—	—	—	0,927	1
		—	—	—	—	—	—	0,613	3
		—	—	—	—	—	—	0,924	3
		—	—	—	—	—	—	0,934	1
		—	—	—	—	—	—	0,985	2
		—	—	—	—	—	—	0,965	1
		—	—	—	—	—	—	0,941	3

Р е н т г е н о а м о р ф н ы й

ночь (исход- материал)		Оранжевая разность (исходный материал)				Желтая разность			
						(исходный материал)		после нагревания до 1000°	
d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I	d/n	I
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	4,01	1	4,29	2	—	—
—	—	3,94	2	3,80	2	3,80	1	—	—
—	—	3,67	3	3,65	4	3,61	4	3,71	1
—	—	3,55	7	3,51	4	—	—	3,51	2
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
3,349	2	3,19	8	3,18	5	3,26	3	3,34	3
3,205	5	—	—	—	—	3,05	6	3,18	10
3,113	3	—	—	—	—	2,88	10	—	—
2,965	3	2,80	1	2,79	1	—	—	2,95	2
2,707	4	—	—	—	—	—	—	2,71	6
—	—	2,54	4	2,53	3	—	—	2,65	3
2,465	1	2,43	1	2,42	2	2,46	2	2,48	2
—	—	—	—	—	—	—	—	2,41	2
—	—	—	—	—	—	2,17	5	2,18	1
2,207	1	2,06	1	2,05	3	—	—	—	—
—	—	2,01	3	2,00	3	2,08	4	—	—
—	—	1,96	2	1,96	3	—	—	2,07	1
1,975	5	—	—	—	—	1,96	2	1,97	8
1,935	3	1,85	1	1,89	1	1,87	6	1,92	4
1,889	5	1,78	3	1,82	2	1,81	1	1,87	5
1,837	4	1,73	1	1,77	2	1,75	5	1,82	5
1,780	2	—	—	1,62	1	1,68	2	1,78	1
—	—	—	—	1,53	1	1,65	2	1,73	1
1,677	1	—	—	—	—	1,59	2	1,67	3
1,642	4	—	—	—	—	1,53	3	1,64	5
1,613	5	—	—	—	—	1,485	2	1,60	6
1,563	1	—	—	—	—	1,452	3	1,550	1
1,480	1	—	—	—	—	1,407	1	1,505	1
1,358	1—2	—	—	—	—	1,369	2	1,474	1
1,329	2	—	—	—	—	1,322	1	1,416	1
1,289	3	—	—	—	—	1,272	1	1,365	2
1,298	3	—	—	—	—	1,226	2	1,328	2
1,218	3—2	—	—	—	—	—	—	1,279	3
1,194	2	—	—	—	—	1,175	2	1,242	3
1,174	1	—	—	—	—	1,149	2	1,210	2
1,139	1	—	—	—	—	—	—	1,184	1
1,162	2	—	—	—	—	—	—	1,161	3
0,935	3	—	—	—	—	—	—	1,115	3
0,671	2	—	—	—	—	—	—	1,064	1
0,538	2—1	—	—	—	—	—	—	1,040	2
0,419	2	—	—	—	—	—	—	1,023	2
0,973	4	—	—	—	—	—	—	0,988	1
0,997	1	—	—	—	—	—	—	0,982	2
0,987	1	—	—	—	—	—	—	0,943	2
0,996	2	—	—	—	—	—	—	0,923	2
0,944	3	—	—	—	—	—	—	0,888	1

ДАнные о свойствах урановых минералов

Урановые минералы, выделение

№ пп.	Минерал и его состав	Автор и год открытия	Сведения о химических анализах
1	Иттрогуммит (itrogonumite) — водное соединение Y с $UO_2$	Nordensköld, 1878	Нет
2	Ториевый гуммит — разновидность гуммита, содержащая $ThO_2 < U_3O_8$	Hiddena, Makintosh, 1933	Частичный
3	Торогуммит (thorogummite) — разновидность гуммита, содержащая $ThO_2 > U_3O_8$	Kimara, Miyake, 1889	Полный
4	Эналит (enalite) $(Th, U) O_2 \cdot nSiO_2 \cdot 2H_2O$	Palache, Berman, 1932	Полный загрязненного материала
5	Минерал Y (mineral Y) — свинцово-урановое соединение, близкое к кюриту	Ellsworth, 1933	Нет
6	Хиблит (hyblite) — сульфосиликат тория с Fe, Pb, Al и Ca	Ellsworth, 1927	Нет
7	Тоддит (toddlite) — разновидность колумбита (?), содержащая ~ 10% U	Spica, 1926	Полный
8	Ураномолибдит (uranomolybdlite) $UO_2 \cdot 2MO_4$	Rammels—berg, 1886	Нет
9	Писекит (pisekite) — титанотанталоннобат Fe, Yb, Ce, Y Th, U и др.	Krejčí, 1923	Нет
10	Меджидит (medjldite) $CaSO_4 \cdot (UO_2)SO_4 \cdot 15H_2O (?)$	Smith, 1848	Нет

Физические свойства	Происхождение	Примечание
Цв. черный до желтого, Бл. алмазный. Тв. 5. Просвечивает, излом раковистый. Оптически анизотропный	Продукт разрушения клевета	Повидимому, представляет собой смесь гидроксидов и силикатов (по аналогии с гуммитом)
—	Продукт разрушения ториянита	
Сингония тетрагональная (?). Форма выделения — плотный и кристаллы. Цв. темнобурый. Тв. 4. уд. вес 4,43—4,57	Продукт изменения макинтошита	То же (содержание SiO <sub>2</sub> 13%)
Сингония тетрагональная, уд. вес 4,27. Цв. оранжево-желтый, $N=1,68$	Россыпи	Повидимому, разновидность оранжита
Цв. красный. $N > 2,06$	—	—
Землистые, налеты, $\alpha$ -хилит белый, оптически изотропный, $N=1,540—1,545$ . $\beta$ -хилит — желто-бурый $N=1,605—1,620$	Продукт изменения торита	—
Округлые массы, аморфный. Цв. черный. Черта буровато-серая. Бл. металловидный. Излом раковистый. Спайность отсутствует. Тв. 5—6. Уд. вес 5,04. Изотропный	Пегматиты	Повидимому, смесь колумбита с ниобатом U и TR ( $\Sigma TR=4,08\%$ )
—	—	Совершенно не изучен
Сингония моноклинная, иногда лучистый. Излом раковистый. Тв. 5,5—6,0. Уд. вес 4,03. Цв. желтоватый до желтого. Бл. жирный до стеклянско. Метамиктный. Изотропный	Пегматиты	
Неяснокристаллический. Прозрачен. Цв. янтарно-желтый. Бл. смоляной	Вторичный по настурану	

Минерал и его состав	Автор, год открытия	Сингония Облик Агрегаты	Цвет
Смешанные урановые слюдки $\text{Cu, Ca(UO}_2)_2[(\text{P}_1\text{As})\text{O}_4]_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$	В. Г. Мелков, 1946	Сингония (?) Пластинчатый Серицитоподобные плотные массы	Желтый, зеленый, иногда окраска зонарная
Водный уранофосфат висмута	В. Г. Мелков, 1946	Сингония (?) Удлиненно-пла- стинчатый до игольчатого Звездчатые агрега- ты, корочки	Желтый
Шелковистый сульфат-карбонат урана	Р. В. Гецева, 1947	Сингония (?) Волокнистый Радиальнолучистые агрегаты	Желтый Блеск шелковистый
Вандендриссхейт (vanden-dri-sscheite) — водный уранат свинца $\text{PbO} \cdot 7\text{UO}_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Vaes, 1947	Ромбическая Бочонкообразный	Янтарно-оранжевый
Масюнит (masuyite)—водный уранат свинца	Vaes, 1947	Ромбическая Пластинчатый	Оранжево-красный
Ришетит (richetite)—водный (?) уранат свинца	Vaes, 1947	Моноклинная Пластинчатый	Черный
Дидерихит (diderichite)—водный карбонат	Vaes, 1947	Ромбическая Волокнистый	Желто-зеленый до белого
Студтит (studtite) — водный карбонат	Vaes, 1947	Ромбическая Тонковолокнистый	Светложелтый
Шуилингит (shuilingite)—водный карбонат $\text{Cu}$ и $\text{Pb}$	Vaes, 1947	Ромбическая Призматический	Голубой
Другмансит (drcgmansite)—Состав совершенно не определен	Vaes, 1947	Сингония (?) Игольчатый Радиальнолучистые сферолиты	Оранжево-желтый до бледножел- того
Неогастунит (neogastunite) $\text{NaCa}_2(\text{UO}_2)[(\text{SO}_4, \text{CO}_3)\text{F}] \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (формула приведена без анализа)	Huberlandt, 1950	Данных нет	—

## литературе без химических анализов (1946—1954 гг.)

Спай-ность	Другие признаки	Оптические свойства	Происхождение
(001)	Люминесценция желтовато-зеленая различной интенсивности или отсутствует	Меняются в зависимости от состава	Зона окисления
?		$N_g = 1,783$ , $N_p = 1,722$ удлинение+	То же
	Люминесценция слабая бледно-голубая	$N = 1,540$	Образуется в горных выработках
(001)	—	$N_g$ и $N_p$ близки к $N_g$ и $N_p$ фурмарьерита; —2V большой; $N_p = c$	Зона окисления
(010)	—	$N_m = 2,11$ ; $N_g = 2,15$ ; —2V очень большой; $N_g = c$	То же
(010)	—	$N_g$ и $N_m = 2,07$ . Погасание около $6^\circ$ , — 2V большой	» »
Данных нет	—	$N_g < 1,74$ ; $N_m = 1,728$ ; $N_p > 1,722$ — 2V большой	» »
Данных нет	—	$N_g = 1,68$ ; $N_m = 1,555$ ; $N_p = 1,545 + 2V$ большой. Погасание прямое	» »
(110)	—	$N = 1,74 - 1,93$ . Плеохроирует в синих тонах. — 2V $\approx 60^\circ$	Данных нет
Данных нет	Данных нет	$N > 1,74$ , + 2V. Удлинение —. Не плеохроирует	—
—	—	—	—

Минерал и его состав	Автор, год открытия	Сингония Облик Агрегаты	Цвет
Умохоит (umohoite)—водный молибдат урана ( $UO_2$ )( $M_2O_4$ ) · 4H <sub>2</sub> O U = 47,4%	Orophy, Gerald, a. Kerr, 1953	Чешуйчатый, таблитчатый, с гексагональными очертаниями	Коричневый и темнокоричневый
Водородный отенит H <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · nH <sub>2</sub> O Формула рассчитана по химическому анализу искусственного минерала	Г. С. Грицаенко, 1954	Сингония (?) Листоватый Звездчатые, розетчатые	Светложелтый
Водородный ураноспинит H <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [AsO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · nH <sub>2</sub> O. Формула рассчитана по химическому анализу искусственного минерала	Г. С. Грицаенко, 1954	Сингония (?) Таблитчатый, чешуйчатый, псевдоморфозы по метацейнериту	Зеленовато-желтый
Коффинит (coffinite) U(SiO <sub>4</sub> ) <sub>1-x</sub> (OH) <sub>4x</sub> возможно водный. U до 61% с переменным количеством Si, As, V	L. Stieff, T. Stern a. A. Sherwood 1954	Тетрагональная	Темнокоричневый, черный, блеск алмазный
Абернатит (abernathyite) K <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [AsO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 8H <sub>2</sub> O; U = 52,8%	M. Thompson. I. Blanche, a. E. Gross 1954 г.	—	Желтый
Калерит (kahlerite) Fe(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [AsO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · nH <sub>2</sub> O; U = 46,8%	1953 (по J. Frondel a. M. Fleischer)	—	Желтый, желто-зеленый
Цералит (cheralite) AxO <sub>4</sub> A = Th, Ca, Ce, La, U, Pb; x = P, Si; U=3,5—5,5%; Th = 25,9—27,7%	1953 (по J. Frondel a. M. Fleischer)	—	Зеленый



Спай- ность	Другие признаки	Оптические свойства	Происхождение
—	—	—	Эндогенное. (Встречен с настураном в третичных отложениях)
—	Люминесцирует отенит как	$N = 1,569-1,583$	Один из наиболее поздних минералов зоны окисления
—	Люминесцирует ураноспинит как	$N_g = 1,627$ $N_p = 1,580$ $2V \approx 0^\circ$	То же
—	Удельный вес $> 3,3$	В очень тонких шлифах просвечивает	Первичный минерал урано-ванадиевых месторождений
—	—	—	Зона окисления
—	—	—	То же
—	—	—	Первичный минерал пегматитов

## МЕТОДЫ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УРАНОВЫХ МИНЕРАЛОВ

В настоящем разделе приводятся краткие сведения об основных практических приемах работы методами радиографии, фотолюминесценции, отпечатков, иммерсионным и простейших качественных химических реакций, которые широко используются минералогами. Кроме того, здесь кратко приводятся данные о возможностях использования некоторых других методов исследования, имеющих широкое применение в практике более детальных минералогических исследований. Сведения о радиометрических методах исследования, применяемых в специальных геофизических лабораториях, здесь не приводятся.

### 1. РАДИОГРАФИЧЕСКИЙ МЕТОД

Радиографический метод позволяет установить присутствие, характер распределения и формы выделения радиоактивных минералов. Он основан на способности радиоактивных веществ оказывать влияние на эмульсионный слой фотографической пластинки или фотопленки, которое выражается в почернении после проявления тех участков негатива, которые контактировали с радиоактивным минералом (рис. 3 и 4).

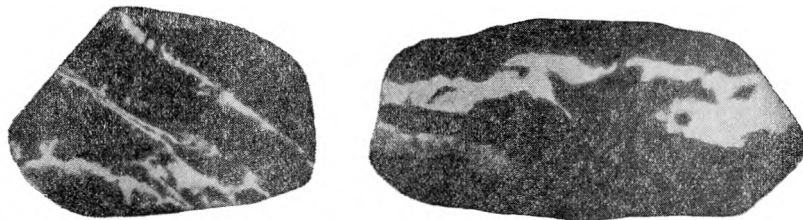


Рис. 3. Радиографии образцов урановой руды.  
Белое — настуран, черное — кальцит. Экспозиция 3 часа

Техника получения радиографии весьма проста: отполированный образец руды кладут на обычную фотографическую пластинку или фотопленку находящуюся в темноте. Экспозиция зависит от чувствительности пластинки и содержания в минерале радиоактивных элементов и варьирует в больших пределах — от нескольких часов до 15 суток. Затем пластинку проявляют обычным способом.

Радиографический метод не дает окончательного решения о наличии урановой минерализации, так как наряду с урановыми минералами подобный эффект дают также радий- и торийсодержащие соединения.

За последние годы разработан м и к р о р а д и о г р а ф и ч е с к и й метод, основанный на применении специальных толстослойных пластинок высо-

кой чувствительности. Он фиксирует только  $\alpha$ -излучение, обладающее наиболее короткой длиной пробега. Помимо качественного определения с помощью микрорадиографического метода производится и количественная оценка содержания урана. Полированный образец кладут (в темноте) на толстослойную фотопластинку для количественного определения урана на несколько минут или часов, а для качественного — на 5—6 сут. и более. Затем пластинка проявляется и исследуется под микроскопом при увеличениях до 500 раз.

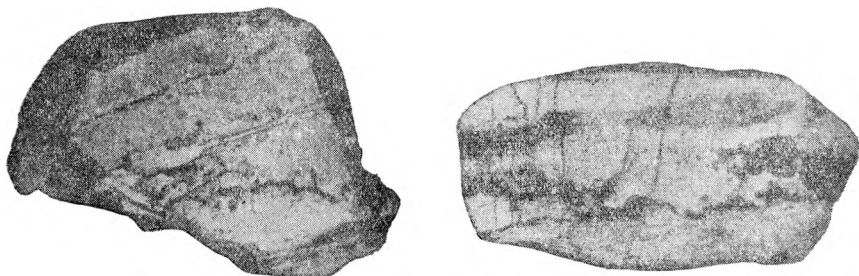


Рис. 4. Фотографии образцов урановой руды, представленных на рис. 3.

Микрорадиографический метод по величине пробега  $\alpha$ -частиц дает возможность установить истинную природу радиоактивности (уран, торий) и позволяет обнаружить и оценить минеральные зерна размером до  $0,01 \text{ мм}^2$  с содержанием, эквивалентным  $0,1\%$  урана.

## 2. КОСВЕННЫЕ ПРИЕМЫ ВЫЯВЛЕНИЯ РАДИОАКТИВНЫХ МИНЕРАЛОВ

*Плеохроичные дворики.* Косвенным признаком радиоактивности минералов являются так называемые плеохроичные дворики, наблюдаемые под микроскопом вокруг включений радиоактивных минералов главным образом в слюдах. Дворики состоят из нескольких темноокрашенных концентрических колец, радиус которых соответствует величине пробега  $\alpha$ -частиц. Их возникновение объясняют окрашивающим действием радиоактивных веществ на окружающие минералы вследствие разрушения  $\alpha$ -частицами кристаллической решетки последних.

*Ореолы покраснения (гематитизации) в окружающих минералах.* Обнаружению радиоактивных минералов, в частности первичных минералов урана, в штуфах и особенно в коренном залегании в полевых условиях, очень часто помогает легко прослеживающееся покраснение вмещающих их карбонатов (доломит, анкерит и др.) и полевых шпатов. Это явление связано с переходом закисного железа окружающих минералов в окисное и образованием ореолов тонкораспыленного вторичного гематита, пигментирующего карбонаты или полевые шпаты.

*Ореолы трещиноватости.* Эти ореолы развиваются в виде своеобразного пучка радиально расходящихся трещин вокруг вкрапленников урановых и ториевых минералов и служат поисковым признаком на эти минералы в пегматитовых жилах. Радиус таких ореолов достигает до нескольких сантиметров.

## 3. МЕТОД ОТПЕЧАТКОВ

Метод отпечатков, или контактный метод определения урана, основан на получении нерастворимого осадка соли уранила, фиксирующегося на желатине фотобумаги. Растворителем является азотная кислота различ-

ных концентраций, переводящая уран в раствор в форме уранил-нитрата  $UO_2(NO_3)_2$ . Проявителем служит 5—20%-ный раствор желтой кровяной соли  $K_4[Fe(CN)_6]$ . Последняя, взаимодействуя с нитратом уранила, дает коричневый нерастворимый в воде осадок комплексной соли  $K_2UO_2[F(CN)_6]$ , фиксирующейся на фотобумаге. Для удаления бромистого серебра фотобумага предварительно обрабатывается раствором гипосульфита, промывается водой и просушивается.

Как показали многочисленные испытания, фотобумага с успехом может быть заменена обычной чертежной бумагой (типа ватман), не требующей предварительной обработки и не уступающей по четкости отпечатков фотобумаге.

Практически получение отпечатков производится следующим образом. Чертежная или фотографическая бумага смачивается азотной кислотой, излишки которой удаляются фильтром. К влажной поверхности бумаги прижимается полированный шлиф или шуфл на время, продолжительность которого находится в прямой зависимости от растворимости испытуемого минерала (обычно 1—5 мин.). Находящаяся в порах бумаги  $HNO_3$  растворяет урановые минералы, которые после проявления бумаги в 5—20%-ном растворе желтой кровяной соли дают коричневый отпечаток, строго соответствующий их контурам. Отпечаток рекомендуется тщательно промыть в воде и высушить.

Открытию урана мешают молибден и медь, которые дают несколько похожие цветные отпечатки. Влияние молибдена может быть устранено промывкой отпечатка в 20%-ном растворе ацетата натрия, от которого желто-бурое окрашивание молибдена исчезает, а буровато-коричневая окраска от урана сохраняется.

Медь, входящая в состав вторичных минералов (малахит, халькозин и борнит), заметно отличается по отпечатку от урана своим фиолетово-розовым тоном на фотобумаге и розовато-бурым тоном на чертежной бумаге. Медь, содержащаяся в халькопирите, в условиях опыта нерастворяющегося в  $HNO_3$ , отпечатка не дает. В отдельных случаях, когда затруднительно дать однозначный ответ, необходимо сделать проверку на медь. Для этого полученный отпечаток промывают в 20%-ном растворе иодистого калия, в результате чего окраска от меди сильно темнеет, а буро-коричневая окраска от урана остается без изменения.

Четкость отпечатков урана зависит от правильного подбора концентрации азотной кислоты.

Практически установлены следующие оптимальные условия получения отпечатков для различных групп урановых минералов:

1) вторичные минералы урана: типа карбонатов, сульфат-карбонатов, силикатов, фосфатов, арсенатов, ванадатов и сульфатов дают наиболее четкие отпечатки с разбавленной  $HNO_3$  (10—20%-ный раствор);

2) вторичные урановые минералы типа гидратов окислов и урановых черней дают наиболее четкие отпечатки с  $HNO_3$  20—50%-ной концентрации;

3) первичные урановые минералы типа окислов, торосиликатов, а также органических соединений дают наиболее четкие отпечатки только с концентрированной  $HNO_3$ . Слегка окисленные их разности дают четкие отпечатки с  $HNO_3$  50%-ной концентрации;

4) первичные урановые минералы типа цирконосиликатов, титанатов, титанотанталониобатов и танталониобатов, не реагирующие с  $HNO_3$ , отпечатков не дают.

Простота и несложность метода контактных отпечатков делают его незаменимым для открытия урановых минералов (кроме четвертой группы); этот метод позволяет устанавливать одновременно форму и характер распределения урановых минералов.

#### 4. ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЕ МЕТОДЫ

##### Фотолюминесценция минералов

Фотолюминесцентные свойства урановых минералов довольно хорошо изучены в длинных волнах с  $\lambda \sim 300\text{—}400$  мк.

Короткие ультрафиолетовые лучи возбуждают еще более яркую фотолюминесценцию урановых минералов, затушевывая при этом оттенки спектра люминесценции. Поэтому они менее пригодны для диагностических целей, и с успехом используются для выявления бедных ураном минералов (урансодержащие гяалиты и др.).

В основу классификации урановых минералов по фотолюминесценции в длинных волнах положены интенсивность люминесценции (люминесценция очень сильная, сильная, умеренная, слабая, очень слабая, отсутствует) и цвет — спектр люминесценции (желтовато-зеленый, голубовато-зеленый и др.).

Ниже дается характеристика фотолюминесцентных свойств урановых и некоторых урансодержащих минералов. В каждой группе однотипно люминесцирующих минералов отдельные виды расположены в порядке убывания интенсивности свечения.

Используя люминесцентные свойства для диагностики минералов урана, нужно иметь в виду следующее:

1) помимо урановых минералов желто-зеленое свечение отенитового типа дает виллемит, отличающееся, однако, от уранового наличием остаточного свечения (фосфоресценцией) и отсутствием полосчатости в спектре люминесценции;

2) незначительная постоянная примесь люминесцирующих минералов в виде тончайших поверхностных пленок может вызвать свечение минералов, не обладающих этим свойством (как пример можно привести нередко встречаемые пленки отенита на медно-урановых слюдках);

3) люминесценцию могут маскировать часто встречающиеся на урановых минералах тонкие пленки гидроокислов железа, что особенно сказывается на слаболюминесцирующих урановых минералах, таких, как уранофан, циппеит и др.

Для возбуждения фотолюминесценции применяются кварцево-ртутные лампы различных конструкций, снабженные светофильтром Вуда. Кроме того, в полевых условиях могут быть использованы солнечные люминоскопы.

Для получения спектра люминесценции используются спектрографы.

При наблюдении фотолюминесценции необходимо:

1) облучение производить в темноте;

2) штуфы и образцы освобождать (сдуванием) от пыли, которая поглощает ультрафиолетовые лучи или сама люминесцирует;

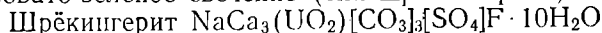
3) обязательно сравнивать испытуемые минералы с эталонными минералами (шрёкингерит, отенит, уранофан и др.), представляющими различные по цвету и интенсивности типы свечения.

Метод фотолюминесценции является совершенно необходимым при изучении урановых минералов. В предлагаемом определителе свойство люминесценции используется как основное для диагностики минералов, содержащих шестивалентный уран (табл. IV). С помощью ультрафиолетового света под бинокулярной лупой можно отбирать большой чистоты навески мономинеральных проб для различных анализов и оптического изучения.

##### Характеристика фотолюминесценции ( $\lambda \sim 300\text{—}400$ мк) урановых минералов (по В. Г. Мелкову)

I. Люминесцирующие очень сильно

а) Голубовато-зеленое свечение (тип шрёкингерита)



- Андерсонит  $\text{Na}_2\text{Ca}(\text{UO}_2)[\text{CO}_3]_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$
- II. Люминесцирующие сильно
- а) Голубовато-зеленое свечение (тип шрёкингерита)  
Ураноталлит  $\text{Ca}_2(\text{UO}_2)[\text{CO}_3]_3 \cdot 8-11\text{H}_2\text{O}$
- б) Желтовато-зеленое свечение (тип отенита)  
Ураноцирцит  $\text{Ba}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$   
Отенит  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 8-10\text{H}_2\text{O}$   
Ураноспинит  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$   
Салеит  $\text{Mg}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 8-10\text{H}_2\text{O}$   
(?) Новачекит  $\text{Mg}(\text{UO}_2)_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8-10 \text{H}_2\text{O}$   
Ураношпатит  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$   
Сабугалит  $\text{Na}(\text{UO}_2)_4[\text{PO}_4]_4 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$   
Уранопилит  $(\text{UO}_2)_6[\text{SO}_4][\text{OH}]_{10} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$   
Урансодержащий гиалит  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- III. Люминесцирующие умеренно
- а) Желтовато-зеленое свечение (тип отенита)  
Смешанные слюдки (без меди)  
Урансодержащий гиалит  $\text{SiO}_2 \cdot n\text{H}_2\text{O}$
- б) Желтое свечение  
 $\beta$ -уранопилит  $(\text{UO}_2)_6[\text{SO}_4][\text{OH}]_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- IV. Люминесцирующие слабо
- а) Голубовато-зеленое свечение  
Байлеит  $\text{Mg}_2(\text{UO}_2)[\text{CO}_3]_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$   
Раббиттит  $\text{Ca}_3\text{Mg}_3(\text{UO}_2)_2[\text{CO}_3]_6[\text{OH}]_4 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$   
Свартцит  $\text{MgCa}(\text{UO}_2)[\text{CO}_3]_3 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$
- б) Желтовато-зеленое свечение (тип отенита)  
Урансодержащий гиалит  $\text{SiO}_2 \cdot n \text{H}_2\text{O}$
- в) Буровато-желтое свечение  
Соддиит  $(\text{UO}_2)_5[\text{SiO}_4]_2[\text{OH}]_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$
- V. Люминесцирующие очень слабо
- а) Грязно-желтовато-зеленое свечение (тип уранофана)  
Складовскит  $\text{Mg}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   
Уранофан  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   
 $\beta$ -уранофан  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   
Циппеит  $(\text{UO}_2)_2[\text{SO}_4][\text{OH}]_2 \cdot 3-5\text{H}_2\text{O}$   
Карнотит  $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2[\text{VO}_4]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$
- VI. Нелюминесцирующие
- Фоглит  $2\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot \text{UO}_3 \cdot 5\text{CO}_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$   
Лермонтовит  $(\text{U}^{4+}, \text{Ca}_2, \text{TR})_3[\text{PO}_4]_4 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   
Пржевальскит  $\text{Pb}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$   
Торбернит  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$   
Мегаторбернит  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$   
Фритчеит  $\text{Mn}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4 \cdot \text{VO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}?$   
Бассетит  $\text{Fe}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 6-8\text{H}_2\text{O}$   
Фосфуранилит  $(\text{UO}_2)_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   
Ренардит  $\text{Pb}(\text{UO}_2)_4[\text{PO}_4]_2[\text{OH}]_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$   
Девиндтит  $\text{Pb}_3(\text{UO}_2)_5[\text{PO}_4]_4[\text{OH}]_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$   
Дюмонтит  $\text{Pb}_2(\text{UO}_2)_3[\text{PO}_4]_2[\text{OH}]_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$   
Парсонсит  $\text{Pb}_2(\text{UO}_2)[\text{PO}_4]_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$   
Смешанная слюдка  $\text{Cu}, \text{Ca}(\text{UO}_2)_2[(\text{P}, \text{As})_2\text{O}_4] \cdot n\text{H}_2\text{O}$   
Цейнерит  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$   
Метацейнерит  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$   
Трёгерит  $(\text{UO}_2)_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$   
Вальпургит  $\text{UO}_3 \cdot 2\text{Bi}_2\text{O}_3 \cdot \text{As}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$   
Тюямунит  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{VO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$   
Сенжьерит  $\text{Cu}_2(\text{UO}_2)[\text{VO}_4]_2[\text{OH}]_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$   
Купроскладовскит  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$   
Казолит  $\text{Pb}(\text{UO}_2)\text{SiO}_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}; n = 1-1,6$

Орлит  $Pb_3(VO_2)_3[Si_2O_7]_2 \cdot 6H_2O$   
 Иоганнит  $Cu(VO_2)_2[SO_4]_2[OH]_2 \cdot 6H_2O$   
 Циппеит  $(VO_2)_2[SO_4][OH]_2 \cdot 3-5H_2O$   
 Окислы безводные и водные  
 Молибдаты  
 Торосиликаты  
 Органические соединения

#### VII. Люминесценция не выяснена

Ферганит  $(VO_2)_3[VO_4]_2 \cdot 6H_2O?$   
 Раувит  $CaO \cdot 2UO_3 \cdot 6V_2O_5 \cdot 20H_2O?$   
 Уванит  $(VO_2)_2V_6O_{17} \cdot 15H_2O$   
 Рётзерфордин  $(VO_2)CO_3?$   
 Ураконит  $3UO_3 \cdot SO_3 \cdot 14H_2O?$   
 Шарпит  $(VO_2)_6[CO_3]_5[OH]_2 \cdot 7H_2O$ .

Способностью люминесцировать обладают также некоторые урансодержащие гипергенные минералы, причем эта их особенность тесным образом связана с мельчайшими включениями люминесцирующих минералов урана.

Помимо отмеченного выше гиалита, люминесцируют опал, халцедон, агат и кальцит.

Описанный метод при использовании бинокулярной лупы и поляризационного микроскопа применяется и для более тонких минералогических исследований: выяснения строения смешанных кристаллов и тонких агрегатов (смешанные слюдки и др.) и установления природы урана в гипергенных урансодержащих минералах.

### Пёрловый люминесцентный анализ

Пёрловый люминесцентный анализ позволяет довольно быстро производить качественное и количественное определение урана во всех его природных соединениях. Он основан на получении твердых растворов шестивалентного урана с фтором, способных люминесцировать, причем уран входит в состав твердого раствора в виде уранила  $(VO_2)^{2+}$ , играющего роль катиона.

Люминесцирующие перлы получают путем сплавления испытуемого на уран минерала с  $NaF$ . В случае присутствия урана образуется твердый раствор уранил-фторида  $(VO_2)F_2$  в  $NaF$ , люминесцирующий лимонно-желтым светом в ультрафиолетовых лучах ( $\lambda \sim 300-400$  мк).

Интенсивность люминесценции перла зависит от концентрации в нем урана, причем эта зависимость не прямолинейна, а имеет свой максимум, лежащий в пределах сравнительно малых концентраций. Увеличение концентраций сверх оптимальных значений сильно понижает интенсивность или даже совсем гасит люминесценцию. Опытным путем установлено, что при концентрации урана выше  $2,8 \cdot 10^{-3}$  г/г происходит образование ураната  $Na$  оранжевого цвета, который, растворяясь в  $NaF$ , резко уменьшает интенсивность люминесценции перлов. При концентрации выше  $5 \cdot 10^{-2}$  г/г дополнительно происходит образование нерастворимого окисного соединения урана черного цвета, не влияющего на люминесценцию перла. При высоких содержаниях прямое количественное определение урана невозможно, так как появляется эффект концентрационного гашения в перлах.

Приготовление перлов производится следующим образом: сначала в ушке платиновой проволоки сплавляют чистый  $NaF$  и проверяют на отсутствие люминесценции. Затем к нему присаживают испытуемый минерал соприкосновением горячего перла с мельчайшими частицами или порошком минерала, после чего перл снова сплавляют, а затем облучают ультрафиолетовым светом  $\lambda \sim 300-400$  мк. В случае присутствия урана перл дает лимонно-желтое свечение.

Количественное определение урана осуществляется методом сравнения испытуемых перлов с эталонными, при этом в соответствии с эталонами должны быть соблюдены следующие условия: диаметр ушка платиновой проволоки 4 мм, вес NaF 50 мг (взвешивается или отмеряется таблечной машинкой), вес анализируемого минерала 0,5 мг.

Перлы из собственно урановых минералов, с содержанием урана более 10—20%, сравнивать с существующей шкалой эталонов невозможно, так как в перлах, содержащих уран более 1%, появляется эффект концентрированного гашения. Поэтому для определения урана в собственно урановых минералах необходимо прибегать к искусственному разбавлению урана в перлах, что возможно осуществить следующим способом.

Предварительно 500—1000 мг NaF перемешивают с 0,5 мг анализируемого минерала и последующим квартованием доводят до необходимой навески (50 мг), которую сплавляют в перл. Далее охлажденный перл совместно с эталонами облучают ультрафиолетовым светом ( $\lambda$  300—400 мμ) и путем сравнения получают процент содержания урана в приготовленном перле. При пересчете содержания урана в минерале необходимо учитывать поправочный коэффициент (K), полученный из следующего уравнения:

$$K = \frac{500 \text{ мг NaF}}{0,5 \text{ мг анализ. минерала}} = 1000.$$

Умножив первоначально полученное в процентах содержание урана в перле на поправочный коэффициент, получают итоговое содержание урана в испытуемом минерале.

Для получения результатов в пределах возможной точности при сплавлении необходимо добиваться полного растворения присадки анализируемого минерала в NaF, в противном случае содержание урана будет резко занижено. Поэтому сплавление перла производят при температуре не ниже 800—900° на спиртовке с применением паяльной трубки с ручной воздушной дувкой.

Определению урана в перле мешает ниобий, который вызывает с NaF люминесценцию, несколько подобную люминесценции от урана, отличающуюся лишь более слабой интенсивностью и спектром (в зеленых тонах от ниобия, вместо лимонно-желтых от урана). Производить количественное определение урана в минералах ниобия невозможно.

Гасителями люминесценции перлов являются: Mn, Fe, Cu, Pb и Bi, причем их гасящее действие сказывается в том случае, когда эти элементы находятся в навеске в больших количествах, чем они содержатся в любом из известных урановых минералов. Благодаря этому все минералы урана, сплавленные с NaF, люминесцируют, если они не содержат посторонних примесей минералов марганца, железа, меди, свинца и висмута.

Наиболее сильными гасителями являются марганец и железо. Ураниловые перлы с примесью марганца имеют синюю или голубую окраску, а с примесью железа — серовато-зеленую или буроватую окраску, ослабляющую или совсем гасящую люминесценцию.

При нагревании перлов с примесью марганца и железа в восстановительном пламени они несколько освещаются, и интенсивность люминесценции повышается. Кроме того, от избыточной примеси железа можно избавиться многократным прокаливанием перла, смоченного в HCl. Однако количественное определение урана в перлах с примесями вышеуказанных элементов является невозможным.

Люминесцентный перловый анализ дает возможность: 1) определять уран, затрачивая на это относительно мало времени, 2) отделять собственно урановые минералы от ураносодержащих и 3) в ряде случаев различать между собой, по содержанию урана, сходные урановые минералы (торианит от алданита и др).



## Искусственная фотолюминесценция в штуфах

Рекомендуемый в литературе метод обработки нелюминесцирующих урановых минералов кислотами основан на переводе урана непосредственно в штуфах в раствор в форме солей ураниловой группы. Кислоту, обычно уксусную или азотную, наносят на поверхность штуфа в виде тонких брызг из пульверизатора. Полученные растворы ацетата или нитрата уранила, покрывающие в виде пленки урановые минералы, легко люминесцируют в ультрафиолетовом свете.

Мелкие зерна удобнее обрабатывать парами азотной кислоты, помещая испытуемый минерал на несколько времени в закрытую бюксу с асбестом, смоченным определенным количеством концентрированной  $\text{HNO}_3$ .

Методы искусственного возбуждения люминесценции урановых соединений нуждаются в дальнейшей доработке. В настоящее время они используются в основном для обнаружения урановых черней непосредственно в забое и в штуфах.

### 5. ОПТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Из оптических методов исследования особо должны быть отмечены иммерсионный метод и измерение отражательной способности и микротвердости, как имеющее особое значение при диагностике урановых минералов.

*Иммерсионный метод.* Для подавляющего большинства вторичных минералов урана, образующих слюдоподобные, землистые или порошковатые агрегаты, приготовление обычных прозрачных шлифов часто практически неосуществимо. Кроме того, вследствие цеолитного характера воды во многих из них (фосфаты, арсенаты, гидроокислы и др.), во время проваривания их при шлифовании происходит частичная потеря воды и изменение оптических свойств.

Таким образом, изучение этих минералов в иммерсионных препаратах является единственным доступным методом для определения оптических констант, на которых в значительной мере основано выделение самостоятельных видов.

Иммерсионные препараты дают возможность с достаточной точностью ( $\pm 0,001$ — $0,002$  до  $\pm 0,009$ ) измерять показатели преломления, часто являющиеся для минералов  $\text{U}^{6+}$  руководящими диагностическими константами, реже удается выяснить осность и оптический характер минерала и только в редких случаях плеохроизм.

Необходимо учитывать, что при определении урановых минералов иммерсионным методом часто в них можно наблюдать только ориентированные разрезы, так как, обладая в большинстве случаев совершенной спайностью в одном или двух направлениях, эти минералы преимущественно ложатся в препаратах соответствующими плоскостями: урановые слюдки — базопинакоидом с выходами Ng и Nm (или  $N_0$ ), игольчатый уранофан и циппеит — в большинстве случаев сечением параллельным (010) с выходящими Ng и Np и т. д.

Количество необходимых измерений для получения статистическим способом истинного, а не промежуточного значения показателей преломления зависит от кристаллографического облика и совершенства спайности минералов. Так, у слюдок с совершенной спайностью по (001) достаточно измерить Nm (или  $N_0$ ) только в нескольких любых зернах, для уплощенно-игольчатых по (010) уранопилита и  $\beta$ -уранопилита Ng и Nm следует измерять в нескольких десятках также любых зерен, а при наблюдении светопреломления соддита, не имеющего спайности, необходимо из большого числа зерен выбирать только оптически ориентированные разрезы.

Возможная оптическая ориентировка зерен вторичных минералов в препаратах отмечена при описании минералов во II части руководства.

*Измерение отражательной способности и микротвердости.* Точное измерение в аншлифах и числовое выражение отражательной способности и микротвердости — приобретает все большее значение в минералогии урана, в частности при изучении семейства безводных окислов урана и тория.

Эти свойства позволяют отличать под микроскопом остаточные урановые черни от настуранов и производить примерную оценку степени их окисленности (определение кислородного коэффициента). В ряду торий-содержащих окислов урана по значению отражательной способности можно до известной степени судить о соотношении в них Th и U.

Отражательная способность (R) выражается в процентах и определяется с помощью фотоэлемента; измерение микротвердости, т. е. абсолютной твердости осуществляется (в кг/мм<sup>2</sup>) на отечественном приборе ПМТ-3. Имеется шкала для перевода значений абсолютной твердости в отвлеченные единицы твердости по шкале Мооса.

В настоящее время благодаря специальной конструкции И. А. Пудовкиной и П. С. Романова (1955) представляется возможным измерять на приборе ПМТ-3 и микротвердость и отражательную способность в одном и том же участке шлифа.

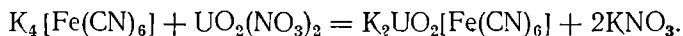
## 6. ПРОСТЕЙШИЕ ХИМИЧЕСКИЕ РЕАКЦИИ

Прежде чем приступить к качественному химическому определению анионов и катионов, входящих в состав урановых минералов, необходимо ознакомиться со сведениями об их растворимости (стр. 23).

В соответствии со степенью растворимости минералов в той или иной кислоте подбирают необходимую концентрацию последней. Если минерал в кислоте не растворяется, его предварительно сплавляют с K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub> или другими плавнями.

### Определение урана

1) Наиболее чувствительной является реакция с желтой кровяной солью:



Осадок ферроцианида уранила имеет бурую окраску.

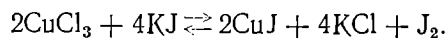
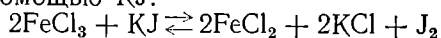
Открытию урана мешают Fe<sup>+++</sup>, Cu<sup>++</sup>, Ti<sup>+++</sup>, Cr<sup>+++</sup> и Mo<sup>++</sup> — ионы, дающие в аналогичных условиях интенсивное окрашивание ферроцианидов: Fe — темносинее, Cu — красно-бурое, Ti — желто-оранжевое или красно-бурое, Cr — желтобурое и Mo — красное-бурое.

Общий ход анализа сводится к следующему: к испытуемому азотно-или солянокислому раствору в фарфоровом тигле или чашечке прибавляют 2—3 капли 5—20%-ного раствора ферроцианида калия.

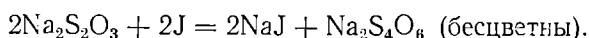
Наличие урана, а также других отмеченных выше элементов (Cu<sup>++</sup>, Ti, Cr<sup>+++</sup>, Mo) вызывает образование красно-бурого осадка или красно-бурое окрашивание раствора. Дальнейшая диагностика бурого ферроцианида должна производиться разложением его слабым раствором едкой щелочи (NaOH). При этом все бурые осадки разлагаются: ферроцианид урана переходит в желтый осадок биураната натрия, медь — в голубую гидроксид медно-молибдена — в бесцветный раствор, титан — в белый студенистый осадок гидроксида, хром — в зеленый раствор щелочного хромита.

*Чувствительность реакции.* Открываемый минимум в растворе соли уранила равен  $6,8 \cdot 10^{-4}$  мг урана; предельная концентрация 1 : 54 000. При навеске около 20 мг минерала или руды и при разбавлении исследуемого раствора до 0,5 мл этой реакцией возможно обнаружить 0,1—0,2% урана.

При определении урана в присутствии только  $\text{Fe}^{+++}$  и  $\text{Cu}^{++}$  ход анализа можно значительно сократить. Окрашивающее действие  $\text{Fe}^{+++}$  и  $\text{Cu}^{++}$  уничтожается восстановлением их окисных соединений в закисные с помощью КJ:



Бурая окраска иода обесцвечивается действием гипосульфита:



Общий ход анализа сводится к следующему: на фильтр помещают каплю насыщенного раствора КJ; затем наносится испытуемый раствор. Выделившийся при этом свободный иод обесцвечивается раствором гипосульфита, после чего на это пятно наносится капля  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Наличие урана вызывает бурое окрашивание различной интенсивности, в зависимости от концентрации металла в растворе.

2) Определение урана с перекисью водорода. Несколько зерен испытуемого минерала растворяют на часовом стекле в 3—5 каплях концентрированной  $\text{HCl}$ , затем добавляют несколько крупинок  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  до полной нейтрализации раствора (прекращения шипения).

Влажный остаток растворяют в 3—5 каплях воды и прибавляют 1—2 капли  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Наличие урана вызывает желтое окрашивание раствора.

Открытие мешают V и TR, которые в случае необходимости высаживаются фосфорнокислым натрием.

### Определение элементов анионного комплекса

По открытым в урановом минерале анионам определяется химическая группа известных природных соединений, к которой он принадлежит:  $\text{CO}_3^{--}$  — карбонаты;  $\text{SiO}_3^{--}$  — уранил- или торосиликаты;  $\text{TiO}_3^{--}$  — титанаты;  $\text{TiO}_3^{--}$  и (Ta, Nb)  $\text{O}_3^{--}$  — титанотанталониобаты;  $\text{PO}_4^{--}$  — фосфаты;  $\text{AsO}_4^{--}$  — арсенаты;  $\text{VO}_4^{--}$  — ванадаты;  $\text{SO}_4^{--}$  — сульфаты;  $\text{CO}_3^{--}$  и  $\text{SO}_4^{--}$  — сульфат-карбонаты;  $\text{MoO}_4^{--}$  — молибдаты.

Отрицательные результаты реакций на отмеченные анионы указывают на то, что минерал относится к группе окислов урана и тория, или гидроокислов.

Определение элементов анионного комплекса производится из небольшой навески (несколько миллиграммов) тщательно отобранного минерала.

Реакция на  $\text{CO}_2$ . Одно или два зерна испытуемого минерала на часовом стекле растворяют в концентрированной  $\text{HCl}$ . Присутствие  $\text{CO}_2$  вызывает растворение минерала с обильным выделением пузырьков газа (вскипанием).

Реакция на  $\text{SiO}_2$ . Зерно минерала размером около 1—2 мм осторожно обрабатывают на часовом стекле несколькими каплями 20 или 50%-ной  $\text{HCl}$  при подогревании. Реакция считается положительной, если минерал обесцвечивается и при этом остается бесцветный скелет  $\text{SiO}_2$ , сохраняющий первоначальную форму минерала. Можно также обрабатывать минерал в виде порошка в пробирке, наблюдая при встряхивании белые хлопья, а иногда, при большой навеске, после выпаривания студнеобразный осадок  $\text{H}_2\text{SiO}_3$ .

Реакция на титан (Ti) с перекисью водорода ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ). Один или два миллиграмма тонко растертого минерала сплавляют в фарфоровом тигле с десяти- или пятнадцатикратным количеством пиро-сульфата калия ( $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ ). После охлаждения сплав растворяют в 0,5 мл разбавленной 10—15%-ной  $\text{H}_2\text{SO}_4$ . К полученному раствору прибавляют

несколько капель 3%-ного раствора перекиси водорода ( $H_2O_2$ ). Образование желтой надтитановой кислоты указывает на присутствие титана.

Открытие титана мешают Cr, V, Mo и F. Для отделения первых трех от титана, исследуемый минерал сплавляют со смесью соды и селитры. Сплав растворяют в небольшом количестве воды; при этом Cr, V и Mo переходят в раствор, а Ti остается в нерастворенном остатке.

Остаток отфильтровывают, промывают водой, растворяют в  $H_2SO_4$  и прибавляют несколько капель 3%-ного раствора  $H_2O_2$ , как указано выше. Микрхимическим методом с помощью капельной калориметрии по содержанию титана возможно разделение танталониобатов и титанотанталониобатов, содержащих соответственно  $TiO_2 < 5\%$  и  $TiO_2 > 5\%$ . При этом задача определения относительного содержания титана разрешается сравнением интенсивности окраски растворов испытуемого минерала и минерала с известным содержанием  $TiO_2$ , приготовленных при соблюдении следующих постоянных условий: навеска минерала — 1 мг, навеска пиросульфата 15—16 мг,  $H_2SO_4$  0,5 мл,  $H_2O_2$  0,5 мл, время сплавления 15 мин.

В этих условиях танталониобаты, содержащие  $TiO_2 < 5\%$ , дают светложелтую или бесцветную окраску раствора. Растворы титанотанталониобатов с содержанием  $TiO_2 > 5\%$ , окрашены в светложелтый, а растворы титанатов с содержанием 30—40%  $TiO_2$  и более — в густожелтый цвет.

Для взятия навесок испытуемого минерала и пиросульфата можно рекомендовать медную или латунную пластинку толщиной 1 мм с несколькими отверстиями различных диаметров. В частности, для отбора навески испытуемого минерала весом 1 мг достаточно отверстие диаметром 1 мм, для отбора навески пиросульфата весом 15 мг — 5 мм.

Реакция на тантал (Ta) и ниобий (Nb) с помощью танина. Один или два миллиграмма тонко растертого минерала сплавляют с десятикратным количеством пиросульфата калия в фарфоровом тигле при температуре 600—800°. После охлаждения сплав растворяют в 1 мл горячей 10—15%-ной  $H_2SO_4$ , содержащей 1% танина.

Ta и Nb в сернокислом растворе с танином образуют хлопьевидный осадок, окрашенный в желтый (в случае  $Ta > Nb$ ) или оранжево-красный (если  $Nb > Ta$ ) цвет.

Реакцию необходимо проводить в горячем растворе. При охлаждении и продолжительном стоянии иногда образуется бурая муть или выпадает небольшой грязно-бурый осадок даже в отсутствие Ta и Nb. Реакции мешает присутствие W.

Реакция на фосфор с молибдатом аммония  $(NH_4)MoO_4$  и бензидином основана на получении с молибдатами в кислом растворе желтой комплексной соли  $H_7[P(Mo_2O_7)_6]$ . Последняя легко окисляет бензидин с образованием синих продуктов восстановления молибденовой кислоты. Одно-два зерна минерала растворяют в нескольких каплях  $HNO_3$ . Затем на фильтровальную бумагу наносят каплю раствора, каплю молибдата аммония  $(NH_4)MoO_4$  и каплю уксуснокислого раствора бензидина. После этого фильтровальную бумагу держат некоторое время над склянкой с аммиаком. По мере нейтрализации кислоты пятно окрашивается в синий цвет. Интенсивность окраски зависит от количества фосфора, присутствующего в растворе. Реакция очень чувствительна.

Определение молибдена с помощью  $H_2SO_4$ . Несколько зерен минерала растирают с одним или двумя кристалликами  $KHSO_4$ . Затем порошок обрабатывают в фарфоровом тигле концентрированной  $H_2SO_4$  с последующим выпариванием досуха. По охлаждении тигля на его внутренних стенках в случае наличия Mo образуется молибденовая синь  $MoO \cdot Mo_2O_5 \cdot H_2O$  интенсивно синего цвета.

Определение молибдена с помощью  $H_2SO_4$  и роданистого аммония  $NH_4CNS$  или калия  $KCNS$ . Несколько зерен

минерала растирают до порошка и обрабатывают в фарфоровом тигле концентрированной  $H_2SO_4$ . Затем к порошку минерала, обработанного  $H_2SO_4$ , прибавляют один или два кристаллика роданистого аммония (или K). В присутствии Mo смесь окрашивается в вишнево-красный цвет в результате образования комплексной соли  $K_3[Mo(NS)_6]$ , в которой молибден трехвалентный.

Открытие As с помощью  $AgNO_3$  и металлического Zn основано на выделении черного осадка металлического Ag при восстановлении мышьяковых солей металлическим Zn в кислой среде при взаимодействии с  $AgNO_3$ .

Два-три зерна минерала растворяют в HCl в маленькой стеклянной чашечке (можно использовать конец спиленной пробирки). Стеклянная чашечка ставится на кусок фильтровальной бумаги, смоченной крепким раствором азотнокислого серебра ( $AgNO_3$ ). Затем в чашечку опускается кусочек металлического цинка и все покрывается небольшой перевернутой стеклянной воронкой с плотно заткнутым концом. Потемнение фильтровальной бумаги указывает на наличие в растворе мышьяка. Последний в виде тяжелого газообразного водородистого  $AsH_3$  (образовавшегося при взаимодействии освобожденного цинком водорода соляной кислоты с ионом  $AsO_4'''$ ) восстанавливает из бесцветного  $AgNO_3$  металлическое серебро черного цвета, которым и окрашивается фильтровальная бумага.

Мышьяк часто содержится в реактивах, поэтому необходимо предварительно ставить «холостой опыт», т. е. опыт без участия испытуемого вещества. Если реактивы или Zn загрязнены мышьяком, то на бумаге, так же как и при наличии As в испытуемом минерале, появляется сначала желтое, а затем черное пятно.

Реакция очень чувствительная. При помощи ее открывают незначительное количество мышьяка в виде примеси (например, в отените), обуславливающей бурый цвет фильтровальной бумаги. Поэтому рекомендуется для реакции брать возможно меньшее количество минерала, тем более что выделяющийся в ходе реакции мышьяковистый водород очень ядовит. В присутствии сурьмы также появляется темное пятно, которое при смачивании 80%-ным раствором спирта исчезает. Пятно от мышьяка при этом не изменяется.

Открытие совместно P и As с помощью молибденово-кислого аммония. Два-три зерна испытуемого минерала растворяют в нескольких каплях  $HNO_3$ . К полученному раствору прибавляют кристаллик молибденово-кислого аммония.

Присутствие P, как и As, вызывает образование желтого осадка фосформолибдата или арсеномолибдата аммония.

В практике открытие фосфора производят методом исключения: сначала с помощью  $(NH_4)MoO_4$  определяют вместе As и P; затем отдельно As. По отсутствию As делают заключение о фосфоре.

Определение фосфора в случае наличия мышьяка проводят после удаления последнего из раствора в виде газообразного водородистого соединения (см. выше). Полнота удаления проверяется по отсутствию потемнения несколько раз сменяемой свежесмоченной  $AgNO_3$  фильтровальной бумаги.

Самой простой и чувствительной реакцией на ванадий является реакция с  $H_2O_2$ , в результате которой образуется в кислом растворе надванадиевая кислота.

Два-три зерна минерала растворяют в нескольких каплях 50%-ной  $H_2SO_4$  при нагревании. Затем прибавляют несколько капель воды и одну каплю  $H_2O_2$ . Красное или розовое окрашивание указывает на присутствие V.

При воздействии крепкой HCl на некоторые ванадаты (карнотит) непосредственно в штупе появляется густое вишнево-красное окрашивание без прибавления H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

Реакция на ванадий с анилином, выполняемая на фильтровальной бумаге, основана на образовании сине-зеленых продуктов окисления анилина в кислом растворе солями пятивалентного ванадия (в урановых минералах ванадий всегда в пятивалентной форме).

Два-три зерна минерала растворяют в царской водке. Выпаривают раствор для удаления HCl почти досуха, прибавляют две капли HNO<sub>3</sub> и еще раз выпаривают; затем снова остаток растворяют в двух каплях HNO<sub>3</sub>. На полоску фильтровальной бумаги наносят каплю анилина и в середину пятна каплю испытуемого раствора. Образование сине-зеленого пятна указывает на наличие ванадия.

Определение SO<sub>3</sub>. Одно-два зерна минерала растворяют в HCl; к раствору добавляют несколько капель водного раствора BaCl<sub>2</sub>. Появление белого кристаллического осадка BaSO<sub>4</sub> указывает на присутствие в минерале сульфатной серы. Реакция дает отчетливые результаты лишь в случае достаточного количества испытуемого минерала.

Реакция открытия SO<sub>3</sub> может быть заменена реакцией на обшую серу с образованием серной печени. Для этого несколько зерен исследуемого минерала смешивают с двойным объемом соды, после чего смесь сплавляют на угле. Полученный сплав переносят на серебряную пластинку или монету и смачивают каплей воды. При наличии серы на пластинке появляется темное пятно от образовавшегося Ag<sub>2</sub>S.

### Определение сопутствующих урану катионов

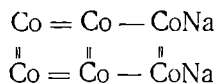
В ходе систематического определения минералов открытие катионов проводится после отнесения минерала по анионной части к соответствующей химической группе.

Так как в практике минералогических лабораторий не удается открывать с достаточной достоверностью встречающиеся в урановых минералах Ca, Na, K, Th, реакции на эти элементы нами не приводятся.

Определение алюминия с помощью Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>. Небольшое зерно минерала прокаливают на угле, затем смачивают слабым (бледнорозовым) раствором Co(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> и вновь прокаливают в окислительном пламени. Присутствие алюминия узнают по появлению синей окраски (тенарова синь Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>CoO).

Определение бария по окрашиванию пламени. Чистую платиновую проволоку, накаленную в пламени горелки и смоченную в химически чистой концентрированной HCl, погружают в порошок минерала. После этого вносят проволоку в несветящееся пламя горелки. В присутствии Ba пламя окрашивается в зеленый цвет.

Определение бария с родизонатом натрия. Несколько зерен минерала растворяют на предметном или часовом стекле в соляной кислоте. Нейтрализуют раствор содой до слабо кислой реакции и переносят каплю на фильтровальную бумагу. На сырое пятно наносят каплю родизоната натрия:



Присутствие бария вызывает красное окрашивание.

Определение бария с помощью H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и H<sub>2</sub>O. Несколько зерен минерала растворяют в пробирке в концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Полученный раствор осторожно вливают в пробирку с дистиллированной водой. Наличие бария вызывает образование обильного тонкокристаллического осадка BaSO<sub>4</sub>. Кальций в аналогичных условиях осадка не дает.

Определение висмута с помощью цинхонина и КJ. Одно-два зерна минерала растворяют в маленькой пробирке при кипячении в трех-четыре капли  $H_2SO_4$  (1 : 1). После нейтрализации раствора аммиаком до слабо кислой реакции прибавляют несколько капель цинхонина и такое же количество КJ. Присутствие Вi вызывает образование оранжево-красного осадка двойного иодида висмута и цинхонина. Реакции мешают Сг и V.

Получение налета на угле. Измельченный минерал со смесью S и КJ прокаливают на угле в окислительном пламени. При наличии Вi получается налет желтого цвета вблизи пробы и яркокрасного ( $BiJ_3$ ) по краям.

Определение окисного железа ( $Fe^{3+}$ ) с помощью желтой кровяной соли. Одно-два зерна минерала растворяют в нескольких каплях HCl. Если минерал не растворяется в кислотах, то его прежде сплавляют с содой и сплав затем растворяют в HCl.

Каплю кислого раствора наносят на фильтровальную бумагу и помещают на нее каплю водного раствора или кристаллик  $K_4[Fe(CN)_6]$ . Присутствие Fe... вызывает образование синего кольца на бумаге.

Открытие закисного железа ( $Fe^{2+}$ ) с помощью красной кровяной соли  $K_3[Fe(CN)_6]$ . Одно-два зерна минерала растворяют в нескольких каплях HCl. Если минерал не растворяется в кислоте, его сплавляют с содой и затем растворяют в HCl. Раствор не должен содержать  $HNO_3$  и других сильных окислителей. Каплю полученного раствора наносят на фильтровальную бумагу и прибавляют одну-две капли водного раствора или кристаллик  $K_3[Fe(CN)_6]$ . Присутствие  $Fe^{2+}$  вызывает образование синего осадка (турнбулева синь).

Открытие марганца по окраске перла. Перл, полученный сплавлением соды с селитрой в ушке платиновой проволоки, окрашивается в присутствии марганца в голубовато-зеленый цвет.

Определение марганца с помощью надсернистого аммония. Одно-два зерна минерала растворяют в нескольких каплях  $H_2SO_4$ , затем прибавляют два-три капли  $AgNO_3$  и несколько мелких кристаллов надсернистого аммония  $(NH_4)_2S_2O_8$ . Все соли марганца окисляются с образованием иона  $MnO_4$ , окрашивающего раствор в фиолетовый цвет.

Определение меди с помощью аммиака ( $NH_4OH$ ). Урановые минералы, содержащие в своем составе медь, легко растворимы в азотной и соляной кислотах. Растворы двухвалентной меди имеют голубой или зеленый цвет. При прибавлении аммиака цвет раствора изменяется в темносиний вследствие образования комплексного аммиачно-медного соединения. Реакция малочувствительна, поэтому требует больших количеств минерала для реакции.

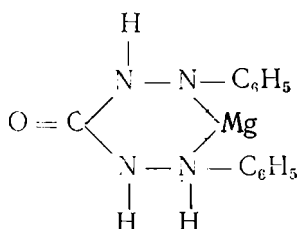
Определение меди с помощью КJ. Небольшую навеску испытуемого минерала растворяют в 20%-ной HCl, затем к раствору прибавляют КJ; выделяющийся при этом свободный иод за счет восстановления  $Cu^{2+}$  до  $Cu^{1+}$  окрашивает раствор в желтый цвет.

Известная реакция на медь с помощью желтой кровяной соли, основанная на образовании нерастворимого осадка  $Cu_2[Fe(CN)_6]$ , в случае урановых минералов не достигает цели, так как подобный осадок также получится с ураном.

Открытие свинца с помощью КJ. Одно-два зерна минерала растворяют в HCl. Раствор выпаривают досуха. Сухой остаток растворяют при нагревании в двух-трех каплях воды, затем охлаждают, и к холодному раствору прибавляют кристаллик или несколько капель водного раствора КJ. Присутствие последнего вызывает образование желтого чешуйчатого осадка  $Pb_2J_2$ .

Открытие магния (реакция с фенолфталеином). Одно-два зерна минерала растворяют в 20—50%-ной HCl. Раствор нейтрализуют содой до слабо щелочной или нейтральной среды. На фильтровальную бумагу наносят каплю спиртового раствора фенолфталеина. Затем на влажное пятно помещают каплю испытуемого раствора. После этого фильтровальную бумагу держат некоторое время над склянкой с аммиаком; в результате образуется интенсивное окрашивание пятна в красный цвет. Далее фильтровальную бумагу нагревают до обесцвечивания пятна и наносят каплю воды. В случае присутствия Mg пятно вновь окрашивается в красный цвет.

Реакция с дифенилкарбазидом. Одно-два зерна минерала разлагают в маленькой фарфоровой чашечке в 20—50%-ной HCl. После перевода кислого раствора едкими щелочами (NaOH или KOH) в сильно щелочной прибавляют несколько капель 5%-ного спиртового раствора дифенилкарбазида. Наличие Mg вызывает красно-фиолетовое окрашивание раствора вследствие образования внутрикомплексной соли:



## 7. ДРУГИЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ УРАНОВЫХ МИНЕРАЛОВ

При необходимости проведения детальных минералогических исследований, а также в диагностических целях, в зависимости от характера изучаемых соединений урана и стоящих задач, используются те или иные из более совершенных анализов, выполняемых в специальных лабораториях.

**Спектральный анализ** главным образом эмиссионный (спектры излучений), применительно ко всем урановым минералам, так же как и к другим природным соединениям, широко используется для быстрого получения из навески 50 мг и меньше полной качественной, а в ряде случаев полуколичественной характеристики химических элементов, содержащихся в минерале. Чувствительность определения для различных химических элементов различна — от процентов до тысячных долей процента. благородные газы, галлоиды, кислород, сера, азот, радий, актиний, протактиний, полоний спектральным анализом не определяются.

**Рентгеноспектральный анализ**, для которого также требуются ничтожные навески (50—100 мг), позволяет более точно, чем спектральный, определять уран, торий, тантал, ниобий, редкие земли, ряд редких элементов, в частности гафний и рений. В отношении этих элементов (кроме урана и тория) как по скорости, так и точности он имеет явное преимущество над химико-аналитическими методами. Рентгеноспектральный анализ является незаменимым при определении и изучении редкоземельных танталониобатов, титанатов и силикатов.

Этим методом обнаруживаются почти все химические элементы, за исключением пятнадцати первых элементов периодической системы Менделеева (кончая фосфором).

**Количественный химический анализ** дает наиболее точный ответ о химическом составе минерала. Данные полного химического анализа, пересчитанные на молекулярные количества, позволяют вывести химическую формулу минерала и выяснить количественные соотношения элементов-примесей. Химическому анализу должен предшествовать спектральный анализ минерала. Полный химический анализ, требующий на-



вески не менее 5—10 г, в большинстве случаев является недоступным для исследования урановых минералов, в частности вторичных.

За последние годы обычный химический метод анализа (макроанализ) с успехом заменяется микрохимическим методом, с помощью которого с достаточной точностью производится полный количественный анализ минерала из навески 0,6—1 г. К полным химическим анализам, несмотря на их сравнительную трудоемкость и высокую стоимость, при исследовании урановых минералов прибегают довольно часто из-за ограниченного числа имеющихся в литературе анализов, непостоянства химического состава, а главное из-за недостаточной полноты выявления существующих в природе соединений урана.

Рентгеноструктурный или рентгенометрический анализ, лежащий в основе кристаллохимии, широко применяется на современном этапе развития минералогии как самый совершенный метод изучения кристаллов.

Рентгеноструктурное исследование кристаллов основано на анализе интерференционной картины, получающейся в результате рассеяния рентгеновских лучей электронами, принадлежащими атомам кристаллической решетки.

Применительно к задачам исследования проводится или полный рентгеноструктурный анализ, или съемка только одной порошковой рентгенограммы.

Полный анализ позволяет установить сингонию, размеры и форму элементарной ячейки, вид симметрии (пространственную группу) и в ряде случаев уточнить химические формулы сложных соединений. При полном рентгеноструктурном анализе, основанном на применении различных методов (Лауэ, рентгеновского гониометра, вращения или качения кристалла, порошков), объектом исследования могут служить только монокристаллы (или в крайнем случае обломок кристалла) размером не менее 0,1—0,5 мм. Полный анализ требует измерения и анализа интенсивности интерференционных максимумов на рентгенограмме с длительной обработкой результатов съемки.

Съемка порошковой рентгенограммы, часто называемая рентгенометрическим анализом, производится для определения совокупности величин межплоскостных расстояний ( $d/n$ ) и интенсивности отражения различными плоскостями в кристалле ( $I_{\text{отр.}}$ ). Эти данные, поскольку они являются характерными величинами для каждого минерала, выражающими особенности его структуры, принято называть рентгенометрическими константами. Получение рентгенометрических констант осуществляется сравнительно простым методом порошков (Дебая — Шеррера — Хелла) и позволяет исследовать поликристаллические образцы в истертом виде объемом 5—20 мм<sup>3</sup> даже в смеси с небольшим количеством других компонентов. Вследствие этого рентгенометрические константы широко используются для диагностики минералов, установления величины кристаллов и при фазовом минералогическом анализе. Рентгенометрический анализ имеет особо важное, подчас решающее значение при определении минералов в случае трудностей в диагностике по внешним признакам и химическому составу или отсутствия достаточного количества материала для химико-минералогических исследований.

Определение минералов рентгенометрическим способом возможно при наличии достаточного набора эталонных рентгенопорошкограмм (определение производится без расчетов, сравнением с другими порошкограммами) или таблиц с рентгенометрическими константами (сопоставлением вычисленных  $d/n$  и  $I_{\text{отр.}}$ ).

Рентгенометрические константы целого ряда урановых минералов приведены в табл. 2.

Термический анализ (получение кривых нагревания) производится с целью регистрации эндо- и экзотермических эффектов, отра-

жающих физические и химические преобразования, происходившие в веществе при постепенном повышении температуры.

Наиболее характерные данные, которые нередко используются в диагностических целях, получаются для минералов, содержащих воду, гидроксил и уголекислоту (отенит, торбернит, цейнерит, шрёкингерит, ураноталлит и др.). Кроме того, для радиоактивных минералов, находящихся в метамиктном состоянии, в частности торосиликатов, танталониобатов и титанатов, содержащих уран, отмечается весьма характерный экзотермический пик в пределах 550—800° при переходе минерала в кристаллическое состояние.

Для некоторых минералов, содержащих шестивалентный уран, на термометрических кривых может отражаться переход в новый минеральный вид, отличающийся иным содержанием воды (ураношпатит в отенит и др.).

При химическом, оптическом и рентгенометрическом изучении минерала по характерным максимумам кривой термического анализа расшифровываются также окисление, восстановление и другие физико-химические превращения минерала.

Для производства термоанализа достаточна навеска 1—4 г. В последнее время в ряде лабораторий производится микротермический анализ, требующий навески 100—300 мг.

Более точные данные о характере воды, входящей в состав минерала, можно получить из кривых дегидратации (обезвоживания) минералов при нагревании, отражающих измеренную тем или иным способом потерю воды при определенных температурах. Необходимое количество исходного материала, в зависимости от методики определения колеблется от 10—20 мг (микротензиметрический анализ) до 1—2 г.

Экспериментальные химические и физико-химические опыты по получению в лабораторных условиях искусственных минералов (синтез минералов) позволяют выяснить в ряде случаев условия образования и кристаллизации природных соединений, изучить свойства чистых веществ и иногда предсказать возможность открытия новых минералов (пример с урановыми слюдками).

В настоящее время получают применение также и другие методы изучения минералов; исследование их при помощи электронного микроскопа, электродиализ, определение рН суспензий минералов, метод ультрафиолетовой и инфракрасной микроскопии и др., открывающие перед минералогией все новые и новые возможности.

## **8. О ПОДГОТОВКЕ МАТЕРИАЛА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ**

Подготовка материала для исследований — отбор чистых мономинеральных проб — является серьезной задачей, в значительной мере обеспечивающей успех минералогических исследований. Отбор чистых навесок в достаточном количестве является нередко самой трудоемкой частью работы по определению урановых минералов, особенно вторичных, встречающихся в небольших количествах и обычно в срастании между собой или с другими минералами. Недостаточно тщательный отбор материала приводит к недоброкачественным исследованиям, в результате чего за счет полиминеральных смесей нередко ошибочно устанавливаются «новые минералы» (ураномолибдит, наэгит и др.).

Ввиду непостоянства состава многих урановых минералов и в целях правильной организации лабораторной работы отбор минерала по возможности нужно производить из одного и того же скопления руды, выделяя из полученного материала средние пробы для различных исследований. Отбору минералов должно предшествовать наблюдение образца под бинокулярной лупой и под микроскопом (в шлифах или зернах) с пре-

дельно большими увеличениями для выявления всех возможных примесей, в том числе не поддающихся отделению.

Если представляется возможность (друзы, корочки), исследуемый минерал отделяется от образца иглой или ножом и подвергается дальнейшей сортировке и тщательному отбору под бинокулярной лупой.

В случае необходимости (вкрапленность, прожилки) образец перед сортировкой дробится, измельчается и просеивается через сито нужных размеров (в зависимости от величины зерен отбираемого минерала).

При низких содержаниях интересующего минерала в руде или породе приходится прибегать к получению концентрата, используя магнитные свойства, удельный вес, электростатические данные, различное отношение к флотореагентам и т. д.

В минералогической практике распространенными методами разделения минералов являются отбор ручным магнитом, электромагнитная сепарация, разделение тяжелыми жидкостями и центрифугирование. Из соответствующей фракции (концентрата) минерал выделяется в чистом виде обычным способом под бинокулярной лупой.

В случае наличия в руде люминесцирующих компонентов (минералы шестивалентного урана), отбор навески необходимо производить под люминоскопом, в ультрафиолетовом свете.

Сдаваемый на различные анализы минерал предварительно исследуется при помощи оптических и других минералогических методов; при этом измерение всех констант желательно производить на одном кристалле (зерне).

Затем материал для анализов должен быть истерт в порошок, тщательно перемешан и разделен в соответствии с величиной требуемых навесок, которые были указаны выше при характеристике соответствующего метода анализа.

Если минерал не удастся отделить от других непосредственным механическим отбором, то, выяснив минеральную природу примесей, иногда прибегают к анализу такого нечистого материала. В этом случае, при приближенном вычислении химического состава исследуемого минерала или интерпретации других анализов, учитываются данные микроскопических исследований, в том числе и результаты подсчета минеральных зерен.

Другим косвенным методом выяснения химического состава минерала, который нельзя отделить от примеси, является фракционный (фазовый) химический анализ. Последний основан на различной растворимости срастающихся минералов в тех или иных реагентах и дает возможность по анализу фильтрата определять состав растворенного минерала, а по нерастворимому остатку — состав другого минерала.

К отмеченным косвенным методам анализа минералов требуется подходить с крайней осторожностью, особенно учитывая свойство урана образовывать примеси в других минералах, встречающихся совместно с урановыми.

*ЧАСТЬ ВТОРАЯ*

ОПИСАНИЕ  
МИНЕРАЛОВ УРАНА

# І. ОКИСЛЫ

## А. БЕЗВОДНЫЕ ОКИСЛЫ

### БЕЗВОДНЫЕ ОКИСЛЫ УРАНА И БЕЗВОДНЫЕ ОКИСЛЫ УРАНА И ТОРИЯ

Для урановых и торийурановых окислов еще не установлены принципы выделения отдельных минеральных видов.

Эти окислы, по существу, представляют собой одно сложное семейство, отвечающее общей формуле:  $[(U^{4+}, Th)_{1-x} U_x^{6+}]O_{2+x}$ , из которой пока известны отдельные наиболее часто встречающиеся члены, различающиеся между собой или несколько иными физическими свойствами и химическим составом, или только физическими свойствами и, наконец, только формами выделения и условиями образования.

В результате обобщения материалов по природным окислам урана и тория выяснилось, что для торийсодержащих членов различия в свойствах определяются соотношением урана и тория, а для бесториевых — в основном соотношением четырех- и шестивалентного урана и морфологическими особенностями минералов. В соответствии с этим, следуя принципу В. Г. Мелкова, целесообразно систематизировать рассматриваемые окислы в два ряда:

1) бесториевый ряд от  $UO_2$  до  $UO_3$  с крайними членами настуран (или бесториевый уранинит) — остаточная чернь (группа безводных окислов урана) и

2) ториевый ряд от  $UO_2$  до  $ThO_2$  с крайними членами уранинит — торианит (группа безводных окислов урана и тория).

1. *Бесториевый ряд*  $UO_2-UO_3$ ; общая формула:  $(U_{1-x}^{4+} U_x^{6+})O_{2+x}$ .

Исключая регенерированную чернь, не имеющую определенных химических параметров (см. стр. 117), бесториевый ряд является непрерывным рядом природных превращений (окисление  $U^{4+}$  в  $U^{6+}$ , частичный вынос металла) с постепенным изменением физических и химических свойств.

Ряд начинается настураном (или бесториевым уранинитом) с отношением  $UO_2 : UO_3$  от 5 до 0,44 и кончается остаточной чернью, для которой отношение  $UO_2 : UO_3$  может снизиться от 0,44 до 0,05. Непрерывность указанного ряда иллюстрируется положением на диаграмме различных настуранов и остаточных черней рис. 5. Изменение различных физических свойств в ряде  $UO_2-UO_3$  происходит неравномерно. При изменении настурана прежде всего меняется блеск от сильного до матового, в связи с чем происходит понижение отражательной способности; далее снижается твердость, способность к полировке, понижается удельный вес, механическая прочность и повышается растворимость в кислотах. Сообразно с этим за руководящие признаки для разделения природных соединений этого ряда на настуран и остаточные черни наиболее рационально принять блеск (смоляной от сильного до слабого у настуранов, матовый

у остаточных черней) и твердость (граница раздела по шкале Мооса 4), что соответствует отношению в минерале  $UO_2 : UO_3 = 0,44$  или кислородному коэффициенту (отношению числа атомов кислорода к атомам урана)  $UO_{x-2,70}$ . Остальные диагностические признаки должны играть вспомогательную роль, и в предлагаемом определителе (таблица I) они используются как дополнительные.

Более подробное подразделение остаточных черней и настуранов по стадиям окисления, без выяснения в каждом отдельном случае отношения  $UO_2 : UO_3$ , может быть произведено с помощью измерения отражательной способности и микротвердости минералов.

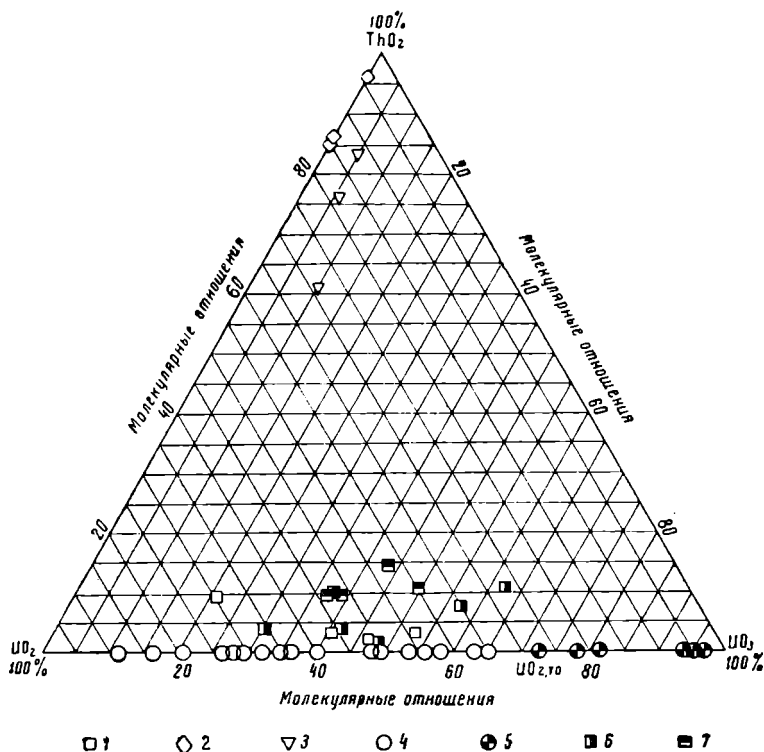


Рис. 5. Диаграмма соотношений  $TiO_2$ ,  $UO_2$  и  $UO_3$  в природных окислах урана и тория

1 — уранинит; 2 — торианит; 3 — алданит; 4 — настуран; 5 — урановая чернь; 6 — клевет; 7 — брэггерит

Помимо описанных взаимопереходов, связанных с изменением химического состава, между первичными окислами гидротермальных месторождений настураном и так называемым бесториевым уранинитом устанавливаются различия лишь по степени окристаллизованности. Уранинит, встречающийся в высокотемпературных гидротермальных месторождениях, представляет собой кристаллическую разновидность бесториевого окисла урана, а настуран аморфную (внешне и под микроскопом). В некоторых месторождениях наряду с уранинитом и настураном известны промежуточные члены этого ряда, представленные неясно окристаллизованными (развиты отдельные грани куба) и плотными окислами, кристаллическое строение которых обнаруживается лишь под микроскопом после травления.

2. Ториевый ряд  $UO_2 - ThO_2$ . Общая формула  $[(U^{4+}, Th)_{1-x} U_x^{6+}]_2 O_{2+x}$ .

Для окислов этого ряда лабораторным путем доказан непрерывный изоморфизм. В природных же условиях, по имеющимся в настоящее время аналитическим данным, изоморфная смесимость  $\text{ThO}_2$  и  $\text{UO}_2$  характеризуется тремя полями: полем торинита с отношением  $\text{UO}_2 : \text{ThO}_2 = 0,05-0,20$ ; алданита —  $\text{UO}_2 : \text{ThO}_2 = 0,20-0,26$  и уранинита, брёггерита и клевета, для которых отношение  $\text{UO}_2 : \text{ThO}_2 = 3,5-68$ .

Положение указанных полей в ряду  $\text{UO}_2-\text{ThO}_2$  изображено на рис. 5.

Уэллс (Walls) в 1933 г. предложил термин ураноторинит для члена ряда уранинит — торинит, в котором отношение  $\text{UO}_2 : \text{ThO}_2 = 1 : 1$ . Это название вошло в литературу, однако, в природе такое соединение пока неизвестно.

Как видно из приводимого ниже описания минералов группы безводных окислов урана и безводных окислов урана и тория и особенно из сравнения их диагностических признаков, помещенных в табл. I, они представляют собой соединения переменного состава, различающиеся только по ряду признаков. Приведенная систематика этих минералов нуждается в дальнейшем уточнении на основе нового фактического материала.

### 1. БЕЗВОДНЫЕ ОКИСЛЫ УРАНА

**Настуран** ( $\text{U}_{1-x}^{4+} \text{U}_x^{6+}$ )  $\text{O}_{2+x}$  формула по кислородному коэффициенту:  $\text{UO}_{2,13-2,70}$ .

Название дано В. И. Вернадским. Синонимы: урановая смолка, урановая смоляная обманка, урановая смоляная руда.

Минерал известен с XVIII столетия (смоляная руда). В большинстве литературных источников рассматривается как аморфная или скрытокристаллическая разность уранинита. В противоположность хорошо кристаллизованной разности уранинита — ульрихиту (в настоящее время синоним уранинита) настуран в старых работах иногда назывался уранинитом. В отдельных новых работах, благодаря установленному тождеству кристаллической структуры настурана и уранинита, эти два минерала объединяются под названием уранинит. По нашему мнению, объединять эти разности нельзя, так как они различаются: а) составом элементов-примесей, постоянно сопутствующих урану (в уранините Th и TR, в настуране сорбционные примеси  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ ); б) степенью дисперсности кристаллических индивидов; в) физико-химическими свойствами и г) генетическими особенностями.

Физико-химические свойства и условия нахождения настурана описаны многими авторами.

Химический состав и физические свойства настурана обнаруживают большие колебания. Последние особенно значительны в связи с процессами преобразования этого минерала в зонах гипергенеза, где он дает начало двум минеральным рядам — ряду остаточных черней и ряду гидрокислов. Границы между настураном и вторичными минералами этих рядов, как во всех подобных случаях, отбиваются условно: с чернью по кислородному коэффициенту 2,70, твердости, блеску и другим свойствам; с гидронастураном также по степени окисленности, прозрачности, блеску, хрупкости (см. табл. I и II).

Минерал аморфный. Образует плотные, часто концентрически натечные массы, почковидные, гроздевидные скопления, сферические коллоидные стяжения (рис. 6). Спайность отсутствует. Цвет черный. Черта черная, у окисленных разностей с зеленоватым и буроватым оттенками. Минерал непрозрачный (при гидратации начинает просвечивать в тонких осколках бутылочно-зеленым цветом). Блеск смоляной сильный до слабосмоляного (у разностей, переходящих в чернь). При гидратации блеск не тускнеет, но меняется на стеклянный. Излом раковистый.

Твердость, особенно при точном измерении под микроскопом, заметно колеблется даже в контурах одного и того же зерна, что объясняется легкой окисляемостью настурана и, возможно, наличием примесей в первоначальном составе уранового геля. В наиболее свежих (под микроскопом светлых) участках практически неокисленного настурана (кислородный коэффициент 2,16—2,33) абсолютная микротвердость 727—464 кг/мм<sup>2</sup>, или в относительных единицах шкалы Мооса 6,29—5,42; в участках же, располагающихся вдоль трещин и по периферии рудных выделений (под микроскопом темных) твердость уменьшается до 304 кг/мм<sup>2</sup> или в относи-

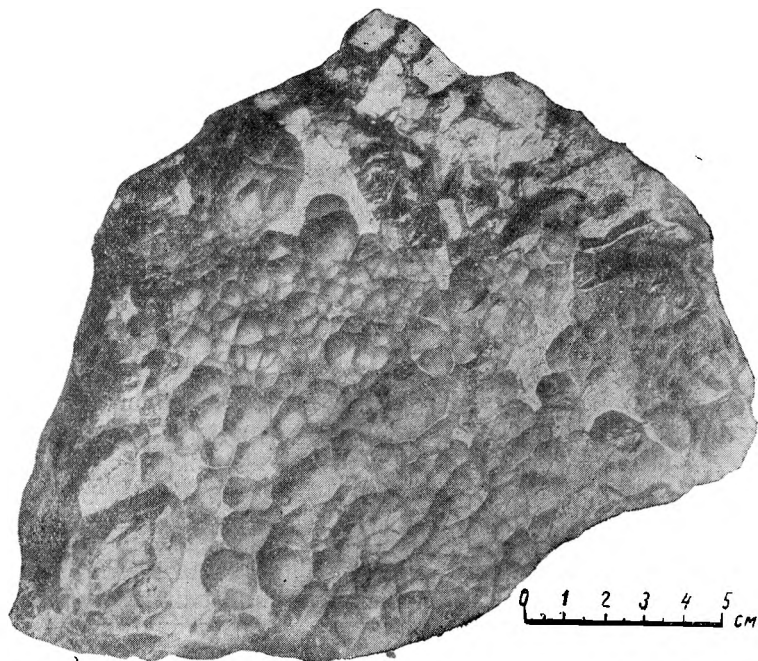


Рис. 6. Натечно-почковидные выделения настурана

тельных единицах Мооса до 4,7. У окисленных настуранов с кислородным коэффициентом 2,40—2,50 абсолютная микротвердость колеблется от 605 до 471 кг/мм<sup>2</sup>, в относительных единицах 5,92—4,71, а у разностей, переходных к остаточной черни или гидронастурану с кислородным коэффициентом около 2,70, она приближается к 4. Уд. вес минерала колеблется в зависимости от тех же причин, что и твердость, в пределах 7,7—6,09 и у разностей, переходных к черням, уменьшается до 4,8. Практически все разности настурана электромагнитны.

**Оптические свойства.** В отраженном свете цвет настурана серый без оттенков. Внутренние рефлексии, как правило, отсутствуют. При окислении настурана так же, как и при наличии включений нерудных минералов или гематита, с иммерсией наблюдаются рефлексии темнобурого или темнозеленого цвета. Отражательная способность настурана еще более отчетливо, чем микротвердость, зависит от степени окисления минерала, изменяясь от 16,8 до 11,6 %. Небольшие колебания отражательной способности, примерно до 1%, наблюдаемые иногда в различных зонах одного и того же микроскопического выделения (рис. 7), могут, повидимому, зависеть от наличия посторонних примесей в составе настурана. Очень часто настураны различных месторождений под микроскопом обнаруживают концентрически-зональные, колломорфные структуры (рис. 8). При этом отдельные зоны отчетливо выделяются по отража-



тельной способности и количеству включений, а также по скорости травления  $\text{HNO}_3$ .

Под микроскопом наблюдается характерная для выделений настурана сеть радиальных, концентрических и замкнутых трещин дегидратации, разбивающих минерал на мелкие фигуры изометрических очертаний. Как правило, по трещинам отлагаются более поздние сульфиды и карбонаты или они остаются полыми.

Кроме того, в настуранах некоторых месторождений находится в виде тонкой эмульсионной вкрапленности галенит. Остальные сульфиды и иногда магнетит и гематит образуют в настуране более грубые включения. Нередко под микроскопом наблюдается переход настурана в чернь или гидронастуран.

Травление. Из стандартных реактивов настуран поддается (за редкими исключениями) травлению концентрированными  $\text{HNO}_3$ ,  $\text{HCl}$  (бурое пятно) и 20% —  $\text{FeCl}_3$  (побурение), иногда разбавленными (1:1)  $\text{HCl}$ ,  $\text{HNO}_3$ . Установлено, что более легко травятся кислотами и  $\text{FeCl}_3$  до черноты окисленные разновидности настурана.  $\text{KCN}$ ,  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{KOH}$  на настуран не действуют.

Рентгеноструктурное изучение настурана из различных гидротермальных и осадочных месторождений указывает на то, что он кристаллический и решетка его, как и у уранинита, отвечает гранецентрированному кубу типа  $\text{CaF}_2$ , с ребром элементарной ячейки 5,470 до 5,44, иногда 5,405 Å. Анализом природных и искусственных настуранов установлено, что уменьшение размера ячейки связано с окислением в минерале  $\text{U}^{4+}$ , характеризующегося большим ионным радиусом, в  $\text{U}^{6+}$  с меньшим радиусом иона. В отличие от уранинита, настуран имеет то более, то менее диффузные (размытые) линии, иногда дает нечеткую порошковую рентгенограмму и в отдельных случаях не обнаруживает дифракционной картины. У некоторых настуранов наблюдаются дополнительные линии (до 8 линий), указывающие на присутствие в минерале практически неотделимых посторонних примесей. Рентгенометрические константы ( $d/n$ , I) настурана приведены в табл. 2.

Химический состав. Состав настурана изучен достаточно хорошо. В настоящее время известно большое количество химических анализов этого минерала из различных гидротермальных месторождений (табл. 5). Кроме того, имеются несколько неполных фракционных анализов настурана из осадочных месторождений (см. ниже). Из анализов настурана видно, что в составе его, как правило, отсутствуют торий и редкие земли, всегда содержащиеся в уранинитах пегматитовых месторождений, но имеются другие примеси, особенно  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ , содержание которых достигает нескольких процентов. Большая часть этих примесей находится в посторонних минералах, присутствующих в настуране в виде неотделимых микроскопических включений. Часть  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ , как в настоящее время доказано опытами по



Рис. 7. Концентрические зоны настурана с различной отражательной способностью. Аншлиф.  $\times 17$  (по А. А. Кругловой)

Химический состав настурана некоторых гидротермальных месторождений

Образец, год анализа	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O+ +K <sub>2</sub> O	CaO	MgO	BaO	PbO	ZnO	ThO <sub>2</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Из уран-висмут-ко- бальтового место- рождения, 1951 . . .	84,08	49,52	36,16	—	—	—	—	Pb 1,46 Pb 3,40	—	—	—	5,40	3,00
То же, 1949 . . . . .	—	33,46	44,17	—	4,84	1,62	Следы	3,40	—	—	—	3,89	1,40
Из железо-уранового месторождения, 1951	71,73	—	—	—	2,75	1,61	—	11,2	—	—	—	2,2	8,43
Колебание по 25 ана- лизам . . . . .	—	27,55—59,30	22,33—52,87	0—0,27	0,69—9,77	0,11—10,40	0—0,06	1,61—17,07	0—0,27	0—0,004	0—0,90	0—12,30	0—11,8

Продолжение табл .

Образец, год анализа	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MnO	CuO	ZrO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	S	As	Bi	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	П.п.п.	Сумма
Из уран-висмут-ко- бальтового м. сто- рождения, 1951 . . .	—	—	3,70	—	0,08	—	—	—	—	—	—	—	1,9	100,20
То же, 1949 . . . . .	3,44	—	—	—	—	0,15	Следы 0,10	0,45	0,50	—	1,00	1,26	—	98,69
Из железо-уранового месторождения, 1951	1,57	—	—	—	Ti 0,02	—	—	0,04	—	—	0,24	0,24	1,03	100,85
Колебание по 25 ана- лизам . . . . .	0—7,52	0—1,10	0—3,70	0—0,14	0—0,08	0—1,33	0—0,72	0—0,04	0—0,75	0—0,06	0—5,25	0—5,25	0—1,9	—

электродиализу настурана, принадлежит сорбционным примесям, повидимому, поглощенным урановым окислом при коагуляции (неизбежные примеси — стабилизаторы золя).

Наличие свинца в настуране обусловлено, с одной стороны, постоянным присутствием в нем включений галенита, а с другой — явлениями радиоактивного распада, что установлено массспектральными анализами изотопического состава свинца.

Как наглядно изображено на рис. 5, настуран обнаруживает значительные колебания по соотношению четырех- и шестивалентного урана, на основании чего выделяют три группы настуранов, отличающиеся также по физическим свойствам: 1) с кислородным коэффициентом 2,16—2,33, 2) с кислородным коэффициентом 2,40—2,50 и 3) переходная к остаточным черням, с кислородным коэффициентом более 2,50 (до 2,70).

**Растворимость.** Специальные опыты по растворению настуранов различных месторождений показывают:

1. В  $\text{HNO}_3$ , как концентрированной, так и разбавленной, происходит достаточно интенсивное и наиболее полное растворение минерала с выщелачиванием 95—99% урана.

2. Интенсивность растворения в  $\text{HCl}$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$  находится в прямой зависимости от содержания в минерале  $\text{UO}_3$ . Выщелачивание урана в концентрированной  $\text{HCl}$  составляет 54—97%, в  $\text{H}_2\text{SO}_4$  (1 : 3) 0,3—30%.

3. При прибавлении одной части  $\text{HNO}_3$  к девяти частям разбавленной (1 : 3)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  происходит полное окисление четырехвалентного урана, и выщелачивание урана достигает 97%.

4. Полное растворение настурана не достигается ни одним растворителем. Нерастворимый остаток представлен аморфным веществом (механические примеси) и иногда мелкими зернами самого настурана.

Определенный по свинцовому методу абсолютный возраст настуранов различных месторождений (большой частью без поправки на изотопический состав свинца), колеблется от 36 до 1368 млн. лет.

Результаты радиохимических анализов указывают на то что настураны радиоактивно равновесны (кроме окисленных разностей).

По результатам термических анализов ряда образцов настурана из различных месторождений, проведенных методом кри- вых нагревания и обезвоживания в пределах температур от 20 до 1100° в комплексе с микроскопическим и рентгеноструктурным изучением, установлено:

1. Вода в настуране выделяется при температуре 100—300° и носит адсорбционный характер.

2. При температуре 250—500° происходит частичное окисление  $\text{UO}_2$  до  $\text{UO}_3$ . Согласно некоторым авторам, искусственный окисел  $\text{UO}_{2,3}$  имеет тетрагональную структуру.

3. Интервал 700—900° характеризуется превращением основной массы  $\text{UO}_3$  в новую кристаллическую фазу, соответствующую синтетическому окислу  $\text{U}_3\text{O}_8$  ромбической структуры.

4. При более длительном нагревании происходит частичный переход  $\text{U}_3\text{O}_8$  в  $\text{UO}_2$  с кубической решеткой флюоритового типа.

В результате экспериментальных работ по синтезу настурана из сред, близких к условиям гидротермального процесса, настуран был получен при температуре 250° и упругости водяного пара 39 атм в кальциево-карбонатной среде с содержанием в растворе 27,5—72,5%  $\text{CaCO}_3$ , а также путем коагуляции урано-кремневого золя бикарбонатом кальция. Искусственный настуран представлял собой, как и природный минерал, натечные оолитоподобные образования с отношением  $\text{U}^{4+} : \text{U}^{6+}$  несколько меньшим, чем в природном минерале или (в присутствии бора) близким к последнему.

**Диагностические признаки.** По внешнему облику — аморфное сложение, почковидно-натечная форма выделений, смоляной блеск,

раковистый излом, выделяется среди черных окислов урана, дающих черную черту. От самарскита и гельмита, в случае отсутствия морфологических признаков, настуран отличается положительным отпечатком с  $K_4[Fe(CN)_6]$  и отсутствием Ta и Nb; от бесториевого уранинита — отсутствием кристаллических форм и прожилковым, гнездовым или ленточным характером выделения, а также более низким значениям отражательной способности и микротвердости; от типичного пегматитового уранинита (так же как торинита и алданита), кроме того, отсутствием Th и TR (рентгеноспектральный анализ); от урановых черней — плотным сложением, смоляным блеском, более высокой твердостью ( $>4$ ) и удельным весом ( $>4,8$ ), оптическими свойствами — более высокой микротвердостью, большим коэффициентом отражения и способностью к полировке. Для установления тонкорассеянного настурана в рудах осадочного происхождения, в частности, в углях, известняках и других бедных кварцем и пиритом породах, в настоящее время широко используется рентгеноструктурный анализ средней пробы из тяжелой фракции породы, особенно получение рентгенометрических констант минерала  $d/p$  и  $I_{отн.}$  (чернь, как правило, рентгеноаморфна).

Происхождение, условия нахождения в природе, спутники. Настуран является типичным и практически единственным первичным урановым минералом гидротермальных месторождений (исключая бесториевый уранинит, наблюдавшийся в немногих месторождениях). Он встречается во многих генетических типах гидротермальных месторождений, связанных с кристаллизацией гранитной магмы и охватывающих большой интервал температур и давлений. Однако образование главных промышленных месторождений настурана происходит в области невысоких температур. Мелкие рассеянные выделения настурана установлены в ряде осадочных и осадочно-метаморфогенных месторождений. Кроме того, настуран зафиксирован в россыпи.

Известно большое количество гидротермальных месторождений настурана различного возраста, как собственно урановых, так и комплексных, с полиметаллами, железом, висмутом, никелем, кобальтом и другими. При этом для ряда комплексных месторождений (железо-урановых, уран-серебро-висмут-никель-кобальтовых) новейшими исследованиями доказано, что настуран и сопутствующие ему другие полезные компоненты связаны с различными, резко разобщенными во времени этапами минерализации, совмещенными в пределах одних и тех же рудных зон. В связи с этим многие встречающиеся совместно с настураном минералы не должны рассматриваться как находящиеся с ним в тесном парагенезисе.

Ниже приводится перечень генетических типов месторождений настурана и главнейших характерных для них минеральных ассоциаций по Д. Я. Суражскому.

1. Гидротермальные метасоматические месторождения, образовавшиеся главным образом в результате метасоматоза определенных пластов или прослоев осадочных и метаморфических пород. По минералогическому составу выделяются три формации:

а) собственно урановая с настураном, альбитом, сфеном, небольшим количеством халькопирита;

б) железо-урановая с настураном, бесториевым уранинитом, магнетитом, гематитом, анкеритом, сидеритом, кальцитом, кварцем, хлоритом, щелочными пироксенами и амфиболами и небольшим количеством сульфидов меди, железа, цинка и свинца;

в) медно-урановая с настураном, бесториевым уранинитом, сульфидами меди, иногда железа, кобальта, никеля и молибдена, а также самородными элементами (медь, серебро), монацитом, рутилом, турмалином, минералами таллия, доломитом, магнетитом.

2. Месторождения, сформировавшиеся преимущественно путем рудоотложения в открытых полостях. По преобладанию тех или иных рудообразующих минералов, сопутствующих настурану, выделяются пять главных формаций:

а) собственно урановая, главным образом с окислами: настураном, гематитом, гидрогематитом, кварцем и карбонатами — доломитом, анкеритом, кальцитом; нередко отмечаются также флюорит, барит, хлорит; в качестве аксессуарных минералов присутствуют сульфиды (халькопирит, галенит, пирит, иногда сфалерит и блеклая руда);

б) ураново-серебро-висмут-никель-кобальтовая (пятиметалльная) формация с арсенидами и сульфоарсенидами никеля, кобальта и железа (никелин, раммельсбергит-сафлорит, смальтин-хлоантит, герсдорфит, лёллинит), самородным серебром или висмутом, самородным мышьяком и рядом аксессуарных минералов, среди которых отмечаются: настуран, сульфиды, сульфоарсениды, сульфосоли серебра (прустит, стефанит, пираргирит); из жильных минералов распространены кварц, карбонаты (преимущественно анкерит и доломит), барит, флюорит;

в) ураново-полиметаллическая формация с галенитом (преимущественно серебросодержащим), сфалеритом, пиритом и небольшими количествами халькопирита, блеклой руды, настурана, сульфосолей серебра, гематита, иногда висмутина, арсенопирита; нерудные минералы чаще всего представлены кварцем и карбонатами (преимущественно кальцитом);

г) ураново-молибденовая формация с настураном, молибденитом, халькопиритом, галенитом, пиритом; жильные минералы — кварц, карбонат;

д) ураново-дисульфидно-таллиевая формация, характеризующаяся, наряду с развитием настурана (гидратированного), обилием обогащенных сурьмой, мышьяком и таллием пирита и марказита, развитием вранита, лоранцита и из жильных минералов — анкерита, мангано-кальцита, опала, гидроалюмосиликатов.

Кроме перечисленных пяти формаций, к этому же жильному типу месторождений должны быть отнесены непромышленные высокотемпературные кварцево-вольфрамитовые жилы с настураном, вольфрамитом, касситеритом, топазом, цинвальдитом, арсенопиритом, флюоритом и халькопиритом.

В месторождениях или участках месторождений, в которых рудоотложение связано с метасоматозом (1-й тип), настуран обычно по тонким капиллярным трещинкам и порам замещает вмещающие породы или более ранние руды, образуя в них относительно равномерную мелкую (0,01—0,06 до 1-2 мм) вкрапленность. Для настурана из месторождений, образовавшихся вследствие рудоотложения в открытых полостях (2-й тип), характерны прожилки в дробленых и милонитизированных вмещающих породах, гнездовые и ленточные скопления и сферические стяжения в жильном карбонате или кварце. При этом размер выделений настурана большей частью соответствует нескольким миллиметрам до 3—5 см (по мощности), редко больше. В некоторых месторождениях наблюдаются микроскопические сростания настурана с кварцем и пиритом, также корочки на пирите, других сульфидах, самородном висмуте или самородном серебре.

Гидротермальное происхождение приписывается в последнее время настурану, как и ураниниту, из золотоносных конгломератов Витватерсранда и других золоторудных районов Южной Африки, где минерал иногда совместно с тухолитом и уранинитом, наблюдается в виде зерен или явно замещает цемент и кварцевую гальку конгломератов. При этом отмечается, что отложение урана сосредоточивалось в пластах и горизонтах с наибольшей проницаемостью.

В месторождениях осадочных и осадочно-метаморфогенных распределение настурана контролируется страти-

графическим положением продуктивных слоев, но по отношению к породообразующим минералам он является эпигенетическим.

В уран-ванадиевых месторождениях, связанных с отложением известняков, настуран приурочен к глубоким горизонтам месторождений, участвуя в строении известковых оолитов, замещая оолиты и раковины микроорганизмов и отлагаясь на зернах кальцита и в сутурно-стилолитовых швах известняков. Настуран здесь представлен мельчайшими сферическими выделениями диаметром 0,001 мм и меньше, рассеянными в породе (первичной руде) и в редких случаях (в стилолитовых швах) образует скопления, заметные невооруженным глазом. Спутниками настурана являются: майлисуит, пирит, галенит, органическое вещество и из вторичных минералов — урановая чернь, карнотит, тьямунит.

Ниже приводится химический состав настурана из урано-ванадиевого месторождения, по данным неполного микрохимического анализа концентрата (1951 г.).

UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	Нерастворимый остаток
33,50%	36,97%	7,34%	3,19%	5,87%	1,14%

В ураноносных углях первичный окисел урана с кристаллической решеткой уранинита, удельным весом 5—5,4 и содержанием U 52%, относимый к настурану, установлен среди толщ различного возраста. Минерал отлагается на зернах пирита, в центральных частях ячеек фюзена, а также в тонких трещинках. Наибольшие размеры выделений настурана 1—2 мм. Кроме пирита, спутником настурана в углях является урановая чернь и из молодых новообразований — сульфаты, карбонаты и фосфаты урана.

В толще силурийских сланцев настуран найден в прослоях неслоистых аргиллитов. Он образует стяжения диаметром 1—5 мм во внутренних частях или на поверхности пиритовых конкреций, связанных с поздней стадией диагенеза. Удельный вес минерала  $5,9 \pm 0,3$ , он немагнитен, а по оптическим свойствам аналогичен гидротермальному настурану. Ниже приводится микрохимический состав настурана по данным неполного анализа 1952 г.

UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	MoO <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
27,30%	50,74%	Следы	1,70%	5,65%	3,20%
CaO	MgO	MnO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Fe	S
3,29%	1,34%	0,25%	2,97%	2,28%	4,40%

В большинстве других осадочных и осадочно метаморфогенных месторождений настуран обычно сильно окислен, а иногда почти полностью замещен урановой чернью.

О неустойчивости настурана к атмосферному выветриванию свидетельствует полное растворение обломков минерала в русле одной из рек Бразилии в течение 7—8 месяцев.

Для россыпных отложений вследствие легкой разрушаемости в поверхностных условиях настуран нехарактерен. Лишь при особо благоприятных условиях (полярный климат, вроски в кварце) настуран образует небольшие концентрации в россыпях на незначительном удалении от коренных выходов гидротермальных руд.

Практическое значение. Основная руда на уран.

**Бесториевый уранинит** (U<sub>1-x</sub><sup>4+</sup>U<sub>x</sub><sup>6+</sup>)O<sub>2+x</sub>. Впервые установлен в 1951 г. И. Н. Розиной и А. И. Тугариновым и отнесен к ураниниту. Представляет собой разновидность уранинита, не содержащую торий и редкие земли, по химическому составу близкую к настурану. Сингония кубическая.

Образует мелкие, обычно микроскопические (0,005—0,1 мм, редко до 0,5 см) кристаллы с формами куба, редко октаэдра, часто неполностью ограненные. Встречается в виде одиночных вкрапленных кристаллов, кри-

сталлических скоплений. Спайность не наблюдается. Цвет черный. Минерал непрозрачный. Блеск смоляной. Излом раковистый. Твердость, измеренная под микроскопом (абсолютная микротвердость), колеблется в пределах 410—594 кг/мм<sup>2</sup>, что по шкале относительной твердости Мооса соответствует 5,10—5,88. При изменении (окислении) минерала твердость понижается до 280—258 кг/мм<sup>2</sup>, или по шкале Мооса до 4,7—4,46. Уд. вес 7,8.

Оптические свойства. Под микроскопом видно, что разрезы кристаллов бесториевого уранинита имеют кубическую форму. В проходящем свете непрозрачный, черный. В отраженном свете цвет серый, без оттенков. При полировке дает ямчатую поверхность. Изотропный. Внутренний рефлекс не обнаруживает даже в иммерсии. Отражательная способность невысокая. Показатель отражения колеблется в пределах 14,4—12,5%, в отдельных участках кристаллов, в результате червонного окисления минерала, уменьшается до 11,6%.

При травлении стандартные реактивы, кроме HNO<sub>3</sub> и FeCl<sub>3</sub>, не действуют. Характерно наличие вокруг кристаллов уранинита в окружающих минералах ореолов: в магнетите — ореолы мартитизации в отраженном свете, почти белого цвета, в карбонатах, хлоритах и амфиболитах — темносерые ореолы распыленного гематита с красно-бурыми внутренними рефлексами, в альбите — ореолы из хлорита и гематита.

Рентгеноструктурное изучение. На порошкограммах бесториевого уранинита из железо-уранового месторождения установлены дифракционные линии решетки уранинита (см. табл. 2).

Химический состав минерала характеризуется данными, приведенными в табл. 6.

Таблица 6

Химический состав бесториевого уранинита

Образец, год анализа	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	CaO	MgO	PbO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	Сумма
Из железо-уранового месторождения,											
1952	54,12	2,56	3,12	8,04	5,68	11,81	7,88	0,77	0,29	2,36	96,05
1952	71,5	2,56	0,19	17,20	4,40	1,50	1,31	0,68	—	—	99,80
1955	68,23	2,20	0,36	15,36	6,20	2,60	1,78	0,1	—	П. п. п. 2,40	99,23

Рентгеноспектральным анализом уранинита из того же месторождения установлены примеси: Ti < 0,02%; V 0,01—0,05%; Cr 0,02—0,05%; Mn 0,02—0,05%; Ni 0,1—0,3%; Zn < 0,02; gf < 0,1%; Bi < 0,01%.

Примерное представление о величине соотношения окислов урана в этом минерале дают приведенные ниже результаты неполного химического анализа уранинитсодержащего концентрата с отдельным определением UO<sub>2</sub> и UO<sub>3</sub>.

UO<sub>2</sub> 6,30%; UO<sub>3</sub> 6,40%; PbO 3,84%; S 0,09%.

По результатам анализа отношение UO<sub>3</sub>:UO<sub>2</sub> = 1:1 или, точнее, по кислородному коэффициенту UO<sub>2,48</sub>.

Приведенные результаты анализов указывают на весьма близкий химический состав бесториевого уранинита и настурана, в частности, на присутствие тех же неизбежных примесей.

Термический анализ показывает отсутствие воды. Отмечающиеся на кривой реакции — экзотермическая при 450° связана с окислением урана в шестивалентную форму, а эндотермическая при 600—750° отвечает переходу UO<sub>3</sub> в U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>.

Изотопический состав свинца бесториевого уранинита:  $Pb_{205-203} = 85,7\%$ ;  $Pb_{207} = 11,5\%$ ;  $Pb_{208} = 2,8\%$ .

Абсолютный возраст, бесториевого уранинита из железо-уранового месторождения, определенный по свинцовому методу составляет для уранинита I генерации, —  $1,700 \pm 50$  млн. лет, для уранинита II генерации — 940 млн. лет.

**Диагностические признаки.** Для отличия бесториевого уранинита от обычного уранинита требуется выяснить, отсутствуют или имеются в нем Th и TR. Бесториевый уранинит отличается от обычного также более мелкими размерами кристаллов, бедностью форм, большим количеством примесей и приуроченностью к гидротермальным месторождениям. Эти химические и генетические особенности являются достаточным основанием для выделения бесториевого уранинита в особую разновидность, тесно примыкающую к настурану.

Уранинит встречается в месторождениях обычно вместе с настураном, от которого он по химическому составу не отличается и может быть выделен лишь по наличию кристаллических форм, устанавливаемых иногда только под микроскопом, а также оптически — по более высокой отражательной способности и микротвердости. При этом микроскопическими и рентгеноструктурными исследованиями устанавливается наличие слабо окристаллизованных переходных разностей между уранинитом и настураном, усугубляющих трудности и неопределенности. возникающие при диагностике окислов.

Оптически бесториевый уранинит сходен с магнетитом и сфалеритом, но отличается худшей способностью к полировке (ямчатая поверхность); от магнетита он отличается отсутствием оттенков в сером цвете, от сфалерита — относительно более высоким рельефом.

**Происхождение.** Минерал образуется в высокотемпературных кварцевых жилах и в гидротермальных метасоматических месторождениях, на ранних этапах минералообразования, иногда связываясь с щелочным метасоматозом вмещающих пород.

**Условия нахождения в природе.** Образует вкрапленность в кварцевых жилах (Северная Мексика), медно-никель-кобальт-урановых рудах (Катанга, Бельгийское Конго), магнетито-гематитовых рудах, скарнах или вмещающих породах (железо-урановые месторождения). Характерна коррозия кристаллов бесториевого уранинита альбитом и сульфидами, замещение его более поздним настураном, а также дробление и пересечение сульфидно-карбонатными прожилками, с которыми иногда связывается отложение небольшого количества уранинита поздней генерации. Иногда в бесториевом уранините наблюдаются включения галенита, образовавшегося за счет радиогенного свинца.

**Спутники.** Золото, пирит, магнетит, настуран, халькопирит, галенит, гематит, альбит, эгирин, рибекит, карбонат, кварц.

**Распространение, изученность.** Минерал редкий. Зафиксирован в нескольких месторождениях, как правило, в небольших количествах, резко уступающих настурану, и лишь в высокотемпературных кварцевых жилах в Северной Мексике уранинит не сопровождается настураном. Минералого-химическому изучению, результаты которого изложены выше, подвергался лишь бесториевый уранинит из железо-уранового месторождения.

**Практическое значение.** Руда на уран.

**Урановая чернь.** Закись-окись урана непостоянного состава. Общая формула:  $(U_{1-x}^{4+} U_x^{6+})O_{2+x}$ . Формула по кислородному коэффициенту:  $UO_{2,70-2,92}$ . Чернь впервые выделена как новая минеральная форма урана В. Г. Мелковым в 1939 г.

Физические свойства минерала непостоянны и находятся в зависимости от соотношения в нем окислов четырех- и шестивалентного урана, от-



раженного в формуле величиной  $2 + x$  или кислородным коэффициентом  $UO_x$ . Последний колеблется у черней от 2,70 до 2,92. У разновидностей с низким кислородным коэффициентом физические свойства близки к настурану, производными которого является большинство черней. По мере возрастания кислородного коэффициента свойства черней — твердость, удельный вес и некоторые оптические константы — непрерывно меняются.

Урановые черни резко различаются также по формам выделения, условиям залегания и состоянию радиоактивного равновесия, в зависимости от обстановки, в которой они образуются в природе. В связи с этим выделяют чернь остаточную, образующуюся в результате окисления настурана гидротермальных, а также осадочных месторождений на месте первоначального залегания настурана, и чернь регенерированную, выделяющуюся из водозовых растворов в восстановительных условиях.

В связи с тем, что остаточная урановая чернь представлена большим непрерывным рядом природных образований, отвечающих различным стадиям окисления настурана (см. рис. 5), этот ряд удобно разбить на две группы, различающиеся своими крайними представителями и близкие в переходных разновидностях: I группа — черни плотные, поддающиеся полировке, более или менее приближающиеся по своим свойствам к настурану; II группа — черни пористые и рыхлые, очень плохо или совсем не поддающиеся полировке. Кислородный коэффициент, разделяющий их, близок к 2,85.

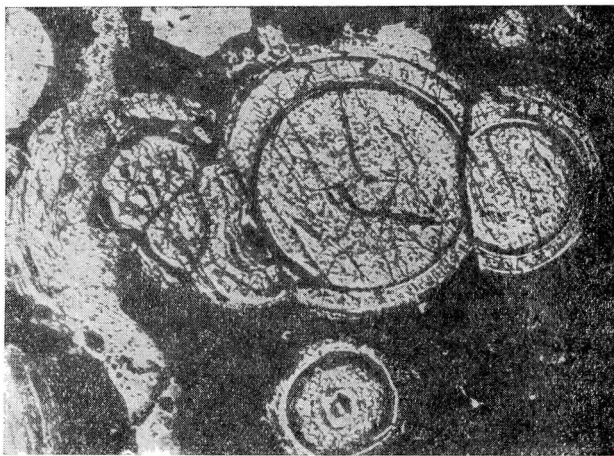


Рис. 8. Концентрически-зональные выделения настурана. Аншлиф.  $\times 17$

Урановые черни внешне аморфны. Остаточные черни образуют плотные массы, натечные гроздевидные образования и сферические стяжения, унаследованные от настурана, пористые и рыхлые массы. Регенерированные черни дают пленки, рыхлые, пылевидные и сажистые образования обычно в тонкой механической смеси с другими минералами, иногда плотные корочки. Цвет черней серо-черный, темносерый, пепельно- и зеленовато-серый. В присутствии гидроокислов железа окраска черней приобретает буроватые оттенки. Блеск матовый.

Урановые черни внешне аморфны. Остаточные черни образуют плотные массы, натечные гроздевидные образования и сферические стяжения, унаследованные от настурана, пористые и рыхлые массы. Регенерированные черни дают пленки, рыхлые, пылевидные и сажистые образования обычно в тонкой механической смеси с другими минералами, иногда плотные корочки. Цвет черней серо-черный, темносерый, пепельно- и зеленовато-серый. В присутствии гидроокислов железа окраска черней приобретает буроватые оттенки. Блеск матовый.

Излом землистый; у некоторых (чернь остаточная I) плоскораковистый и неровный. Твердость у остаточных черней сильно колеблется, даже в пределах одного и того же образца (вдоль трещин и с периферии рудных выделений обычно располагаются участки пониженной твердости). Средняя твердость у остаточных черней колеблется: I группы (чернь плотная) от 4 (на пределе с настураном) до 3 и 2; II группы (чернь рыхлая) от 2 до 1. Уд. вес у остаточных черней также снижается в ходе процесса окисления исходного настурана и колеблется примерно в пределах 4,8—3,1; у регенерированной черни — в пределах 2,84—2,89. Чернь полностью растворима в  $HNO_3$ , частично в  $HCl$ , причем растворимость в кислотах повышается с возрастанием кислородного коэффициента.

Образец	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	PbO	Fe <sub>2</sub> O + + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Чернь I UO <sub>2,7</sub> . . . . .	11,70	27,97	1,93	7,20
» I UO <sub>2,82</sub> . . . . .	3,00	14,6	16,2	—
» II UO <sub>2,92</sub> . . . . .	0,70	9,80	—	—
Колебание по 8 анализам . . . . .	Следы 11,70	9,80— 40,39	1,93 26,7	—

Оптические свойства. Минерографически изучались лишь остаточные черни. Окраска в отраженном свете у них чаще всего пятнистая от серой до темносерой. У самых плотных разностей черней сохраняются колломорфные структуры и минеральные включения, свойственные настурану. Можно указать на закономерное снижение отражательной способности (от 11,6%), твердости (от средней до низкой), способности к полировке (от средней до очень плохой) и увеличение интенсивности травления (кислотами) по мере возрастания кислородного коэффициента. При этом выясняется исключительно неоднородное строение черни с сильным колебанием указанных свойств даже в пределах небольших участков шлифа, объясняющимся неравномерным развитием процесса окисления.

Травление: из стандартных реактивов черни травятся HNO<sub>3</sub>, HCl, FeCl<sub>3</sub>, но на них не действуют KCN и HgCl<sub>2</sub>.

Оптические свойства регенерированной черни вследствие дисперсности вещества не изучены. В проходящем свете (в препарате) эти черни представляются тонкой смесью пылевидных частиц с разнородными кристаллическими компонентами — мусковитом, тальком, каолином, кальцитом, доломитом, кварцем, также с пиритом или марказитом.

Рентгеноструктурным анализом установлено присутствие в остаточных чернях кристаллической фазы, соответствующей кубическому UO<sub>2</sub> с флюоритовым типом структуры (как у уранинита и настурана). Разности сильно окисленных остаточных черней с содержанием UO<sub>3</sub> > 80% (кислородный коэффициент UO > 2,82) не дают дифракционной картины.

Для сажисто-черной и графитоподобной разностей регенерированной черни также установлена флюоритовая структура с элементарной ячейкой 5,438—5,44Å.

Химический состав остаточных черней изменяется в зависимости от состава первичного настурана и от стадии процесса его окисления, которой соответствует та или иная разность черни. При увеличении степени окисления постепенно уменьшаются общее содержание урана и отношение UO<sub>2</sub> : UO<sub>3</sub> (практически до полного исчезновения UO<sub>2</sub>), с попутным увеличением отношения Pb : U и загрязненности посторонними элементами (в зоне окисления гидротермальных месторождений в составе черней обычно P, As, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>, Cu, Fe, Ca, Al, Mg, H<sub>2</sub>O, в зоне цементации — Ca, Mg, Fe, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O).

В табл. 7 приводятся три анализа, соответствующие черням различной степени окисления из гидротермального месторождения урана.

Механический отбор для анализа чистой остаточной черни из осадочных месторождений практически невозможен, так как она очень тесно

из уранового месторождения (1946 г.)

CaO	MgO	CuO	As	S	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub> , раствори- мая	Нераство- римый остаток	H <sub>2</sub> O±	CO <sub>2</sub>	Сумма
5,89	0,45	2,33	0,23	0,82	0,08	4,24	30,16	3,20	3,99	100,19
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—

срастается с окружающими ее породообразующими минералами (пирит, кальцит, битум, глинистое или углистое вещество). Поэтому, имеющиеся в литературе четыре неполных анализа из урано-ванадиевого месторождения указывают лишь на приближенный состав черни. Результаты одного из них приводятся ниже в табл. 8.

Таблица 8

Химический состав остаточной черни из осадочного месторождения

Образец, год анализа	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
Из урано-ванадиевого месторождения, 1952 г. . . . .	0,80	3,60	0,16	0,24
Колебание по 4 анализам . . . . .	0,19—0,80	0,39—3,60	0,16	0,24

На основании приведенного анализа формула минерала  $3\text{UO}_2 \cdot 12,5\text{UO}_3$ , или по кислородному коэффициенту  $\text{UO}_{x=2,80}$ .

Для регенерированных черней имеются два полных и шесть неполных химических анализов из зоны цементации гидротермального месторождения урана (табл. 9).

Приведенные в табл. 9 данные показывают, что образцы черни больше чем на 50% состоят из нерастворимого в HCl остатка (мусковит, кварц, каолин, тальк, хлорит). Присутствием их, очевидно, объясняется сравнительно светлая серая окраска большинства регенерированных черней. Растворимая часть наполовину состоит из карбонатов, наполовину из урансодержащего вещества. Последнее, таким образом, представляет собой дисперсную систему с суммой окислов урана ( $\text{U}_3\text{O}_8$ ) от 6 до 15% и отношением  $\text{UO}_2 : \text{UO}_3$ , близким к 3, т. е.  $\text{UO}_2 : 3\text{UO}_3$ .

Результаты определения радиоактивного равновесия. Урановые черни обычно резко неравновесны. Коэффициент радиоактивного равновесия по имеющимся данным, для остаточных черней колеблется в пределах 45—250% и для регенерированных черней 37,4—47,8%. При этом для черней, образовавшихся в зоне цементации, радиоактивное равновесие смещено в сторону урана, а в зоне окисления — в сторону радия.

Диагностические признаки. Черни узнаются по черному или серому цвету минерала и черты, отпечатку на уран с желтой кровяной солью и растворению в  $\text{HNO}_3$ . От натурана остаточная чернь отличается на начальных стадиях своего развития с трудом, а в переходных разностях, по существу, условно, по потускнению блеска, уменьшению твердости (до 4 и менее) удельного веса ( $< 4,8$ ) и способности полироваться. У типичных остаточных черней (II) по мере повышения кислородного коэффициента эти различия становятся все более резкими; кроме того, появляется пористость, посветление (посерение) окраски;

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	PbO	MnO	CuO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Темносерая чернь из уранового месторождения, 1946 . . . .	—	—	1,04	11,20	0,16	0,67	0,15	5,56
То же (нерастворимый остаток)	Следы	4,22	0,12	0,24	—	0,01	—	0,20
Колесание по 5 анализам . . . .	—	—	0,41— 1,04	8,80— 11,20	0,16— 0,26	0,57— 0,67	0,15— 0,19	4,21— 5,56

заметно повышается растворимость. От регенерированных черней остаточные черни отличаются по форме выделений и условиям залегания, а также по значительно более высокому содержанию урана. Среди других окислов черни выделяются матовым блеском и отсутствием кристаллических форм, в большинстве случаев также пористым, рыхлым или пылевидным сложением.

**Происхождение.** Урановые остаточные черни образуются в кислой (сульфатной) среде в результате неполного окисления настурана и бестериевого уранинита в зоне цементации и зоне окисления гидротермальных, а также осадочных месторождений. Плотные черни характеризуют начало окисления настурана, рыхлые их разности значительно обедненные ураном, особенно четырехвалентным, — дальнейшее развитие процесса, приводящего в конце концов к полному выщелачиванию и переотложению урана. В некоторых месторождениях остаточные черни иногда развиваются за счет гидронастуранов, связанных с более ранним процессом преобразования настурана. Урановая регенерированная чернь образуется в восстановительной среде из вадозовых вод в зоне цементации (вторичного обогащения) за счет переотложения и частичного восстановления шестивалентного урана, мигрирующего в основном из вышележащей зоны окисления.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Урановая чернь остаточная из гидротермальных месторождений, образующаяся на месте первоначального залегания настурана, наследует его форму выделений — прожилки, линзы, ленты, гнезда, корки, одиночные сферические стяжения. Чернь остаточная в осадочных и осадочно-метаморфогенных месторождениях встречается в виде порошковых скоплений в цементе, концентрах и ядрах оолитов органических известняков, тончайших корочек на зернах пирита, марказита или выделениях органического вещества, рассеянных в углях, сланцах и известняках, на скоплениях растительных остатков в песчаниках.

Черни развиваются вблизи уровня грунтовых вод, в нижней части зоны окисления (подзона частичного окисления) и зоне цементации. Вследствие исключительно легкой окисляемости настурана, остаточная чернь частично или полностью замещает его иногда также на сотни метров ниже местного базиса эрозии. Вблизи земной поверхности в хорошо проработанной зоне окисления черни обычно не сохраняются.

Характерными спутниками остаточной черни в гидротермальных месторождениях являются: настуран, частично окисленные сульфиды, устойчивые первичные минералы жил, а в старых горных выработках, кроме того, более молодые сульфаты — циппеит, уранопилит, гипс, ярозит; в зоне цементации, помимо того, встречаются регенерированные черни и вторичный марказит. Иногда остаточным черням, но обычно на некотором удалении от них, сопутствуют фосфорные и мышьяковые урановые слюдки. Черни остаточные являются самыми распространенными продук-

## нерированных черней

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	S	H <sub>2</sub> O±	Нерас- твор. остаток	Сумма
2,95	0,35	Следы	2,41	6,98	—	0,15	0,07	9,25	1,19	2,62	55,32	100,68
8,29	86,20	0,78	—	—	—	—	—	—	—	—	—	100,24
2,42	0,35	Следы	1,50	4,55	6,22	0,14	0,07	7,20	0,76	2,53	42,05	
2,95	1,22		2,41	6,98	15,02	0,15		9,25	1,19	2,62	70,34	

тами изменения настурана, будучи развиты в окисленных частях почти всех гидротермальных месторождений. В осадочных месторождениях чернь часто ассоциируется с настураном, пиритом, марказитом, битумами, глинистым веществом и ванадатами.

Черни регенерированные развиваются ниже уровня грунтовых вод в месторождениях обычно богатых сульфидами. Они образуют рыхлые пленки, порошковатые налеты, реже плотные корочки на стенках открытых трещин во вмещающих породах, пропитывают разрушенную горную массу («рухляки»), иногда замещают некоторые участки жилок гипергенного карбоната и глинок трения или избирательно приурочиваются к сульфидам и остаточному лимониту. Отложение регенерированных черней, в противоположность остаточным, не связано с определенной системой тектонических трещин, характерных для месторождения. Типичные спутники этих черней — гипергенный кальцит и вторичные сульфиды (халькозин, марказит, пирит и лимонит).

Распространение. Урановые остаточные черни встречаются в большинстве разведывавшихся гидротермальных и осадочных месторождений урана. Регенерированные черни зафиксированы только в нескольких районах, что, вероятно, отчасти объясняется трудностью их обнаружения.

Изученность. Урановые черни, несмотря на их широкое распространение, с химико-минералогической стороны изучены очень слабо. Аналитические данные по ним базируются на рудах очень немногих месторождений.

Практическое значение. Урановая чернь, в частности остаточная, является промышленно ценной рудой на уран, уступающей по значению лишь настурану. Чернь регенерированная имеет главным образом геологический интерес как индикатор зоны цементации, иногда является одним из ценных компонентов черниевых руд урана.

## 2. БЕЗВОДНЫЕ ОКИСЛЫ УРАНА И ТОРИЯ

**Уранинит (uraninite)**  $(U^{4+}, Th)_{1-x}U_x^{6+}O_{2+x}; UO_2 : ThO_2 = 8,5 : 68$ . Кристаллическая двуокись урана, находящаяся в изоморфной смеси с торием и редкими землями. Содержит в своем составе радиогенный свинец и шестивалентный уран (результат окисления  $U^{4+}$ ). Синонимы: ульрихт. Разновидности: брёггерит, клеветит. Впервые описан как кристаллическая урановая смоляная руда в 1847 г. Шерером. Сингония кубическая.

Облик: кубы, кубы в комбинации с октаэдром и додекаэдром (рис. 9), изредка додекаэдры. Кристаллы размером 0,2—1 см, редко до 2 см в поперечнике. Встречается в виде вкрапленников, отдельных кристаллов и их скоплений. Двойники по флюоритовому закону (111) наблюдаются редко. Спайность отсутствует. Цвет черный, иногда со стальным и коричневатым оттенками. Непрозрачный, гидратированные разности слабо

Образец, год анализа	MgO	CaO	MnO	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Из пегматита Северной Каролины, 1890 . . . . .	0,30	0,85	—	4,20	—	Следы
Из пегматита Коннектикута, 1891 . . . . .	—	0,18	0,10	4,35	—	—
Колебание по 6 анализам . . . . .	0—0,30	0—0,85	0—0,10	3,63— 20,60	0—0,44	0—0,66

просвечивают в тонких осколках. Черта зеленовато-коричнево-черная, у гидратированных разностей сероватая и оливково-зеленая. Блеск сильный смоляной (в изломе), полуметаллический (на гранях). Излом неровный до раковистого. Твердость, как и уд. вес уранинита, понижается по мере его окисления. По данным измерений абсолютной твердости уранинита под микроскопом, даже в контурах одного и того же кристалла она колеблется от 378 до 602 кг/мм<sup>2</sup> (по шкале Мооса от 5,06 до 7,6). Вдоль трещинок микротвердость понижается до 246 кг/мм<sup>2</sup> (4,39 по шкале Мооса). Уд. вес 7,6—10,8. Установлено уменьшение удельного веса с увеличением в минерале отношения UO<sub>3</sub>:UO<sub>2</sub> (степени окисленности); менее значительно удельный вес понижается с возрастанием количества изоморфных примесей тория и редких земель. С трудом растворяется в минеральных кислотах.

**Оптические свойства.** В отраженном свете серый, окисленные разности с желтоватым оттенком. У последних обнаруживаются также слабые внутренние рефлексии бурого цвета, отсутствующие у типичного уранинита.

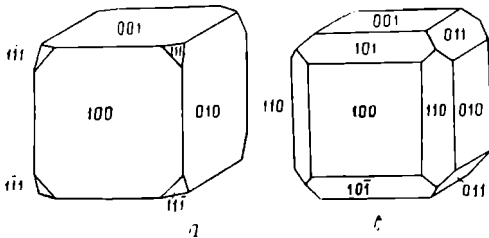


Рис. 9. Уранинит

По отражательной способности кристаллы уранинита неоднородны. По периферии их и вдоль трещин располагаются участки с пониженной отражательной способностью и микротвердостью. По данным измерений четырех образцов уранинита, его отражательная способность колеблется от 12,5 до 17,5%.

**Диагностическое травление:** FeCl<sub>3</sub> (20%-ное) — дает бурое пятно; HNO<sub>3</sub> (концентрированная) — темнобурое пятно. Окисленные участки с низкой микротвердостью и отражательной способностью травятся также HNO<sub>3</sub> (1:1).

По данным рентгеноструктурного анализа кристаллическая структура уранинита аналогична флюоритовой. Атомы урана в решетке образуют гранецентрированный куб, а атомы кислорода располагаются в центрах тетраэдров. Размер элементарной ячейки 4,67—5,46 Å. Расчеты d/п и I по ряду порошкограмм см. в табл. 2.

**Химический состав.** Для уранинита и его разновидностей известно большое количество анализов, однако, согласно приведенной выше систематике группы окислов урана и тория, собственно уранинит с достоверностью характеризуют только шесть анализов.

В табл. 10 приведены полные данные по двум из этих анализов.

**Возраст уранинита,** определенный по свинцовому методу, для ряда месторождений колеблется от 300 до 1800 млн. лет.

**Диагностические признаки.** Распознается по черному цве-

## став уранинита

$(Ce)_2O_3$	$(Y)_2O_3$	$SiO_2$	$ThO_2$	$UO_2$	$UO_3$	$H_2O$	Нерастворим. остаток	П. п. п.	Сумма
0,76	0,20	0,08	2,78	39,31	50,83	1,21	0,10	—	100,99
—	—	0,03	7,20	72,25	13,27	0,68	0,04	—	98,21
0—0,76	0—	0—	0—	27,00—	13,27—	0—	0—	0—	—
	0,20	0,80	7,20	72,25	54,59	1,69	0,54	1,74	

ту минерала и черты, кубическому облику кристаллов, рентгенометрическим константам ( $d/n$ ,  $I$ ). От черных с черной чертой танталониобатов отличается способностью давать отпечаток. От настурана может быть выделен по наличию кристаллических форм и вкрапленному характеру выделения, также по более высокому удельному весу, по относительно более слабой растворимости в  $HNO_3$  и по более высоким значениям микротвердости и отражательной способности. От своих разновидностей — брёггерита и клевета, а также алданита, торинита и бесториевого уранинита отличается по химическому составу; от последнего также — большей величиной и сложностью формы кристаллов. Выделить уранинит среди окислов можно также с помощью структурного анализа по размеру элементарной ячейки.

**Происхождение.** Уранинит образуется на различных этапах пегматитового процесса гранитной и сиенитовой магмы; наиболее характерен для высокотемпературных гранитных пегматитов. Разности уранинита, встречающиеся в низкотемпературных пегматитах, отличаются относительной сложностью кристаллических форм и бедностью торием и редкими землями.

**Условия нахождения в природе, распространение.** Уранинит встречается в жилах многих пегматитовых полей: в Норвегии, США, Канаде, Морогоро (Восточная Африка), Бенгалии (Индия) и др. Вкрапленники кристаллов уранинита рассеяны главным образом в слюдах и полевых шпатах и обычно бывают окружены характерным ореолом радиально расходящихся трещин. В верхних частях пегматитовых жил наблюдается замещение кристаллов уранинита оранжево-красными вторичными соединениями, известными в литературе под названием гумит — смесь ториевого юрита, желтых силикатов и кларкеита. Сохраняющиеся внутри таких псевдоморфоз «глазки» уранинита представлены гидратированными полупрозрачными разностями.

Уранинит зафиксирован в цементе золотоносных конгломератов Витватерсранда и других золоторудных районов Южной Африки, где замешает цемент и кварцевую гальку.

**Спутники.** В высокотемпературных гранитных пегматитах уранинит встречается совместно с брёггеритом, клеветом, торинитом, алданитом, редкоземельными титанатами, рядом черных титанотанталониобатов, тухолитом, карбураном, урансодержащими разностями монацита и цирконо- и торосиликатов. В низкотемпературных гранитных пегматитах уранинит ассоциируется с колумбитом, многочисленными темно- и светлоокрашенными тантало- и титанотанталониобатами, наиболее богатыми ураном разностями торо- и цирконосиликатов и другими минералами. В сиенитовых пегматитах уранинит фиксируется в ассоциации с альбитом, нефелином, апатитом, сфеном, флюоритом, эвксенитом. В золотоносных конгломератах уранинит встречается совместно с тухолитом и настураном.

**Практическое значение.** В промышленных концентрациях уранинит известен только в золотоносных конгломератах.

**Брёггерит** (bröggerite)  $[U^{4+}, Th)_{1-x}U_x^{6+}]O_{2+x}$ . Разновидность уранинита, содержащая 7,8—13,94 %  $ThO_2$ . Впервые описан в 1884 г. Бломстрандом. Сингония кубическая.

Кристаллы кубические и октаэдрические. Образует вкрапленники. Спайность отсутствует. Цвет железно-черный. Черта темносерая или черная. Непрозрачный. Блеск смоляной (в изломе), полуметаллический (на гранях). Излом неровный до раковистого. Твердость 6,5. Уд. вес 6,89—9,62. С трудом растворяется в минеральных кислотах.

**Оптические свойства.** В отраженном свете серый; изотропный. Отражательная способность 15%. В проходящем свете просвечивает зеленоватым и желтым цветом.

**Химический состав.** Для брёггерита можно выделить шесть достоверных анализов. Данные по двум из них приведены в табл. 11.

**Диагностические признаки** см. уранинит, стр. 120.

**Происхождение, распространение, условия нахождения** в природе и спутники. Брёггерит образуется в высокотемпературную стадию пегматитового процесса. Встречен в ряде пегматитовых жил в Норвегии и Канаде в ассоциации с уранинитом и танталониобатами. Возраст брёггерита, определенный по свинцовому методу, 900 млн. лет (докембрийский).

**Практическое значение.** Промышленные скопления неизвестны.

**Клевеит** (cleveite)  $[U^{4+}, Th, TR)_{1-x}U_x^{6+}]_{2+x}$ . Синоним: нивенит. Разновидность уранинита, содержащая от 2,24 до 15,01% TR. Впервые описан Норденскольдом в 1878 г. Сингония кубическая.

Кубические кристаллы с мелкими гранями октаэдра и узкими гранями ромбического додекаэдра. Наблюдались грани: (001), (111) и (011). Образует вкрапленники, плотные массы (нивенит). Спайности нет. Цвет железно-черный, иногда с буроватым оттенком. Черта зеленовато-черная. Непрозрачный. Блеск полуметаллический. Излом неровный. Твердость 5,5—6. Уд. вес 7,49—8,71. Растворяется в  $HNO_3$  и  $H_2SO_4$ .

**Оптические свойства** не изучены.

**Рентгеноструктурное изучение** показало наличие кубической решетки  $UO_2$ ; после прокаливания линии характерны для ромбического  $U_3O_8$ .

**Химический состав** охарактеризован десятью анализами, часть которых некоторыми авторами относилась к собственно ураниниту. Два из них приводятся в табл. 12.

**Диагностические признаки** см. уранинит, стр. 120.

**Происхождение.** Клевеит образуется в пегматитах, главным образом в высокотемпературные стадии процесса.

**Распространение, условия нахождения** в природе и спутники. Известен в жилах многих пегматитовых полей. В древних редкометалльных гранитных пегматитах встречается, как правило, в виде включений в олигоклазе, редко — в биотите совместно с цирколином, монацитом, ксенотимом, ортитом и карбураном. Известны находки в ассоциации с танталониобатами, гадолинитом и другими редкоземельными минералами в гранитных пегматитах в округе Льяно (Техас). Клевеит в Иисака (Япония) находится в тонких вкрапленниках в полевоом шпате пегматитов, ассоциируясь с иттриалитом, фергюсонитом, ксенотимом, ортитом и гадолинитом. Кроме того, клевеит найден в пегматитах Хагендорфе (Бавария) в ассоциации с кристаллами колумбита, частично даже в колумбите и в полевоом шпате. Отмечаются также находки клевеита в Норвегии. Возраст клевеита из Норвегии определен в 1283—1308 млн. лет.



Таблица 11

## Химический состав брэггерита

Образец, год анализа	MgO	CaO	PbO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Y) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ce) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	H <sub>2</sub> O	Нерастворимый остаток	He	Сумма
Из пегматита Норвегии, 1932 . . . . .	—	—	9,63	—	0,36	—	—	—	—	—	7,82	—	52,16	24,04	—	—	—	—	94,01
Из пегматита Виннипег, 1931 . . . . .	0,06	1,72	16,71	0,13	0,75	0,12	—	1,19	0,28	0,37	13,94	—	—	—	64,86	—	—	—	100,13
Колебание по 6 анализам . . . . .	0— 0,19	0— 1,72	9,63— 16,71	0— 0,13	0— 0,75	0— 0,12	0— 0,26	0— 2,74	0— 1,88	0— 0,43	7,82— 13,94	0— 0,08	39,10— 52,16	24,04— 32,40	0— 64,86	0— 0,73	0—0,45	0— 0,35	

Таблица 12

## Химический состав клевета

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	PbO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Y) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ce) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ZrO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	H <sub>2</sub> O	S	Cl	Нерастворимый остаток	Сумма
Из пегматита Норвегии, 1938 . . . . .	—	—	—	—	13,02	1,20	2,24	—	3,03	—	—	47,95	32,44	—	0,14	—	—	—	100,06
Из пегматита Иисака (Япония), 1941 . . . . .	—	—	—	—	1,01	0,17	15,01	—	3,86	—	—	55,40	22,23	—	0,50	—	—	—	99,75
Колебание по 10 наиболее достоверным анализам . . . . .	0— 0,42	0— 0,52	0— 0,19	0— 0,86	1,01— 20,47	0— 1,20	2,24—15,01	0— 0,34	0— 7,57	0— 0,76	—	19,87— 55,40	20,89— 40,60	63,6— 79,02	0— 5,39	0— 0,53	0— 0,36	0—1,55	

Практическое значение. Промышленных скоплений не дает. Алданит  $[(Th, U^{4+})_{1-x} U_x^{6+}] O_{2+x}$ ;  $UO_2 : ThO_2 = 0,20-0,26$ . Впервые описан в 1941 г. Беспаловым. Сингония кубическая.

Кристаллы кубической и октаэдрической формы с гранями (111), (100), (110), (311), (331), (210), (211), (511), (531), (221), иногда неправильные зерна, размером от мельчайших пылинок до 1,5 мм, чаще 0,2—0,3 мм; образуют вкрапленники. Двойники по октаэдру. Спайность неясная. Цвет смоляно-черный до зеленовато-черного. Черта зеленовато-бурая. Непрозрачный. Блеск смоляной, жирный, иногда матовый. Хрупкий. Излом раковистый. Твердость 6—7. Уд. вес 8,648—8,92. Слабо электромагнитный. С трудом растворяется в  $HNO_3$ .

Оптические свойства. В отраженном свете окраска серовато-белая. Изотропный. Внутренние рефлексы буровато-красные. Отражательная способность 20%.

Рентгеноструктурным анализом установлена границен-трированная кристаллическая структура алданита, аналогичная структуре уранинита и торанита.

Химический состав. Для алданита известны три полных анализа и один неполный анализ. Результаты одного из полных анализов приведены в табл. 13.

Таблица 13

Химический состав алданита

Образец, год анализа	PbO	$UO_2 +$ $+ UO_3$	$ThO_2$	$SiO_2$	TR	Прочие компо- ненты	Сумма
Из россыпи, 1941	11,20	14,90	69,30	0,24	3,70	0,66	100%
Колебание по 4 анализам . . .	11,20— 12,50	14,90— 29,04	46,3— 69,30	0— 0,50	0,70— 12,74	0,38— 1,60	

По данным рентгеноспектрального анализа содержание U 15,3—19%; Th 41,3—48%; Pb 13—14%; следы Si, Al, Hg, Fe, Mn, Cu, Sn, Y.

Образование главной массы свинца рассматривается как результат радиоактивного распада атомов Th.

Диагностические признаки. Характерен черный цвет и зеленовато-бурая черта. От сходных по этим признакам макинтошита, майтландита, ураноторита, лодочникита отличается кубическим обликом кристаллов.

Происхождение. Образуется в высокотемпературную стадию пегматитового процесса.

Распространение, условия нахождения в природе и спутники. Относится к редким минералам; встречен в золотоносных россыпях и в виде аксессуарного минерала в архейских гранит-пегматитах. Нередко на кристаллах алданита присутствуют землистые желтые или желто-красные налеты продукта его изменения. Спутники: монацит, циркон, рутил, касситерит, ильменит.

Практическое значение. Промышленные концентрации алданита неизвестны.

**Торанит** (thorianite)  $(Th, U)O_2$ ;  $UO_2 : ThO_2 = 0,05-0,20$ . Впервые установлен в 1904 г. и описан под названием уранинита. Сингония кубическая.

Кубы (обычно округленные) с мелкими гранями октаэдра. Кристаллы размером до 3 см. Наблюдались грани: (001), (111), (113) и (331). Образует вкрапленники. Двойники прорастания по (011) по шпинелевому закону. Спайность несовершенная по (001). Цвет черный, темносерый до коричнево-черного. Черта темносерая, почти черная, иногда с зеле-

новатым оттенком. Просвечивает в очень тонких осколках красно-бурый цвет. Блеск полуметаллический до алмазного. Излом неровный до полураковистого. Хрупкий. Твердость 6,5—7. Уд. вес 8,97—9,87, у измененных разностей уменьшается до 6,68. Неплавкий. Разлагается  $\text{HNO}_3$  и  $\text{H}_2\text{SO}_4$ .

Оптические свойства. Изотропный, показатель преломления переменный  $\approx 2,20$ .

Рентгеноструктурное изучение. Установлена кубическая гранцентрированная решетка.

Химический состав. Для торинита известно четыре анализа. В табл. 14 приводятся данные по двум из них.

Химический состав торинита

Таблица 14

Образец, год анализа	CaO	PbO	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	(Ce, La) $_2\text{O}_3$	$\text{ThO}_2$	$\text{UO}_2$	$\text{UO}_3$	$\text{U}_3\text{O}_8$	$\text{SiO}_2$	$\text{H}_2\text{O}$	Прочие компоненты	Сумма
Из пегматита, 1912	—	—	3,1	6,3	74,2	14,1	—	—	0,8	—	—	93,5
Из аллювиальных отложений Цей- лона, 1905 . . . .	—	2,87	0,35	8,04	76,22	—	—	12,33	—	—	0,12	—
Колебание по 4 анализам . . . .	0— 0,59	2— 2,87	0,29— 3,1	0— 8,04	62,16— 93,02	4,73—	— 18,88	—	0— 0,8	0— 1,05	0— 0,77	—

Диагностические признаки. Характерен черный цвет, почти черная черта и кубический облик кристаллов. От уранинита, брёггерита, клевета и алданита отличается низким содержанием урана в перле ( $\text{U} \approx 10\%$ ), от алданита — также чертой.

Происхождение. Образуется на высокотемпературных стадиях пегматитового процесса. Возраст цейлонского торинита, определенный по свинцовому методу, 482—569 млн. лет.

Распространение, условия нахождения в природе и спутники. Найден на о. Цейлон совместно с цирконом, ильменитом, гейкилитом, торитом и другими в речных песках и в пегматитах. Известен на о. Мадагаскар в аллювиальных отложениях совместно с флогопитом, диопсидом и шпинелью. Встречается в Истоне (США) на контакте известняков с пегматитами и ряде других мест. Легко изменяется при гидратации и окислении, превращаясь в серое, желтое или коричневое вещество, известное в литературе под названием ториевого гуммита (см. табл. 3).

Практическое значение. Промышленные концентрации торинита неизвестны.

### 3. СЛОЖНЫЕ БЕЗВОДНЫЕ ОКИСЛЫ, СОДЕРЖАЩИЕ ТИТАН (ТИТАНАТЫ)

Прежде минералы относились к группе титанатов. По новым представлениям рассматриваются как сложные окислы типа  $\text{Am}_m\text{B}_n\text{X}_p$  ( $m:n = 3:5$  и  $1:3$ ), где  $\text{A} = \text{TR}, \text{U}, \text{Th}, \text{Ca}, \text{Fe}^{2+}$ ;  $\text{B} = \text{Ti}, \text{W}, \text{Fe}^{2+}$ ;  $\text{X} = \text{O}$ . В группу входят давидит, ферутит, делоренцит, браннерит, иттрокразит, лодочникит, уфертит. Минералы встречаются в метамиктном состоянии. По внешним признакам и другим физическим свойствам они практически неотличимы друг от друга и от большинства титанотанталониобатов. Изучены плохо. Вследствие плохой растворимости не могут быть обнаружены по контактному отпечатку с  $\text{K}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . Практического значения не имеют, исключая браннерит.

**Давидит** (davidite). По последним данным является сложным окислом типа  $AO_2$ , где  $A = Ti, Fe, U(Ce), Pb, \text{ и } Ca$ . Сингония кубическая (?). Впервые был описан в 1906 г. Маусоном (Mawson) как минерал из группы ильменита, в котором железо частично замещено редкими землями и ураном. С 1910 г., после указания Крука и Блека (Crook а. Blake 1910) на то, что давидит является смесью ильменита, магнетита и карнотита, в справочной литературе давидит относился к числу сомнительных минералов. Баннистер и Хорн (Bannister а. Horne) в 1950 г. к давидиту относили описанный ими минерал из Мозамбика (Восточная Африка). В 1954 г. Ю. В. Казицыным, на основании сравнительного анализа рентгенограмм южно-австралийского давидита и минерала из Мозамбика, доказана ошибочность отождествления этих минералов. Из определения основных параметров структуры и расчета имеющихся химических анализов установлена высшая симметрия давидита и выведена приводимая выше формула.

Встречается в виде вкрапленников кубовидных кристаллов и неправильной формы зерен. Цвет серовато-черный до черного. Непрозрачный, лишь в очень тонких осколках просвечивает коричневым цветом. Блеск стеклянный до металлического. Твердость 6. Уд. вес  $\sim 4,5$ . Излом раковистый, полураковистый. Растворяется с трудом в  $HNO_3$  и  $H_2SO_4$ . Магнетитен.

Оптические свойства не изучены. По устному сообщению Г. П. Барсанова, южно-австралийский давидит под микроскопом неотличим от ильменита, причем в аншлифе минерала наблюдаются включения уранинита, занимающие до 5% площади шлифа.

Рентгенометрическое изучение. Для давидита имеется эталонная порошковая диаграмма (см. табл. 2), отличная от порошковой диаграммы ферутита и ильменита.

Химический состав охарактеризован двумя анализами, приведенными в табл. 15.

В отдельных бурых землистых агрегатах содержание  $U_3O_8$  достигает 80%. Кроме того, минерал содержит скандий.

Диагностические признаки. Черный цвет и черная черта. От ферутита отличается лишь по рентгенометрическим константам и другим структурным данным. Практически неотличим также от ильменита (при эксплуатации верхних горизонтов месторождения давидит выделяет благодаря включениям карнотита).

Происхождение, условия нахождения и спутники. Давидит встречается в месторождении Радий Хилл (Южная Австралия), где образует совместно с ильменитом, рутилом и магнетитом вкрапленность в высокотемпературных кварцевых жилах.

Распространенность и изученность. Для месторождения Радий Хилл давидит является одним из характернейших минералов урана. Минерал практически не изучен. Возможно, представляет собой ильменит, в котором присутствие урана связано с включениями уранинита.

Практическое значение. Руда на уран в месторождении Радий Хилл (Южная Австралия).

**Ферутит** ( $Fe^{2+}, U, Ce$ )  $(Ti, Fe^{3+})_3(O, OH)_7$ . Установлен в 1954 г. Ю. В. Казицыным. В 1950 г. Баннистер и Хорн подобный минерал из Мозамбика (Восточная Африка) относили к давидиту, с которым описываемый минерал сходен по химическому составу. Сингония гексагональная. Встречается в виде вкрапленников мелких ромбоэдрических и пластинчатых кристаллов и неправильных зерен размером до 1—2 мм, иногда (Мозамбик) до 30—40 см в поперечнике. Цвет черный. Блеск смоляной до полуметаллического. В тонких осколках просвечивает бурым и красновато-бурым цветом. Излом раковистый. Твердость 5,7—6,1 или абсолютная микротвердость 544—667 кг/мм<sup>2</sup>, уд. вес 4,46.

Таблица 15

## Химический состав давидита

Образец, год анализа	MgO	CaO	MnO	PbO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из кварцевой жилы месторождения Радииум Хилл (Южная Австралия), 1916 . . . . .	0,6	1,5	—	1,1	16,0	13,0	8,3	—	—	—	4,6	—	—	54,3	—	1,5	100,9
То же, 1910 . . . . .	Следы	0,25	0,24	0,40	17,37	17,87	1,15	2,13	1,26	0,13	2,25	0,93	1,60	51,85	1,21	1,21	99,85

Таблица 16

## Химический состав феррита

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	CaO	PbO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ce) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	UO <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из магнетитового песчаника, 1954 . . . . .	—	—	3,46	26,00	—	Следы	—	—	5,24	6,19	—	—	59,11	—	—	100,00
Из месторождения Мозамбик, 1950 . . . . .	0,15	0,3	0,72	14,9	12,0	5,6	0,17	1,4	9,6 (U <sub>3</sub> O <sub>8</sub> )	—	0,4	0,07	54,5	0,06	0,05	99,2

Оптические свойства. Изотропный (метамиктный). Полированная поверхность обладает характерной шероховатостью. В отраженном свете очень близок к браннериту, цвет серый, отражательная способность 19,5% и несколько менее.

Рентгенометрическое изучение. Дифракционные линии отчетливо видны только после прокаливании при 1000° (см. табл. 2).

Порошкограммы ферутита и минерала из Мозамбика обнаруживают полное сходство структур. Число рефлексов в дифракционной картине этих минералов свидетельствует о значительной сложности их структуры в сравнении со структурой давидита. Из анализа рентгеновских данных установлено, что ферутит и минерал из Мозамбика имеют гексагональную решетку с некоторым отклонением вследствие сложности состава в сторону ромбической.

Химический состав охарактеризован двумя анализами, результаты которых приведены в табл. 16.

Сравнение результатов анализов показывает, что при общем сходстве химического состава, минералы отличаются по содержанию церия.

Возраст минерала из Мозамбика, определенный по радиевому методу, 565 млн. лет.

Диагностические признаки. От других черных окислов с черной чертой отличается очень высоким содержанием титана. От сходного давидита отличается по рентгенометрическим константам и другим структурным данным, от браннерита более низким содержанием урана (<10%).

Происхождение, условия нахождения и спутники. Ферутит является в основном метаморфогенным минералом, образующимся главным образом в начальные и частично (при натровом метасоматозе) в конечные стадии регионального метаморфизма. Встречен в рудных прослоях титаножелезистых (магнетитовых) песчаников, обогащенных магнетитом, рутилом, цирконом, апатитом и турмалином. В месторождении Мозамбик (Восточная Африка) обнаружен в форме таблитчатых кристаллов совместно с рутилом, сфеном, магнетитом, ильменитом, апатитом и молибденитом в метасоматически измененной породе. В процессе гидротермального воздействия ферутит легко замещается сначала лейкоксеном, а затем скелетным агрегатом мелкозернистого рутила.

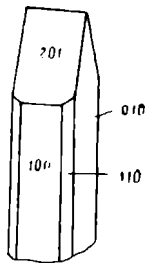


Рис. 10. Делоренцит

Практическое значение. Промышленных концентраций не образует.

**Делоренцит** (delorenzite)  $(Y, U, Fe) (Ti, Sn?)_3O_8$ ? Сингония ромбическая.

Субпараллельные сростки вкрапленного характера из удлиненно-таблитчатых кристаллов. Кристаллы вытянуты по оси *c* (до 1 см) и таблитчаты по [010]. Наиболее развитые формы: (010), (100) и (201) (рис. 10). Грани (100) и (110), имеют штриховку параллельно оси *c* [001]. Цвет черный. В тонких осколках прозрачен, просвечивая светлым каштаново-бурым цветом. Блеск смоляной. Излом раковистый. Твердость 5,5—6,0. Уд. вес. 4,7. Разлагается бисульфатом натрия. По аналогии с браннеритом должен обладать электромагнитными свойствами.

Оптические свойства. В проходящем свете каштаново-бурый. Изотропизированный. Химический состав охарактеризован одним анализом, данные по которому приводятся ниже (табл. 17).

Диагностические признаки. Реакция на Ti (очень много). От сходного электромагнитного титаната — браннерита отличается содержанием урана ( $U < 10\%$ ), от уфертита и иттрокразита практически неотличим. Отсутствуют Ta и Nb, чем отличается от танталониобатов.

Образец	FeO	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Сумма
Из пегматита Пьемонт (Италия) . . . . .	4,25	14,63	4,33	66,03	9,87	99,11
Теоретический состав . . .	5,15	16,21	—	68,94	9,70	100,00

Происхождение, условия нахождения в природе, распространение и спутники. Образуется на последних этапах пегматитового процесса. Минерал редкий. Встречен в пегматите в Краведжи, Пьемонт (Италия) совместно с стрюверитом, колумбитом, ильменитом, турмалином, спессартином и бериллом. Отмечается также как аксессуарный минерал гранитов.

Практического значения не имеет.

**Браннерит** (brannerite) (U, Ca, Fe, Y, Th)<sub>3</sub>Ti<sub>5</sub>O<sub>16</sub>. Сингония моноклинная? По внешнему облику кристаллов минерал в 1920 г. был отнесен к ромбической или тетрагональной сингонии; в 1946 г. на основании кристаллографических измерений несовершенного кристалла установлена моноклинная сингония.

Образует вкрапленники призматических кристаллов размером до 5—10 см, представляющих собой комбинацию ромбической призмы и пинакоида, нередко встречается в виде окатанной гальки. Цвет черный; с поверхности вследствие изменения — коричневатожелтый. Черта темная, зеленовато-бурая. Прозрачен в тонких осколках. Блеск алмазный. Излом раковистый. Хрупкий. Твердость 5—5,5. Уд. вес 4,5—5,43. Электромагнитен. Разлагается горячей концентрированной H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и при сплавлении — KHSO<sub>4</sub> и K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

Оптические свойства. В проходящем свете желтовато-зеленый. Вследствие метамиктности изотропный. N = 2,30—2,35. После нагревания анизотропный с N = 2,37. В отраженном свете серый, близкий к вольфрамитовому, в иммерсии буровато-красные рефлексы.

Диагностическое травление: HCl, HNO<sub>3</sub>, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, KOH, H<sub>2</sub>S и царская водка на браннерит не действуют.

По данным рентгенометрических анализов после прокалкивания при 650—750° минерал приобретает кристаллическую структуру. Порошковая диаграмма прокаленного материала является эталонной для браннерита (см. табл. 2).

Химический состав охарактеризован пятью анализами. В табл. 18 приведены данные по двум из этих анализов.

По данным рентгеноспектрального анализа в составе группы TR + Th основной компонент Th; Y = 10—30%; Dy = 1—10% и Gd = 1—10%.

В 1947 г. установлена разность браннерита, не содержащая редкие земли.

Диагностические признаки. Реакция на Ti (очень много). Браннерит практически не отличается от других титанатов урана, выделяясь только по химическому составу. В случае определения хотя бы приближенного процентного содержания урана (U > 10%) обособляется от делоренцита, иттрокразита и уфертита, содержащих U < 10%. От лодочникита отличается электромагнитностью, от танталониобатов — отсутствием Ta и Nb.

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. В гранитах присутствует как аксессуарный минерал; в пегматитах встречается с кварцем, турмалином и полевыми шпатами; в кварцевых жилах — с вольфрамитом, бериллом, шеелитом, молибдени-

## Химический состав браннерита

Образец, год анализа	MgO	CaO	BaO	SrO	PbO	FeO+ +Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(La, Di) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	(Ta, Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	Прочие компо- ненты	Сумма
Из россыпи Айдахо, 1920 . . . . .	—	2,9	0,3	0,1	0,2	2,9	—	—	—	3,9	0,6	39,0	0,2	10,3	33,5	4,1	—	2,0	0,2	—	100,2
Из кварцево-воль- фрамовой жилы, 1946 . . . . .	0,22	2,41	—	—	2,6	2,47	1,07	0,29	0,46	4,33	0,50	35,22	—	8,87	31,43	6,78	1,40	2,0	—	—	100,05
Колебание по 5 ана- лизам . . . . .	0— 0,22	0,46— 2,9	0— 0,3	0— 0,1	0— 2,06	1,27— 2,9	1,07— 1,08	0— 3,7	0— 0,46	3,9— 4,94	0— 0,79	35,22— 43,8	0— 0,2	8,87— 41,07	9,21— 33,5	3,12— 6,78	0— 1,40	0—20 0,2	0— 0,2	0— 2,53	—

## Химический состав инттрокразита

Образец, год анализа	MgO	CaO	PbO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Y) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ce) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O—	H <sub>2</sub> O+	Сумма
Из пегматита Ка- уити, Техас, 1906	Следы	1,83	0,48	0,13	1,44	25,67	2,92	Следы	49,72	0,68	8,75	1,98	0,64	1,87	Есть	Следы	0,11	4,36	100,58%
Пересчет анализа за вычетом при- месей . . . . .	—	—	0,53	—	—	28,47	—	55,15	—	9,70	2,20	0,71	—	—	—	—	—	—	100



том, ильменорутилом и уранотанталониобатами; найден также в аплитокварцево-карбонатных жилах и в скарнах. Кроме того, известны находки браннерита в золотоносных песках в районе гранитных пегматитов Айдахо (США).

**Практическое значение.** Как правило, представляет минералогический интерес, но иногда образует промышленные концентрации.

**Иттрокразит (Ittrocraosite)**  $(Y, Th, U, Ca)_2(Ti, Fe, W)_4O_{11}$ ? Сингония ромбическая.

Наблюдаются кристаллы, состоящие из комбинации форм (001), (100), (010), (110), (101). Цвет черный (в свежем состоянии). Минерал нередко покрыт тусклым налетом бурых продуктов изменения. В тонких осколках прозрачен. Блеск смоляной. Излом неровный, полураковистый. Твердость 5,5—6. Уд. вес. 4,80. Электромагнитный. В порошке растворим при кипячении в  $H_2SO_4$  (слегка вспенивается) и дает опалесцирующий бледный желтовато-зеленый раствор. Легко разлагается в HF.

**Оптические свойства.** В проходящем свете от густоянтарного до светложелтого цвета. Частью изотропизированный, частью слабо анизотропный;  $N = 2,12—2,15$ .

Химический состав охарактеризован одним анализом (см. табл. 19).

**Диагностические признаки.** Реакция на Ti (очень много). Сходен с браннеритом, делоренцитом и уфертитом. От первых двух отличается содержанием  $U < 10\%$ . От титанатов — лодочникита — электромагнитностью, от танталониобатов — отсутствием Ta и Nb.

**Происхождение, условия нахождения в природе и спутники.** Образуется в пегматитовых жилах. Найден в пегматите на гадолините.

**Распространение, изученность.** Минерал редкий, изучен неполно.

Практического значения не имеет.

**Лодочникит**  $2(U, Th)O_2 \cdot 3UO_3 \cdot 14TiO_2$ . По составу минерал близок к браннериту. Открыт Я. Д. Готманом в 1948 г.

Минерал не образует выраженных кристаллических форм, поддающихся измерениям. Встречен в виде прожилков. Цвет черный. Черта черная со слабым буровато-коричневым оттенком. Непрозрачен. В очень тонких осколках просвечивает бурым цветом. Блеск смоляной. Излом раковистый. Твердость 5—6. Уд. вес. 5,88. Минерал неэлектромагнитен. В кислотах не растворяется.

**Оптические свойства.** В проходящем свете изотропный, обпаруживает весьма несовершенную спайность. В отраженном свете темносерый;  $N > 2,1$ .

**Рентгенометрическое изучение.** Дифракционные линии на порошковой диаграмме минерала получены только после прокаливании при  $1000^\circ$ , что указывает на его метамиктное состояние. Структура прокаленного лодочникита близка, но не идентична структуре браннерита.

**Химический состав лодочникита охарактеризован одним анализом (1948 г.):**

MgO	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>
0,68%	0,13%	0,12%	0,25%	0,21%	42,05%	3,96%
UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	(Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	S	П. п. п.	Сумма
16,45%	35,41%	0,14%	0,04%	0,12%	0,55%	100,29%

**Диагностические признаки.** Реакция на Ti (очень много). От других титанатов отличается отсутствием кристаллических форм и характером выделений (прожилки); кроме того, от браннерита отличается отсутствием электромагнитных свойств, а от иттрокразита, уфертита и делоренцита — высоким содержанием урана. От танталониобатов отличается отсутствием Ta и Nb.

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Образуется в гидротермальную фазу пегматитового процесса. Встречен в рудных прожилках, приуроченных к нефелино-микрелиновым пегматитам, где находится в ассоциации с сидеритом, гематитом, баритом, иногда смирновитом и ферротритом. По простиранию и падению рудные жилы прослежены всего лишь на несколько метров.

Распространенность, изученность. Минерал редкий, встречается в одном месторождении. Требуется дальнейшего изучения.

Практического значения не имеет.

**Уфертит**  $20\text{FeO} \cdot 8\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 4\text{TR}_2\text{O}_3 \cdot \text{UO}_2 \cdot 74\text{TiO}_2$ . Открыт П. В. Вейнерман и Н. П. Балашевым в 1950 г. Сингония не установлена.

Образует удлиненные кристаллы или выделения овальной формы. Цвет черный с буроватым оттенком. Блеск сильный, смоляной. Излом раковистый. Твердость не определена. Уд. вес 4,33.

Рентгенометрическим анализом установлено аморфное строение (метамиктный).

Оптические свойства. В отраженном свете светлосерый с буроватым оттенком. Отражательная способность 19%. Изотропный.

Химический состав уфертита охарактеризован одним анализом, результаты которого приведены ниже (1950 г.).

PbO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0,2%	14,0%	11,0%	1,2%	0,2%	11,58%
SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма
1,2%	59,12%	0,16%	2,61%	0,37%	101,64%

Диагностические признаки. Отсутствие Nb и Ta указывает на то, что минерал не относится к группе танталониобатов. Очень много Ti. От других титанатов, кроме иттрокразита, отличается низким содержанием урана.

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Генетически связан с жилами альбитита. Образуется вместе с гематитом, ильменитом, магнетитом, халькопиритом, сфалеритом, марказитом и породообразующими минералами альбититов (полевые шпаты, серицит, кальцит, хлорит).

Распространение, изученность. Минерал новый, обнаружен только на одном месторождении. Изучен недостаточно.

Практического значения не имеет.

#### 4. СЛОЖНЫЕ БЕЗВОДНЫЕ ОКИСЛЫ, СОДЕРЖАЩИЕ ТАНТАЛ, НИОБИЙ, ТИТАН

В результате последних кристаллохимических обобщений эти минералы рассматриваются как сложные окислы типа  $\text{ABX}_4$ ,  $\text{AB}_2\text{X}_6$  и  $\text{Am Bn Xp}$  ( $m:n=1:3$ ), где  $\text{A} = \text{TR}, \text{U}, \text{Th}, \text{Ca}, \text{Pb}, \text{Fe}^{2+}$  и др.;  $\text{B} = \text{Nb}, \text{Ta}, \text{Ti}, \text{Fe}^{3+}$ ;  $\text{X} = \text{O}, \text{OH}, \text{F}$ .

Минералы этой группы представлены многокомпонентными соединениями непостоянного состава, отличающимися широким проявлением изоморфизма различных редких земель с ураном, торием, кальцием и двухвалентным железом. Характеризуясь наряду с этим исключительным однообразием внешних признаков и наличием метамиктных превращений, изменивших первоначальный облик минералов, они представляют собой самую сложную для диагностики группу урановых минералов, не отличающихся также от соответствующих разновидностей танталониобатов, не содержащих урана. Вследствие плохой растворимости не могут быть обнаружены по контактному отпечатку с  $[\text{K}_4\text{Fe}(\text{CN})_6]$ . В подавляющем большинстве танталониобаты не имеют опорных диагностических констант, а многие также и сколько-нибудь определенной химической ха-

рактические. В целях диагностики возможна лишь их систематика в направлении разделения по содержанию титана на танталониобаты с  $TiO_2 < 5\%$  и титанотанталониобаты с  $TiO_2 > 5\%$ , а также выделение в пределах каждой из этих групп кубических разностей (в частности по изометрической форме зерен) и разностей ромбической и тетрагональной сингонии (удлиненно призматические формы).

Как показали исследования 1945—1948 гг. с помощью рентгенограмм и оптического изучения прокаленных образцов, после прокаливания в группе титано- и танталониобатов выделяются минералы, приобретающие кубическую решетку (изотропные) и ромбическую решетку (анизотропные). При этом сравнением порошковых ромбических минералов среди них, в свою очередь, удастся выделить несколько небольших групп (самарскит с хлопинитом; эвксенит с блонстрандином и др.).

Отдельные минералы могут быть выделены в ряде случаев по результатам термического анализа, главным образом по началу экзотермического пика, связанного с переходом минерала в кристаллическое состояние.

Трудности в определении титано- и танталониобатов, несмотря на выявление ряда руководящих диагностических признаков, по существу остались неразрешенными и в данном определителе, в котором они объединены в группы из 3—5 названий (см. табл. II, III). Термический анализ и исследование образцов после прокаливания вносят сравнительно небольшие уточнения в определение минералов этой группы, проведенное с помощью более доступных методов.

К урановым минералам из танталониобатов могут быть отнесены фергюсонит (кроме некоторых разновидностей), самарскит, кальциосамарскит, плюмбониобит, ишикаваит, обручевит, гнелмнит, ампангабит, иттроколумбит, иттротанталит, джалмаит, а из титанотанталониобатов — бетафит, самиресит, блонстрандит, гатчеттолит, менделеевит, эльсвортит, хлопинит, блонстрандин, приорит, поликраз, эвксенит, виикит.

Из выделенных минералов в фергюсоните, блонстрандине, приорите, поликразе, эвксените, кальциосамарските и обручевите уран является второстепенным компонентом и содержание его, как правило, не более 5—10%; в остальных минералах, особенно таких, как бетафит, самарскит, блонстрандит и менделеевит, уран, наряду с редкими землями и торием, является ведущим компонентом. Количество его в этих минералах около 20% и более.

#### а) Танталониобаты

**Фергюсонит** (fergusonite) — собственно фергюсонит и брагит (Y, Er, Ce, U, Fe) (Nb, Ta, Ti)O<sub>4</sub>. Впервые найден в 1806 г. В основном содержит Y и Er, а также примеси других редких земель.

Полная серия включает, по видимому, на одном конце фергюсонит с преобладанием ниобия над танталом, а на другом — чисто танталовый член форманит.

Разновидности: 1) титанистая — ризэрит, содержит до 6% Ti, заместившего Nb и Ta; 2) эрбистая — брагит, содержит Er, заместивший Y (отношение Y : Er не менее 2,8 : 1); 3) танталовая — форманит; 4) измененный фергюсонит — кохелит; 5) ниобиевая — ниобат эрбия сипилит, содержит Y, замещающий Er. Наиболее распространен собственно фергюсонит, всегда содержащий в своем составе уран. Из разновидностей фергюсонита наиболее богатой ураном является брагит (UO<sub>2</sub> 8,16%); сипилит урана не содержит; ризэрит и кохелит, бедные ураном, отнесены к ураносодержащим минералам. Сингония тетрагональная.

Встречается в призматических и бочонковидных, усеченных различными пирамидами, кристаллах, длиной до 20 см, а также в виде вкрапленных зерен неправильной формы. Наиболее развитые грани (001), (111), (231) и (230) (рис. 11). Спайность — следы по (111). Цвет на

поверхности (в связи с наличием «рубашек» в результате выветривания) серый, желтый, бурый или темнубурый; в изломе буровато-серый, бархатно-черный. Черта светлорубая, буровато-коричневая. Блеск на поверхности тусклый, в изломе смоляной. В тонких осколках просвечивает бесцветным или буро-желтым цветом. Твердость 5,5—6,5. Уд. вес 5,5—5,8, возрастает с увеличением содержания Та (форманит 7,03), при гидратации уменьшается до 4,1. После прокаливания удельный вес увеличивается. Минерал частично разлагается  $H_2SO_4$ , полностью — крепкой HF и при сплавлении с  $KHSO_4$  и  $K_2S_2O_7$ .

**Оптические свойства.** В проходящем свете цвет от светлого темнубурого; иногда мутный. Изотропный (метамиктный). Некоторые образцы (Северная Норвегия) анизотропны.  $N = 2,06—2,19$ . После прокаливания ( $\approx 800^\circ$ ) анизотропный с агрегационной поляризацией;  $Ng - Np = 0,01 - 0,015$ ;  $Nm = 2,20$ . В отраженном свете кремово-серый; поверхность ровная, гладкая; отражательная способность хорошая (подобна самарскиту, менее чем у ильменита); внутренние рефлексы слабые красновато-коричневые, заметные у трещин.

**Диагностическое травление.** Травится  $H_2SO_4$  (кипящая) и HF.

**Химический состав.** Для фергюсонита известно четырнадцать анализов. Пять из них приведены в табл. 20, в том числе три для минералов, не содержащих уран.

По данным термического и структурного анализов, фергюсонит при  $575—630^\circ$  приобретает кристаллическую структуру.

**Диагностические признаки.** Реакция на Nb + Ta; Ti мало или отсутствует. Призматический и бочонковидный облик кристаллов. От сходных минералов — виикита, иттротанталита и иттроколумбита неотличим; от других призматических танталониобатов — самарскита, кальциосамарскита, ампангабеита, ишикавайта и плюмбониобита отличается только меньшим содержанием урана. В случае отсутствия кристаллических форм фергюсонит не отличается от целого ряда кубических танталониобатов.

**Происхождение, условия нахождения в природе и спутники.** Фергюсонит встречается в гранитных пегматитах, преимущественно богатых редкими землями, ниобием, танталом и бериллием. Найден в пегматитовых полях Южной Норвегии, Швеции, Гренландии и др. Ассоциируется с магнетитом, ильменитом, цирконом, апатитом, сфеном, монацитом, гадолинитом, таленитом, ортитом, эвксенитом и другими редкоземельными минералами. Встречен также в россыпях (Цейлон, Западная Австралия и др.) с касситеритом, монацитом, эвксенитом, гадолинитом, самарскитом, анатазом.

**Распространение, изученность.** Фергюсонит является одним из наиболее распространенных уранотанталониобатов. Изучен относительно полно.

**Практического значения не имеет.**

**Самарскит (samarskite)** (Y, Er, Ce, U, Th, Fe) $_4[(Nb, Ta)_2O_7]_3$ . Содержит в основном иттрий, эрбий, уран. Разновидности: богатая железом — фитингофит (до 23% FeO); богатая свинцом — плюмбониобит (до 7% PbO); богатая ураном — ишикавайт (до 24%  $UO_2$ ) и богатая кальцием — кальциосамарскит (до 5,8% CaO). Синонимы: уранотантал, иттроильменит, в сростках с колумбитом — оннеродит. Сингония ромбическая.

Образует призматические с прямоугольным сечением, реже таблитчатые по [100] или [010] кристаллы, размером 1,5 см и более. Наиболее развитые формы: (100), (010) и (101), меньше (110), (120), (201), (111) (рис. 12). Гранный угол (101) : (101) =  $93^\circ$ . Встречается в виде вкрапленников крупных кристаллов, также неправильных зерен и сплош-

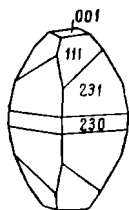


Рис. 11. Фергюсонит

## Химический состав фергюсонита

Образец, год анализа	MgO	CaO	ZnO	PbO	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Di <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Прочие компоненты	Сумма	Разновид- ность		
Из пегматита Берин- гер-Хилл, Техас, 1899 . . . . .	—	2,74	—	1,94	—	—	4,60	—	—	—	31,36	3,93	3,12	0,83	—	—	—	—	42,79	—	8,19	0,50	100	Фергю- сонит		
Из пегматита Ри- зер, Норвегия, 1908 . . . . .	—	1,93	—	—	—	2,61	2,01	—	2,88	—	36,28	0,10	—	Следы	0,01	6,00	—	—	36,21	4,00	7,11	1,33	100,47	Ризёрит		
Из пегматита Ар- ндаль, Норвегия, 1871 . . . . .	0,28	1,93	—	—	—	—	—	3,33	—	—	22,68	13,95	8,16	—	—	0,83	—	—	43,36	2,04	4,18	—	100,74	Брагит		
Из пегматита Ку- глегонг, Западная Австралия, 1909	—	2,18	—	—	0,87	Следы	—	0,94	—	—	23,00	8,38	—	1,18	1,02	—	2,20	—	2,15	55,51	—	3,36	100,79	Форманит		
Из пегматита Ам- херст, Виргиния	0,05	2,61	—	—	Сле- ды	2,04	—	1,37	3,92	4,06	27,94	—	—	—	0,08	—	2,09	—	46,66	2,00	3,19	4,47	100,48	Сипилит		
Колебание по 11 анализам фер- гюсонита и бра- гита . . . . .	0— 0,58	0— 2,74	0— 0,24	—	0— 0,52	0— 2,61	0— 4,60	0,89—	4,06	—	25,54—	45,93	0— 8,16	0— 3,12	0— 4,35	0— 0,83	0— 6,0	0— 2,09	—	2,15—	0— 46,66	0— 55,51	0— 8,19	0— 4,47	—	—

ных масс, иногда достигающих крупных размеров. Кристаллы нередко находятся в закономерном сростании с колумбитом (рис. 13). Спайность неясная по (010). Цвет бархатно-черный, иногда с буроватым оттенком, с поверхности часто бурый или желтовато-бурый вследствие гидратации. При выветривании образуются светлые рубашки. Блеск на изломе сильный смоляновидный, с поверхности кристаллы тусклые. Черта темная красновато-бурая до черной; в измененном материале серая, желто-бурая. Минерал почти непрозрачен (просвечивает в тонких осколках). Излом раковистый. Твердость 5—6. Уд. вес 4,48—5,69. Хрупкий. Электромагнитный. Разлагается при сплавлении с  $K_2S_2O_7$ ,  $KHSO_4$  и частично (в порошке) концентрированной  $H_2SO_4$ .

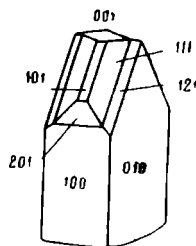


Рис. 12. Самарскит

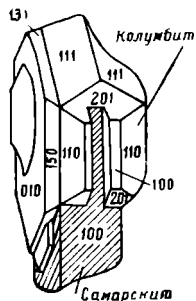


Рис. 13. Сростание самарскита и колумбита

**Оптические свойства.** В проходящем свете светлобурый до темнобурого. Изотропный (метамиктный);  $N = 2,10—2,25$ , при гидратации — желтый и мутный. Некоторые образцы (Северная Америка) частично анизотропны; после прокаливания ( $\approx 800^\circ$ ) становится анизотропным нередко с агрегационной поляризацией;  $N_g - N_p \approx 0,010$ ;  $N_m = -2,20$ ; оптически отрицательный с малым  $2V$ . В отраженном свете кремово-серый; поверхность ровная, гладкая; отражательная способность около 14%; внутренние рефлексы очень слабые, в порошке или с иммерсией буровато-красные, красновато-коричневые; характерны каемки — оторочки вокруг зерен; иногда наблюдается колломорфная структура (образец из Америки).

**Диагностическое травление.** При действии  $H_2SO_4$  (кипящая) — очень слабое коричневое пятно,  $HF$  — мгновенно молочно-белая пленка.

**Рентгенометрическое изучение.** Дифракционные линии отмечаются только после прокаливания. Порошкограмма очень близка порошкограмме хлопинита.

**Химический состав самарскита** весьма сложен. Формула, вероятно, типа  $AB_2O_6$ , где  $A = Y, Er, Ce, La, U, Ca, Fe, Pb$  и  $Th$ ;  $B = Nb, Ta, Ti, Sn, W$ . Для самарскита, включая железистую разновидность — фитингофит, известно 12 анализов. Наличие в составе минерала большого количества  $H_2O$  и ряда окислов, не учитывающихся формулой самарскита, объясняется изменением его (гидратацией и др) или присутствием примесей. В табл. 21 приведены результаты трех анализов минерала.

Возраст самарскита из различных месторождений 300—836 млн. лет.

На термокривых отмечается переход при  $650—800^\circ$  в кристаллическое состояние.

**Диагностические признаки.** Реакция на  $Ta + Nb$ ;  $Ti$  мало или отсутствует. Призматический или табличчатый облик кристаллов, бархатно-черный цвет. В случае черной черты самарскит совместно с гильмитом сравнительно легко отделяется от других танталониобатов.

Таблица 21

## Химический состав самарскита

Образец, год анализа	CaO	MgO	MnO	PbO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Di <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Прочие компоненты	Сумма
Из пегматита, 1894	0,51	0,41	0,69	0,15	11,15	2,13	0,19	1,41	7,83	13,37	0,25	0,37	1,56	11,23	0,79	1,73	0,12	0,68	1,03	32,02	11,18	1,22	0,73	100,75	
То же, 1877 (фи- тингофит) . .	—	0,83	2,67	—	23,0	—	—	—	6,57	—	1,57	—	8,85	—	—	—	—	1,84	0,96	51,00	1,80	—	—	99,09	
Коннектикут, 1935	0,33	0,02	1,75	0,338	2,11	9,82	—	—	12,47	0,53	1,55	—	7,85	—	3,47	0,03	1,40	—	42,00	14,73	0,65	0,46	99,508		
Колебание по 12 анализам	0— 4,30	0— 0,83	0— 2,67	0— 2,04	0— 23,00	0— 14,77	0— 0,79	0— 1,41	6,41— 14,49	0— 13,37	Следы 0,81	0— 4,17	0— 1,56	0— 1,72	0— 13,66	0— 1,48	0— 3,64	0— 0,28	0— 2,75	0— 2,29	27,77— 51,44	1,80— 28,08	0,65— 1,14	0— 3,88	—

Таблица 22

## Химический состав кальциосамарскита

Образец, год анализа	CaO	PbO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Y, Er) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ce, La, Di) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Прочие компоненты	Сумма
Из пегматита Хибла, 1928 .	7,56	0,44	7,67	11,38	1,68	2,39	2,50	0,02	1,49	3,34	9,00	1,67	—	43,32	2,54	3,64	0,69	99,33
То же, Пери-Саунд, 1928 .	4,76	0,38	3,01	10,71	4,04	1,92	1,43	0,24	0,48	2,16	—	—	13,38	43,50	4,86	6,44	1,51	98,82

Самарскит с цветной чертой от сходных танталониобатов — кальциосамарскита, ишикаванита, ампангабеита, плюмбониобита практически неотличим; от других призматических танталониобатов — виикита, фергюсонита, иттротанталита и иттроколумбита отличается только большим содержанием урана. При отсутствии данных о количественном содержании титана самарскит невозможно отличить от целого ряда титанотанталониобатов.

Происхождение, распространение, условия нахождения в природе, спутники. Встречен в виде вкрапленности во многих гранитных пегматитах (Норвегия, Швеция, Индия, Мадагаскар, Япония и др.) часто в тесной ассоциации с колумбитом. Другими сопутствующими минералами являются: эшинит, кальциосамарскит, монацит, циркон, берилл, биотит, полевые шпаты, нередко окрашенные в красновато-бурый цвет (результат радиоактивного воздействия), топаз, магнетит, уранинит, гранат, циртолит. Многие кристаллы с поверхности (иногда нацело) гидратированы или покрыты корочкой выветривания.

Самарскит известен в золотоносных россыпях близ Айдахо и в шлихах целого ряда других районов.

Промышленные концентрации самарскита неизвестны.

**Кальциосамарскит** (calciosamarskite)  $(Ca, Y, Er, Ce, U, Th)_3(Nb, Ta, Fe)_5O_{15}$ ? Выделен в 1928 г. Считается разновидностью самарскита, богатой кальцием, однако рентгенопорошкограмма прокаленного материала отлична от таковой типичного самарскита. Сингония ромбическая.

Встречается в виде крупных (до 1,5 см в поперечнике) четырехгранных призм и плотных скоплений. Спайность отсутствует. Цвет черный. Цвет черты буро-серый. Блеск полуметаллический. Излом неровный до полураковистого. Твердость 6,5. Уд. вес 4,48—4,74. Электромагнитен.

Оптические свойства. В проходящем свете коричневатый, изотропный (метамиктный).  $N = 2,015 - 2,095$ .

Химический состав. Для кальциосамарскита имеются два анализа, отличающиеся от анализов самарскита в основном высоким содержанием CaO (табл. 22).

Диагностические признаки. Реакция на  $(Ta + Nb)$ , Ti мало. Призматический облик кристаллов. От других призматических танталониобатов черного цвета — самарскита, ишикаванита, ампангабеита, плюмбониобита, а также виикита, фергюсонита, иттротанталита и иттроколумбита — практически неотличим. Без реакции на Ti неотделим от черных титанотанталониобатов.

Происхождение, распространение и условия нахождения в природе. Минерал редкий. Найден в пегматитах Онтарио с колумбитом и циртолитом (Хибла) и в ассоциации с уранинитом, тухолитом и циртолитом (Перри-Саунд). Изучен слабо.

Практического значения кальциосамарскит не имеет.

Химический состав.

Образец, год анализа	CaO	SiO	PbO	MnO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>
Из пегматита Моророго, Африка, 1909 . . . . .	3,05	Следы	7,62	0,11	5,70	0,28	14,26	1,20	0,15
То же . . . . .	3,11	0,25	7,08	0,32	6,33	0,23	14,51	1,42	0,14
То же, 1910 . . . . .	2,84	1,21	7,55	0,28	5,15	0,17	14,12	0,90	—



**Плюмбониобит** (plumboniobite) — сложный окисел или ниобат Y, U, Pb и Fe. Возможно, свинцовая разновидность самарскита. Впервые описан в 1909—1910 гг. Сингония ромбическая.

Образует неправильно развитые кристаллы. Цвет темный буро-черный. Черта коричневая. Блеск смоляной. Излом грубо-раковистый. Твердость 5—5,5. Уд. вес 4,80—4,81.

Оптические свойства. В проходящем свете коричневый. Изотропный (метамиктный). Неоднородный, пронизан более светлыми прожилками.

Химический состав. Для плюмбониобита известны три анализа, приведенные в табл. 23.

Диагностические признаки, см. кальциосамарскит.

Происхождение, распространение, условия нахождения в природе и спутники. Минерал редкий. Обнаружен в гранитных пегматитах Морогоро (Африка) и в Норвегии, совместно с уранинитом, а также в пегматитах нефелиновой магмы. Кристаллы плюмбониобита частично изменены во вторичные урановые минералы. Минерал очень слабо изучен.

Практического значения плюмбониобит не имеет.

**Ишикаваит** (ishikawaite) (U, Fe, Y, Er, Ce) (Nb, Ta)<sub>2</sub>O<sub>7</sub>? Впервые описан в 1922 г. Рассматривается как богатая ураном разновидность самарскита. Сингония предположительно ромбическая.

Таблитчатые по [100] кристаллы, размером 10×6×2 мм, с формами: (010), (100), (140), (110), (320), (210), (101) и (144), преобладают формы (100), (110) и (144). Углы между гранями (110) : (100) 43°23', (001) : (101) 50°30', (100) : (144) 77°30'. Цвет черный, бурый. Черта темнобурая. Блеск смоляной. Минерал непрозрачный. Твердость 5—6. Уд. вес 6,2—6,4. Оптически не изучен.

Химический состав охарактеризован одним анализом, приведенным ниже (образец из пегматита Ишикава, Япония):

MgO	CaO	MnO	FeO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Y, Er, Ce, La, Di) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>
1,07%	0,86%	0,40%	11,78%	0,87%	8,40%	21,88%
SnO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
1,20%	0,30%	0,21%	36,80%	15,00%	0,89%	99,66%

Диагностические признаки, см. самарскит.

Происхождение, распространение, условия нахождения, изученность. Минерал редкий. Встречен в пегматитах района Ишикава (Япония) вместе с самарскитом. К ишикаваиту должны быть отнесены некоторые разновидности самарскита с о. Мадагаскар и Кореи, богатые ураном. Изучен крайне слабо.

Таблица 23

плюмбониобита

ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	П. п. п.	N <sub>2</sub> и He	CO <sub>2</sub>	Сумма
0,06	13,72	46,15	1,18	6,38	—	0,22	0,19	100,27
0,08	13,74	47,00	—	—	6,51	—	—	100,72
—	13,60	46,03	1,20	—	6,23	—	—	99,28

Практического значения не имеет.

**Обручевит**  $3\text{Na}_2\text{O} \cdot 4(\text{Ca}, \text{Fe})\text{O} \cdot 3\text{Y}_2\text{O}_3 \cdot (\text{U}, \text{Th})\text{O}_2 \cdot 5(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_5 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ ? Найден Нефедовым в 1941 г. и отнесен к эльсвортиту. В 1949 г. выделен А. А. Беусом, как новый минерал из группы пирохлора. Сингония кубическая.

Образует плотные массы без кристаллических форм в виде вкрапленников. Цвет светлокоричневый. Блеск жирный до алмазного. Излом раковистый. Уд. вес 3,96—4,80.

Оптические свойства. Изотропный.

Рентгенометрическое изучение. По данным порошковой прокаленного материала минерал имеет объемно-центрированную решетку. Непрокаленный материал линий не дает (метамиктный).

Химический состав обручевита охарактеризован одним анализом минерала из гранитного пегматита (1949 г.). Результаты этого анализа приведены ниже:

$\text{N}_2\text{O}$	$\text{K}_2\text{O}$	$\text{CaO}$	$\text{FeO}$	$\text{SiO}_2$	$\text{UO}_2$	$\text{Ce}_2\text{O}_3$
4,42%	0,48%	2,86%	3,85%	1,78%	5,98%	0,13%
$\text{Y}_2\text{O}_3$	$\text{TiO}_2$	$\text{ThO}_2$	$\text{Ta}_2\text{O}_5$	$\text{Nb}_2\text{O}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	Сумма
19,14%	0,40%	0,80%	10,25%	10,06%	8,90%	99,04%

**Диагностические признаки.** Реакция на Ta и Nb. От других светлокрасных и бурых тантало- и титанотанталониобатов, а иногда также от не имеющих кристаллических форм танталгачтеттолита, гачтеттолита, виикита и ампангабеита отличается только отсутствием титана.

**Происхождение, условия нахождения в природе и спутники.** Найден в древних гранитных пегматитах в ассоциации с ортитом, гранатами и полевыми шпатами. Обручевит образует скопления совместно с неизученными темнокоричневым и кремво-желтым танталониобатами.

**Распространение и изученность.** Минерал редкий. Изучен крайне слабо. Особого уточнения требует химический состав.

Практического значения не имеет.

**Гиельмит** (hjelmite) — водный окисел или ниоботанталат Y, Fe, U и Ca. Близок к самарскиту. Сингония ромбическая.

Встречается в измененных кристаллах и друзах. Наблюдались формы: (110), (230), (101), (201). Углы между гранями: (110) : (110)  $49^\circ 50'$ ; (101) : (101)  $48^\circ 12'$ . Спайность отсутствует. Цвет черный. Черта черновато-серая до темной буровато-зеленой. Блеск металловидный. Излом зернистый. Твердость 5. Уд. вес 5,26—5,82. Неплавкий.

Оптические свойства не изучены.

Химический состав. Для гиельмита известны два анализа, приведенные в табл. 24.

Таблица 24

Химический состав гиельмита

Образец, год анализа	MgO	CaO	PbO	MnO	FeO	$\text{Y}_2\text{O}_3$	$\text{Ce}_2\text{O}_3$	$\text{SnO}_2$	$\text{WO}_3$	$\text{UO}_2$	$\text{Ta}_2\text{O}_5$	$\text{Nb}_2\text{O}_5$	$\text{H}_2\text{O}$	Сумма
Из пегматита Корарфвет, Швеция, 1870	0,45	4,05	—	5,68	2,41	1,81	0,48	4,60	0,28	4,51	54,52	16,35	4,57	99,71
То же, 1877	0,60	6,19	0,21	2,21	5,02	2,08	—	1,12	0,91	2,34 ( $\text{UO}_2$ )	72,16	3,63	2,23	98,70

**Диагностические признаки.** Реакция на Ta + Nb; Ti отсутствует. От других черных танталониобатов, кроме некоторых самарскитов, отличается почти черной чертой.

**Происхождение, распространение, условия нахождения, спутники.** Образуется в пегматитах. Минерал редкий, плохо изученный. Найден в гранитных пегматитах в Корарфвет (Швеция) совместно с топазом, гранатом, гадолинитом, кварцем, ортоклазом, альбитом. Встречен в Стрипезен (Швеция) с ортитом.

Практического значения не имеет.

**Ампангабеит** (ampangabeit<sub>z</sub>) (Y, Er, U, Ca, Th)<sub>2</sub> (Nb, Ta, Fe, Ti)]<sub>7</sub> · O<sub>18</sub>? Впервые описан Лякруа в 1922 г. В основном окисел ниобия, тантала, редких земель и урана с примесью кальция, тория, железа, титана и др., с общей формулой A<sub>2</sub>B<sub>7</sub>O<sub>18</sub> до AB<sub>6</sub>O<sub>14</sub>, где A = Y, Er, U, Ca, Th; B = Nb, Ta, Fe, Ti. Сингония ромбическая.

Встречаются крупные (до нескольких сантиметров) кристаллы в форме коротких прямоугольных призм, обычно с закругленными, часто неполно развитыми гранями. Угмегах приводит формы (010), (100), (110) и (210) и указывает, что двугранные углы приблизительно те же, что и у эвксенита; Сабо отмечает формы (001), (010) и (100) и указывает, что двугранные углы ампангабеита несколько отличны от углов колумбита и эвксенита. Ампангабеит образует вкрапленники одиночных кристаллов и радиальнолучистых сростков. Спайность не наблюдается. Цвет в свежем изломе черный, темнобурый; на поверхности вследствие изменения — светлозеленый, светлокоричневый, коричнево-зеленый, буровато-желтый. Характерна пятнистая окраска. Черта коричневая. Блеск смоляной, у гидратированных разновидностей жирный. В тонких осколках прозрачный. Хрупкий. Излом раковистый, неровный. Твердость 3,5—5,5. Уд. вес 3,35—4,97. Твердость и удельный вес понижаются от темных разновидностей к светлым по мере изменения (главным образом гидратации) минерала. Электромагнитный, светлые разновидности немагнитны. Разлагается в H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> и HNO<sub>3</sub> при кипячении, полностью растворяется после сплавления с KHSO<sub>4</sub> и K<sub>2</sub>S<sub>2</sub>O<sub>7</sub>.

**Оптические свойства.** В проходящем свете прозрачный, буровато-желтый, темнозеленый до светлозеленого. По трещинам — более светлый (результат изменения). Изотропный (метамиктный); *N* от 2,13 до 1,87. У черной разности *N* = 2,13. У темноокрашенного минерала: *N* > 1,89, но < 2,3. У светлоокрашенных *N* изменяется от 1,80 до 1,87. После прокаливания минерал становится частично анизотропным с агрегационной поляризацией: *Ng*<sub>1</sub> — *Np*<sub>1</sub> = 0,01; *Nm*<sub>1</sub> = 2,20 (у черного), *Nm*<sub>1</sub> = 2,10 (у светлокоричневого). В отраженном свете серый, поверхность гладкая, ровная; отражательная способность средняя (менее, чем у самарскита, подобна пирохлору); внутренние рефлексy заметные — красновато-коричневые, коричневые до желтых. При травлении выявляется колломорфная зернистая структура.

**Диагностическое травление:** при действии H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> появляется слабо коричневое пятно, CaF + HNO<sub>3</sub> травится хорошо.

**На термодиаграмме** при 670—796° отмечается переход в кристаллическое состояние.

**Химический состав.** Для ампангабеита известно шесть анализов, результаты двух из них приведены в табл. 25.

Значительное содержание воды связано со вторичным изменением (главным образом гидратацией) ампангабеита. При этом процессе в минерале уменьшается количество U и Th.

**Диагностические признаки.** Реакция на Nb + Ta, Ti мало. Черные разности неотличимы от фергюсонита, иттротанталита, иттроколумбита, виикита, самарскита и его разновидностей, а темноокрашенные — от фергюсонита и виикита. Для светлоокрашенных (гидратированных) разновидностей характерна пятнистая окраска и жирный блеск, однако

достаточно надежно светлый ампангабит не может быть отличим от виикита.

Происхождение, распространение, условия нахождения в природе, спутники. Минерал редкий. Обнаружен в гранитных пегматитах Мадагаскара и редкометалльных пегматитах в зонах сахаровидного альбита. Спутники: колумбит, берилл, эвксенит, стрюверит, монацит, гранат, мусковит. Характерны ориентированные сростания с колумбитом и резорбция кристаллов ампангабита альбитом.

Практического значения не имеет.

**Иттротанталит** (Ittrotantalite)  $(\text{Fe}, \text{Y}, \text{Er}, \text{U}, \text{Ca})_4 [(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_7]_3$   
 $\text{Ta} > \text{Nb}$ .

Впервые описан в 1906 г. Сингония ромбическая.

Плотные скопления, изредка неясные кристаллы призматического, столбчатого или табличного облика. Наиболее развиты формы (001), (110) и (010). Углы между гранями (110):(110)  $56^\circ 50'$ ; (010):(011)  $41^\circ 26'$ ; (001:011)  $48^\circ 34'$  (см. рис. 14). Образуется вкрапленники.

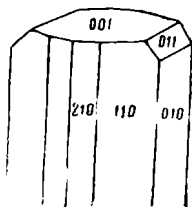


Рис. 14.  
Иттротанталит

Спайность неясная по (010). Цвет черный, бурый, светлорусый. Черта серая до бесцветной. Просвечивает в тонких осколках. Блеск полуметаллический до стеклянного и жирного. Излом раковистый. Твердость 5—5,5. Уд. вес 5,43—5,92. Неплавкий. При сильном нагревании становится белым. Кислотами разлагается только после сплавления с бисульфатом калия.

Оптические свойства. В проходящем свете красовато-бурый до светложелтого, изотропный (метамиктный); иногда неоднородный с очень слабым дупреломлением;  $N = 2,10—2,15$ . После прокаливания ( $\approx 800^\circ$ ) коричневый до желтоватого и почти бесцветного, анизотропный с агрегационной поляризацией;  $Ng_1 - Np_1 \approx 0,01$ ;  $Nm_1 \approx 2,15$ . Иногда наблюдается микросферлитовая структура. В отраженном свете (светлорусовая разность): красновато-серый; поверхность неровная в мелких ямочках; отражательная способность около 13%, внутренние рефлексы от заметных в воздухе (желтовато-серые, бурые и желтые), до заметных с иммерсией (бурые).

Диагностическое травление: травится HF очень сильно, неровная поверхность;  $(\text{NH}_4\text{F} + \text{HCl})$  — выявляются зернистость, трещины спайности и частью колломорфная структура.

Химический состав охарактеризован двумя анализами, результаты которых приведены в табл. 26. Согласно данным еще одного анализа желтого иттротанталита из Иттерби (Швеция), правильнее считать его фергюсонитом.

Диагностические признаки. Реакция на  $\text{Ta} + \text{Nb}$ ,  $\text{Tl}$  мало. Призматический облик кристаллов. От других призматических танталониобатов черных и темноокрашенных — самарскита, кальциосамарскита, ишикаваита, ампангабита, плюмбониобита практически не отличается, за исключением значительно более низкого содержания урана. С виикитом, фергюсонитом и иттроколумбитом сходен также и по содержанию урана. Светлые разности иттротанталита сходны с некоторыми разностями виикита и ампангабита.

Происхождение, условия нахождения, распространение и спутники. Минерал редкий. Встречен в пегматитах Норвегии с монацитом, натриевым ортоклазом, гадолинитом, слюдой и фергюсонитом и в Швеции — с измененным топазом, гранатом и альбитом.

Практического значения не имеет.

**Иттроколумбит** (ittrocolumbite)  $(\text{Fe}, \text{Y}, \text{Ce}, \text{U}, \text{Th}, \text{Ca})_4 [(\text{Ta}, \text{Nb})_2\text{O}_7]_3$ . По составу и другим свойствам очень сходен с иттротанталитом, но  $\text{Nb} > \text{Ta}$ . Сингония ромбическая.

Таблица 25

## Химический состав ампангабита

Образец, год анализа	CaO	MgO	MnO	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ce, La, Di) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Y, Er) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	U <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из пегматита Ампангабе, Мадагаскар, 1922 . . . . .	1,50	—	—	—	2,10	8,60	0,60	4,00	2,00	19,40	—	0,80	4,90	8,90	34,80	12,40	100,50
Из пегматита, 1946 . . . . .	4,69	0,79	0,09	3,32	1,44	5,20	0,75	7,16	0,60	11,66	3,19	—	2,54	15,02	30,58	9,21	96,24
Колебания по 6 анализам . . . . .	0,36— 4,69	0— 0,79	0,09— 1,53	0— 3,32	0— 2,10	5,20— 10,03	0,6—5,5	1,35— 7,16	0,60— 2,50	11,66— 19,40	0— 3,19	0— 0,80	0,12— 19,14	1,76— 15,02	30,58— 50,78	6,00— 15,91	—

Таблица 26

## Химический состав иттротанталита

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	BeO	MgO	CaO	MnO	FeO	PbO	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Er <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	WO <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из месторожде- ния Гаттевик, Норвегия, 1906 . . . . .	0,81	0,10	0,58	0,15	2,42	1,01	7,61	0,30	0,51	0,41	12,52	3,54	0,61	2,63	0,46	2,96	0,81	4,48	2,02	17,75	37,26	1,16	100,20%
Из месторожде- ния Реде, То же . . . . .	0,57	Сле- ды	0,35	0,15	1,28	1,85	2,48	—	0,42	1,71	12,48	3,58	0,96	1,67	0,57	1,20	0,67	3,85	0,66	20,38	39,53	0,51	99,87%

Цвет черный. Черта бурая. Блеск стеклянный. Непрозрачный до слабо просвечивающего. Твердость 5. Уд. вес 5,49.

Оптические свойства.  $N = 2,15$ .

Химический состав иттроколумбита охарактеризован одним приведенным ниже анализом (1937 г.) минерала из пегматита Мозамбика (Восточная Африка).

Диагностические признаки, см. иттротанталит.

MgO	CaO	MnO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>
0,66%	1,87%	5,08%	1,62%	10,52%	2,01%	14,06%	3,10%	2,65%

Условия нахождения, изученность. Минерал очень редкий, почти не изучен.

Практического значения не имеет.

**Джалмаит** (djalmaitе) (U, Ca, Pb, Fe) (Ta, Nb, Zr)<sub>3</sub>O<sub>9</sub> · nH<sub>2</sub>O. Синомим танталгатчеттолит. Представляет собой богатую ураном разновидность микролита. Сингония кубическая.

Октаэдрические кристаллы. Развиты формы (111) и (311). Угол между гранями (111) : (311) 28°24'. Образует вкрапленники. Спайность отсутствует. Цвет желтовато-бурый, зеленовато-бурый или буровато-черный. Блеск жирный. В тонких осколках просвечивает желтовато-бурым цветом. Излом неровный. Твердость 5,5. Уд. вес 5,75—5,88.

Оптические свойства. Изотропный;  $N = 1,97$ .

Химический состав джалмаита приведен ниже по данным анализа (1947 г.) образца из магматита Минас-Жераис (Бразилия):

MgO	CaO	FeO	PbO	Sn	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>
0,24%	3,40%	0,56%	1,10%	Следы	0,98%	0,18%	9,38%
UO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма	
2,17%	0,8%	2,54%	1,41%	12,27%	4,62%	99,65%	

Диагностические признаки. Реакция на Ta + Nb и Ti (мало). Среди других кубических танталониобатов вместе с гатчеттолитом выделяется желтовато-бурым цветом. От сходного гатчеттолита без данных химического анализа практически неотличим.

#### Химический состав

Образец, год анализа	MgO	CaO	PbO	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Y, Er) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ce, La) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>
Из слюдяного пегматита 1927 . . . . .	0,13	3,93	0,10	0,15	1,20	2,25	0,42	3,11	1,61	0,59	16,51
Из пегматита Амбатоям пикели, Мадагаскар, 1922	—	11,61	—	0,25	—	1,38	0,50	—	1,20	—	17,30
Колебания по 8 анализам. .	Следы 0,40	3,72— 11,61	Следы— 1,77	0— 1,48	0— 1,20	0,50— 6,96	0,36— 2,10	0— 3,11	0— 2,15	0— 5,38	16,20— 35,05

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Джалмаит встречен в выветрелых пегматитах Минас-Жераис (Бразилия) с аквамаринном, турмалином, самарскитом, колумбитом и висмутовыми минералами.

Распространение, изученность. Джалмаит, повидимому, является мало распространенной разновидностью микролита. Изучен слабо.

Практического значения не имеет.

ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	SnO	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	П.п.п.	Сумма
0,25%	1,78%	1,20%	0,66%	31,21%	21,50%	0,10%	1,33%	99,60%

### б) Титанотанталониобаты

**Бетафит** (betafite) (U, Ca, Th, Y, Ce) (Nb, Ta, Ti)<sub>3</sub>O<sub>9</sub> · nH<sub>2</sub>O?. Впервые описан в 1912 г. Разновидности: свинцовая — самиресит (PbO до 7,35%), титановая — титанбетафит (TiO<sub>2</sub> = 35,05%). Сингония кубическая. Минерал метамиктный, при прокаливании приобретает кристаллическую структуру.

Октаэдрические или ромбододекаэдрические, иногда таблитчатые по [001] или [011] кристаллы. Некоторые кристаллы напоминают тетрагональную пирамиду. Кристаллы обычно крупные (до 6—7 см в поперечнике). Образует вкрапленники. Спайность отсутствует. Цвет буровато-зеленый до черного. При выветривании минерал желтеет. Черта темно-коричневая. Блеск жирный до сильного стеклянного и смоляного. В тонких осколках просвечивает светложелтым цветом. Излом раковистый. Хрупкий. Твердость 4. Уд. вес 3,70—5. Характерны кремовые рубашки продуктов разрушения, покрывающие иногда весь кристалл.

Оптические свойства. В проходящем свете светложелтый до бесцветного, иногда мутный, изотропный;  $N = 1,895—1,925$ . После прокаливании изотропный;  $N = 2,02$ . На термокривых отмечается переход в кристаллическое состояние при 712°.

Химический состав. Для бетафита, включая титанистую разновидность, имеется восемь анализов. Результаты двух из них приведены в табл. 27.

Таблица 27

бетафита

SnO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Прочие компоненты	Сумма
0,37	1,30	26,37	—	37,36	1,46	2,47	—	99,33
—	1,25	28,60	—	32,10	Следы	5,20	—	99,39
0— 0,37	0,04— 1,30	15,52— 28,60	0— 9,64	10,11— 37,36	Следы— 11,75	2,47— 13,59	(K <sub>2</sub> O) 0— 0,38	—

Природа воды, отмечаемой постоянно, не выяснена, присутствие ее возможно связано с последующим изменением.

Возраст минерала из Маньчжурии определен в  $7,55 \cdot 10^6$  лет.

**Диагностические признаки.** Реакция на Ta + Nb и Ti (много). Октаэдрический облик. Практически невозможно отличить от других черных и темноокрашенных кубических титанотанталониобатов: блонстрандита, эльсвортита и менделеевита.

**Происхождение, условия нахождения в природе и спутники.** Образуется с другими редкоземельными минералами в гранитных пегматитах. Является относительно распространенным среди урано-танталониобатов. Обнаружен во многих жилах о. Мадагаскара, Норвегии и других стран. Спутники: эвксенит, малакон, фергюсонит, берилл, ортит и др., особенно часто встречаются в участках на контакте с дымчатым кварцем, обогащенных биотитом. Отмечались также параллельные включения магнетита в бетафите.

**Практическое значение.** В некоторых пегматитовых полях (Мадагаскар) бетафит используется как руда на уран.

**Самиресит (samiresite)** (U, Pb, Ce) (Nb, Ta, Ti)<sub>3</sub>O<sub>9</sub> · nH<sub>2</sub>O? Впервые описан в 1912 г. Рассматривается как самцовая разновидность бетафита. Сингония кубическая. Минерал метамиктный.

Октаэдрические кристаллы, реже встречаются в комбинации с додекаэдром. Развиты формы (111), (110) и (311). Образует вкрапленники кристаллов размером до 0,5 см. Цвет в свежем изломе золотисто-желтый, при разрушении минерал становится светложелтым, мутным. Просвечивает. Излом раковистый. Уд. вес. около 5,24 (колеблется). Разлагается разбавленными кислотами.

**Оптические свойства.** Изотропный,  $N = 1,92—1,96$ .

**Химический состав** самиресита из пегматита с о. Мадагаскара по данным химического анализа 1922 г. приведен ниже.

K <sub>2</sub> O	FeO	PbO	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>
0,30%	1,06%	7,35%	0,20%	0,74%	6,70%
SnO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	П.п.п.	Сумма
0,10%	21,20%	45,90%	3,70%	12,45%	99,60%

**Диагностические признаки.** Реакции на Ta + Nb и Ti. Золотисто-желтый и светложелтый цвет. Может быть спутан с буровато-желтым эльсвортитом.

**Происхождение, условия нахождения в природе.** Образуется в гранитных пегматитах. Минерал очень редкий. Найден в пегматитовых жилах в Самиреси на о. Мадагаскаре на контакте с пироксенитом. Спутники: циркон, самородный висмут, эвксенит, биотит (разрушенный).

**Практического значения не имеет.**

**Блонстрандит (blomstrandite)** (U, Ca, Fe, Ce) (Nb, Ta, Ti)<sub>3</sub>O<sub>9</sub> · nH<sub>2</sub>O? Известен с 1874 г. Сингония кубическая.

Плотные или плохообразованные октаэдрические кристаллы величиной до нескольких сантиметров. Цвет черный или буровато-черный, зеленовато бурый. Твердость 5,5—6. Уд. вес 4,07—4,25.

**Оптические свойства.** Изотропный. Показатель преломления высокий.

**Химический состав.** Для блонстрандита известны три анализа, приведенные в табл. 28.

**Диагностические признаки.** Реакция на Nb + Ta и Ti. В октаэдрических кристаллах неотличим от бетафита, эльсвортита и менделеевита, а в плотных образованиях — от ряда черных и темноокрашенных титанотанталониобатов, характеризующихся высоким содержанием урана.



Химический состав блонстрандита

Образец, год анализа	MgO	CaO	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	SnO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из пегматита Гончафена, Мадагаскар, 1922 . . . . .	0,20	4,00	0,50	1,35	—	2,50	0,30	18,10	0,30	10,80	23,30	28,50	0,40	9,60	99,85
Из пегматита, Ноль, Шве- ция, 1887 . . . . .	0,16	3,45	0,04	3,33	0,11	—	—	UO 23,68	—	10,71	49,76	—	Осадок от H <sub>2</sub> S 0,12	7,96	99,32
То же, 1874 . . . . .	Следы	3,04	0,06	3,39	—	—	—	UO 23,37	—	—	60,77	—	Осадок от H <sub>2</sub> S 0,20	8,17	99,00

Таблица 29

Химический состав гатчеттолита

Образец, год анализа	MnO	PbO	MgO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	WO <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	Сумма
Из пегматита, Хибла, Он- таро, 1923 . . . . .	0,51	0,54	0,36	—	3,46	0,62	0,12	13,25	11,40	4,41	1,44	0,52	4,12	1,57	11,37	31,33	10,29	4,29	—	99,60
Из пегматита Митчелл (Северная Каролина), 1877 . . . . .	—	Следы	0,15	2,19	—	—	—	8,87	—	15,50	0,30	—	—	—	1,61	34,24	29,83	4,49	1,37	98,55

Происхождение, условия нахождения, распространение, спутники. Образуется в гранитных пегматитах. Минерал редкий. Встречен в полевошпатовых карьерах Ноль (Швеция) и в натро-литиевых пегматитах о. Мадагаскара с бериллом, колумбитом и малаконом.

Практического значения не имеет.

**Гатчеттолит** (hatchettolite)  $(Ca, U, Fe)_2(Nb, Ta, Ti)_2O_6(O, OH)$ . Разновидность пирохлора, содержащая 13—14,5% U. По составу близок к менделеевиту и эльсвортиту. Синоним: уранпирохлор. Сингония кубическая.

Образует мелкие октаэдры с подчиненно развитыми кубом {001} и тетрагонтриоктаэдром {311}. Встречается в виде вкрапленников отдельных кристаллов и сплошными массами. Спайность отсутствует. Цвет бурый, желто-бурый. Блеск жирный до смоляного. Прозрачный. Излом полураковистый. Хрупкий. Твердость 4—5. Уд. вес 4,509—4,90. Слабо разлагается в концентрированной  $H_2SO_4$ . После прокаливания зеленовато-желтый.

Оптические свойства. В проходящем свете буро-красный до красновато-желтого. Изотропный;  $N = 1,98—2,10$ . Обильны включения газовых пузырьков. После прокаливания ( $t^\circ \approx 800^\circ$ ) шоколадно-коричневый; как правило, изотропный, очень редко (в отдельных участках) слабо анизотропный;  $N = 2,10$ . В отраженном свете серый; поверхность ровная, гладкая; отражательная способность средняя (подобно пирохлору); внутренние рефлексии очень заметные — темнокрасные и красновато-коричневые.

Диагностическое травление. При продолжительном травлении кипящей  $H_2SO_4$  — побурение, трещинки; при воздействии  $HCl$  — также трещинки, слегка буреет;  $HF$  — радужные пленки, выявляется неоднородность, матовая поверхность.

Химический состав. Для гатчеттолита в литературе известны два химических анализа (табл. 29). Согласно результатам еще одного анализа коричневого гатчеттолита из Хибла, его правильнее относить к эльсвортиту.

Диагностические признаки. Реакция на  $Ta + Nb$  и  $Ti$ . При наличии кристаллических форм (октаэдры) определяется вместе с танталгатчеттолитом и отличается от последнего более высоким содержанием  $Ti$ . В плотных выделениях практически неотличим от бурых и желто-бурых ампангабейта, виикита и обручевита. Для отделения от собственно пирохлора требуется количественное определение урана.

Происхождение, условия нахождения, спутники. Распространен значительно меньше, чем типичные пирохлоры. Образование гатчеттолита связано с гранитными пегматитами. Найден в слюдяных пегматитах Северной Каролины с самарскитом, турмалином, бериллом, гранатом и др., в карбонатных пегматитах Онтарио (Канада), на о. Мадагаскаре и в Виргинии.

Практического значения не имеет.

**Менделеевит**  $(U, Ca, Fe)_2(Nb, Ta, Ti)_2O_6(O, OH)$ . Сингония кубическая.

Кристаллы несколько сплющены, размером 1,3 см. Грани развиты неравномерно. Наблюдаются формы (110) и (111). Нередко образует кристаллические и плотные массы до 20 см в поперечнике. Цвет серо-черный. Черта красновато-коричневая. Блеск полуметаллический, иногда матовый (благодаря налету). Твердость 4,5. Уд. вес 4,766—7,750 (для кристаллов), 4,440—4,508 (для кристаллической массы).

Оптические свойства. В отраженном свете кремово-серый; поверхность ровная, гладкая, внутренние рефлексии вдоль трещин слабые коричнево-бурые, отражательная способность средняя.

Химический состав менделеевита приведен в табл. 30.

Диагностические признаки. Реакция на Ta + Nb и Ti (много). Неотличим от черных кубических титанотанталониобатов — бетафита, блонстрандита и эльсвортита, при отсутствии кристаллических форм — также от целого ряда ромбических титанотанталониобатов.

Происхождение, условия нахождения, распространение и спутники. Образуется в гранитных пегматитах с ортитом, эвксенитом, цирконом и монацитом; иногда в контактовых пегматитах, залегающих в известняках. Минерал редкий, установлен в одном пегматитовом поле.

Практическое значение. Как правило, представляет минералогический интерес, иногда встречается в промышленных количествах.

**Эльсвортит** (ellsworthite)  $(U, Ca, Fe)_2(Nb, Ta, Ti)_2O_6(O, OH)?$  Впервые описан в 1923 г. Формула точно не установлена. Рассматривается как минерал группы пирохлора; возможно, идентичен менделеевиту. Сингония кубическая. Метамиктный.

Образует октаэдрические кристаллы размером до 1 см, с сильно закругленными гранями. Плотные выделения. Развиты грани (111), (100), (110) и (311) (рис. 15). Наблюдаются вкрапленники. Цвет буровато-желтый до темнобурого (плотные массы), буровато-черный или черный (кристаллы). Иногда темнобурые «рубашки». Черта светлобуровато-желтая до бурой. В тонких осколках просвечивает. Блеск алмазный. Излом полураковистый, зернистый. Хрупкий. Твердость 4—4,5. Уд. вес. 3,608—3,758.

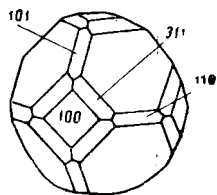


Рис. 15. Эльсвортит

Оптические свойства. Изотропный;  $N = 1,89$ . В отраженном свете серый; поверхность ровная, гладкая. Отражательная способность средняя. Внутренние рефлексы серовато-желтые до светлорыжевых.

Химический состав эльсвортита охарактеризован тремя анализами, приведенными в табл. 31.

Возраст эльсвортита из разных месторождений определен от 120 до 187 млн. лет.

Диагностические признаки. Реакция на Ta + Nb и Ti (много). Октаэдрический облик кристаллов. От других сходных по цвету кубических титанотанталониобатов — бетафита, блонстрандита и менделеевита отличается меньшим удельным весом.

Происхождение, распространение, условия нахождения в природе и спутники. Образуется в гранитных пегматитах. Минерал редкий. Обнаружен в Канаде в пегматитах Онтарио совместно с цирконом, сфеном и халькопиритом или в ассоциации с темным флюоритом.

Практическое значение. Иногда используется как руда на уран.

**Хлопинит**  $(Y, U, Th)(Nb, Ta, Ti, Fe)_2O_6?$  По данным рентгеноструктурного анализа прокаленного материала минерал очень близок к самарскому и может рассматриваться как его титановый аналог. Формула точно не установлена. Открыт в 1933 г. Сингония неизвестна.

Минерал метамиктный. Микрористаллический. Наблюдается в неправильных выделениях, иногда округлой формы. Цвет черный. В тонких осколках просвечивает буровато-коричневым цветом. Черта темнокоричневая. Блеск полуметаллический. Излом раковистый, занозистый. Твердость 5—6. Уд. вес 5,24. Электромагнитен. С трудом разлагается в горячей  $H_2SO_4$ , легко — в HF.

Оптические свойства. В проходящем свете: темнобурый, светлорыжевый, изотропный;  $N = 2,15—2,20$ . По трещинам замещается продуктами изменения. После прокаливания (при  $800^\circ$ ) анизотропный

## Химический состав менделеевита

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO	PbO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Прочие	Сумма
Из гранитного пегматита, (среднее из двух анализов кристалла), 1930 . . .	—	1,70	0,26	13,41	—	0,6	1,12	—	—	0,95	—	—	—	—	26,88	1,50	13,55	37,40	—	2,00	—	99,41
То же (среднее из 14 анализов плотной массы), 1930 .	0,60	0,33	0,10	11,54 14,30	1,02 —	1,01 1,00	1,06 —	0,96 1,40	0,45 —	0,19 —	0,36 0,10	0,28 —	13,57 —	6,13 —	— 28,90	0,30 —	14,04 14,20	39,46 31,70	3,83 2,30	3,80 —	0,47 —	99,50 93,90

Таблица 31

## Химический состав эльсвортита

Образец, год анализа	CaO	PbO	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	F	H <sub>2</sub> O	Прочие компо- ненты	Сумма
Из пегматита Хибла, Онтарио, 1933 (светлая разновидность)	11,73	0,24	0,43	—	4,10	0,21	—	0,42	2,54	10,47	0,10	—	—	18,50	34,22	4,32	0,22	12,22	—	99,72
То же (темная разновидность), 1923 . .	13,62	0,41	0,22	—	3,80	—	—	—	2,68	9,79	0,25	—	8,42	10,68	34,27	4,27	0,49	11,42	—	100,32
Из пегматита Галибуртон, 1937 . . .	8,94	1,73	0,04	0,22	2,74	1,49	0,12	0,12	2,49	15,06	0,06	0,10	1,56	20,46	23,44	9,97	Следы	11,20	0,31	100,05

с агрегационной поляризацией, часто имеет микросферолитовую структуру;  $N_g - N_p = 0,01 - 0,015$ ;  $N_m = 2,20 - 2,25$ . В отраженном свете кремово-серый. Поверхность ровная, гладкая. Отражательная способность больше 8%. Внутренние рефлексии очень слабые, вдоль трещинок густые красновато-коричневые и бурые, усиливающиеся с иммерсией.

Диагностическое травление. При травлении HF — трещинки, сетка прожилков, иногда зернистая структура.

Химический состав хлопинита охарактеризован двумя анализами, приведенными в табл. 32.

Хлопинит содержит  $1,02 \text{ см}^3$  гелия на 1 г минерала.

На термокривых отмечается переход в кристаллическое состояние при  $t$  665—785°.

Диагностические признаки. Реакция на Ta + Nb и Ti (много). От черных кубических титанотанталонообатов бетафита, блонстрандита, эльсворита и менделеевита отличается отсутствием кристаллических форм и уд. весом ( $>5$ ). Может быть спутан со всеми черными титанотанталонообатами, встречающимися в плотных массах.

Происхождение, распространение, условия нахождения в природе, спутники. Минерал редкий. Найден в пегматитовых жилах в виде мелко-рассеянных бесформенных вкрапленников, приуроченных к краевым зонам жилы, и компактных масс в центральной части жилы. Спутники: мусковит, монацит, циркон, ортит, сфен, гранат.

Практического значения не имеет.

### Бломстрандин, приорит, эвксенит, поликраз

Данная группа ромбических минералов весьма сходного химического состава представлена в основном титанонообатами иттрия. По различию кристаллических форм выделяются ряд бломстрандин — приорит, в котором кристаллы вытянуты по оси  $a$ , и ряд поликраз — эвксенит с кристаллами, удлиненными по оси  $c$ . Химически ряды почти идентичны, differing различным соотношением урана и тория: в минералах ряда бломстрандин — приорит содержание тория больше, чем урана, а в минералах ряда поликраз — эвксенит наоборот. Принято также выделять бломстрандин и поликраз по отношению  $(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_5 : \text{TiO}_2 = 1 : 4 - 1 : 6$  и приорит и эвксенит, где оно равно  $1 : 3 - 1 : 2$ .

Некоторые исследователи (Бетехтин, 1951, Дэна и др., 1951) описывают приорит как член серии эшинит — приорит, а поликраз и эвксенит выделяют в серию эвксенит — поликраз. Бломстрандин при этом принимается за синоним приорита.

**Бломстрандин** (blomstrandine) (Y, Er, Ca, Th, U)  $(\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{O}_6$ ;  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  :  $\text{TiO}_2 = 1 : 4 - 1 : 6$ . Впервые описан в 1879 г. Сингония ромбическая. Метамиктный, после прокаливании обнаруживает ясную дифракционную картину.

Короткопризматические по [001] и таблитчатые по [010] кристаллы. Наиболее развитые формы (010), (001), (130) и (110); реже встречаются (101) и (021). Кристаллы вытянуты по оси  $a$  (рис. 16). Характерна горизонтальная штриховка (010). Вкрапленники в виде крупных кристаллов и неправильных выделений. Часто сростается с эвксенитом. Спайность отсутствует. Цвет темнокоричневый до черного, красно-бурый. В тонких осколках просвечивает желто-бурый цвет. Черта бледная, красновато-желтая. Блеск сильный стеклянный (алмазный) до жирного; с поверхности матовый. Излом раковистый. Твердость 5,5. Уд. вес 4,6—5,4. Электромагнитный. Частично растворяется в горячей  $\text{H}_2\text{SO}_4$ , полностью при сплавлении с  $\text{KHSO}_4$  и  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ .

**Оптические свойства.** В проходящем свете бледножелтый, иногда почти бесцветный; как правило, изотропизированный. В отдельных участках анизотропный.

**Рентгенометрическое изучение.** По структуре аналогичен приориту. Порошковая диаграмма прокаленного до  $550^\circ$  блонстриндина сходна с порошковой диаграммой эшинита.

**Химический состав.** Известны шесть анализов. Результаты по двум из них приведены в табл. 33.

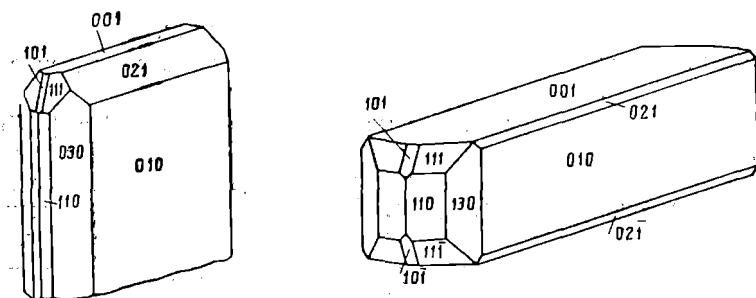


Рис. 16. Блонстрандин

На термокривых отмечается переход в кристаллическое состояние при  $t$  725—770°.

**Диагностические признаки.** Реакция на Ta + Nb и Ti (много). От кубических титанотанталониобатов отличается призматическим обликом, а от поликреза и эксенита только ориентировкой кристаллов, которые у них вытянуты по оси  $c$ . Блонстрандин совершенно неотличим от приорита без определения отношения  $(\text{Nb}, \text{Ta})_2\text{O}_5 : \text{TiO}_2$ .

**Происхождение, условия нахождения в природе, спутники.** Образуется в пегматитах, главным образом производных гранитной магмы. Найден совместно с приоритом в пегматитах Норвегии (крупные черные кристаллы весом до 3—8 кг) и в латеритном элювии (красноземе) Мадагаскара. Известны кристаллы блонстрандина в пегматитах, связанных с нефелиновыми сиенитами. Кроме того, находки блонстрандина совместно с приоритом отмечались в оловянных россыпях Южной Африки.

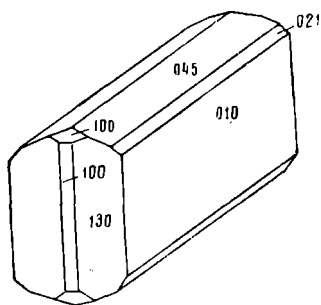


Рис. 17. Приорит

Практического значения не имеет.

**Приорит** (priorite) (Y, Er, Ca, U, Th)  $(\text{Ti}, \text{Nb})_2\text{O}_6$ ;  $\text{Nb}_2\text{O}_5 : \text{TiO}_2 = 1 : 2—1 : 3$ . Впервые описан в 1879 г. Сингония ромбическая. Метамиктный. После прокаливания обнаруживает ясную дифракционную картину.

Кристаллы короткопризматические по  $[001]$ , иногда таблитчатые по  $[010]$ , реже призматические по  $[100]$ ; вытянуты по оси  $a$ . Наиболее развиты формы  $(010)$ ,  $(001)$ ,  $(110)$  и  $(130)$  (рис. 17). Грань  $(010)$  горизонтально исштрихована. Образуется вкрапленники. Цвет бурый-черный, коричнево-желтый. Черта бледная красновато-желтая. В тонких осколках просвечивает желто-бурый цвет. Блеск алмазный, с поверхности тусклый (вследствие изменения). Спайность отсутствует. Излом раковистый. Хрупкий. Твердость 5—6. Уд. вес 4,61—5,05. Частично разлагается (в порошке)  $\text{H}_2\text{SO}_4$  при кипячении, полностью — при сплавлении с  $\text{KHSO}_4$  и  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$ .

**Оптические свойства.** В проходящем свете красновато-коричневый до светлорубого. Изотропизированный.  $N = 2,14—2,20$ . После прокаливания становится анизотропным,  $N = 2,24$ . В отраженном свете кремово-серый (подобен эвксениту); поверхность ровная, гладкая; отражательная способность средняя; внутренние рефлексy отчетливые, коричнево-желтые.

**Диагностическое травление.** При травлении  $H_2SO_4$  (кипящая) дает слабо коричневое пятно,  $HF$  — очень интенсивное, выявляется колломорфная структура.

**Рентгенометрическое изучение.** Установлена идентичность структуры с блонстрандином. По порошкограмме приорит прокаленный при  $550^\circ$  сходен, кроме того, с эшинитом.

**Химический состав** приорита охарактеризован шестью анализами. Результаты двух анализов приведены в табл. 34.

На термоквивных отмечается переход в кристаллическое состояние при  $t$   $500—577^\circ$ .

**Диагностические признаки.** Реакция на  $Nb + Ta$  и  $Ti$  (много). Призматический облик кристаллов (отличие от кубических титанотанталониобатов). От минералов ряда поликраз—эвксенит отличается ориентировкой кристаллов (кристаллы последних вытянуты по оси  $a$ ); от блонстрандина — только иным отношением  $(Nb, Ta)_2O_5 : TiO_2$ .

**Происхождение, условия нахождения** в природе, спутники. Известен в гранитных пегматитах Юго-Западной Норвегии вместе с блонстрандином. Установлен в редкометалльных пегматитах в зонах сахаровидного альбита, в ассоциации с биотитом, гранатом, магнетитом, колумбитом, ампангабитом, бериллом и другими минералами. Зафиксирован также в ряде мест в пегматитах среди нефелиновых сиенитов. Находки приорита известны в пегматитовом элювии (красноземы) Мадагаскара и касситеритовых россыпях Южной Африки.

Практического значения не имеет.

**Эвксенит** (euxenite)  $(Y, Ce, Ca, U, Th) (Ti, Nb, Ta)_2O_6; (Nb, Ta)_2O_5 : TiO_2 = 1 : 2—1 : 3$ . Впервые описан в 1847 г. Синоним: линдокист.

Сингония ромбическая. Метамиктный, после прокаливания приобретает кристаллическую структуру.

Образует призматические (стеблевидно-призматические) кристаллы с развитыми гранями (100), (010), (111), (201), и (110) (рис. 18), вытянутые по оси  $c$ . Наблюдаются вкрапленники крупных кристаллов и плотные массы; иногда ориентированные нарастания на колумбите. Двойники по (201), штриховка по (101). Спайности нет. Цвет черный, иногда с зеленоватым или буроватым оттенком. Черта желтовато- или красновато-бурая. В тонких осколках просвечивает красно-бурый, желто-бурый, частично буровато-желтым цветом. Блеск полуметаллический, часто жирный. Излом раковистый. Твердость 5,5—6,5. Уд. вес 4,5—5,9 (колеблется в зависимости от содержания  $Ta$ ). Минерал электромагнитный. Разлагается частично концентрированной  $H_2SO_4$ ,  $HF$  и полностью при сплавлении с  $KHSO_4$  и  $K_2S_2O_7$ .

**Оптические свойства.** В проходящем свете коричнево-бурый до светложелтого, почти бесцветный, изотропный;  $N = 2,06—2,20$ . После прокаливания темнокоричневый с побежалостью, иногда наблюдается микросферолитовая структура, анизотропный с агрегационной поляризацией;  $Nm \approx 2,20—2,25$ ;  $Ng - Np = 0,02$ . В отраженном свете кремово-серый, поверхность ровная, гладкая; много измененных участков с почковидной и колломорфной структурой. Отражательная способность несколько ниже самарскита (12—15%). Продукты изменения обладают

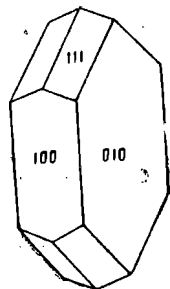


Рис. 18. Эвксенит

## Химический

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O	BeO	MgO	CaO	PbO	MnO	FeO
Из пегматита, 1937	0,24	0,03	0,13	0,96	0,19	0,26	1,83
То же, 1937 . . .	0,24	—	0,13	0,96	—	0,26	8,91

## Химический состав

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO	FeO	ZnO	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ce, La) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Из пегматита, 1922 . . . . .	0,10	0,09	0,06	2,06	0,32	1,73	—	0,15	Следы	28,72	1,72
Из пегматита, 1906, Гиттере, Норвегия . . .	0,22	0,19	0,04	1,02	0,27	1,48	—	0,06		28,76	1,97
Колебание по 6 анализам	0— 0,90	0— 0,19	0,04— 0,38	0,88— 2,06	0— 0,32	1,43— 4,30	0— 0,09	0— 0,81	0— 1,36	25,62— 28,76	1,72— 35,16

## Химический

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO	FeO	PbO	(Y,Er) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ce,La) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Из редкометалльно-го пегматита, 1946	—	—	0,55	3,00	—	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 1,27	2,01	25,14	0,94
Из пегматита, Ур-статд, Хиттера, 1906 . . . . .	0,22	0,19	0,04	1,02	0,27	1,48	0,06	28,76	1,97
Колебание по 6 анализам . . .	0— 0,22	0— 0,19	0,04— 0,55	1,02— 4,12	0— 0,30	1,27— 5,63	0— 2,01	17,11— 28,76	0,94— 4,32

## Химический

Образец, год анализа	MgO	CaO	PbO	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Y,Er) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ce, La) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Из пегматита Вуд-сток, 3. Австралия, 1929 . . .	—	0,97	1,71	0,28	—	1,53	0,31	16,36	9,54
Из пегматита Тауншин, Канада, 1928 . . . . .	0,03	1,92	1,35	0,28	ZrO <sub>2</sub> 0,05	2,07	0,26	24,31	0,44
Колебание по 10 анализам . . .	0— 0,12	0,48— 4,86	0— 1,71	0— 0,59	0— 2,54	0— 3,63	0— 1,65	16,36— 31,45	0,44— 9,54



## состав хлопинита

Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	TiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
8,16	17,65	2,22	8,12	0,61	39,92	7,37	10,01	2,94	100,64
—	17,65	2,22	8,12	0,61	39,92	7,37	10,01	2,94	99,34

Таблица 33

## бломстрандина

TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	WO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
32,75	0,21	0,06	—	7,58	—	—	3,98	18,13	0,62	—	1,07	99,35
32,91	0,38	0,12	Следы	7,69	4,01	—	—	17,99	0,89	—	1,88	99,88
27,39— 34,07	0— 0,40	0— 0,20	0 1,33	1,46— 7,93	3,24— 5,35	—	—	15,08— 23,35	0,62— 1,30	0— следы	0,97— 3,70	—

Таблица 34

## состав приорита

Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Прочие компо- ненты	H <sub>2</sub> O	Сумма
2,80	21,41	0,54	—	—	1,64	—	4,3	28,91	5,54	—	2,40	100,45
—	32,91	0,38	0,12	Следы	7,69	4,01	—	17,99	0,89	—	1,88	99,88
—	21,41— 32,91	0,38— 2,12	Следы 0,29	0— 2,62	0,61— 7,69	0,49— 5,35	4,3	17,99— 36,68	0— 5,54	0— 5,54	0— 2,56	—

Таблица 35

## состав эвксенита

UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	ThO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Прочие компо- ненты	Сумма
—	4,16	Bi <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 0,04	2,86	0,13	21,05	0,44	15,27	22,95	2,24	—	99,84
8,61	0,20	—	3,94	0,09	22,96	0,07	28,62	2,65	2,23	Na <sub>2</sub> O+K <sub>2</sub> O 0,21	100,29
0,67— 14,70	0,04— 9,08	2,48	Следы 4,95	0— 1,08	14,17— 25,68	0— 0,44	3,83— 41,43	0— 47,31	0— 12,63	0— 3,55	—

меньшей отражательной способностью; внутренние рефлексы слабые темно-красные, буро-красные.

**Диагностическое травление.** При воздействии  $H_2SO_4$  (кипящая) при продолжительном травлении дает слабо коричневое пятно, выявляется неоднородность, иногда спайность;  $HF$  травится очень сильно, выявляется налет, неровная поверхность.

На термокривых отмечается переход в кристаллическое состояние в интервале температур  $705-745^\circ$ .

**Химический состав.** Для эвксенита известны десять анализов из различных месторождений. Результаты по двум из этих анализов приведены в табл. 35.

**Возраст эвксенита** из различных пегматитовых полей Канады от 801 до 1095 млн. лет.

**Диагностические признаки** см. поликраз.

**Происхождение, распространение, условия нахождения в природе и спутники.** Образуется в гранитных пегматитах; как кластический материал отмечается в районах развития гранитных пород. Является одним из наиболее широко распространенных уранотитанообатов, встречаясь иногда в значительных количествах.

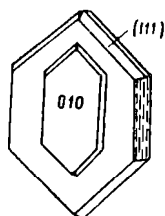


Рис. 19. Поликраз

Известен в большом количестве пегматитов Норвегии и Канады, в восточной Гренландии, на Мадагаскаре (значительные скопления) в Западной Австралии и ряде других пегматитовых полей. Титанистый эвксенит зафиксирован как кластический материал в Западной Австралии. Спутники: биотит, мусковит, дымчатый кварц, монацит, ксенотим, циркон, берилл, воробьевит, апатит, ортит, блемстрандин, колумбит, бетафит, ильменит, магнетит.

**Практическое значение.** Иногда эвксенит используется как руда на уран (Мадагаскар, Канада).

**Поликраз** (polycrase)  $(Y, Ce, Ca, U, Th) (Ti, Nb, Ta)_2O_6; (Nb, Ta)_2O_5 : TiO_2 = 1 : 4-1 : 6$ . Впервые описан в 1844 г. Сингония ромбическая. Метамиктный, после прокаливания становится кристаллическим.

Образует призматические, тонко таблитчатые по  $[010]$ , вытянутые по оси  $c$  кристаллы. Наиболее развиты формы  $(100)$ ,  $(010)$  и  $(201)$  (рис. 19). Промежуточные разности между поликразом и эвксенитом дают толсто таблитчатые, иногда псевдоквадратного облика кристаллы с пирамидой  $(111)$ . Наблюдаются вкрапленники крупных кристаллов и неправильных зерен, иногда закономерное нарастание их на блемстрандине. Двойники обычны по  $(201)$  со штриховкой по  $(001)$ , возможны по  $(013)$  и  $(101)$ . Штриховка по ребру  $(010) : (110)$ . Спайности нет. Цвет черный, нередко с буроватым и зеленоватым оттенком. Черта желтовато- или красновато-бурая. В тонких осколках просвечивает. Блеск полуметаллический. Излом раковинистый. Хрупкий. Твердость  $5,5-6,5$ . Уд. вес  $4,7-5,4$ . Электромагнитный. Растворяется в концентрированной  $H_2SO_4$ , крайне слабо — в  $HCl$  и  $HNO_3$  и полностью при сплавлении с  $KHSO_4$  и  $K_2S_2O_7$ .

**Оптические свойства.** В проходящем свете бурый с красноватым или желтоватым оттенками. Изотропизирован,  $N = 2,248$ , после прокаливания увеличивается.

**Химический состав.** Имеется семь анализов, характеризующих поликраз из различных месторождений. В табл. 36 приводятся результаты двух анализов.

**Диагностические признаки.** Черный цвет, желтовато- или красновато-бурая черта. Реакция на  $Ta + Nb$  и  $Ti$  (много). Очень сходен с эвксенитом, блемстрандином и приоритом.

От блонстрандина и приорита отличается вытянутой формой кристаллов по оси *c*.

Происхождение, распространение, условия нахождения в природе, спутники. Образуется в гранитных, редко в сиенитовых пегматитах, иногда в кварцевых жилах. Распространен во многих местах Норвегии, в Швеции, на острове Мадагаскар, в Южной Каролине (США) и других пегматитовых полях.

Наиболее обычные спутники: эвксенит, приорит, монацит, ксенотим, циркон, фергусонит, ортит, гадолинит и другие минералы редких элементов, также биотит, мусковит, ильменит, магнетит, сфен. С поверхности кристаллы поликирован часто покрыты желтой корочкой выветривания. Поликираз зафиксирован в золотоносных кварцевых жилах в Альпах (Франция), вместе с галенитом, также в золотоносных россыпях Северной и Южной Каролины в песках штата Айдахо с монацитом и цирконом.

Практического значения не имеет.

**Виикит** (wiiikite). Формула виикита, трактуемая минерал как изоморфную смесь кальциевой ( $\alpha$ -виикит)  $\text{Ca}_3\text{U}^{6+}(\text{HNbO}_5)_3$  и итровой ( $\beta$ -виикит)  $\text{Y}_4(\text{HNbO}_5)_3$  молекул, по новым данным (Lokka, 1950) подвергается сомнению, и выведение какой-либо формулы этого минерала считается невозможным. Виикит представляет собой сложный окисел или силикотитанотанталониобат урана, иттрия, кальция и железа, переменного состава. При этом содержание главных компонентов варьирует весьма широко, выходя за пределы допустимых колебаний для минерала или даже закономерно изменяющегося изоморфного ряда. Например:  $\text{SiO}_2$  2,30—15,84%;  $\text{TiO}_2$  2,39—23,36%;  $\text{Ta}_2\text{O}_5$  0—19,95%;  $\text{Nb}_2\text{O}_5$  0—40,18%;  $\text{UO}_2 + \text{UO}_3$  2,88—21,15%;  $\text{I}_2\text{O}_3$  0,72—29,27%;  $\text{CaO}$  1,79—7,24%;  $\text{FeO} + \text{Fe}_2\text{O}_3$  3,13—15,46%.

Физические свойства виикита также неопределенны. Полученные многочисленные порошкограммы прокаленного материала дают нечеткие линии, что затрудняет расшифровку природы минерала.

Впервые обнаружен в 1889 г. в виде трех разновидностей (кристаллический — черный; скрытокристаллический и аморфный — коричневый) и описан под названием эвксенит. Позднее в 1885 г. Рамзай обнаружил еще желтый минерал и назвал его виикитом. В 1928 г. Локка описал все эти минералы под общим названием виикит. Сингония ромбическая. Метамиктный. После прокаливания при температуре около 700° переходит в кристаллическое состояние.

Образует призматические, иногда столбчатые с закругленными гранями кристаллы, аморфные, плотные массы. Развита форма (100), (010), (110), (210), (101), (201), (212) и (111). Кристаллические зерна размером от долей миллиметра до нескольких сантиметров в длину. Углы между гранями (201) : (201) 55°34', (101) : (101) 93° (рис. 20). Наблюдаются вкрапленники, пучки параллельно сросшихся деформированных кристаллов. Цвет черный, коричневый различных оттенков — от темно- до светло-коричневого, желто-коричневый, светлобуровато-желтый, иногда переходы цвета наблюдаются в одном образце. Черта темносерая, коричнево-бурая, желто-бурая, желтая до бесцветной. Непрозрачный или просвечивает. Блеск смоляной, стеклянный, алмазный, матовый. Излом раковистый, занозистый, реже землистый. Твердость 4—5,5. Уд. вес 3,27—4,87. Разлагается  $\text{H}_2\text{SO}_4$  после сплавления с  $\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_7$  и  $\text{KHSO}_4$ ;  $\text{HCl}$  и  $\text{HNO}_3$  разлагают очень слабо.

Оптические свойства. В проходящем свете от бурого, почти непрозрачного до слабо зеленовато-бурого, почти бесцветного. Черный кристаллический виикит неоднороден, под микроскопом представляется в виде смеси коричнево-желтых, желтых и темножелтых пятен и жилочек непрозрачного вещества. Изотропный;  $N = 1,87$  (коричневый) до 2,00

Образец, год анализа	MgO	CaO	PbO	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Y,Er) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ce) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Из пегматита, 1902	—	0,44	—	—	—	3,24	—	11,20	9,58
Из пегматита, Тау- ншини, 1907 . . .	0,12	0,09	0,20	Следы	0,51	2,63	—	25,64	0,62
Колебание по 7 анализам . . . . .	0— 0,35	0— 1,02	0— 0,64	0— 0,34	0— 2,87	0— 3,24	0— 0,76	11,20— 30,87	0,62— 9,58

(черный). После прокаливания черная разновидность становится светлокоричневой с зернистой структурой. В отраженном свете черный виикит серый; поверхность ровная, гладкая; отражательная способность слабая (несколько выше ортита); внутренние рефлексии очень заметные — коричнево-серые, коричнево-желтые.

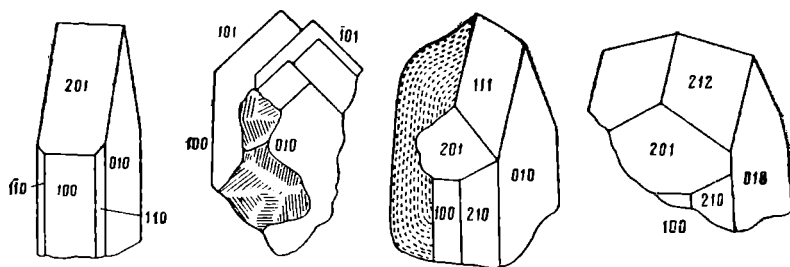


Рис. 20. Виикит

Диагностическое травление. Выявляется колломорфная структура, иногда нитевидные прожилки; при воздействии H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (кипящей) — слабое коричневое пятно; HF травится очень сильно.

Химический состав. Для виикита в литературе известно 25 анализов; кроме того, имеются 5 анализов разновидности виикита, не содержащей уран и известной под названием нуолита. В табл. 37 приведены результаты трех анализов.

Как видно из таблицы, содержание окислов колеблется в больших пределах, отвечая почти всем минералам обширной группы танталониобатов и титанотанталониобатов. Единственной особенностью состава виикита является постоянное присутствие в нем SiO<sub>2</sub>. Что касается воды, то ее наличие в составе виикита, как и в других танталониобатах, объясняется последующим изменением (гидратацией) минерала.

На термодиаграмме виикита отмечается переход в кристаллическую модификацию при 695°—730°.

Диагностические признаки. В связи с неопределенностью химической характеристики и изменчивостью физических свойств диагностика виикита вызывает особые трудности и выделение его среди других тантало- и титанотанталониобатов, даже при наличии химического анализа, по существу не представляется возможным<sup>1</sup>. Единственным критерием для отнесения минерала к виикиту может быть только наличие SiO<sub>2</sub> при твердой уверенности гомогенности анализируемого материала.

<sup>1</sup> В связи с этим он попадает почти во все разделы определительных таблиц (табл. I—IV).

состав поликразов

UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	ThO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	SnO <sub>2</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Прочие компонен- ты	Сумма
—	—	U <sub>2</sub> O <sub>3</sub> 11, 11	Следы	7,03	33,31	—	22,20	—	0,93	—	99,04
—	—	10,51	1,34	0,74	27,70	—	12,73	13,89	—	3,0	99,72
5,49	13,77	2,48— 10,50	0— 5,22	0— 7,03	26,59— 34,41	0— 0,13	4,35— 22,20	0— 23,10	0,93— 5,18	0,— 3,97	—

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Образование виикита связано с древними гранитными пегматитами. Некоторые исследователи склонны считать желтый виикит, на основании обычного парагенезиса его с сульфидами, продуктом гидротермального преобразования черного и коричневого виикита. Виикит встречен в докембрийских редкометальных пегматитах жильного поля Импилахти, Финляндия. Как правило, он концентрируется в зонах перехода от пегматита с пегматоидной крупнозернистой структурой к крупно-блоковому пегматиту. Иногда виикит выделяется вдоль границ между крупными блоками микроклина. Нередко он находится внутри кристаллобиотита в виде прослоев, параллельных спайности последнего. Очень редко виикит образует крупные агрегаты (до нескольких килограммов) в сростках с монацитом.

Аморфный виикит иногда выделяется в виде жилообразных тел совместно с магнетитом и сульфидами. Характерные спутники: биотит, магнетит, гематит, сульфиды, уранинит, гадолинит, монацит и ортит.

Изученность. Несмотря на большое количество аналитических данных, виикит до сих пор не имеет определенных физико-химических параметров. Многие исследователи рассматривают его не как самостоятельный минерал, а как разновидность эвксенита и самарскита, что, однако, не объясняет колебаний в его составе и физических свойствах. Не исключена возможность, что виикиты представляют собой результат специфической для пегматитов Импилахти, пневмогидротермальной переработки (в частности силицификации) тех или иных танталониобатов (самарскита?) или титанотанталониобатов (эвксенита?). Для выяснения природы виикитов необходим тщательный анализ имеющихся данных.

Практическое значение. В некоторых жилах виикит образует промышленные скопления.

## Б. ВОДНЫЕ ОКИСЛЫ (ГИДРООКИСЛЫ)

Водные окислы урана образуют переменные ряды, начало которым дают настуран или уранинит. Минеральные преобразования идут в направлении окисления U<sup>4+</sup> в U<sup>6+</sup>, увеличения воды и соответственно постепенного изменения физических свойств—увеличения прозрачности, уменьшения удельного веса, твердости, понижения светопреломления. Иногда тот или иной природный ряд гидроокислов урана усложняется присоединением Pb, Cu, V и других катионов с образованием сложных (в большинстве двойных) гидроокислов, рассматриваемых некоторыми исследователями как уранаты соответствующих металлов.

Особенности геохимической обстановки развития гидроокислов в месторождениях позволяют считать, что в отличие от кислой (сульфатной)

Образец, год анализа	MgO	CaO	PbO	MnO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Y) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Ce) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>
Из редкометалльного пегматита, 1946, (темнокоричневый виикит)	0,34	2,41	0,31	0,02		3,74	0,20	24,61	1,91	0,68
Из пегматита, Импилахти, Финляндия, 1928 . . . .	1,52	7,24	2,11	1,95		5,94	0,18	2,39		
То же, 1936 (черный виикит) . .	—	1,97	—	—		15,52	—	7,67	2,55	5,52
Колебание по 25 анализам . . . .	0— 1,99	1,79— 7,24	0— 5,34	0— 1,95	0— 15,46	0— 15,52	0— 2,40	0,72— 29,27	0,17— 8,62	0— 5,52

среды, свойственной урановым черням, они образуются в щелочной среде за счет коагуляции золя гидроокиси урана  $(\text{UO}_2)^{2+}(\text{OH})_2$ . При этом отложение гидроокислов происходит строго в контурах залегания первичного окисла практически без выноса урана.

При окислении и гидратации уранинита пегматитовых жил вторичные гидроокислы наследуют содержащийся в нем торий.

Форма минеральных зерен и характер агрегатов гидроокислов урана зависят от условий их образования.

Гидроокислы урана, развивающиеся в пустотах и трещинах настурана, характеризуются хорошо выраженными кристаллическими формами ромбической сингонии и образуют жеоды и корочки.

Гидроокислы, псевдоморфно замещающие настуран и уранинит, образуют непрерывный ряд простых и сложных соединений, развивающихся в определенном порядке и в целом наследующих формы первичного окисла. Собственными кристаллическими формами эти минералы не обладают, представляя собой плотные, внешне аморфные массы. Большинство из них не обнаруживает кристаллической структуры и при рентгенометрическом изучении, и только некоторые гидроокислы дают дифракционные линии, соответствующие решетке уранинита или кюрита. При микроскопическом изучении выявляется метаколлоидная структура. Благодаря этому с известной условностью они в дальнейшем именуется аморфными.

Ниже приводится систематика водных окислов урана по химическому составу и морфологическим особенностям и описание отдельных минеральных видов, имеющих в настоящий момент минералого-химическую характеристику. Сведения о новых и недостаточно изученных водных окислах урана и уранатах приведены выше в табл. 4.

Систематика водных окислов урана.

1. Простые:

а) кристаллические — янтинит, беккерелит, эпиянтинит, минерал X, параскупит, скупит;

б) аморфные — гидронастуран, ургит.

2. Сложные:

а) кристаллические — бильетит, кюрит, фурмарьерит, ванденбрандеит, ураносферит;

б) внешне аморфные — кларкеит, ториевый кюрит.

Кристаллические гидроокислы как простые, так и сложные, широко известны в литературе, начиная с 1921 г., по месторождениям Катанги

## СОСТАВ ВИКИТА

TiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Nb <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	Se <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	S	CO <sub>2</sub>	Сумма
20,73	—	1,85	3,17	—	—	18,06	16,35	4,83	0,48	—	—	—	99,69
3,87	0,92	5,77	19,58	—	—	37,71	—	8,83	—	—	—	—	98,01
23,36	—	16,98	—	—	3,56	—	15,91	—	5,83	1,17	—	—	100,00
2,39—	0—	2,30—	2,88—	—	—	0—	0—	0—	0—	0—	0—	0—	—
23,36	1,94	16,98	21,15	—	—	40,18	19,95	11,80	5,83	1,17	0,24	1,48	—

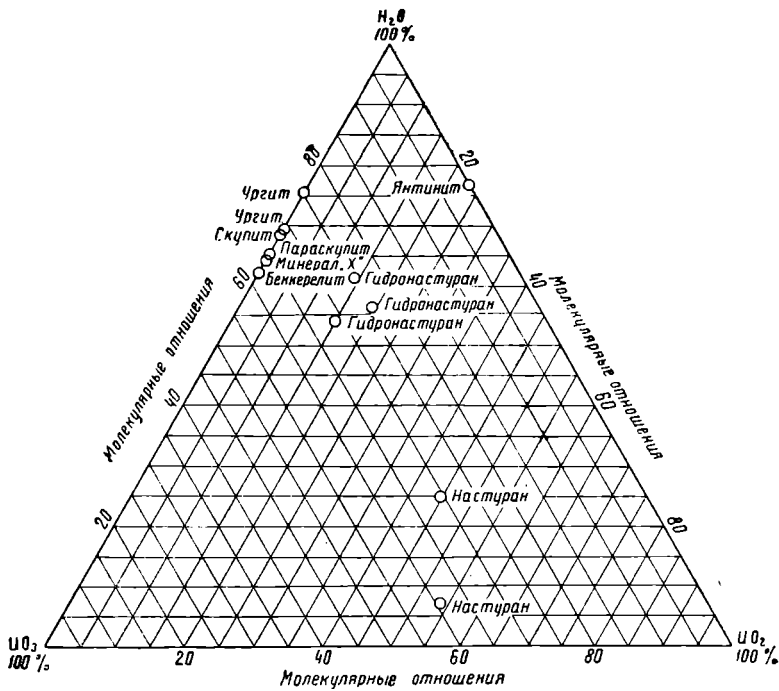


Рис. 21. Диаграмма соотношений  $UO_3$ ,  $UO_2$  и  $H_2O$  в природных гидроокислах урана

(Бельгийское Конго). Аморфные гидроокислы, кроме кларкеита, выделены в последние годы. Изучение их только начато.

Все простые гидроокислы урана (кристаллические и аморфные) можно рассматривать как члены переменной системы  $UO_2 - UO_3 - H_2O$  с некоторым количеством радиогенного свинца. Отношение  $UO_2 : UO_3$ , как и у остаточных черней, всегда смещено в пользу  $UO_3$  (гидронастуран) до отсутствия  $UO_2$  (ряд беккерелит — ургит). Положение этих минералов в системе  $UO_2 - UO_3 - H_2O$  изображено на рис. 21.

# 1. ВОДНЫЕ ОКИСЛЫ УРАНА ПРОСТЫЕ, КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ

**Янтинит** (ianthinite)  $2\text{UO}_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ? Впервые описан Скупом в 1925 г. Сингония ромбическая.

Образует тонкопластинчатые, призматические и игольчатые кристаллы, обычно мелкие (размером до 1 мм, редко 2—3 мм). Наблюдаются формы (100), (110), (010), (130), (101) и (011) (рис. 22) Выделяется в виде одиночных кристаллов и микроскопических прожилков. Спайность совершенная по (100). Цвет черный с фиолетовым оттенком или чернобуро-фиолетовый. Черта буро-фиолетовая. В тонких осколках просвечивает фиолетовым цветом. Блеск полуметаллический. Кристаллы очень хрупкие. Твердость 2—3. Растворяется во всех минеральных кислотах. При прокаливании становится черным, непрозрачным.

**Оптические свойства.** Под микроскопом наблюдаются очень мелкие пластинчатые кристаллы, исстрихованные в направлении удлинения. Двуосный, оптически отрицательный. Плоскость оптических осей (001). Острая биссектриса перпендикулярна плоскости спайности (100);  $N_g = 1,92$ ;  $N_m = 1,90$ ;  $N_p = 1,674$ ;  $N_g - N_p = 0,246$ . Плеохроизм сильный:  $N_g$  — темнофиолетовый,  $N_m$  — светлофиолетовый,  $N_p$  — бесцветный. По Скупу  $N_g = b$ ;  $N_m = c$ ;  $N_p = a$ . Пэлч изменил приведенную установку Скупа, взяв за ось  $c$  ось  $a$ , а за ось  $a$  — ось  $b$ . В отраженном свете коэффициенты отражения (полученные на основании пересчета констант для проходящего света) следующие:  $R_g = 9,9\%$ ,  $R_p = 6,3\%$ , внутренние рефлексии фиолетовые.

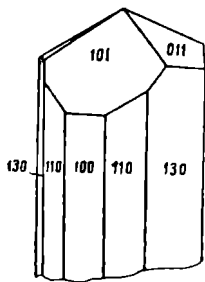


Рис. 22. Янтинит

**Химический состав.** Известен один химический анализ янтинита, результаты которого приведены в табл. 38.

Таблица 38

Химический состав янтинита

Образец, год анализа	$\text{U}_3\text{O}_8$	$\text{UO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	П.п.п.	Сумма
Из медно-уранового месторождения Катанги (Бельгийское Конго), 1925 . . . . .	82,90*)	—	1,25	—	15,85	100,00
Теоретический состав . . . . .	—	80,87	—	19,13	—	100,00

\*) Определено по разности

Автором анализа делается допущение, что весь уран в минерале четырехвалентный и оговорка, что для установления твердой формулы минерала необходим анализ из более значительной навески с прямым определением воды.

**Диагностические признаки.** Характерен фиолетовый оттенок в цвете минерала и черты. Окисляется в течение нескольких минут при кипячении в дистиллированной воде, а также при подогревании до  $50^\circ$  в воде с растворенным кислородом, меняя цвет вначале на коричневый, затем на желтый. Сернокислый раствор янтинита полностью обесцвечивает раствор перманганата калия.

**Происхождение.** Янтинит образуется при гипергенном изменении пастурана в условиях, очевидно, более резко восстановительных, чем окислительно-восстановительная среда обычной зоны цементации.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Янтинит встречен в верхних горизонтах уранового месторождения Казоло (Бельгийское Конго) в микроскопических прожилках, образующих сетчатые сплетения в пастуране, а также в виде одиночных игл в ассоциации со



скупитом в пустотах настурана. Неустойчив в атмосферных условиях, быстро окисляется и переходит в гидроокислы шестивалентного урана, в первую очередь эпиянтинит. В неизменном виде сохраняется редко. Янтинит отмечается в ураноносном месторождении флюорита Вельсендорф (Бавария) в ассоциации с казолитом, парсонситом, девиндитом, фурмарьеритом и другими минералами.

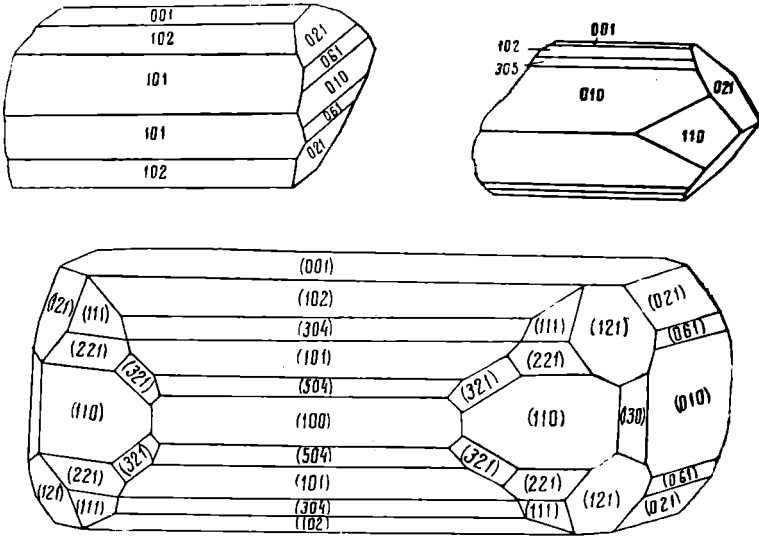


Рис. 23. Беккерелит

Распространение и изученность. Минерал очень редкий. Формула неточна, вызывает сомнение полное отсутствие шестивалентного урана.

Практического значения не имеет. Представляет геохимический интерес как индикатор резко восстановительной среды.

**Беккерелит** (becquerelite). 1.  $3\text{UO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 2.  $3[(\text{U}, \text{Pb})\text{O}_3] \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ ; 3.  $7\text{UO}_3 \cdot 11\text{H}_2\text{O}$ . Открыт и впервые описан Скупом в 1922 г. Свинцоводержащая разновидность выделена Скупом и Страдио в 1948 г. (формула 2). В 1953 г. Фрондел и Куттитта дали формулу 3. Сингония ромбическая.

Кристаллы призматические, игольчатые и удлиненно-таблитчатые по [001], обычно очень мелкие (1—2 мм), изредка до 6 мм; вытянуты параллельно оси *b*. Наиболее часто развиты формы (001), (102), (101) и (021). Наблюдаются также формы (010), (100), (130), (110), (102) и (103). Простые и сложные кристаллы беккерелита см. на рис. 23. Грани (101) и (010) часто имеют штриховку. Образует кристаллические скопления в пустотах и трещинах, часто сплошные выделения.

Двойники простые и полисинтетические по (110) наблюдались под микроскопом у таблитчатых кристаллов свинцоводержащей разновидности; иногда в форме шестигранных тройников, как у арагонита (рис. 24). Спайность совершенная по (001) и менее совершенная по (101), (110).

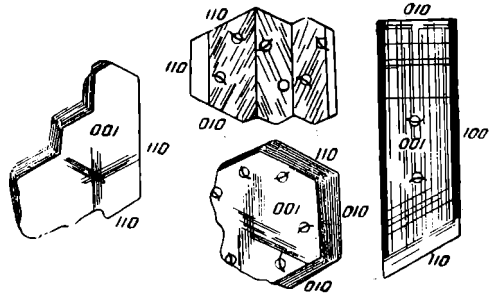


Рис. 24. Двойники беккерелита

Цвет минерала буровато-желтый, янтарно-желтый, оранжевый. Черта светложелтая. Прозрачен в тонких осколках. Блеск сильный стеклянный (по Скупу — алмазный, немного жирный). Твердость 2—3 (на спайной пластинке). Уд. вес 5,3—5,68; вычисленный 5,60. Не люминесцирует. В минеральных кислотах растворяется с выделением пузырьков.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный.  $2V = 30^{\circ}35'$ . Плоскость оптических осей (100). Дисперсия,  $\gamma > \nu$ . Показатели преломления и двупреломление беккерелита приведены в табл. 39.

Таблица 39

Показатели преломления и двупреломление беккерелита

Автор, год измерения	$N_g$	$N_m$	$N_p$	$N_g - N_p$	Примечание
Скуп, 1930 (свинцоводержащая разность) . . . . .	1,800	1,870	1,750	0,13	Формула 2
Буттгенбах, 1947 . . . . .	1,830	1,820	1,735	0,095	—
Скуп, 1948 (призматический кристалл) . . . . .	1,830	1,825	1,725	0,100	Формула 1
Ю. Франдел и Ф. Куттита, 1953 . . . . .	1,82—1,83	—	1,725—1,730	—	Формула 3

Плеохроизм сильный:  $N_g$ —темножелтый,  $N_m$ —бледножелтый,  $N_p$ —бесцветный;  $N_g : N_p$  (100),  $N_g = a$ ;  $N_m = b$ ;  $N_p = c$ .

В отраженном свете коэффициенты отражения (полученные в результате пересчета констант для проходящего света) следующие:  $R_g = 9,3\%$ ,  $R_p = 7,4\%$ . Внутренние рефлексии густые желтые.

Рентгеноструктурное изучение указывает на общую с биллетитом и фурмарьеритом псевдоячейку и наличие в структуре псевдогексагональных слоев  $U$  (O, OH) $n$ , параллельных плоскости (001). На основании рентгеноструктурного изучения Ю. Фрондел и Ф. Куттита установили изоструктурность беккерелита и беллетита с общей формулой  $[U_{1-x}^{6+}(Ba, Pb)_x^{2+}]U_6^{6+}O_{20-4x}(OH)_{2+4x}(10-2x) \cdot H_2O$ . Эталонная порошковаяграмма беккерелита приведена в табл. 2.

Химический состав беккерелита из месторождения Казоло, Катанга (Бельгийское Конго) охарактеризован 4 анализами (табл. 40).

В разных статьях и справочниках приводятся другие варианты тех же анализов без учета примесей и семь различных химических формул. Пересчет результатов анализов подтверждает справедливость трех помещенных выше формул.

Таблица 40

Результаты химических анализов беккерелита

Образец, год анализа	CaO	PbO	PbSO <sub>4</sub>	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма	Примечание
Из медно-уранового м-ния, Казоло, Бельгийское Конго, 1924	—	5,25	—	0,83	0,54	86,51	1,01	5,82	99,96	Формула 2
То же, 1924	—	—	5,38	—	—	82,73	—	10,03	98,14	
То же, микроанализ призматического кристалла, 1932	1—2	MoO <sub>3</sub> 0,1	—	—	—	90,0	—	9,9	—	Формула 1
То же, 1953	—	—	—	1,82	—	89,53	—	8,95	100,3	Формула 3
Теоретический состав для формулы 1	—	—	—	—	—	89,2	—	10,8	100	—

Кроме того, беккерелит, как и другие минералы Катанги, содержит селен и теллур.

Образцы, анализированные в 1924 г., первоначально считались содержащими примесь англезита. В более поздней литературе (Schoep, Stradiot, 1948) свинец рассматривается как изоморфная смесь с  $U^{6+}$  и соответственно выделяются две разновидности беккерелита: 1) не содержащая свинца  $3UO_3 \cdot 5H_2O$  (с более низким светопреломлением) и 2) свинецсодержащая  $3[(U, Pb)O_3] \cdot 5H_2O$ , существование которой на наш взгляд подтверждается оптическими данными.

При нагревании до  $110^\circ$  беккерелит теряет 1,6%  $H_2O$ ; полностью он выделяет воду при температуре  $500^\circ$ .

Результаты термического и рентгеноструктурного анализов указывают, что основная масса воды из беккерелита выделяется при  $170^\circ$ , полное обезвоживание его наступает при  $520^\circ$ . Прокаленный при  $500^\circ$  беккерелит становится рентгеноаморфным; при  $700^\circ$  он переходит в  $U_3O_8$  ромбической структуры.

Диагностические признаки. Беккерелит отличается от других окрашенных в желтый цвет гидроокислов скупита, эпиянтинита, минерала X и параскупита буроватым оттенком, кристаллографическими данными, наличием двойников и, главное, оптическими свойствами. От бильетита беккерелит практически отличается только отсутствием Ba. Как все гидроокислы  $U^{6+}$ , характеризуется сильным блеском и легкой растворимостью в HCl с выделением пузырьков.

Происхождение. Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений на первом этапе полного окисления и гидратации настурана.

Условия нахождения в природе и спутники. Встречен в верхних горизонтах месторождения Казоло (Бельгийское Конго), в так называемой зоне оранжевых руд, где он заполняет пустоты и трещины в настуране. Как правило, сопровождается скупитом, редко янтинитом. Часто внутри кристаллов беккерелита наблюдаются неориентированные включения кюрита. Иногда беккерелит встречается в виде плотных непрозрачных масс совместно со скупитом.

Беккерелит зафиксирован также в пустотах черного флюорита совместно со скупитом в ураноносном флюоритовом месторождении Вельсендорф (Бавария).

В 1954 г. беккерелит установлен в зоне окисления уранового месторождения в метаморфических породах. Встречен совместно с уранофаном,  $\beta$ -уранотилом в виде щеточек из мелких таблитчатых кристаллов и плотных корочек на первичной руде.

Распространение и изученность. Минерал редкий. Хорошо изучен беккерелит месторождения Казоло. Описанию его посвящено свыше 10 статей.

Практическое значение. Находки беккерелита имеют главным образом поисковое значение. В Казоло вместе с другими гидратами окислов используется как руда на уран.

Эпиянтинит (epiianthinite)  $UO_3 \cdot 2H_2O$ . Впервые описан в 1947 г. Скупом и Страдио без химического анализа. В 1954 г. Ю. Фрондел и Ф. Кутгитта описали подобный минерал как продукт изменения янтинита. Однако по сходству физических признаков этого минерала с эпиянтинитом, а главное вследствие непрерывной изменчивости свойств в ряде гидроокислов урана (см. выше) выделять его в новый минеральный вид не следует. Сингония ромбическая.

Образует призматические и игольчатые кристаллы, вытянутые по оси *b*. Спайность совершенная по (001). Цвет желтый до пурпурно-красного. Твердость 2—3. Уд. вес 3,3—3,5, вычисленный 3,467. Люминесценция, повидимому, отсутствует.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный.  $2v$  очень маленький, иногда до  $50^\circ$ . Плоскость оптических осей (010). Светопреломление и плеохроизм: для пурпурно-красной разности —  $N_g=1,790$  — темнопурпурно-красный,  $N_m=1,730$  — буровато-оранжевый,  $N_p=1,730$  — светлорозовый; для желтой разности —  $N_g=1,793$  — темножелтый,  $N_m=1,79$  — желтый,  $N_p=1,70$  — бледножелтый. На спайной плоскости выходит острая биссектриса.  $N_p=c$ ;  $N_g=a$ . Оптическая ориентировка эпиянтинита изображена на рис. 25.

Рентгенометрическое изучение. Полученная в 1954 г. порошковая диаграмма минерала по значениям  $d/n$  и  $I$  отличается от порошковой диаграммы близкого по химическому составу скупита, благодаря чему может быть использована в диагностических целях (см. табл. 2).

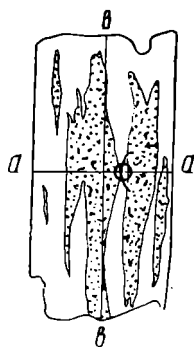


Рис. 25. Остатки незамещенного янтинита в эпиянтините

Химический состав минерала, на основании которого выведена формула эпиянтинита, приведен в табл. 41.

По отношению  $UO_3:H_2O=1:2$  эпиянтинит стоит в ряду ромбических гидроокислов шестивалентного урана между беккерелитом и скупитом.

Диагностические признаки. Среди других кристаллических гидроокислов шестивалентного урана может быть выделен по оптическим и рентгенометрическим данным.

Происхождение. Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений. Повидимому, является одним из ранних продуктов окисления янтинита.

Таблица 41

Химический состав эпиянтинита (в %)

Образцы, год анализа	$UO_2$	$UO_3$	$H_2O^-$	$H_2O^+$	Сумма
Из медно-уранового м-ния Шинколобве (Бельгийское Конго) 1954	<0,1	87,83	1,06	11,26	100,15

Условия нахождения в природе. Найден в месторождении Шинколобве, Катанга (Бельгийское Конго), развивается по янтиниту.

Практическое значение. Представляет минералогический интерес.

**Минерал X**  $5UO_3 \cdot 9H_2O$ . Описан Пэлечем и Берманом в 1933 г. Сингония ромбическая.

Образует мелкие (до 1 мм), таблитчатые по базису и вытянутые по оси  $b$  кристаллы. Наблюдаются формы (001), (010), (100), (120), (111), (011), (021). Спайность совершенная по (001). Цвет желтый. Просвечивает. Твердость 3. Не люминесцирует. Растворяется в разбавленных кислотах.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный и положительный.  $-2V$  средний  $+2V=52^\circ$ . Дисперсия  $r > v$ ;  $N_g=1,820$ ;  $N_m=1,810$ ;  $N_p=1,785$ ;  $N_g-N_p=0,035$ . Плеохроизм:  $N_p$  — бесцветный;  $N_g$  и  $N_m$  — желтый.  $N_g=a$ ;  $N_m=b$ ;  $N_p=c$ .

Химический состав охарактеризован одним анализом (табл. 42). На основании данных этого анализа Пэлеч рассчитал формулу минерала  $UO_3 \cdot 2H_2O$ , повидимому, относя свинец к примесям. Более точная формула минерала:  $5UO_3 \cdot 9H_2O$ .

## Химический состав минерала X

Образец, год анализа	PbO	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Нерастворимый остаток	Сумма
Из месторождения Большого Медвежьего озера, Канада, 1933 . . . . .	9,16	76,10	—	8,29	4,10	97,65
Теоретический состав . . . . .	—	—	88,82	11,18	—	100

**Диагностические признаки.** От беккерелита отличается желтым цветом, от скупита — более высоким светопреломлением; от параскупита практически неотличим. Как все гидроокислы U<sup>6+</sup> должен легко растворяться в HCl с выделением пузырьков.

**Происхождение.** Образуется в результате изменения настурана в зоне окисления. По химическому составу и свойствам является промежуточным минералом между беккерелитом и скупитом.

**Условия нахождения и спутники.** Найден в ураново-серебряном месторождении у Большого Медвежьего озера в Канаде в ассоциации с уранофаном и циппеитом. Изучен слабо.

**Практическое значение.** Находка минерала X как промежуточного члена ряда простых водных окислов урана (между эпипантитом и параскупитом) представляет минералогический интерес.

**Параскупит (paraschoepite)** 5UO<sub>3</sub> · 9½H<sub>2</sub>O. Описан Скупом и Страдио в 1947 г. Сингония ромбическая (оптические данные).

Игольчатые и пластинчатые кристаллы, идентичные скупиту. Пластинчатость по [001]. Грань (001) со штриховкой параллельно оси *b* (рис. 26).

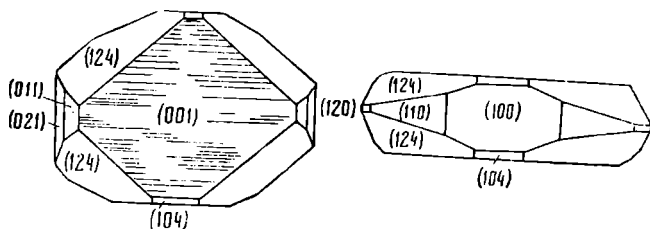


Рис. 26. Параскупит

Кристаллы крупнее, чем у скупита, достигают по величине нескольких миллиметров. Наблюдались формы (001) (развита лучше остальных), (010), (100), (110), (120), (011), (021), (104), (124). Более мелкие кристаллы имеют меньшее число граней. Образуется мелкокристаллические корочки и друзы, плотные налеты. Спайность совершенная. Цвет желтый, слегка зеленоватый. Цвет порошка желтый. Блеск алмазный. Кристаллы прозрачны. Очень хрупкий. Твердость от 2 до 3. Уд. вес > 3,3. Люминесценция, по видимому, отсутствует (данных в литературе не приводится). Растворяется в разбавленных кислотах, особенно легко при нагревании.

**Оптические свойства.** Под микроскопом обнаруживается большое количество включений газа, объясняющих плохую прозрачность многих его кристаллов. Ясно заметен зональный рост кристаллов (рис. 27). Двуосный, отрицательный. Плоскость оптических осей (010).  $2V = 46^\circ$ . Дисперсия,  $z > v$ . Показатели преломления:  $N_g = 1,769 - 1,770$ ;  $N_m = 1,714 - 1,730$  (1,760) и  $N_p = 1,702 - 1,705$ ;  $N_g - N_p = 0,065$ ;  $N_g = a$ ;  $N_m = b$ ;  $N_p = c$ . Погасание прямое. Удлинение положительное. Плеохроизм:  $N_g$  и  $N_m$  — желтый,  $N_p$  — почти бесцветный.

Рентгенометрическое изучение. Для параскупита из уранового месторождения получены две сходные порошкограммы (см. табл. 2).

Химический состав. Известен один анализ параскупита (табл. 43), на основании которого рассчитана его формула.

Таблица 43

Химический состав параскупита

Образец, год анализа	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из медно-уранового месторождения Шинколобве, Бельгийское Конго, 1947 . . . . .	89,26	10,73	99,99
Теоретический состав . . . . .	89,31	10,69	100,00

При нагревании до 150° параскупит теряет 73% содержащейся в нем воды; полностью вода выделяется при 600°.

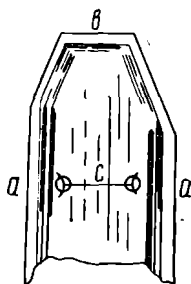


Рис. 27. Зональный кристалл параскупита

Диагностические признаки. По внешнему виду, без гониометрических измерений, параскупит неотличим от скупита. Эти минералы различаются по величине показателей преломления, фигуре и положению плоскости оптических осей. Как для всех гидроокислов U<sup>+6</sup>, характерны сильный блеск и легкая растворимость в HCl с выделением пузырьков.

Происхождение. Образуется вместе с другими ромбическими гидроокислами урана в результате изменения настурана в зоне окисления. Установлено, что параскупит иногда развивается также за счет отенита и фосфуранилита.

Условия нахождения в природе и спутники. Параскупит встречен в верхних горизонтах месторождения Шинколобве в виде корочек на настуране и в пустотах последнего в тесной ассоциации с беккерелитом и другими вторичными минералами. Иногда образует налет на беккерелите. Кроме того, параскупит известен в урановом месторождении с отенитом и фосфуранилитом.

Практическое значение. Второстепенный компонент окисленных руд урана.

Скупит (schoepite) 4UO<sub>3</sub> · 9H<sub>2</sub>O. Синоним: шёпит. Минерал открыт и первоначально описан Уокером (Waëker) в 1923 г. Сингония ромбическая.

Обычно образует таблитчатые кристаллы, сплюснутые по [001] (рис. 28, а, б). Первый кристалл, описанный Уокером, бипирамидальный, призматический по оси с (рис. 28, в). Наиболее частые формы: (001), (100), (010), (011), (021), (111), (122), (124), (110). Спайность совершенная по (001). Цвет лимонно-желтый до серно-желтого. Цвет черты (порошка) желтый. Кристаллы часто окрашены в коричневатый или даже черный цвет, за счет включения гидроокиси кобальта (также кюрита и янтинита). Прозрачный или просвечивает. Блеск сильный стеклянный. Твердость 2—3 (измеренная на плоскости спайности). Уд. вес 4,8—4,95. Люминесценция, повидимому, отсутствует, хотя имеются отдельные указания о наблюдавшейся люминесценции зеленого цвета. Растворяется в разбавленных кислотах, особенно легко при нагревании, с выделением пузырьков. При прокаливании чернеет.

Оптические свойства. Двуосный. Оптический характер точно не установлен вследствие большого 2V (89°20′). Плоскость оптических осей (010). Дисперсия, r > v; Ng = 1,735; Nm = 1,714 и Np = 1,690;



зуется сильным блеском и легкой растворимостью в HCl с выделением пузырьков.

Происхождение. Один из поздних продуктов преобразования настурана в зоне окисления, развивающейся в щелочной среде.

Условия нахождения в природе и спутники. Встречен в месторождении Катанги (Бельгийское Конго), главным образом в зоне так называемых оранжевых руд, в жеодах и прожилках в настуране вместе с беккерелитом и янтинитом, также в компактных массах в смеси с беккерелитом. Кристаллы скупита содержат включения кристаллов янтинита и кюрита.

Практическое значение. Один из компонентов окисленных руд урана.

## 2. ВОДНЫЕ ОКИСЛЫ УРАНА ПРОСТЫЕ АМОРФНЫЕ

**Гидронастуран**  $(U_{1-x}^{4+}U_x^{6+})O_{2+x} \cdot nH_2O$ ;  $n=3-9$ . Фор-

мула по кислородному коэффициенту:  $UO_{2,5-2,8} \cdot nH_2O$ . Впервые выделен Р. В. Гецевой в 1947—1952 гг. Название собирательное, дано по составу для целого ряда аморфных продуктов неполного окисления и гидратации настурана с последовательно изменяющимися физико-химическими свойствами. Учитывая непрерывность процесса окисления, возможно обнаружение других членов ряда, особенно крайних окисленных с высоким кислородным коэффициентом ( $> 2,8$ ), богатых водой.

Минерал аморфный образует плотные массы, иногда сферические стяжения, унаследованные от настурана. Спайность отсутствует. Цвет черный; в тонких осколках просвечивает бутылочно-зеленым цветом, прозрачность увеличивается по мере возрастания в минерале  $UO_3$  (увеличения кислородного коэффициента). Цвет порошка (черты) от темного зеленовато-бурого до пепельно-серого. Излом раковистый. Блеск сильный стеклянный, у слабо просвечивающих разностей почти смоляной. Очень хрупкий. Твердость уменьшается с возрастанием кислородного коэффициента и воды от 263 кг/мм<sup>2</sup> до 87 кг/мм<sup>2</sup> или, соответственно по шкале Мооса, от 4,5 до 3,1. В зависимости от того же уд. вес колеблется от 4,6 до  $\approx 4,3$ . Кислотами HCl и HNO<sub>3</sub> разлагается вначале бурно, затем спокойно с образованием того или иного количества нерастворимого остатка.

Оптические свойства. В проходящем свете разности, близкие к настурану, имеют темный бутылочно-зеленый или зеленовато-бурый цвет, а остальные — бутылочно-зеленый. Изотропный, в отдельных участках до слабо анизотропного. Показатель преломления снижается от 1,781 (иногда выше) до 1,715 по мере возрастания кислородного коэффициента и воды в минерале. В отраженном свете цвет минерала серый, характерны буровато-желтые внутренние рефлексы. Отражательная способность, замеренная у двух разностей с высоким кислородным коэффициентом ( $UO_{2,76}$  и  $UO_{2,8}$ ), соответственно колеблется от 11,40% до 7—7,5%.

Рентгенометрическое изучение. Порошкограммы большинства изучавшихся образцов не дают дифракционной картины, что указывает на аморфное состояние вещества.

На некоторых порошкограммах отмечаются сильно диффузные линии решетки уранинита, унаследованной от первичного окисла (настурана).

Химический состав определен для шести образцов минерала из разных месторождений. Поскольку материал по гидронастурану публикуется впервые, в табл. 45 приводятся результаты всех анализов, указывающие на прямую зависимость между содержанием в минерале  $UO_3$  и  $H_2O$  и постоянное присутствие тех же примесей, что и в настуране.



Результаты химических анализов гидронастурана

Образец, год анализа	MgO	CaO	PbO	MnO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	±H <sub>2</sub> O	Сумма
Из никель-кобальт-уранового месторождения, 1952 (микроанализ) . . .	—	—	5,64	—	—	—	—	22,2	54,07	—	5,71	87,62
То же . . .	—	—	5,78	—	—	—	—	11,90	63,00	—	7,21	87,89
Из уранового месторождения, 1952 . . .	—	6,58	0,92	0,11	0,51	1,05	8,55	31,56	41,10	1,46	6,11	96,95
То же . . .	—	3,28	2,0	—	4,82	1,32	8,65	26,88	46,65	н/о	7,72	101,22
Из железо-уранового месторождения, 1955 . . .	—	3,60	2,56	—	4,32	1,26	4,87	72,83	—	—	6,25	95,69
То же . . .	—	4,55	2,45	—	5,68	0,80	4,36	71,07	—	—	8,83	97,68

Изотопический состав свинца по данным масспектрального анализа (образец из железо-уранового месторождения) указывает на радиогенную природу свинца в гидронастуране: Pb<sub>204</sub> нет; Pb<sub>206</sub> 85,83% Pb<sub>207</sub> 11,68%; Pb<sub>208</sub> 2%.

Термический анализ с рентгеноструктурным контролем показывают, что при 100 и 300° в минерале происходит выделение воды с сохранением аморфности вещества. При 500° минерал приобретает ромбическую структуру, идентичную синтетическому окислу U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>.

Диагностические признаки. Черный, в тонких осколках бутылочно-зеленый цвет, сильный стеклянный блеск и исключительная хрупкость позволяют довольно легко отличать гидронастуран от настурана, остаточной черни и черных плотных разновидей танталониобатов.

Происхождение. Образуется в глубокой части зоны окисления гидротермальных месторождений в процессе преобразования настурана в условиях щелочной среды. Не исключена возможность образования гидронастурана при эндогенном окислении настурана.

Условия нахождения в природе спутники. Гидронастуран встречается в псевдоморфозах по настурану в ряде жильных и метасоматических месторождений. Главная масса его развивается в подзоне неполного окисления, где он почти полностью замещает линзы, скопления и прожилки настурана, а также натечные корочки последнего на марказите. Гидронастуран здесь ассоциирует с настураном, марказитом и другими минералами первичных руд, иногда с более поздними урановыми чернями (разъедают гидронастуран по трещинкам), и лермонтовитом. Выше по разрезам месторождений иногда до самой дневной поверхности гидронастуран (обычно наиболее просвечивающие разновидности с высоким кислородным коэффициентом) сохраняется в виде реликтов, «глазков» среди массы замещающих его минералов шестивалентного урана — ургита, сложных урано-свинцовых и урано-медных гидроокислов и уранилсиликатов.

Практическое значение. В нижней части окисленной зоны является рудой на уран.

**Ургит**  $UO_3 \cdot nH_2O$ ;  $n = 1,7—3,1$ . Открыт Р. В. Гецевой в 1947—1952 гг. Название собирательное. Оно относится по существу к целому ряду аморфных гидроокислов шестивалентного урана, замещающих гидронастуран и постепенно изменяющих в процессе гидратации свои физико-химические свойства. Как и для гидронастурана, ряд предполагается непрерывным с более широкими пределами колебаний в содержании воды по сравнению с приведенными в формуле.

Минерал аморфный, образует плотные массы, напоминающие на свежем изломе янтарь. Спайность отсутствует. Цвет от красновато-желтого до янтарно-желтого, в тонких осколках — желтый. Прозрачный. Блеск сильный стеклянный. Излом раковистый. Очень хрупкий. Твердость от 4,4 (абсолютная  $250 \text{ кг/мм}^2$ ) до 2. Уд. вес: 3,8—4,17. Практически не люминесцирует. Растворяется на холоду в 20%-ной HCl с выделением редких пузырьков хлора и белого кристаллического осадка, который полностью растворяется при подогревании.

**Оптические свойства.** В проходящем свете цвет от лимонно-желтого до желтовато-бурого. Характерна сеть замкнутых трещин дегидратации, как у настурана и других коллоидных минералов. Местами обнаруживает метаколлоидную структуру со слабой волнистой и агрегатной анизотропией. Участками ургит полностью сохраняет изотропность. Кристаллические индивиды ургита двуосны:  $N_g = 1,669—1,680$ ,  $N_p = 1,647—1,657$ . В изотропных или слабо поляризующих участках показатель преломления ургита изменяется в обратной зависимости от количества воды в минерале в пределах от 1,656 до 1,693, иногда до 1,705.

**Рентгенометрическое изучение.** Порошкограммы указывают на аморфное строение всех трех анализировавшихся разновидностей ургита.

**Химический состав ургита** по данным неполных микрохимических анализов приведен в табл. 46.

Таблица 46

Химический состав ургита

Образец, год анализа	PbO	$Al_2O_3 + Fe_2O_3$	$UO_3$	$SiO_2$	$H_2O \pm$	Сумма
Из никель-кобальт-уранового месторождения, 1952 . . . . .	2,67	4,23	70,83	3,92	10,42	92,57
То же . . . . .	2,90	1,89	71,09	3,80	14,09	93,77
Из железо-уранового месторождения, 1955 . . . . .	3,20		69,86		7,5	80,56

Спектральным анализом, кроме того установлены: Mg, Co, Bi, V, Cu, Y, Be?. Железо, алюминий, магний, кремний и другие элементы примеси, открытые при анализах, повидимому, адсорбированы урановыми гидрозолями при их коагуляции. Природа свинца не установлена, очевидно, как и в гидронастуране, она радиогенная. Вода в минерале носит сорбционный характер: из 7,5%  $H_2O$  0,9% выделяется при температуре от 0 до 100°, 5,9% — от 100 до 200° и 0,7% — от 200 до 300°.

**Диагностические признаки.** Красновато- и янтарно-желтая окраска, сильный стеклянный блеск, прозрачность, легкая растворимость в кислотах с выделением пузырьков, аморфный облик, изотропный характер, отсутствие дифракционной картины на порошкограммах и очень высокое содержание урана.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Ургит встречается в тех же месторождениях, что и гидронастуран. Развивается главным образом в средней части разреза зоны окисления выше гидро-

настурана; еще ближе к земной поверхности почти полностью замещается уранилсиликатами. В образцах обычно можно видеть всю гамму разностей ургита с переходом цвета от красновато-бурого до светложелтого. При этом темные разности, бедные водой, выделяются первыми, непосредственно замещая гидронастуран по системе тонких трещинок. Спутниками ураногидратов обычно являются: гидронастуран (характерные «глазки»), силикат типа содиита и пигментированный гематитом минерал типа опала, заместивший первичные жильные карбонаты, часто также более поздние уранофан, отенит, ураноспинит, гидроокислы железа.

**Происхождение.** Ургит является продуктом полного окисления и гидратации настурана в зоне окисления со щелочным режимом.

**Изученность.** Минерал изучен недостаточно. Приведенные данные не характеризуют весь ряд аморфных гидроокислов шестивалентного урана, объединенных под термином ургит.

**Практическое значение.** Ургит в количественном отношении резко уступает гидронастурану и уранилсиликатам, являясь второстепенным компонентом вторичных гидроокисно-силикатных руд урана.

### 3. ВОДНЫЕ ОКИСЛЫ УРАНА СЛОЖНЫЕ КРИСТАЛЛИЧЕСКИЕ (УРАНАТЫ)

**Бильетит (billietite)**  $\text{BaO} \cdot 6\text{UO}_3 \cdot 10\text{--}11\text{H}_2\text{O}$ . Впервые описан Ваесом в 1947 г. как водный уранат бария. Скуп и Страдио (1948) считают его разновидностью беккерелита, в которой барий заместил часть урана. Сингония ромбическая.

Образует пластинчатые кристаллы. На основании близкого кристаллографического сходства бильетита с беккерелитом, Скуп и Страдио принимают для первого установку осей беккерелита, считая ось *b* Ваеса за ось *c*. Соответственно этому по Ваесу наиболее развитые формы — (010), (101), (011), (110), (111); по Скупу и Страдио — (001), (110), (101), (011) и (111). По Ваесу угол между гранями (101): (101)  $61^\circ 30'$ ; по Скупу и Страдио угол между гранями (110): (110)  $62^\circ 30'$  (рис. 29). Наблюдались двойники: согласно Ваесу по (111) и (101), согласно Скупу и Страдио по (110) и (111). Спайность совершенная, по Ваесу (010); по Скупу и Страдио — (001), (110) и (010). Цвет янтарно-желтый. Просвечивает. Уд. вес 5,28. Люминесценция отсутствует. Растворяется во всех минералах кислот.

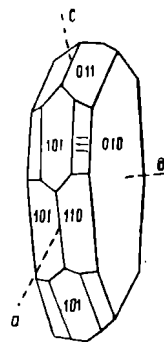


Рис. 29. Бильетит

**Оптические свойства.** Отрицательный, двуосный. Плоскость оптических осей (001) по Ваесу и  $\perp$  (001) по Скупу и Страдио. Острая биссектриса перпендикулярна (010) по Ваесу и  $\perp$  (001) по Скупу и Страдио. Дисперсия сильная,  $r > v$ .  $2V \approx 35\text{--}47^\circ$ ,  $N_g = 1,790\text{--}1,829$ ;  $N_m = 1,780\text{--}1,822$  и  $N_p = 1,725\text{--}1,730$  (Скуп и Страдио). Плеохроизм ясный:  $N_g$  — густожелтый,  $N_m$  — желтый и  $N_p$  — бесцветный;  $N_g = a$ ,  $N_m = c$  и  $N_p = b$  (Ваес) или  $N_g = b$ ,  $N_m = a$  и  $N_p = c$  (Скуп и Страдио).

**Рентгеноструктурное изучение.** Бильетит изоструктурен с беккерелитом, эталонная порошковая диаграмма его приведена в табл. 2.

**Химический состав.** Имеются данные трех микрохимических анализов бильетита (табл. 47).

Спектроскопически в бильетите найдены следы свинца.

**Диагностические признаки.** Бильетит отличается от других гидроокислов — скупита, минерала X и параскупита — кристаллографическими свойствами, а главным образом оптически. От беккерелита практически неотличим без реакции на Ва.

**Происхождение.** Бильетит образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений с гидроокислами и силикатами урана.

Результаты химических анализов бильетита

Образец, год анализа	CaO	BaO	UO <sub>3</sub>	П.п.п.	H <sub>2</sub> O	SiO <sub>2</sub>	Сумма
Из медно-уранового месторождения Шинколобве, Катанга, 1947 . . . . .	—	6,95	83,86	10,49	—	—	101,30
То же, 1953 . . . . .	0,30	6,88	82,76	—	8,97	0,76	99,67
То же . . . . .	—	7,41	84,39	—	8,68	—	100,48

Распространение, изученность. Минерал редкий. Встречен в месторождении Шинколобве (Бельгийское Конго). Изучен относительно полно.

Практического значения не имеет.

Кюрит (curite)  $2PbO \cdot 5UO_3 \cdot 4H_2O$ . Впервые открыт и описан Скупом в 1921 г. Сингония ромбическая.

Призматические и игольчатые кристаллы (длиной до 2—3 мм), штриховка вдоль оси *c*; чаще плотные, зернистые или землистые массы. Развиты формы (110) и (111), грань (100) встречается редко (рис. 30).

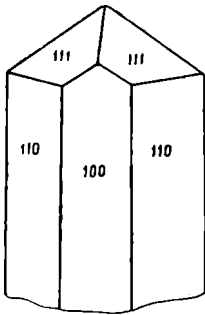


Рис. 30. Кюрит

Образует корочки и друзы тонкоигольчатых кристаллов. Спайность совершенная в зоне призм по (100) или по (110). Цвет оранжево-красный, красно-бурый. Прозрачный. Блеск алмазный. Хрупкий. Твердость 4—5. Уд. вес 7,19—7,26. Не люминесцирует. Растворяется в разбавленных кислотах.

Оптические свойства. В проходящем свете желтый до красно-оранжевого. Оптически отрицательный, двуосный. Угол  $2V$  большой. Дисперсия сильная,  $r > v$ . Удлинение положительное. Погасание прямое:  $Ng = 2,15$ ,  $Nm = 2,11$ ,  $Np = 2,06$ ,  $Ng - Nm = 0,09$ . Плеохроизм ясный:  $Ng$  — темно-красно-оранжевый,  $Nm$  — светлокрасно-оранжевый и  $Np$  — бледножелтый. Плотные (внешне аморфные) массы почти изотропны до яснополяризующих

с  $N_{cp} = 2,10$ .  $Ng = c$  параллельно удлинению;  $Np = b$ .

Химический состав кюрита изучен недостаточно. В литературе имеются два неполных анализа с определением только  $PbO$  и  $UO_3$  и четыре анализа с определением также  $H_2O$  или  $Fe_2O_3$ .

На основании средних данных по шести анализам, приведенных в табл. 48, Скуп рассчитал формулу минерала:  $2PbO \cdot 5UO_3 \cdot 4H_2O$ .

Таблица 48

Химический состав кюрита

Образец, год анализа	PbO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из медно-уранового месторождения Казоло, Бельгийское Конго, 1921 (средние данные)	21,32	0,17	74,22	3,51	99,25
Теоретический состав . . . . .	22,91	—	73,39	3,69	99,99

Изотопический состав свинца в кюрите из U-Bi-Ni-Co-месторождения указывает на его радиогенную природу:  $Pb_{204}$  0,85%;  $Pb_{206}$  55,53%;  $Pb_{207}$  15,08%;  $Pb_{208}$  28,54%.

Диагностические признаки. Кюрит среди гидроокислов урана выделяется оранжево-красным цветом. От сходного с ним фур-

марьерита отличается более высоким удельным весом и оптическими данными, а от ураносферита наличием свинца и отсутствием висмута. Как для всех гидроокислов, для кюрита характерна легкая растворимость в HCl с выделением пузырьков.

**Происхождение.** Кюрит образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений в щелочной среде.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Распространен в окисленной части месторождения Казоло (Бельгийское Конго), в так называемой зоне черных руд, где он совместно с соддитом образует внешне однородную скрытокристаллическую массу оранжевого цвета, псевдоморфно замещающую настуран. Нередко кюрит также присутствует в пустотах настурана в виде друз и корочек из микрокристаллов.

Кюрит был встречен в свинцово-урановом месторождении в мелких кристаллах игольчатого или удлиненно-призматического габитуса, образующих плотные агрегаты и мелкие друзы среди кристаллов казолита. Он распространен также в ряде U-Bi-Ni-Co-месторождений, где образует плотные скопления, совместно с уранилсиликатами замещающие настуран.

**Распространение и изученность.** Кюрит является одним из наиболее распространенных минералов группы гидроокислов. С химической стороны изучен плохо, особенно плотные разновидности.

**Практическое значение.** Наряду с уранилсиликатами используется как руда на уран.

**Фурмарьерит** (fourmarierite)  $PbO \cdot 4UO_3 \cdot 5H_2O$  (Скуп);  $PbO \cdot 4UO_3 \cdot 7-8H_2O$  (Брассер). Открыт и впервые описан Буттгенбахом в 1923 г. Сингония ромбическая.

Встречается в виде мелких кристаллов длиной до 0,25 мм, таблитчатых по [100] и изометрических. Наблюдались формы (100), (110), (111) (рис. 31). Кристаллы сильно сплющены по [100]. По грани (100) тонкая штриховка параллельно кристаллографической оси *c*. Грани (110) и (111) менее развиты, как правило, закруглены. Угол между гранями (110):(100) 42°47', (111):(100) — 54°30' (111):(111) — 39°13'. Образует мелкокристаллические плотные массы. Цвет оранжево-красный. Прозрачный. Блеск алмазный. Твердость 3—4. Уд. вес 5,689—6,046. Люминесценция отсутствует. Растворяется в разбавленных минеральных кислотах, особенно легко при нагревании.

**Оптические свойства.** В проходящем свете светложелтый до красно-желтого. Двуосный, отрицательный. Плоскость оптических осей (001). Острая биссектриса перпендикулярна спайности.  $2V$  большой. Дисперсия сильная,  $r > v$ . Показатели преломления:  $N_g = 1,940$ ,  $N_m = 1,920$ ,  $N_p = 1,85$ ,  $N_g - N_p = 0,09$  (по Буттгенбаху);  $N_g = 1,830$ ,  $N_m = 1,822$ ,  $N_p = 1,730$ ,  $N_g - N_p = 0,100$  (по Скупу и Страдио, Ларсену). Плеохроизм по  $N_g$  — темножелтый, по  $N_m$  — бледножелтый и по  $N_p$  — бесцветный.  $N_g = b$ ,  $N_m = a$ ,  $N_p = c$  (по Буттгенбаху).

**Химический состав** фурмарьерита охарактеризован пятью анализами из месторождения Катанги (Бельгийское Конго). Более ранние из них относятся к минералу с примесью торбернита, казолита и скупита. В табл. 49 приводятся результаты анализа довольно чистого минерала. На основании данных этого анализа Скуп рассчитал формулу:  $PbO \cdot 4UO_3 \cdot 5H_2O$ .

В более поздней литературе (Brasseur, 1948) для фурмарьерита приводится формула  $PbO \cdot 4UO_3 \cdot 7-8 H_2O$ , которая рассчитана на основании микроанализа, и соответствует результату рентгеноструктурного анализа минерала (данные анализов не опубликованы).

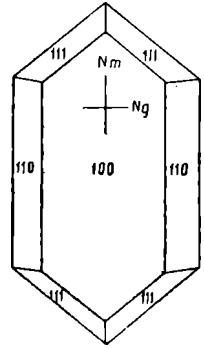


Рис. 31. Фурмарьерит

## Химический состав фурмарьерита

Образец, год анализа	PbO	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из медно-уранового месторождения, Катанга, 1930 . . . . .	15,82	77,79	6,21	99,82
Колебание по 5 анализам . . . . .	12,08—15,82	77,52—77,82	6,21—10,10	—
Теоретический состав . . . . .	15,31	78,51	6,17	99,99

**Диагностические признаки.** Фурмарьерит легко отличается от простых гидроокислов (беккерелита и др.) оранжево-красным цветом; от сходного с ним кюрита — меньшим удельным весом и более низким светопреломлением, от ураносферита — химическим составом.

**Происхождение.** Фурмарьерит образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений. Вероятно, является одним из поздних гидроокислов.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Фурмарьерит встречен в верхних горизонтах месторождений Катанги (Бельгийское Конго), где он обнаружен в виде небольших идиоморфных кристаллов на листочках торбернита совместно с казолитом. Иногда встречается в трещинах совместно с кюритом и соддитом и, как исключение, зафиксирован в массе порошкообразного беккерелита. Фурмарьерит встречен также в ураноносном флюоритовом месторождении Вельсендорф (Бавария) в пустотах флюорита совместно с янтинитом и девиндтитом.

**Практическое значение.** Используется как второстепенный компонент окисленных руд урана.

**Ванденбрандеит** (vandenbrandeite)  $\text{CuO} \cdot \text{UO}_3 \cdot 2-2,5 \text{H}_2\text{O}$ . Синоним: уранолепидит. Впервые описан Буттгенбахом в 1931 г. Сингония триклинная.

Образует тонкие таблитчатые кристаллы, размером около 0,25—0,3 мм. По Мильну и Наффильду имеет грани (001), ( $\bar{1}10$ ), (100), (110), по Скупу — (110), (001), (100), (10 $\bar{1}$ ), ( $\bar{1}\bar{1}0$ ). Образует параллельные сростки, плотные массы, иногда чешуйчатые агрегаты. Спайность по (110) [по Скупу (001)]. Цвет темнозеленый, почти черный. Черта зеленая. Минерал просвечивает только в очень тонких спайных пластинках. Блеск стеклянный. Твердость 4. Уд. вес 4,91—5,03. Не люминесцирует. Растворяется в минеральных кислотах при нагревании.

**Оптические свойства.** В проходящем свете зеленый. Оптически положительный и отрицательный, двуосный.  $2V \approx 90^\circ$ . Плоскость оптических осей почти перпендикулярна (001). Дисперсия сильная.  $N_g = 1,782-1,80$ ;  $N_m = 1,78$ ;  $N_p = 1,76-1,77$  (1,743);  $N_g - N_p = 0,02-0,03$  (0,04). Плеохроизм наиболее сильный на спайных пластинках зоны (100):(110); при угле  $40^\circ$  к ребрам пластинок — зеленый цвет; при повороте на  $90^\circ$  — почти бесцветный. Угол погасания по спайным пластинкам зоны (100):(110) равен  $35^\circ$ .

**Рентгенометрическое изучение.** Для ванденбрандеита получена эталонная порошкограмма, приведенная в табл. 2.

**Химический состав** характеризуется результатами двух анализов минерала с примесью казолита, кварца и девиндтита (табл. 50).

**Тензиметрические данные** указывают на потерю воды минералом: при  $110^\circ$  — 0,5, при  $300^\circ$  — 4,5 и при  $800^\circ$  — 0,5 молекул.

**Диагностические признаки.** Реакция на Си. По темнозеленому (почти черному) цвету легко отличается от остальных светлоокрашенных гидроокислов.

**Происхождение.** Образуется в зоне окисления гидротермальных медно-урановых месторождений.

Результаты химических анализов ванденбрандита

Образец, год анализа	CuO	PbO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из медно-уранового месторождения, Колонгве, Катанга, 1932 . . . . .	15,78	4,69	1,55	65,45	1,66	0,21	9,25	98,59
Из медно-уранового месторождения, Шинколобве, Катанга, 1933 . . . . .	18,98	CaO+ +MgO 0,83	—	70,40	0,28	—	9,46	99,95
Теоретический состав	19,80	—	—	71,23	—	—	8,97	100%

Условия нахождения в природе и спутники. Встречен в друзах и корочках на настуране совместно с казолитом, склодовскитом, кюритом, уранофаном, кобальтовым вадом и окисленными сульфидами меди в медно-урановых месторождениях. Катанги — Колонгве и Шинколобве. Также найден в урано-висмутеом месторождении в виде темнозеленых бархатистых корочек.

Распространение и изученность. Минерал очень редкий, изучен относительно хорошо.

Практического значения не имеет.

**Ураносферит** (uranosphaerite)  $Vi_2O_3 \cdot 2UO_3 \cdot 3H_2O$ . Впервые описан Вейсбахом в 1873 г. Сингония ромбическая (по оптическим данным).

Кристаллы мелкие, удлиненные и остропризматические. Образует полшаровидные, плотные, землистые и волокнисто-сферолитовые скопления, концентрические и радиальные шетки (друзы). Цвет оранжево-желтый, коричнево-красный. Блеск жирный. Просвечивает. Твердость 2—3. Уд. вес 6,36. Свойство люминесцировать в ультрафиолетовых лучах, приводимое некоторыми авторами, вызывает сомнение ввиду содержания минералом  $Vi$ , который, как известно, гасит свечение. Растворяется в разбавленных минеральных кислотах.

Оптические свойства. Оптически положительный, двусный.  $2V$  очень большой. Дисперсия сильная,  $r < v$ ,  $Ng - 2,05$ ;  $Nm = 1,985$  и  $Np = 1,955$ ;  $Ng - Np = 0,095$ ;  $Np = a$  — перпендикулярна спайности;  $Ng = c$  — параллельна удлинению. Плоскость оптических осей (010).

Химический состав охарактеризован двумя анализами, результаты которых приводятся в табл. 51.

Таблица 51

Химический состав ураносферита

Образец, год анализа	Vi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из уран-висмут-кобальт-никелевого месторождения, 1873 . . . . .	44,12	59,32	5,56	100,00
То же . . . . .	44,34	50,88	4,75	99,97
Теоретический состав . . . . .	42,67	52,39	4,94	100,00

Диагностические признаки. Внешне очень близок к кюриту и фурмарьериту, отличается от них реакцией на  $Vi$ .

Происхождение, условия нахождения. Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений, содержащих руды урана и висмута при щелочном режиме выветривания. Отлагается в полостях в виде друз или в тесном сростании с уранилсиликатами и вальпургитом, заме-

щает настуран. Спутники: вальпургит, трегерит, цейнерит, ураноспинит, уранилсиликаты.

Распространение, изученность. Минерал редкий. Зафиксирован всего в нескольких месторождениях. Изучен слабо. Находки ураносферита имеют, как правило, минералогический интерес.

#### 4. ВОДНЫЕ ОКИСЛЫ УРАНА СЛОЖНЫЕ АМОРФНЫЕ

**Кларкеит** (clarkeite)  $(\text{Na}_2\text{Ca}, \text{Pb})\text{O} \cdot 3\text{UO}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$  (Росс, 1931 г.)  $(\text{Na}, \text{K})_{2-2x}(\text{Ca}, \text{Pb})_x \text{U}_2\text{O}_7 \cdot y\text{H}_2\text{O}$  (Грюнер, 1954 г.). Открыт в 1931 г. Кристаллы неизвестны. Встречается в виде плотных и землистых масс.

Цвет темнокоричневый, красновато-коричневый. Черта желтовато-бурая. Просвечивает в тонких осколках. Блеск восковый. Излом раковистый. Твердость 4—4,5. Уд. вес 6,39. Не люминесцирует. Растворяется в разбавленных минеральных кислотах.

Оптические свойства. В проходящем свете красно-бурый до оранжево-бурого. Оптически двуосный, отрицательный.  $2V = 30-50^\circ$ . Дисперсия слабая,  $r < v$ ;  $Ng = 2,108$ ;  $Nm = 2,098$ ;  $Np = 1,997$ ;  $Ng - Np = 0,11$ . Плеохроизм в оранжевых тонах.

Рентгенометрическое изучение. Для кларкеита и синтетических диуранатов  $\text{CaU}_2\text{O}_7 \cdot x\text{H}_2\text{O}$  и  $\text{Na}_2\text{U}_2\text{O}_7$ , полученных Грюнером, в табл. 2 приведены эталонные порошкограммы, очень сходные между собой.

Химический состав. Имеются результаты двух анализов кларкеита с примесями уранинита и «гуммита», на основании которых Росс и др. (1931) рассчитали приводимую выше формулу. В 1954 г. Грюнер на основании сходства структуры искусственно полученных диуранатов Ca и Na с природным кларкеитом пришел к выводу, что природный минерал является существенно кальциево-натриевым диуранатом, и с учетом данных химических анализов Росса вывел структурную формулу минерала, которая также приведена выше.

В табл. 52 даны результаты обоих химических анализов кларкеита.

Таблица 52

Химический состав кларкеита

Образец, год анализа	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	PbO	BaO	UO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TR	± H <sub>2</sub> O]	SiO <sub>2</sub>	Нерастворимый остаток	Сумма
Из пегматита Северной Каролины, 1931 . . . . .	0,48	3,44	0,28	2,84	3,71	—	81,72	1,10	2,62	3,36	0,50	0,14	100,19
То же (с примесью «гуммита») . . . . .	1,42	2,61	—	1,10	3,70	0,04	82,76	0,50	1,12	5,22	0,30	1,20	99,97

Диагностические признаки. Темнокоричневым цветом, восковым блеском и слабой прозрачностью отличается от других простых и сложных гидроокислов.

Происхождение. Образуется при выветривании пегматитовых жил как продукт окисления уранинита.

Условия нахождения и спутники. Найден в пегматитах Северной Каролины и в альбитизированных участках редкометальных пегматитов других полей. Развивается в виде псевдоморфоз по ураниниту, обычно совместно, а иногда в тесном прорастании с ториевым кюритом и силикатами («гуммиты»).



**Распространение и изученность.** Кларкеит, повидимому, достаточно широко распространен среди продуктов окисления уранинита. Требуется дальнейшего изучения, в первую очередь химического.

**Практического значения** не имеет.

**Ториевый кюрит**  $2\text{PbO} \cdot \text{ThO}_2 \cdot 5\text{UO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Выделен Р. В. Гецевой и К. Т. Савельевой в 1952 г. из полиминеральной смеси «гуммита», замещающей кристалл уранинита. В структурном отношении минерал не изучен. Согласно данным химического анализа (валентности катионной и анионной частей полностью компенсируются), минерал условно рассматривается как водный окисел сложного состава, в который наряду со свинцом и ураном входит торий.

**Аморфный.** Образует плотные массы, псевдоморфно замещающие уранинит. Спайность отсутствует. Цвет коричнево-красный, в тонких осколках — оранжево-красный. Прозрачный. Блеск сильный стеклянный. Излом раковистый. Очень хрупкий. Твердость 263—292 кг/мм<sup>2</sup> или относительно по шкале Мооса 4,4—4,6. Уд. вес  $5,25 \pm 0,008$ . Люминесценция отсутствует. Растворяется в разбавленной  $\text{HNO}_3$ ; в крепких кислотах разлагается с образованием белого кристаллического осадка.

**Оптические свойства.** В проходящем свете красновато-желтый. Изотропен, местами слабо анизотропен, иногда с аномальной интерференционной окраской. Показатель преломления намного больше 1,786.

**Рентгенометрическое изучение.** Установлено кристаллическое строение минерала и его относительно несложная структура. Рентгенопорошковая диаграмма минерала (см. табл. 2) совпадает с полученными Е. В. Копченовой в 1951 г. для коричневой, оранжевой и оранжево-красной разновидностей «гуммитов», в которых данный гидрат является основным компонентом. К сожалению, в литературе не опубликованы расчеты рентгенограмм для кюрита, с которыми было бы интересно сопоставить полученные данные для ториевого кюрита.

**Химический состав** ториевого кюрита из редкометалльного пегматита (анализ 1952 г.) приводится ниже.

$\text{UO}_3$	$\text{ThO}_2$	$\text{PbO}$	$\text{CaO}$	$\text{H}_2\text{O} -$	$\text{H}_2\text{O} +$	Сумма
61,16%	12,06%	17,97%	0,33%	2,0%	3,17%	100,69%

**Диагностические признаки.** Яркий красный цвет, прозрачность, аморфный облик. От плотной разновидности кюрита отличается присутствием тория.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Ториевый кюрит встречается в пегматитах вблизи поверхности. Замещает совместно с уранилсиликатами и иногда кларкеитом кристаллы уранинита (брэггерита, торинита) до образования почти полных псевдоморфоз. Развивается преимущественно во внутренних частях кристаллов (оранжево-красная зона «гуммитов»), окружая зону кларкеита или непосредственно реликты гидротизированного уранинита и, в свою очередь, окружаясь желтой зоной существенно силикатного состава (соддиита). Иногда ториевый кюрит образует с силикатом микроскопические и еще более тонкие смеси (оранжевые «гуммиты»).

**Происхождение.** Ториевый кюрит — характерный минерал зоны выветривания пегматитовых жил, является одним из первых в ряду превращений уранинита.

**Распространение и изученность.** Широко распространен в окисленной зоне пегматитов, особенно в смеси с торийсодержащими уранилсиликатами. Изучен недостаточно. Требуется кристалло-химическое изучение и масспектральный анализ с выяснением природы свинца и тория.

**Практического значения** не имеет.

## II. КИСЛОРОДНЫЕ СОЛИ

### 1. КАРБОНАТЫ И СУЛЬФАТ-КАРБОНАТЫ

В этой группе минералов, как и среди гидроокислов, в последние годы было открыто много неизвестных ранее минеральных видов.

В настоящее время известно не менее 14 видов карбонатов и сульфат-карбонатов. Из них пять минеральных видов, открытых в последнее время, почти совершенно не изучены, в частности, химически (ч. I, табл. 4).

Более или менее твердо обоснованы, хотя и не в одинаковой мере изучены, следующие минералы: карбонаты— ураноталлит, фоглит, шарпит, рётзерфордин, байлеит, андерсонит, свартцит, раббиттит; сульфат-карбонаты — шрёкингерит.

Условия существования карбонатов и сульфат-карбонатов в природе весьма своеобразны. В основном эти минералы образуются двумя путями.

1. В результате испарения рудничных вод в старых рудниках и угольных шахтах, отлагаясь на стенках горных выработок и в закладках отработанных блоков, а также в отвалах шахт и штабелях руды. В отличие от сульфатов, быстро распространяющихся на всю глубину вскрытия месторождения, карбонаты и сульфат-карбонаты развиваются от поверхности до горизонтов, расположенных незначительно ниже уровня подземных вод. Они отлагаются из кислых растворов при  $pH = 6-6,7$ , как непосредственно на обнаженной поверхности рудных линз или ураноносных пластов, так и на вмещающих породах на некотором удалении от руды. Как правило, карбонаты и сульфат-карбонаты выделяются после сопутствующих им сульфатов урана, ярозита и гипса.

2. При окислении ураноносных известняков, углей и др. в условиях сухого и жаркого климата, способствующего легкому испарению подземных и поверхностных вод.

Карбонаты и сульфат-карбонаты урана, как минералы молодые, должны быть резко радиоактивно неравновесны.

#### а) Карбонаты

**Рётзерфордин** (rutherfordine)  $(UO_2)CO_3$ ? Синонимы: рётзерфордит, рутзерфордит. Открыт в 1906 г. Сингония ромбическая (?). Образует кристаллы микроскопических размеров волокнистого облика. Встречается в виде корочек, тонкочешуйчатых и мелкозернистых скоплений. Цвет желтый, серо-желтый. Просвечивает. Твердость 2,5. Уд. вес 4,82. Люминесценция не выяснена. Легко растворяется в разбавленных кислотах, в  $HCl$  — с выделением пузырьков  $CO_2$ . При нагревании до  $360^\circ$  выделяются углекислота и кислород, причем минерал становится зеленым.

Оптические свойства. Под микроскопом бледножелтый. Оптически положительный, двуосный.  $N_g = 1,80$ ;  $N_m = 1,75$ ;  $N_p = 1,72$ ;  $N_g - N_p = 0,08$ . Плеохроизм отсутствует. Удлинение отрицательное.

Химический состав. Для рётзерфордина известен один химический анализ, результаты которого приведены в табл. 53.

Таблица 53

Химический состав ретзерфордина

Образец, год анализа	CaO	FeO	PbO	UO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Прочие компоненты	Сумма
Из пегматита Луквенгуле, Южная Африка, 1906 . . .	1,1	0,8	1,0	83,8	12,1	0,7	0,8	100,3
Теоретический состав . . . . .	—	—	—	86,98	13,02	—	—	100%

**Диагностические признаки.** Легко растворяется в HCl с выделением пузырьков CO<sub>2</sub>. Минерал слабо изучен, в связи с чем отсутствуют диагностические признаки, отличающие его от других карбонатов.

**Происхождение, условия нахождения в природе и спутники.** Образуется за счет изменения уранинита в поверхностной части пегматитовых жил. Встречается в виде корочек и псевдоморфоз по кристаллам уранинита, иногда с полным замещением, нередко с сохранением ядра уранинита.

**Распространение и изученность.** Минерал редкий. Изучен слабо. Не ясны химическая конституция и люминесценция. Вызывает сомнение отсутствие воды.

**Практического значения не имеет.**

**Шарпит (sharpite)** (UO<sub>2</sub>)<sub>6</sub>[CO<sub>3</sub>]<sub>5</sub>[OH]<sub>2</sub> · 7H<sub>2</sub>O = 6UO<sub>3</sub> · 5CO<sub>3</sub> · 8H<sub>2</sub>O. Открыт в 1938 г. Сингония ромбическая (?).

Образует корочки чешуйчатого волокнистого и радиально-лучистого строения. Цвет желтовато-зеленый. Хрупкий. Твердость больше 2,5. Уд. вес больше 3,33. Люминесценция не выяснена. Легко растворяется в разбавленных кислотах, в HCl — с выделением пузырьков CO<sub>2</sub>.

**Оптические свойства.** Оптически положительный.  $N_g = 1,720$ ;  $N_p = 1,620—1,633$ . Плеохроизм:  $N_g$  — светложелтый (слегка зеленоватый),  $N_p$  — буроватый. Удлинение положительное. Остальные свойства не изучены.

**Химический состав.** Для шарпита известен один анализ, приведенный в табл. 54. Основная масса воды выделяется из шарпита при 200—275°. При 325° он теряет около 16,85% воды и при прокаливании — 18,30%.

Таблица 54

Химический состав шарпита

Образец, год анализа	CaO	UO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из медно-уранового месторождения, Катанги, Бельгийского Конго, 1938	2,70	81,04	10,30	6,81	100,85
Теоретический состав . . . . .	—	82,5	10,58	6,92	100

**Диагностические признаки.** Реакция на CO<sub>2</sub>. Вследствие слабой изученности шарпита для него не установлено твердых диагностических признаков.

**Происхождение.** Зона окисления гидротермальных и осадочных месторождений.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Шарпит впервые зафиксирован совместно с уранофаном в виде корочек на кю-

рите и беккерелите в медно-урановом месторождении Катанги. По данным 1950—1951 гг. этот минерал встречен в урано-ванадиевом месторождении совместно с ураноталлитом, шрёкингеритом и урано-ванадатами, вблизи выделений первичного уранового окисла, а также в угольном — с шрёкингеритом и сульфатами урана.

**Распространение и изученность.** Минерал очень редкий, изучен крайне слабо. Данные о люминесценции противоречивы.

Практического значения не имеет.

**Ураноталлит (uranothallite)**  $\text{Ca}_2(\text{UO}_2)(\text{CO}_3)_3 \cdot 8-11\text{H}_2\text{O} = 2\text{CaO} \cdot \text{UO}_3 \cdot \text{CO}_2 \cdot 8-11\text{H}_2\text{O}$ . Синонимы: либигит, рандит и флютерит. Открыт в 1848 г. и первоначально описан Фоглем в 1853 г. как уран-кальциевый карбонат. До 1946 г. для ураноталлита была принята формула  $(2\text{CaO} \cdot \text{UO}_2 \cdot 4\text{CO}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O})$ , в которой уран считался четырехвалентным. На основании трех более поздних химических анализов ураноталлита установлено, что уран в нем присутствует в шестивалентной форме. Сингония ромбическая.

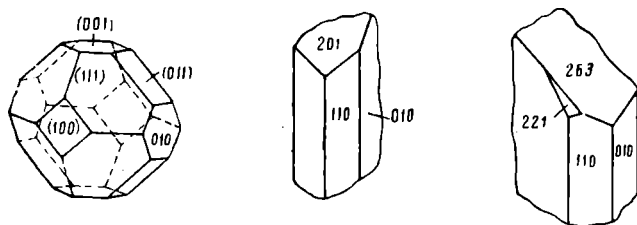


Рис. 32. Ураноталлит

Хорошо образованные мелкие призматические и ромбоидальные пластничатые кристаллы изометрических очертаний. Развита форма (100), (010), (111) и (011). Нередко встречаются кристаллы с закругленными ребрами и большим количеством граней (110), (230), (311), (121), (141), (343) (рис. 32). Образует мелкокристаллические, радиально-лучистые, также почковидные и чешуйчатые агрегаты. Спайность ясная по (100). Цвет желто-зеленый. Минерал прозрачный до просвечивающего. Блеск стеклянный, перламутровый (на плоскостях спайности). Хрупкий. Твердость 2,5—3. Уд. вес 2,14—2,41. Люминесценция яркая голубовато-зеленая, типа шрёкингерита. Легко растворяется в разбавленных кислотах, в  $\text{HCl}$  — с бурным выделением пузырьков  $\text{CO}_2$ . При выветривании становится охристым и теряет прозрачность.

**Оптические свойства.** Под микроскопом зеленовато-желтый. Оптически положительный и отрицательный, двусный.  $2V = 30-48^\circ$ . Дисперсия ясная,  $r > v$ ;  $N_g = 1,524-1,543$ ;  $N_m = 1,498-1,506$ ;  $N_p = 1,494-1,501$ ;  $N_g - N_p = 0,037-0,044$ .  $N_g = a$ . Плеохроизм очень слабый:  $N_g$  — зеленовато-желтый,  $N_m$  — желтоватый и  $N_p$  бесцветный.

**Рентгенометрическое изучение.** Для ураноталлита из различных месторождений получены порошкограммы, отличающиеся друг от друга межплоскостными расстояниями и интенсивностью линий (см. табл. 2).

**Химический состав.** Для ураноталлита известны восемь химических анализов, по данным которых количество воды в минерале составляет 8—11 молекул. В табл. 55 приводятся результаты одного из этих анализов. При нагревании минерала до  $100^\circ$  выделяется 20,42%  $\text{H}_2\text{O}$ , до  $200^\circ$  — 23,72%, при прокаливании он теряет 46,67% веса.

**Диагностические признаки.** Легко растворяется в разбавленной  $\text{HCl}$  с бурным выделением пузырьков  $\text{CO}_2$ . От других карбонатов и шрёкингерита отличается менее интенсивной люминесценцией, фор-

Химический состав ураноталлита

Образец, год анализа	CaO	UO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из урано-ванадиевого месторождения, 1950 .	16,15	40,31	21,30	22,86	100,62
Колебание по 8 анализам	16,15—16,78	37,58—42,32	17,15—21,30	20,66—24,55	—
Теоретический состав (при 9H <sub>2</sub> O) . . . . .	16,58	41,20	19,02	23,20	100%

мой кристаллов, более низким удельным весом; от шрёкингерита, кроме того, — прозрачностью.

**Происхождение.** Ураноталлит образуется при быстром испарении рудничных вод и в старых горных выработках. Известен также в зоне окисления осадочных месторождений.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Ураноталлит известен в ряде старых горнорудных районов, где разрабатывались гидротермальные жилы с урановым оруденением. Развивается на сравнительно небольшой глубине от поверхности. Образует корочки и тонкие пленки на стенках выработок, непосредственно обнажающих рудные линзы, а также на обломках руды и пород в закладке отработанных блоков. Ассоциирует с шрёкингеритом, фоглитом, гипсом, ярозитом, лимонитом, иногда сульфатами урана.

Ураноталлит зафиксирован в зоне выветривания осадочных месторождений, где заполняет трещины в органогенных известняках. Чаще всего концентрируется на границе рудных и безрудных слоев, обычно в тесной ассоциации со шрёкингеритом, сопровождая туюмунит, карнотит и уранофан; обычными спутниками ураноталлита являются также гипс, гидроокислы железа и марганца.

**Распространение и изученность.** Ураноталлит является наиболее распространенным карбонатом урана. За последнее время изучен достаточно детально.

**Практическое значение.** Благодаря яркой люминесценции, ураноталлит используется при ревизии месторождений на уран по старым подземным выработкам, а также при поисках урана в засушливой местности.

**Фоглит (voglite)**  $2CaO \cdot CuO \cdot UO_3 \cdot 5CO_2 \cdot 6H_2O$ . Открыт в 1852—1853 гг. Фоглем и описан в 1856 г. как водный карбонат меди, кальция и четырехвалентного урана. Более поздних анализов для фоглита не имеется, однако, исходя из окраски, условий образования и парагенезиса этого минерала, его следует рассматривать как сложный карбонат шестивалентного урана. Сингония триклинная.

Образует пленки и почковидные корочки из мелких (десятые доли миллиметра) почти изометрических, иногда чешуеподобных кристаллов. Цвет изумрудно-зеленый до светлого травяно-зеленого. Непрозрачный. Блеск стеклянный. Хрупкий. Растворяется в разбавленных минеральных кислотах, в HCl — с выделением пузырьков CO<sub>2</sub>. Не люминесцирует.

**Оптические свойства.** Под микроскопом различимы ромбоидальные пластинки с углами 75 и 105° со штриховкой, параллельной одной из сторон. Оптически положительный, двуосный.  $2V = 60^\circ$ . Дисперсия сильная,  $r > v$ ;  $N_g = 1,564$ ;  $N_m = 1,544—1,547$ ;  $N_p = 1,541$ ;  $N_g - N_p = 0,023$ . Плеохроизм очень резкий:  $N_p$  и  $N_m$  — темный синевато-зеленый,  $N_g$  — бледножелтый;  $N_p \perp$  чешуйкам;  $N_g$  расположена под углом 33° к удлинению.

Химический состав. В табл. 56 приведены результаты химического анализа фоглита.

Таблица 56

Химический состав фоглита

Образец, год анализа	CaO	CuO	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из уран-висмут-кобальт-никелевого месторождения, 1856 . . . . .	14,09	8,40	37,00	—	26,41	13,90	99,80
Теоретический состав . .	14,8	10,6	—	31,8	29,9	12,9	100%

**Диагностические признаки.** Реакция на CO<sub>2</sub> и Cu. Легко узнается под микроскопом благодаря очень резкому плеохроизму.

**Происхождение, условия нахождения в природе и спутники.** Образуется в старых горных выработках гидротермальных месторождений при испарении рудничных вод, иногда возникая за счет изменения ранее отложенного ураноталлита. В уран-висмут-никель-кобальтовом руднике встречен в материале из закладки отработанной карбонатной жилы, совместно с настураном и халькопиритом, а также в виде тонких пленок и корочек на обломках сланца в ассоциации с ураноталлитом, сульфат-карбонатами урана, гипсом и лимонитом.

**Распространение и изученность.** Минерал редкий, изучен плохо. Найден в одном месторождении в 1856 и 1948 гг.

Под названием фоглита в литературе также известен совершенно не изученный зеленый медно-урановый карбонат, для которого приводятся результаты химического анализа и формула: CuO · UO<sub>3</sub> · 2CO<sub>2</sub> · 10H<sub>2</sub>O. Этот минерал обнаружен в 1900 г. в виде чешуек на кальците.

**Практического значения фоглит не имеет.**

**Байлеит (bayleite)** Mg<sub>2</sub>(UO<sub>2</sub>)[CO<sub>3</sub>]<sub>3</sub> · 18H<sub>2</sub>O = 2MgO · UO<sub>3</sub> · 3CO<sub>2</sub> · 18H<sub>2</sub>O. Описан в 1948—1951 гг. Аксельродом и др. Сингония моноклинная.

**Облик призматический.** Цвет желтый. Уд. вес 2,05. Люминесценция слабая, неопределенного цвета. В воде растворяется частично, в кислотах — легко; в HCl — с бурным выделением пузырьков CO<sub>2</sub>.

**Оптические свойства.** Оптически отрицательный, двусосный. 2*V* = 30°; *N*<sub>g</sub> = 1,500; *N*<sub>m</sub> = 1,490; *N*<sub>p</sub> = 1,455; *N*<sub>g</sub> — *N*<sub>p</sub> = 0,045. Плеохроизм: *N*<sub>g</sub> и *N*<sub>m</sub> — бледнозеленый; *N*<sub>p</sub> — розоватый; погасание *N*<sub>m</sub> : *c* = 15°.

**Рентгенометрическое изучение.** Для байлеита получены порошковые эталонная и из продукта дегидратации минерала (см. табл. 2).

Химический состав байлеита приведен в табл. 57.

При дегидратации байлеит становится белесоватым с беловатой люминесценцией средней интенсивности.

**Диагностические признаки.** Реакция на CO<sub>2</sub>. По слабой люминесценции байлеит легко отличим от ураноталлита, шрёкингерита и андерсонита, а по оптическим свойствам — от свартцита и раббитита.

**Происхождение, условия нахождения, спутники, распространение.** Вторичный минерал. Встречен в зоне окисления золото-серебро-цинкового месторождения Хиллсайд, Аризона, в виде корочек на гипсе совместно с андерсонитом, шрёкингеритом и свартцитом.

**Изученность.** Минерал новый, изучен недостаточно полно, получен искусственным путем.

**Практического значения не имеет.**

**Андерсонит (andersonite)** Na<sub>2</sub>Ca(UO<sub>2</sub>)[CO<sub>3</sub>]<sub>3</sub> · 6H<sub>2</sub>O = Na<sub>2</sub>O · CaO · UO<sub>2</sub> · 3CO<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O. Впервые описан Аксельродом и др. в 1948—

## Химический состав байлеита

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Нераствори- мый остаток	Сумма
Из золото-серебро-цинкового месторождения Хиллсайд, Аризона, 1951 . . . . .	0,19	0,09	8,97	2,75	32,42	36,60	15,36	3,95	0,45	100,78
То же в пересчете без гипса . . . . .	0,19	0,09	8,97	—	32,42	34,83	15,36	0,02	—	91,88
Теоретический состав . . . . .	—	—	9,80	—	34,75	39,41	11,04	—	—	100

1951 г. Позднее более полно изучен М. С. Цыбульской. Сингония тригональная.

Псевдокубический. Многогранные мелкие кристаллы изометрических очертаний в форме резко усеченных тригональных бипирамид (рис. 33).

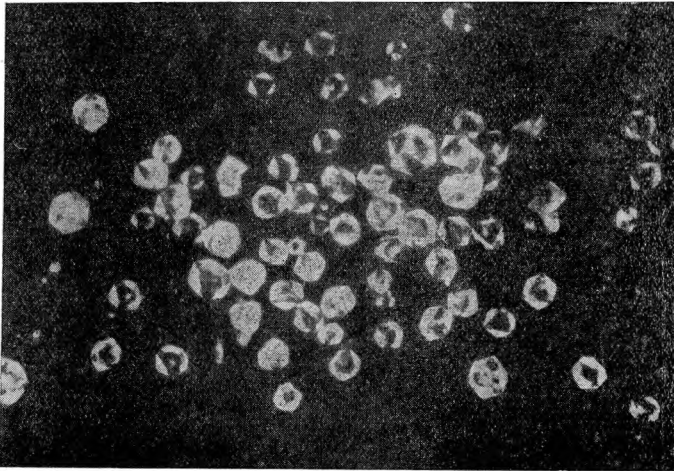


Рис. 33. Кристаллы андерсонита.  $\times 10$  (по М. С. Цыбульской)

Образует друзы, одиночные кристаллы размером до 0,5 мм. Цвет яркий желто-зеленый. Блеск стеклянный. Прозрачный. Уд. вес 2,7—2,8. Люминесценция очень сильная, голубовато-зеленая (тип шрёкингерита). Слабо растворяется в воде, хорошо — в кислотах; в HCl — с бурным выделением пузырьков CO<sub>2</sub>.

Химический состав андерсонита приведен в табл. 58.

Оптические свойства. Оптически положительный (?), одноосный, иногда слабо двуосный.  $n_e = 1,540—1,542$ ;  $n_o = 1,520—1,526$ ;  $n_e - n_o = 0,020—0,016$ . Плеохроизм:  $n_e$  — бледнозеленый,  $n_o$  — бесцветный.

Для андерсонита из двух месторождений получены сходные эталонные рентгенопорошкограммы, отличные от порошкограммы шрёкингерита (см. табл. 2).

Диагностические признаки. Реакция на CO<sub>2</sub>; от байлеита, а также, повидимому, свартцита, отличается более интенсивной люмине-

## Химический состав андерсонита

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Сумма
Из золото-серебро-цинкового месторождения, Хиллсайд, Аризона, 1951 . . . . .	9,3	0,5	8,9	43,4	16,7	19,6	1,6	100
Тот же анализ за вычетом гипса (3,4%) . .	9,3	0,5	7,8	43,4	16,0	19,6	—	99,6
Из пневматолитов месторождения, 1951 . .	5,0	—	10,0	41,0	0,5	10,0	1,28	83,98
Синтетический андерсонит	9,61	—	8,80	44,27	16,50	20,61	—	99,79

Спектральным анализом в андерсоните из пневматолитового месторождения, кроме того, установлены: Mn, Fe, Cu, Al, Si, Ti, Ta, Nb, Cl, Hf, Th, Ge.

сценцией; от шрекингерита — характерной бипирамидальной формой кристаллов и прозрачностью, от ураноталлита большим удельным весом и несколько более сильной люминесценцией.

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Минерал гипергенный, повидимому, связанный со значительной миграцией урана. Встречен в окисленной зоне золото-серебро-цинкового месторождения Хиллсайд, Аризона, не содержащего первичных минералов урана. Образует корочки толщиной до 3 мм на кристалликах гипса совместно с свартцитом, байлеитом и шрекингеритом. Кроме того, его находки зафиксированы в зоне окисления уранинитсодержащих грейзенов, где он развивается в виде корочек и скоплений в пустотках выщелачивания каолинизированного грейзена и в делювиальных глинах совместно с шрекингеритом и гипсом. Андерсонит получен искусственным путем.

**Свартцит** (swartzite)  $MgCa(UO_2)[CO_3]_3 \cdot 12H_2O = MgO \cdot CaO \cdot UO_3 \cdot 3CO_2 \cdot 12H_2O$ . Описан в 1948—1951 гг. Аксельродом и другими. Сингония моноклинная.

Облик призматический. Цвет зеленый. Уд. вес 2,3. Люминесценция голубовато-зеленая (данных об интенсивности свечения не приводится). В воде растворяется частично, в минеральных кислотах — легко, HCl — с бурным выделением пузырьков CO<sub>2</sub>.

Оптические свойства. Оптически отрицательный, двусосный.  $2V = 40^\circ$ .  $N_g = 1,540$ ;  $N_m = 1,510$ ;  $N_p = 1,465$ ;  $N_g - N_p = 0,075$ . Плеохроизм отчетливый:  $N_g$  и  $N_m$  — желтый,  $N_p$  — бесцветный.

Рентгенометрическое изучение. Для свартцита имеется эталонная порошкограмма (см. табл. 2).

Химический состав. Результаты химического анализа свартцита приведены в табл. 59.

Термическое изучение и дегидратация. В процессе нагревания свартцит обнаруживает эндотермические эффекты при 110, 175, 475, 750 и 890°. В результате дегидратации становится беловато-мастово-желтым и слабо люминесцирующим неопределенным цветом.

Диагностические признаки, см. байлеит.

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Гипергенный минерал, связанный с переотложением урана в зоне окисления. Встречен в окисленной зоне золото-серебро-цинкового месторождения Хиллсайд, Аризона, в виде корочек на гипсе совместно с андерсонитом, шрекингеритом и байлеитом. Источник урана неясен.



Химический состав скартцита

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Нерастворимый остаток	Сумма
Из золото-серебро-цинкового месторождения Хиллсайд, Аризона, 1951 . . . . .	0,25	0,47	5,24	8,40	37,19	29,31	17,16	1,98	0,30	100,30
То же, в пересчете без гипса . . . . .	0,25	0,47	5,24	7,01	37,19	28,42	17,16	—	—	95,74

Распространение и изученность. Минерал новый, обнаружен в одном месторождении. Изучен недостаточно, получен искусственным путем.

Практического значения не имеет.

**Раббиттит** (rabbittite)  $\text{Ca}_3\text{Mg}_3(\text{UO}_2)_2[\text{CO}_3]_6[\text{OH}]_4 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$ . Описан в 1954 г. Томпсоном, Уиксом и Шервудом. Сингония моноклинная.

Образует очень мелкие волокнистые и игольчатые кристаллы, удлиненные по [001]. Спайность по (001). Цвет светлозеленовато-желтый. Блеск шелковистый. Мягкий. Уд. вес 2,57. Люминесцирует слабо. Растворяется слабо в воде, в HCl вскипает.

Оптические свойства. Оптически положительный (?), двусный 2V большой;  $N_g = 1,525 \pm 0,003$ ;  $N_m = 1,508 \pm 0,005$ ;  $N_p = 1,502 \pm 0,005$ ;  $N_g : c = 75^\circ$ ;  $N_m = b$ .

Рентгенометрическое изучение. Для раббиттита имеется эталонная порошковая диаграмма (см. табл. 2) с отчетливыми диффракционными линиями.

Химический состав охарактеризован одним анализом, на основании которого рассчитана формула (см. табл. 60).

Таблица 60

Химический состав раббиттита

Образец, год анализа	MgO	CaO	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	CO <sub>2</sub>	Нерастворимый остаток	Сумма
Из отвала уранового месторождения Ютта, 1955 . . . . .	9,2	10,6	37,4	24,50	17,8	0,5	100,0
Теоретический состав . . . . .	8,09	11,32	38,54	24,26	17,79	—	100,0

С помощью спектрального анализа, кроме того, установлены алюминий и ванадий.

Диагностические признаки. Реакция на CO<sub>2</sub>. Слабая люминесценция. От сходного скартцита отличается удельным весом, оптически и рентгенометрически.

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Образуется при испарении рудничных вод в депрессионных воронках. Встречен на стенках горных выработок и в отвале уранового месторождения Ютта в руднике Лёкки Страйк совместно с фурмарьеритом, циппеитом и другими сульфатами урана, а также — гипсом и кобальто-кальцитом.

Распространенность и изученность. Раббитит минерал новый, обнаружен только на одном месторождении. Не установлена сингония и тип люминесценции.

Практическое значение. Может быть использован при ре-визии месторождений на уран по старым горным выработкам.

### б) Сульфат-карбонаты

**Шрёкингерит** (schroekingite)  $\text{Na, Ca}_3(\text{UO}_2)[\text{CO}_3]_3 [\text{SO}_4]\text{F} \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ .  
Синоним: дакеит. Открыт в 1873 г. До последнего времени в литературе приводилась формула  $\text{Na}_2\text{Ca}_3(\text{UO}_2)[\text{CO}_3]_3[\text{SO}_4][\text{OH}]_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$ , не учитывающая фтор. Сингония гексагональная.

Кристаллы тонкотаблитчатые, слюдоподобные, шестигранного очертания с хорошо развитой базисной плоскостью. Образует пластинчатые, чешуйчатые скопления, корочки и налеты, нередко натечные скопления почковидной формы. Спайность совершенная по (001), ясная по (100). Наблюдаются полисинтетические двойники. Цвет желтый, зеленовато-желтый и яркий фисташково-зеленый. Просвечивает (полупрозрачный). Блеск стеклянный до перламутрового. Хрупкий. Твердость 2,5. Уд. вес 2,47—2,51. Люминесценция очень сильная, голубовато-зеленая. В воде растворяется частично; в минеральных кислотах — легко, в HCl — с выделением пузырьков  $\text{CO}_2$  (менее бурным, чем у карбонатов).

Оптические свойства. Оптически отрицательный, как правило, одноосный, иногда с  $2V = 5-25^\circ$ . Дисперсия незаметна, иногда  $r > v$ .  $N_g = Nm = 1,539-1,545$ ;  $N_p = 1,485-1,501$ ;  $N_g - N_p = 0,045-0,050$ . Плеохроизм слабый до умеренного:  $N_g(Nm)$  — бледный зеленовато-желтый,  $N_p$  — бесцветный. Наблюдается оптическая аномалия.  $N_p \perp (001)$ ,  $N_g \parallel (001)$ . Погасание прямое, в разрезах перпендикулярных спайности. В препарате кристаллы преимущественно ложатся по базису (001).

Рентгенометрическое изучение. Порошкограммы, полученные для шрёкингерита из нескольких месторождений, идентичны между собой и с успехом могут быть использованы в диагностических целях (см. табл. 2).

Химический состав. Для шрёкингерита известно 11 химических анализов из различных месторождений. По данным двух новых анализов (1951 г.), в составе шрёкингерита отмечается фтор в заметном количестве, причем для одного анализированного образца из месторождения Уайоминг раньше фтор не указывался. В табл. 61 приведены результаты двух анализов. С помощью спектрального анализа, кроме того, установлено присутствие Si, Ti, Cu, Ta, Th, Hf, Ge.

Таблица 61

Химический состав шрёкингерита

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> +Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	F	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Нераствори- мый остаток	Сумма
Из месторожде- ния Уайоминг, 1937 . . . . .	7,31	—	18,31	—	9,61	30,27	—	13,71	19,95	1,06	100,22
То же, 1951 . . .	3,63	0,08	18,14	0,95	9,17	31,44	2,15	14,20	20,15	—	99,91
Колебание по 11 анализам . . .	3,04— 7,31	0— 0,63	17,71— 20,44	— 2,03	3,17— 10,74	29,31— 32,72	0— 2,15	13,43— 15,76	17,65— 20,99	0,4— 6,32	
Теоретический состав . . . . .	3,43	—	18,91	—	9,02	32,21	2,14	14,86	—20,27	—	

Дифференциальные кривые нагревания указывают на то, что обезвоживание шрёкингерита происходит в интервале 50—200°. При 350° наступает диссоциация минерала с удалением  $\text{CO}_2$  и резким изменением оптических свойств. После нагревания до 300° теряется способность люминесцировать. В отличие от уранопилита, сера при прокаливании не улетучивается.

**Диагностические признаки.** Реакция на  $\text{CO}_2$  и S. Люминесценция очень сильная, голубовато-зеленая. От сходно люминесцирующих карбонатов, кроме реакции на S, отличается слюдоподобным обликом.

**Происхождение.** Образуется при испарении рудничных вод в старых горных выработках и при естественном окислении некоторых месторождений в сухом жарком климате.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Встречается в гидротермальных месторождениях, представленных карбонатными жилами с настураном в виде корочек, налетов и натеков на стенках старых горных выработок на некотором удалении от первичных руд, в закладке отработанных блоков и старых отвалах. Наиболее тесно ассоциирует с ураноталлитом, фоглитом, иоганнитом, уранопилитом. Образуется при pH 6—6,7 всегда после ярозита и гипса.

В осадочных урано-ванадиевых месторождениях шрёкингерит чаще всего мигрирует за пределы рудных тел (известняки с рассеянными окислами урана), обычно образуя пленки по плоскостям трещин известняков совместно с ураноталлитом, уранованадатами, гипсом, гидроокислами железа и марганца. Реже отлагается в зальбандах пустот известняка непосредственно на урановой черни совместно с карнотитом и тюямунитом, нередко покрываясь микрокристаллическими агрегатами ураноталлита.

В буроугольных месторождениях шрёкингерит в виде отдельных слюдоподобных пластинок, чаще порошковатых скоплений, корочек и пленок обнаружен непосредственно на угле, а также по трещинам в глинах и песчаниках кровли угольных пластов. Спутниками его здесь являются: гипс, сульфаты урана (циппеит, уранопилит, ураконит) и изредка ураноталлит.

Находки шрёкингерита совместно с циппеитом отмечены в асфальтитах.

Шрёкингерит найден в приповерхностных участках зоны окисления уранинитсодержащих грейзенов, в пустотах выщелачивания каолинизированного гранита и грейзена и гипсоносных засоленных делювиальных глинах. Образует порошковатые налеты, гнездовые скопления и рассеянную вкрапленность совместно с андерсонитом и гипсом.

**Распространение, изученность.** Минерал довольно широко распространен и в последнее время хорошо изучен.

**Практическое значение.** Крупных скоплений шрёкингерит не образует, но его находки представляют ценность при поисках осадочных месторождений и при ревизии гидротермальных урановых месторождений по старым горным выработкам и отвалам.

## 2. СУЛЬФАТЫ

Известные в настоящее время пять сульфатов урана: уранопилит,  $\beta$ -уранопилит, циппеит, ураконит и иоганнит, безусловно, не охватывают всех природных соединений этого ряда. Возможно открытие как простых сульфатов с иным соотношением  $\text{UO}_3 : \text{SO}_3 : \text{H}_2\text{O}$ , так и сложных, содержащих, помимо урана и меди, другие катионы. Вследствие исключительно легкой растворимости сульфаты являются кратковременной фазой существования урана в условиях быстрого испарения растворов при вскрытии месторождений горными выработками. При длительном

затоплении выработок сульфаты урана не сохраняются. В зоне окисления они неизвестны.

В соответствии с условиями образования, урановые сульфаты должны быть резко радиоактивно неравновесными.

**Уранопилит** (uranozilite)  $(\text{UO}_2)_6[\text{SO}_4][\text{OH}]_{90} \cdot 12\text{H}_2\text{O} = 6\text{UO}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot 16\text{—}17\text{H}_2\text{O}$ . Синоним урановая охра. Сингония не определена, предположительно триклинная.

Кристаллы тонкоигольчатые до волосовидных по оси *c*, иногда плоские по [010] с гранью (100). Агрегаты почковидные, радиально-лучистые, обычно мелкозернистые. Спайность совершенная по (010) (ввиду мелких размеров кристаллов отчетливо различается лишь под микроскопом). Цвет желтый, часто с зеленоватым оттенком, в присутствии железа золотисто-желтый. Блеск у тонкозернистых агрегатов матовый, у прозрачных кристаллов стеклянный. Твердость — около 2. Хрупкий. Уд. вес 3,75—3,9. Люминесценция сильная, желтовато-зеленая, типа отенита. Растворяется в разбавленных кислотах.

Оптические свойства. Плоскость оптических осей (010). Оптический характер положительный.  $2V$  большой, 52—60°. Дисперсия сильная,  $r > v$ . Аномальная интерференционная окраска на разрезе  $\perp Ng$ . В препарате ложится плоскостью (010) с выходами осей *Ng* и *Nm* · *Np*  $\perp$  спайным пластинкам (010). Удлинение отрицательное. Угол погасания *Nm* : *c* = 15—18°. *Ng* = 1,631—1,634; *Nm* = 1,623—1,625; *Np* = 1,620—1,624 (в препарате измерить не удается); *Ng* — *Np* = 0,010—0,012. Плеохроизм слабый: *Ng* и *Nm* бледножелтый, *Np* — бесцветный или отсутствует.

Рентгенометрическое изучение. Имеется эталонная порошкограмма (см. табл. 2).

Химический состав. Известно десять полных химических анализов уранопилита из разных месторождений, результаты которых по значению окислов весьма близки. В табл. 62 приведены результаты одного анализа.

Химический состав уранопилита

Таблица 62

Образец, год анализа	CaO	PbO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из уран-висмут-никель-кобальтового месторождения, 1935 . . .	0,93	0,00	—	81,20	4,04	14,03	100,20
Колебание по 10 анализам . . .	Следы— 2,08	0—10,08	Следы— 0,17	78,37— 81,43	3,18— 5,08	13,81— 16,81	—
Теоретический состав при 16 молекулах H <sub>2</sub> O . . .	—	—	—	82,34	3,84	13,82	100,00

По дифференциальным кривым нагревания устанавливается, что основная масса воды из уранопилита удаляется при 100—200° и небольшое количество ее при 450°. При 800° минерал диссоциирует с образованием SO<sub>3</sub> и U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. При этом SO<sub>3</sub> улетучивается и конечным продуктом обжига является U<sub>3</sub>O<sub>8</sub>. Прокаленный до 150° уранопилит теряет люминесцентные свойства.

Некоторые исследователи отмечают явления дегидратации уранопилита; при 60—70° он теряет шесть частей воды и переходит в β-уранопилит (см. ниже).

**Диагностические признаки.** Реакция на  $\text{SO}_3$ . Сходен с циппеитом и  $\beta$ -уранопилитом. От циппеита отличается сильной люминесценцией и игольчатым габитусом; от  $\beta$ -уранопилита — оттенком люминесценции и оптическими свойствами (более низкое светопреломление, косое погасание).

**Происхождение.** Вторичный минерал. Образуется при быстром испарении сульфатных рудничных вод в гидротермальных месторождениях урана и урансодержащих угольных месторождениях. Возникает в кислой среде за счет разрушения и окисления первичных оксидов урана и сульфидов.

**Условия нахождения в природе.** Встречается в виде выцветов, налетов и корочек на стенках горных выработок, на обломочном материале в закладках отработанных блоков и в отвалах. Обычно отлагается за пределами рудных тел на вмещающих породах, иногда покрывает циппеит и  $\beta$ -уранопилит, реже образуется непосредственно на остаточных чернях.

**Спутники.** В гидротермальных месторождениях ассоциирует с циппеитом,  $\beta$ -уранопилитом, иоганитом, шрёкингеритом, фоглитом, гипсом, лимонитом, ярозитом, халькантитом. В угольных месторождениях ассоциирует с гипсом.

**Распространение, изученность.** Уранопилит — один из наиболее распространенных и изученных сульфатов урана. Встречен в Корнуэлле, в целом ряде уран-висмут-никель-кобальтовых и других месторождений, в угольных шахтах. Диагностика его не вызывает затруднений.

**Практическое значение.** Указывает на места развития настурана и черней в пределах рудных полей, вскрытых горными работами. Используется при ревизии месторождений на уран по отвалам и старым подземным выработкам.

**$\beta$ -уранопилит** ( $\beta$ -uranopilite)  $(\text{UO}_2)_6[\text{SO}_4][\text{OH}]_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O} = 6\text{UO}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Синонимы: бета-уранопилит, мета-уранопилит. Сингония не определена.

**Облик.** Кристаллы тонкоигольчатые до пластинчатых микроскопических размеров, образуют порошокватые агрегаты в виде налетов и тонких корочек. Спайность совершенная по (010). Цвет желтый с грязноватым или буроватым (от примеси железа) оттенком. Блеск матовый. Хрупкий. Твердость и уд. вес не определены. Люминесценция умеренная специфическая желтая, без оттенков, подобная свечению перла  $\text{NaF}$  с высоким содержанием урана. Растворяется в разбавленных кислотах.

**Оптические свойства.** Оптический характер отрицательный.  $2V$  небольшой.  $N_g$  в плоскости (010). Погасание иголок прямое. В препарате иголки ложатся в основном плоскостью (010). Показатели преломления, даже для минерала из одного и того же месторождения, обнаруживают довольно значительные колебания, что, очевидно, связано с различной степенью дегидратации минерала (см. ниже). По наиболее достоверно определенным образцам  $\beta$ -уранопилита  $N_g = 1,76$  и  $1,713 \pm 0,004$ ;  $N_m = 1,76$ ;  $N_p = 1,72$  и  $1,652 \pm 0,004$ . Плеохроизм очень слабый, от бледножелтого по  $N_g$  до бесцветного по  $N_p$ .

**Химический состав.** Для  $\beta$ -уранопилита известен один химический анализ, результаты которого приведены в табл. 63. Однако, судя по тому, что  $\beta$ -уранопилит возникает, по всей вероятности, за счет постепенной дегидратации уранопилита, как доказано экспериментальными исследованиями (Новачек, 1936) и наблюдениями над природными сульфатами, количество воды и соотношения основных оксидов в минерале могут быть и иными.

**Диагностические признаки.** Реакция на  $\text{SO}_3$ . От других, сходных по внешнему виду сульфатов — уранопилита и циппеита — отличается характером люминесценции. Кроме того, от уранопилита отли-

Химический состав  $\beta$ -уранопилита

Образец, год анализа	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из уран-висмут-никель-кобальтового месторождения, 1935 . . . . .	—	2,03	82,40	4,17	9,40	98,00
Теоретический состав . . .	—	—	86,84	4,05	9,11	100,00

чается оптическими свойствами (прямое погасание и более высокое светопреломление). Циппеит и  $\beta$ -уранопилит не всегда отчетливо различаются и по оптическим свойствам, так как показатели преломления этих минералов иногда одинаковы.

**Происхождение.** Минерал вторичный. Образуется в кислой среде при быстром испарении рудничных вод в результате окисления настурана в гидротермальных месторождениях, содержащих сульфиды.

**Условия нахождения в природе.** В виде выцветов и налетов образуется на стенках горных выработок, на более или менее значительном удалении от разрушающегося настурана и сульфидов, реже встречается непосредственно на настуране (остаточной черни). Спутники — уранопилит, циппеит, гипс, ярозит, лимонит, иногда настуран и остаточная чернь.

**Распространение и изученность.** Зафиксирован в нескольких месторождениях. В некоторых из них является самым распространенным среди сульфатов урана. Минералого-химически изучен недостаточно полно.

**Практическое значение.** Указывает на присутствие настурана (урановых черней) в пределах рудных полей, вскрытых горными выработками.

**Циппеит** (zippeite)  $(\text{UO}_2)_2[\text{SO}_4][\text{OH}]_2 \cdot 3-5\text{H}_2\text{O} = 2\text{UO}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot 4-6\text{H}_2\text{O}$ . Синонимы: урановая охра, урановые цветы. Впервые описан Яагном (Jahn) в 1821 г. из уран-серебро-висмут-никель-кобальтового месторождения. Сингония предположительно моноклиная.

Удлиненно-пластинчатые, линзовидные, веретенообразные кристаллы микроскопических размеров, хорошо различающиеся в иммерсионных препаратах. Агрегаты землистые, порошковатые, почковидные, радиально-лучистые. При надавливании иглой легко распадаются на мельчайшие индивидулы. Спайность совершенная по (010) (различается под микроскопом). Цвет яркожелтый, оранжево-желтый. Блеск матовый. Твердость 3. Хрупкий. Просвечивает. Уд. вес 3,4—3,6. Легко растворяется в разбавленных кислотах. Люминесценция у типичного циппеита очень слабая грязножелтовато-зеленая (тип уранофана). Однако в целом ряде случаев сульфаты, относимые по оптическим свойствам к циппеиту, не обнаруживают люминесценции. В наиболее ранних описаниях минерала сведения о его люминесценции отсутствуют. Люминесцентные свойства циппеита не обнаруживают зависимости от значений показателей преломления минерала и количества содержащейся в нем воды и, повидимому, связываются с содержанием в нем кальция.

**Оптические свойства.** Оптически отрицательный.  $2V$  большой. Дисперсия слабая.  $Ng : c = 32-40^\circ$ ,  $Nm$  — в тупом углу;  $Ng$  — параллельно удлинению кристаллов;  $Np$  — перпендикулярно плоскости веретен и пластин. В препарате, где минерал ложится плоской стороной с  $Ng$  по удлинению и  $Nm$  по короткой стороне, нередко  $Nm$  ошибочно принимается за  $Np$ . Светопреломление обнаруживает значительные колеба-

ния даже для минерала из одного и того же месторождения.  $Ng = 1,635-1,739$ ;  $Nm = 1,615-1,710$ ;  $Np = 1,575-1,636$ ;  $Ng - Np = 0,061-0,103$ .

Крайние и близкие к ним значения приведенных показателей преломления соответствуют люминесцирующим циппеитам, а промежуточные — нелюминесцирующим сульфатам, отнесенным к циппеиту без химических анализов. Плеохроизм сильный в разрезах, перпендикулярных плоскости веретен:  $Np$  — бесцветный или бледножелтый,  $Ng$  — темножелтый (в препаратах не наблюдается).

Рентгенометрическое изучение. Рентгенометрические константы, как и другие свойства циппеита, обнаруживают заметные колебания (см. табл. 2).

Химический состав. Для циппеита из трех различных месторождений известно 6 химических анализов, обнаруживающих колебание в содержании воды от 4 до 6 молекул и примесь  $CaO$ , не учтенную в формуле минерала (табл. 64).

Таблица 64

Химический состав циппеита

Образец, год анализа	CaO	CuO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> +As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	UO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Нерастворимый остаток	Сумма
Из уран-висмут-никель-кобальтового месторождения, 1935 . . . . .	1,88	—	1,17	—	71,98	10,02	13,95	—	99,00
Из урано-ванадиевого месторождения, Фрута, штат Юта, 1924 . . . . .	(0,97)	0,96	—	3,73	72,50	11,11	8,77	SiO <sub>2</sub> 1,96	100,00
Колебание по 6 анализам	0,9— 4,13	0— 5,21	0— 1,17	0— 3,73	71,98— 80,3	10,02— 11,11	8,77— 15,23	0— 1,96	
Теоретический состав при 4 молекулах H <sub>2</sub> O . . . . .	—	—	—	—	79,00	11,05	9,95	—	100,00
То же, при 6 молекулах H <sub>2</sub> O . . . . .	—	—	—	—	75,26	10,53	14,25	—	100,00

Диагностические признаки. Реакция на SO<sub>3</sub>. От сходных сульфатов — уранопилита и β-уранопилита хорошо отличается люминесцентными свойствами, часто также оранжевым оттенком в цвете минерала, легким распадением агрегатов при надавливании иглой, высоким двупреломлением. Кроме того, от уранопилита выделяется более высокими, а от ураконита — более низкими показателями преломления.

Происхождение. Образуется в кислой среде при интенсивном испарении растворов в горных выработках и отвалах гидротермальных и угольных урансодержащих месторождений. Известен также в асфальтитах.

Условия нахождения в природе, спутники. Встречается в виде выцветов, налетов и порошковатых корочек непосредственно на обнаженной горными выработками окисленной поверхности настурана или остаточной черни. В осадочных месторождениях развивается в пределах ураноносного пласта. Среди сульфатов урана выделяется первым, образуясь, повидимому, одновременно с гипсом. В выработках гидротермальных месторождений спутники — остаточная чернь, уранопилит, β-уранопилит, ураконит, шрёкингерит, ярозит, гипс, лимонит, иногда фоглит, эритрин, аннабергит и другие вторичные минералы кислой среды. В угольных месторождениях тесно ассоциируется с гипсом: в ас-

фальтитах — с другими сульфатами, сульфат-карбонатами, урано-ванадатами и зелеными медными минералами.

Распространение и изученность. Циппеит известен во многих месторождениях. Изучен плохо. Исколющиеся химические анализы образцов из трех месторождений являются недостаточными для характеристики химического состава циппеита, так как к этому минералу, судя по широкому колебанию светопреломления, несомненно относится целая группа сульфатов. В первую очередь необходимо установить химический состав нелюминесцирующих разновидностей циппеита, выяснить связь люминесцентных свойств с количеством воды и катионов-примесей.

Циппеит, полученный искусственным путем, имеет формулу  $2(\text{UO}_3)_2(\text{SO}_4)_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ; уд. вес 3,66; оптически двуосный, отрицательный;  $N_g = 1,765$  — желтый;  $N_m = 1,717$  — светложелтый,  $N_p$  — бесцветный;  $N_g : a = 3^\circ$ .

Практическое значение. Используется при ревизии месторождений на уран по отвалам и старым подземным выработкам.

Наиболее точно указывает на места нахождения настурана и черней в пределах рудных полей, вскрытых горными выработками.

**Ураконит** (urasonite)  $3\text{UO}_3 \cdot \text{SO}_3 \cdot 14\text{H}_2\text{O}$ ? Впервые описан Фоглем в 1856 г. Сингония ромбическая.

Микроскопические кристаллы в форме тонких табличек. Образует порошковатые, войлокообразные агрегаты. Блеск матовый. Цвет серно-желтый до лимонно-желтого и оранжево-желтого. Твердость (?). Уд. вес 3,7—3,9. Растворяется в слабых кислотах. Люминесцентные свойства не выяснены.

Оптические свойства. Оптический характер положительный.  $2V$  средний. Дисперсия сильная,  $r < v$ . Плоскость оптических осей (010). Погасание косое.  $N_g = 1,85$ .  $N_m = 1,752—1,79$ ;  $N_p = 1,732—1,750$ ,  $N_g - N_p = 0,10$ . Плеохроизм в толстых пластинках от бледножелтого до интенсивно-желтого.

Химический состав. До настоящего времени для ураконита известны лишь два старых анализа (табл. 65),

Таблица 65

Химический состав ураконита

Образец, год анализа	CaO	CuO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из уран-висмут-никель-кобальтового месторождения, 1856	2,62	—	0,86	66,05	10,17	20,06	99,76*
То же . . . . .	—	0,23	0,41	70,94	7,12	20,88	99,58**
Теоретический состав	—	—	—	72,10	6,73	21,17	100,00

\* Оранжевая разновидность. \*\* Желтая разновидность.

Диагностические признаки. Реакция на SO<sub>3</sub>. От других сульфатов отличается наиболее высокими показателями преломления, без измерения которых определить минерал не представляется возможным.

Происхождение. Образуется в результате разрушения настурана и сульфидов при испарении рудничных вод в старых горных выработках.

Условия нахождения в природе. Встречается в виде землистых, порошковатых налетов на вмещающих породах, вскрытых подземными горными выработками. Спутники — другие сульфаты урана, гипс, лимонит и вторичные минералы меди.



Распространение, изученность. Минерал редкий, зафиксирован всего в нескольких месторождениях. Изучен крайне слабо. Имеющиеся химические анализы из уран-висмут-серебро-никель-кобальтового месторождения, выполненные в середине прошлого столетия, не внушают доверия, так как не соответствуют оптическим константам минерала: ураконит — один из наиболее богатых водой сульфатов; содержащих 14 молекул воды, между тем показатели преломления, находящиеся всегда в обратной зависимости от количества воды, у него намного выше, чем у всех других сульфатов. Сульфаты двух других месторождений, отнесенные к уракониту в 1946 г. и 1947 г., по оптическим данным не имеют химических анализов. Таким образом, ураконит пока еще является не твердо установленным минералом, а представляет собой группу почти не изученных сульфатов с крайне высокими показателями преломления, для которых не имеется в настоящее время определенной химической характеристики.

Практического значения не имеет.

**Иоганнит (johannite)**  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2$   
 $[\text{SO}_4]_2[\text{OH}]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \text{CuO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot 2\text{SO}_3 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ .  
 Синонимы: урановый купорос, гильпинит, пелигоит. Впер-

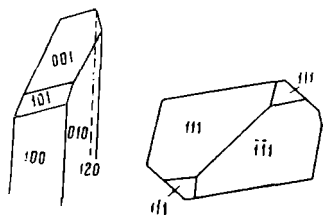


Рис. 34. Иоганнит

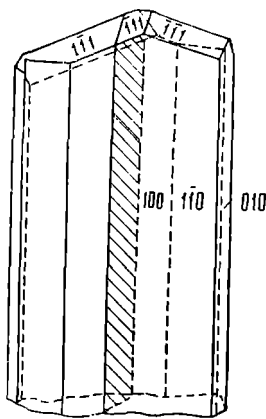


Рис. 35. Двойник иоганнита

вые описан и охарактеризован как минерал Гайдингером в 1830 г. В XX столетии минерал описывался другими авторами из разных месторождений под названием гильпинит и пелигоит, для которых в дальнейшем была доказана идентичность с иоганнитом. Сингония триклинная.

Очень мелкие вытянутые по оси *c*, таблитчатые, брусковидные или игольчатые кристаллики, сплюснутые по [010]. Наиболее развитые формы: (100), (001), (120), редко (010), (111), (210) и др. (рис. 34). Углы между гранями (100) : (111) 74°36'; (111) : (111) 51°02'. Агрегаты радиально-лучистые, почковидные. Двойники полисинтетические, наблюдаются часто (рис. 35). Спайность по (001) и по (011). Цвет травяно-зеленый, бледозеленый, иногда с желтоватым оттенком. Блеск кристаллов стеклянный, агрегатов матовый. Твердость 2—2,5. Уд. вес 3,3. Люминесценция отсутствует. Слабо растворим в воде, хорошо — в кислотах.

Оптические свойства. Оптически двуосный. Отрицательный или положительный.  $2V$  очень большой: 80—90°. Дисперсия сильная. Погасание  $Nm$ :  $c = 4-8^\circ$ ;  $Np$  почти по  $b$ ;  $Ng = 1,611-620$ ;  $Nm = 1,580-1,597$ ;  $Np = 1,572-1,577$ ;  $Ng - Np = 0,036-0,047$ . Сильный плеохроизм;  $Ng$  желто-зеленый,  $Nm$  — слабозеленоватый;  $Np$  — бесцветный.

Рентгенометрическое изучение. Для иоганнита получены три сходные рентгенограммы (см. табл. 2).

Химический состав иоганнита охарактеризован шестью анализами (из них один для пелигоита и один для гильпинита). Как показывают результаты химических анализов (табл. 66), минерал обнаруживает довольно заметные колебания в содержании урана и воды, не соответствующие показателям теоретического состава.

## Химический состав иоганнита

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CuO	UO <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Нерастворимый остаток	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из уран-висмут- никель-ко- бальтового ме- сторождения (типичный ио- ганнит), 1935	—	—	—	8,07	61,34	16,59		13,84	99,84
Из уранового ме- сторождения (пелигонит), 1944 . . . . .	0,2	0,3	0,5	7,5	51,8	17,5	5,6	16,5	99,9
Колебание по 6 анализам . . .	0—0,2	0—0,3	0—0,5	6,21— 15,90	56,07— 61,34	16,29— 18,12		13,20— 18,74	CaO   FeO 0—   0— 1,23   3,81
Теоретический состав . . . . .				8,48	61,01	17,07		13,44	100,00

**Диагностические признаки.** Реакция на SO<sub>3</sub>. От других сульфатов легко отличается зеленым цветом, растворимостью, реакцией на Cu, отсутствием люминесценции, а также оптическими свойствами (резко выраженный плеохроизм, низкие показатели преломления), от медно-урановых слюдок — растворимостью в воде и реакцией на SO<sub>3</sub>.

**Происхождение.** Вторичный минерал, легко растворяющийся, образуется в гидротермальных месторождениях в результате разрушения настурана и сульфидов при быстром испарении сульфатных вод в горных выработках.

**Условия нахождения в природе, спутники.** Встречается в виде налетов и корочек на стенках и кровле подземных горных выработок, преимущественно в неглубоких горизонтах месторождений. Развивается как непосредственно на окисленном настуране или остаточной черни, так и на некотором удалении от рудных линз. Спутники — остаточная чернь, циппеит, уранопилит, шрёкингерит, гипс, халькопирит, лимонит.

**Распространение, изученность.** Иоганнит зафиксирован в Гильпин (штат Колорадо) и в ряде других месторождений в небольших количествах. Распространен меньше уранопилита и циппеита. Имеет довольно определенную характеристику по физическим свойствам и химическому составу. Диагностика минерала не вызывает затруднений.

**Практическое значение.** Ввиду слабой распространенности практического значения не имеет.

### 3. МОЛИБДАТЫ

**Молуранит** U<sub>2</sub><sup>4+</sup>[MoO<sub>4</sub>]<sub>3</sub>[OH]<sub>2</sub> · 10H<sub>2</sub>O? Открыт в 1952 г. Г. Ю. Эпштейн. В 1954 г. изучался Ю. В. Казициным.

Натечные корочки толщиной до 2 мм. Цвет черный. В очень тонких осколках просвечивает коричневым цветом. Хрупкий. Твердость 3—4. Растворяется очень плохо в кислотах. При прокаливании теряет воду и приобретает желтый цвет.

Оптические свойства. Изотропен. Отражательная способность немного ниже, чем у настурана.  $N = 1,97-1,98$ .

Рентгенометрическое изучение. Минерал не обладает кристаллической структурой.

Химический состав охарактеризован одним анализом молуранита из альбититов, произведенным в 1952 г. Результаты этого анализа следующие:

MoO <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	П. п. п.	Сумма
38,50%	42,32%	4,56%	14,03%	99,41%

При расчете формулы потери при прокаливании полностью отнесены к содержанию H<sub>2</sub>O, а весь уран условно принят за четырехвалентный.

Диагностические признаки. По черному цвету и натечным формам молуранит сходен с настураном. Отличается от него наличием Mo.

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Молуранит образуется при региональном метаморфизме в наиболее позднюю стадию щелочного натрового метасоматоза. Обнаружен в мелких трещинках в дробленых альбититах, совместно с молибденитом, халькопиритом и галенитом. Сульфиды обычно инкрустируют стенки трещинок, а молуранит отлагается в центральных частях их, образуя коллоидные скопления.

Распространение, изученность. Минерал новый. Обнаружен только в одном месторождении. Изучен недостаточно хорошо, особенно с химической стороны: отсутствуют раздельное определение U<sup>4+</sup> и U<sup>6+</sup> и прямое определение воды.

Практического значения не имеет.

**Иригинит** U<sub>2</sub><sup>6+</sup>[MoO<sub>4</sub>][OH]<sub>4</sub>·4H<sub>2</sub>O. Открыт в 1951 г. Г. Ю. Эпштейн. В 1954 г. изучался Ю. В. Казициным. Сингония моноклиная.

Радиальнолучистые скопления из мельчайших иголок и тонкозернистые корочки. Цвет желтый. Уд. вес 3,84. Люминесценция отсутствует. При прокаливании легко выделяет воду.

Оптические свойства.  $N_g = 1,93$ ;  $N_p = 1,82$ .

Рентгенометрическое изучение. Для иригинита получена эталонная порошкограмма (см. табл. 2), состоящая из 60 четких линий, указывающих на низшую симметрию минерала.

Химический состав иригинита охарактеризован одним анализом, результаты которого даны в табл. 67.

Таблица 67

Химический состав иригинита

Образец, год анализа	CaO	MoO <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	UO <sub>2</sub>	П. п. п.	Нерастворимый остаток	Сумма
Из альбититов, 1952 . . . . .	0,46	38,62	41,92	—	9,70	9,04	99,74
Пересчитано без кальцита, и нерастворимого остатка	—	42,97	46,63	—	10,40	—	100

Диагностические признаки. Желтый цвет. Реакция на Mo; отсутствие люминесценции.

Происхождение, условия нахождения и спутники. Образуется в зоне окисления метаморфогенных месторождений урана. Встречен в альбититах в виде корочек, сложенных тонкозернистым агрегатом с примесями альбита, кварца, а иногда опала.

Распространенность, изученность. Минерал новый. Обнаружен только в одном месторождении. Изучен недостаточно.

Практического значения не имеет.

#### 4. ФОСФАТЫ, АРСЕНАТЫ, ВАНАДАТЫ

Фосфаты, арсенаты и ванадаты урана имеют в общем однообразный слюдоподобный облик, вследствие чего их принято условно объединять в группу урановых слюдок, хотя ряд минералов (уранофосфаты и ураноарсенаты с Pb и Bi, сложные ванадаты) не подчиняются типичной слоистой структуре слюды.

Последняя характерна для уранофосфатов и ураноарсенатов с Ca, Cu, Mg, Ba, Al. Кристаллическая решетка их состоит из слоев  $PO_4$  (или  $AsO_4$ ) и  $(UO_2)^{2+}$ , между которыми располагаются указанные катионы и  $H_2O$ . Эти уранофосфаты и ураноарсенаты отвечают общей формуле  $R(UO_2)_2[MO_4]_2 \cdot nH_2O$  или в построении без уранила  $RU_2[MO_4]_2O_4 \cdot nH_2O$ , где  $R = Ca, Mg, Ba, Cu$  так же, повидимому, Fe и Mn, а  $M = P, As$ . Структура фосфатов и арсенатов урана с Pb и Bi и уранованадатов не изучена.

Вода в составе уранофосфатов и ураноарсенатов содержится обычно в количестве 8 молекул и меньше (группа метаторбернита) или от 8 до 12 молекул (группа торбернита); в составе уранованадатов воды 4 или 6 молекул. Однако вследствие цеолитного характера части воды, количество которой меняется в зависимости от физико-химических условий внешней среды, фактическое содержание ее часто не соответствует вычисленному. В 1953 г. на основании рентгеноструктурного изучения и синтеза уранофосфатов Ba, Ca и Cu установлена зависимость между количеством воды в минералах и величиной радиусов катионов и анионов и подтверждено существование двух рядов фосфатов и арсенатов: I ряд — фосфаты и арсенаты с 8—12 молекулами  $H_2O$ ; II ряд — метафосфаты и метаарсенаты с 8 молекулами  $H_2O$  и меньше. Так, фосфаты и арсенаты Mg и Al с минимальным радиусом катиона ( $Mg^{2+} = 0,78\text{Å}$ ;  $Al^{3+} = 0,57\text{Å}$ ) могут принадлежать только к первому ряду; фосфаты Ba и арсенаты Cu с максимальным радиусом катиона ( $Ba^{2+} = 1,43\text{Å}$ ;  $Cu = 0,96\text{Å}$ ) — только ко второму ряду. Фосфаты Ca, Cu с промежуточными ионными радиусами ( $Ca^{2+} = 1,06\text{Å}$ ) могут принадлежать как к первому, так и второму ряду.

В соответствии с принадлежностью фосфатов и арсенатов к тому или иному ряду некоторые авторы изменяют существующие названия отдельных минералов. В частности ураношпатит как минерал с 12 молекулами воды предлагается называть отенитом, а минералы с 8 молекулами  $H_2O$  и меньше — отенит метаотенитом, ураноцирцит метаураноцирцитом и ураноспинит метаураноспинитом. Возможность существования уранового арсената с 12 молекулами  $H_2O$  — цейнерита, отвергается.

Несмотря на обоснованность этой систематики со структурных позиций нами, во избежание усложнения терминологии, а так же вследствие противоречия данных структурных исследований с результатами химических анализов минералов, приводимых в литературе, за фосфатами и арсенатами сохраняются общепринятые названия.

Общее количество урановых слюдок и условно к ним отнесенных других фосфатов, арсенатов и ванадатов, известных в природных условиях в настоящее время исчисляется 28 минеральными видами: фосфаты — лермонтовит, фосфуранилит, отенит, ураношпатит, салеит, ураноцирцит, бассетит, фритчент, торбернит, метаторбернит, пржевальскит, ренардит, девиндтит, дюмонит, парсонсит, сабугалит; арсенаты — трёгерит, ураноспинит, цейнерит, метацейнерит, вальпургит, новачекит; ванадаты — ферганит, уванит, тюямунит, раувит, карнотит, сенжьерит. Кроме того, известны так называемые урановые слюдки смешанного состава, образованные двумя анионами (фосфор — мышьяк) и иногда двумя, помимо уранила, катионами (медь — кальций). Такие слюдки развиваются различными путями (изоморфизм, зональный рост, параллельные сростания.

замещение ранее выделившегося минерала более поздним). Ввиду слабой изученности описание смешанных слюдок не приводится, а свойства их указаны выше в табл. 4. Там же приведены сведения о трех новых химически не изученных фосфатах.

Рассматриваемые минералы являются самыми распространенными гипергенными минералами урана и типоморфными для зоны окисления гидротермальных (фосфаты, арсенаты) и осадочных (ванадаты) месторождений. Кроме того, отдельные фосфаты характерны также для выветрелых частей пегматитов. Они образуются преимущественно в приповерхностных частях месторождений в слабо кислой и нейтральной средах на том или ином удалении от разрушающихся первичных руд. Экспериментальными исследованиями доказано, что выпадение уранованадатов происходит при pH около 7, а фосфатов и арсенатов — при pH 4,2—6.

Ореолы рассеяния урановых фосфатов, арсенатов и ванадатов в месторождениях достигают нескольких десятков метров, иногда (отенит) распространяются более чем на 100 м.

В окисленной зоне некоторых гидротермальных месторождений, богатых сульфидами, нередко наблюдается закономерное распределение различных фосфатов и арсенатов, иногда с выделением более или менее обособленных геохимических зон, соответствующих изменению pH по вертикали. Прежние представления, утвердившиеся особенно в зарубежной литературе, о первичном гидротермальном происхождении некоторых фосфатов и арсенатов в настоящее время опровергнуты новыми геологическими данными. Кроме того, радиоактивное равновесие этих минералов резко смещено в сторону урана, коэффициент равновесия их обычно колеблется от нескольких процентов до 50—60% что так же характеризует рассматриваемые минералы, как молодые образования.

Наличие фосфатов, арсенатов и ванадатов является важным поисковым признаком, указывающим на общую зараженность района ураном или на места концентрации первичных руд. Иногда они образуют скопления, представляющие самостоятельный практический интерес (отенит-торбернитовые руды железной шляпы гидротермальных жил, карнититовые руды зоны выветривания осадочных месторождений).

## а) Фосфаты

**Лермонтовит** ( $U^{4+}$ ,  $Ca_2$ , TR) $_3[PO_4]_4 \cdot 6H_2O$ . Открыт в 1948 г. В. Г. Мелковым.

Игольчатые кристаллы, образующие гроздьевидные, сферические, землистые и радиально-лучистые агрегаты из мельчайших иголочек. Цвет темный, серовато-зеленый. Блеск матовый (на поверхности сферических агрегатов), шелковистый (в изломе). Очень хрупкий (агрегаты разрушаются при слабом надавливании). Уд. вес 4,5. Не люминесцирует.

**Оптические свойства.** В проходящем свете агрегаты прозрачные, травяно-зеленые, радиально-лучистого и концентрически-зонального строения. Погасание отдельных кристаллов прямое.  $N_p = 1,562—1,702$ ;  $N_g = 1,574—1,726$ . Колебание значений показателей преломления отмечается в разных участках одного и того же сфероида. В верхних горизонтах жил минерал имеет более низкие показатели преломления, чем в более глубоких. Плеохроизм в зеленовато-желтых и зеленовато-бурых тонах.

**Химический состав** лермонтовита, по данным микрохимического анализа, произведенного в 1948 г., приведен ниже (навеска для анализа содержала примесь сульфатов молибдена).

$Te_2O$	CaO	$\Sigma TR_2O_3$	$UO_3$	$UO_2$	$P_2O_5$	$SiO_2$	$H_2O$	Сумма
1,55%;	1,0%;	1,67%;	14,53%;	30,33%;	20,40%;	2,38%;	8,72%;	86,61%

На основании серовато-зеленой окраски минерала весь содержащийся в нем уран принят за четырехвалентный (допускается, что шестивалентный уран мог образоваться в ходе анализа в результате окисления четырехвалентного урана при взаимодействии его с молибденом), это нашло свое отражение в приведенной выше формуле лермонтовита.

**Диагностические признаки.** Реакция на фосфор. Темный серовато-зеленый цвет, игольчатый облик.

**Происхождение, распространение, условия нахождения в природе и спутники.** Образуется в резко восстановительных условиях зоны цементации гидротермальных месторождений. Минерал редкий, обнаружен совместно с урановой чернью (остаточной и регенерированной), сульфатом Мо, марказитом, гидроферриалюмосиликатами, гидроалюмосиликатами и охрами таллия. Встречен в тонких (до 1 мм) трещинках вмещающих пород, также выполняет трещинки и пустоты в марказите; наибольшие скопления лермонтовита наблюдались в темнокоричневой грязеподобной массе в пустотах марказитовой жилы. Лермонтовит местами почти полностью замещает сульфат Мо, образуя серо-зеленые корочки толщиной до 8 мм с тончайшими включениями обломков темно-бурого сульфата Мо.

**Изученность.** Требуется уточнение состава и формулы минерала.

**Практическое значение.** Представляет лишь геохимический интерес, указывая на резко восстановительную среду при гипергенном преобразовании месторождения.

**Фосфуранилит (phosphuranylite)**  $(\text{UO}_2)_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = 3\text{UO}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Данные, приводимые в литературе для фосфуранилита, являются настолько противоречивыми, что, по существу, не дают возможности составить определенного представления об этом минерале. Впервые фосфуранилит был описан Гентом в 1879 г. как фосфат урана  $(\text{UO}_2)_3[\text{PO}_4]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  с примесью свинца,  $Nm = 1,720$ . В 1948 г. В. Г. Кругловой определен фосфуранилит почти с теми же параметрами ( $Nm = 1,722$ ), весьма близким химическим составом и также с примесью PbO. В. Г. Мелков в 1946 г. под фосфуранилитом выделил (без химического анализа) фосфат урана со значительно более низким светопреломлением ( $Nm = 1,580$ ), соответствующим таковому для искусственно полученного им фосфуранилита. Наконец, в 1950 г. С. Фронделем (С. Frondel, 1950) опубликовано новое описание фосфуранилита, содержащего в своем составе кальций  $c$ :  $Nm = 1,700-1,710$ . Приводимая Фронделем для этого минерала формула  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_3[\text{PO}_4]_4[\text{OH}] \cdot 12\text{H}_2\text{O}$  основывается не на результатах приводимого в его работе химического анализа, с которым она не увязывается ни по воде, ни по кальцию, а основывается на изоструктурности минерала с девиндитом. Однако Хегарт и Наффильд в 1954 г. (Hogarth a. Nuffield, 1954) показали, что вычисленные ими элементарные ячейки, точно так же как и данные химических анализов, не дают единых формул для фосфуранилита и девиндита. Исходя из сказанного, за фосфуранилитом нами сохраняется прежнее понятие простого фосфата уранила без других катионов, и приводимые ниже описание и анализы минерала даны без учета данных Фрондела. Сингония минерала моноклинная (псевдоквадратная), установлена по оптическим данным.

Квадратные таблички по [010] микроскопических размеров; образует мелкозернистые, тонкопластинчатые, порошковатые агрегаты. Спайность по (010). Цвет лимонно-желтый, желтый. Блеск перламутровый. Твердость? Уд. вес около 3,0. Растворяется в разбавленных кислотах. Люминесценция отсутствует.

**Оптические свойства.** Оптически двуосный, отрицательный,  $2V$  очень малый, иногда до  $10^\circ$ . Дисперсия оптических осей очень сильная,  $r \gg v$  дисперсия биссектрис перекрещенная.  $N_p \perp$  спайным пластинкам (010). Погасание косое ( $10-13^\circ$ ). Значения показателей преломления по

двум образцам, отвечающим приведенной выше формуле и содержащим примесь свинца, следующие:  $Ng = 1,720$ ,  $Nm = 1,720$ ,  $Np = 1,691$  (гранитные жилы);  $Nm = 1,722$  (свинцово-урановое месторождение). Для минералов из других месторождений, отнесенных к фосфуранилиту без химических анализов,  $Nm = 1,690-1,723$ , а у фосфата, выделенного В. Г. Мелковым,  $Nm = 1,580$ . Плеохроизм минерала отчетливый:  $Ng$  и  $Nm$  — желтый,  $Np$  — бесцветный. В препарате, где минерал большей частью ложится спайными плоскостями (010) с выходами  $Ng$  и  $Nm$ , плеохроизм не наблюдается.

**Рентгенометрическое изучение.** Для фосфуранилита получены две порошкограммы из различных месторождений, несколько отличающихся друг от друга (см. табл. 2).

**Химический состав.** Для фосфуранилита имеются два химических анализа (табл. 68), кроме отмеченных выше анализов, приводимых Фронделем.

Таблица 6

Химический состав фосфуранилита

Образец, год анализа	PLO	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	Сумма	Примечание
Из пегматитов Рок, Майн, Северная Каролина, 1879	4,40	11,30	71,73	10,48		97,91	Примесь церуссита
Из свинцово-уранового месторождения, 1948 . . . .	0,11	13,11	72,07	4,70	9,95	99,94	Анализ пересчитан на растворимую часть
Теоретический состав . . .	—	12,8	77,5		9,7	100	

**Диагностические признаки.** Ввиду слабой изученности фосфуранилита его диагностические признаки в настоящее время весьма неопределенные (реакция на фосфор, отсутствие люминесценции, более высокие, чем у кальциевых и магниевых, и более низкие, чем у свинцовых фосфатов, показатели преломления). От нелюминесцирующего бассетита отличаются отсутствием Fe, а от медных фосфатов — цветом.

**Происхождение.** Минерал вторичный. Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений и, повидимому, является одним из первых продуктов преобразования остаточной черни; иногда возникает ниже естественного уровня грунтовых вод, выделяясь из рудничных вод в подземных выработках и в отвалах, а также в гранитных пегматитах при разрушении уранинита.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Образуется вместе с лимонитом, метагаллуазитом, каолинитом, отенитом, метатербернитом, казолитом пленки и налеты на стенках трещин вблизи поверхности в разрушенных вмещающих породах. Встречается в нижней части зоны окисления вблизи разрушающихся ураноносных сульфидных жил, совместно с трёгеритом, иоганнитом, циппеитом, уранинитом, остаточными чернями, гидроокислами железа. Наблюдается на стенках старых подземных выработок в зоне первичных руд, непосредственно на открытой поверхности выделений настурана и остаточной черни.

**Распространение и изученность.** Минерал редкий. Изучен слабо, светопреломление не соответствует химической формуле, и, повидимому, у чистых фосфатов уранила без примеси свинца оно может понижаться до 1,580, как у искусственно полученного фосфуранилита. Необходимо одновременное химическое и оптическое изучение и расчет новой химической формулы как для фосфата уранила без свинца, так и для свинецсодержащего фосфата.

Практического значения не имеет.

**Отенит** (autunite)  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_4 \cdot 8-10\text{H}_2\text{O} = \text{CaO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 8-10\text{H}_2\text{O}$ . Синонимы: отунит, аутунит, метаотенит (при 8  $\text{H}_2\text{O}$ ). Впервые обнаружен в 1819 г., описан и получил название в 1852 г. Сингония псевдогетрагональная: по рентгеноструктурным данным — тетрагональная, по кристаллографическим и оптическим — ромбическая.

Кристаллы тонкотаблитчатые и пластинчатые по [010], квадратных и восьмиугольных очертаний. Наиболее распространенные формы: (001), (101), (011), (112), (111), реже встречаются: (010) (120) (100) и (141) (рис. 36).

Известны двойники прорастания по (110) (рис. 37) Образует чешуйчатые (слиудоподобные), сферические, порошокватые агрегаты, также звездчатые друзы и одиночные кристаллы. Спайность весьма совершенная по (001), менее отчетливая по (100), иногда также по (010) и по (110) (наблюдается под микроскопом). Цвет серно-желтый, зеленовато-желтый и зеленый с желтым оттенком. Блеск на спайных плоскостях

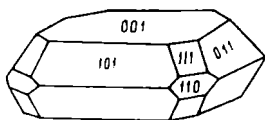


Рис. 36. Отенит

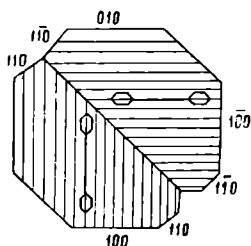


Рис. 37. Двойник отенита

(001) перламутровый, в остальных направлениях стеклянный. Минерал прозрачный до просвечивающего. Хрупкий. Твердость 2—2,5. Уд. вес 3,05—3,19, иногда до 3,4—3,5. Растворяется в разбавленных кислотах. Люминесценция сильная желтовато-зеленая (тип отенита).

Оптические свойства. Аномально двуосный до одноосного.  $2V$  от 0 до  $45^\circ$ . Оптический характер отрицательный, плоскость оптических осей (010). Сильная дисперсия оптических осей,  $r > v$ . Погасание относительно трещин спайности по (001) прямое.  $N_g = 1,576-1,606$ ;  $N_m = 1,573-1,605$ ;  $N_p = 1,550-1,590$ ;  $Ng - Np = 0,023-0,035$ . Плеохроизм слабый:  $Ng$  и  $Nm$  — светложелтый,  $Np$  — бесцветный. В препарате ложится почти изотропным сечением по (001) с выходами  $Ng$  и  $Nm$ , плеохроизма не наблюдается.

Рентгенометрическое изучение. Порошкограммы отенита из различных месторождений дают близкие результаты — слабые линии на очень интенсивном общем фоне (см. табл. 2).

Химический состав. Для отенита известно более десяти химических анализов. В табл. 69 даны результаты четырех из этих анализов. Из приведенных в ней данных видно, что в содержании основных окислов и особенно воды имеются значительные колебания (от 7 до 10 молекул  $\text{H}_2\text{O}$ ). Результаты анализа отенита с 12 молекулами  $\text{H}_2\text{O}$  (о. Мадагаскар, см. ниже стр. 205) нами отнесены к ураношпатиту.

При нагревании до  $40^\circ$  отенит теряет 6,4% воды, от  $40$  до  $300^\circ$  — 5,6% (иногда 9%) и от  $300$  до  $700^\circ$  — 2%.

Дифференциальные кривые нагревания так же указывают на то, что основное количество воды отенит теряет при нагревании до  $120^\circ$  и незначительную часть — при  $220^\circ$ . Прокаленный при  $150^\circ$  отенит теряет люминесцентные свойства, бледнеет, но таблитчатый облик сохраняется. Минерал плавится при температуре более  $1100^\circ$ .

Диагностические признаки. Реакция на фосфор сильная, желто-зеленая люминесценция. От других однотипно люминесцирующих фосфатов: салейта, сабугалита, ураношпатита, ураноцирцита отличается



по оптическим свойствам (величина  $Nm$ ) и составу катионной части (кроме ураношпатита).

**Происхождение.** Минерал вторичный, встречается в зоне окисления гидротермальных и пегматитовых месторождений. Осаждается из сульфатных и, возможно, бикарбонатных растворов урана, а также, по видимому, образуется в результате дегидратации ураношпатита. При благоприятных условиях может давать скопления инфильтрационного происхождения.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Выделяется на стенках трещин и пустот в виде корочек, друз и одиночных кристаллов на вмещающих породах, реже в разрушенной жильной массе за пределами контуров рудных тел. Среди других сопутствующих фосфатов и арсенатов выделяется наибольшим ореолом рассеяния в стороны от жил. Отенит особенно типичен для железной шляпы гидротермальных месторождений урана богатых сульфидами, характеризующейся разделением на отдельные геохимические зоны. Здесь вместе с другими желтыми уранилфосфатами и арсенатами, отенит образует в самой верхней части разреза или ниже зоны гиалитов так называемую зону желтых минералов (отенитовая зона), рН которой характеризует слабо кислую и нейтральную среду. Имеются также примеры развития отенита, преобладающего над остальными урановыми минералами, по всему разрезу зоны окисления, а по отдельным тектоническим нарушениям иногда даже на глубине более 100 м от поверхности.

В некоторых гранитных массивах отенит образует скопления в пределах трещиноватых зон и друзовых полостей кварца на глубинах, значительно превосходящих уровень грунтовых вод. В отличие от типичной зоны окисления, отенит здесь встречается в виде крупных хорошо образованных друз и не сопровождается никакими другими урановыми минералами. Происхождение его рассматривается как инфильтрационное.

Для пегматитовых жил отенит менее типичен, он в большинстве случаев находится в рассеянном состоянии в разрушенных лимонитизированных участках вмещающих пород или более редко образует скопления в трещинах и пустотах. Кроме того, отенит зафиксирован в торфяных прослоях в аллювии (о. Мадагаскар).

**Спутники.** В гидротермальных месторождениях отенит ассоциирует с ураноспинитом, уранофаном, торбернитом, метаторбернитом, смешанными слюдками, ренардитом, девиндтитом, фосфуранилитом, казолитом, пржевальскитом, цейнеритом, гидроокислами железа, окислами марганца, ярозитом, иногда также с более ранними гидронастураном, ургитом и силикатом типа соддиита. В пегматитовых жилах встречается в парагенезисе с торбернитом, лимонитом, уранофаном, иногда с ториевым кюритом и силикатами урана. В торфах отенит ассоциирует с ураноцирцитом.

В инфильтрационных месторождениях встречается только с лимонитом и гидроокислами марганца.

**Распространение и изученность.** Самый распространенный из вторичных минералов урана. В тех или иных количествах отенит встречается в зоне окисления почти всех гидротермальных жил и многих пегматитов. Физические свойства и химический состав его изучены на большом количестве образцов. Получен в искусственных условиях при  $pH = 6$ . Кроме того, синтетически получены отенит с 2,5—6,5  $H_2O$  (метаотенит I) и с колебанием содержания  $H_2O$  от 0 до 6 молекул (метаотенит II). Следует отметить, что в некоторых случаях к отениту, несомненно, относят другие, менее известные ярко люминесцирующие фосфорные слюдки ураношпатит и салеит, так как не всегда производится проверка оптических свойств минералов, в данном случае необходимая.

## Химический состав отенита

Образец, год анализа	CaO	MgO	BaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	П. п. п.	Примеси	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма	Приме- чение
Из уранового место- рождения, Отен, Франция, 1844 . . . . .	6,1	—	—	—	—	—	—	—	15,5	62,7	15,7	100,0	8H <sub>2</sub> O Nm= =1,575
То же, 1932 . . . . .	6,09	—	—	—	—	—	1,57	—	15,21	61,70	14,9	99,47	8H <sub>2</sub> O
Из уранового место- рождения, 1946 . . . . .	5,62	0,06	0,29	0,37	0,12	0,16	1,67	—	14,36	60,28	16,92	99,83	9H <sub>2</sub> O
Колебание по 10 ана- лизам . . . . .	5,01—6,1	0—0,12	0—0,29	0—0,509	0—0,12	0—0,16	0—1,67	0—0,39	12,57— 15,50	59,71— 63,44	12,58— 19,66	—	—
Теоретический состав при 8H <sub>2</sub> O . . . . .	6,1	—	—	—	—	—	—	—	15,5	62,7	15,7	100,00	—

Практическое значение. Помимо громадного значения при поисках ураноносных жил с поверхности, отенит, вместе с другими вторичными урановыми минералами, иногда имеет промышленное значение, образуя окисленные низкосортные руды урана.

Практический интерес представляют инфильтрационные скопления отенита в гранитах.

**Ураношпатит** (uranospatite)  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O} = \text{CaO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Синоним отенит. Описан в 1915 г. из Корнуэлла. Сингония псевдотетрагональная; по оптическим данным — ромбическая.

Удлиненно-таблитчатые кристаллы. Двойники прорастания. Двойниковая ось перпендикулярна (110). Спайность совершенная по (001), ясная по (100). Цвет желто-зеленый до бледнозеленого. Блеск перламутровый. Твердость 2—3. Уд. вес. 2,5. Люминесценция сильная желто-зеленая (тип отенита). Растворяется в разбавленных минеральных кислотах, особенно легко при нагревании.

Оптические свойства. Двуосный, оптически отрицательный.  $2V = 69^\circ$ ;  $N_g = 1,521$ ;  $N_m = 1,510$ ;  $N_p = 1,488$ ;  $N_g - N_p = 0,033$ . Плеохроизм ясный:  $N_g$  и  $N_m$  — темножелтый,  $N_p$  — желтоватый.  $N_g = a$ ;  $N_m = b$  и  $N_p = c$ . В препарате ложится по (001) с выходами  $N_g$  и  $N_m$ .

Рентгенометрическое изучение. Порошковая диаграмма сходна с отенитом, на ней видны слабые линии на очень интенсивном общем фоне.

Химический состав. Для ураношпатита, в частности и для минерала из Корнуэлла, свойства которого помещены выше, химических анализов в литературе не приводится. Однако анализы некоторых отенитов, в которых содержится  $12\text{H}_2\text{O}$  (образцы с о. Мадагаскара и из месторождения Отен, Франция), правильнее относить к ураношпатиту, хотя оптические свойства этих образцов не описаны.

Ниже приводятся данные анализа мадагаскарского отенита, (табл. 70) весьма близкие к теоретическому составу ураношпатита.

Таблица 70

Химический состав ураношпатита (отенита с  $12\text{H}_2\text{O}$ )

Образец, год анализа	CaO	UO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из пегматита с о. Мадагаскар, 1887 . . . . .	6,51	55,08	1,36	14,93	22,08	99,96
Теоретический состав . . .	5,69	58,01	—	14,40	21,90	100,00

Диагностические признаки. Реакция на фосфор. Люминесценция сильная желто-зеленая. От фосфатов — отенита и ураноцирцита отличается по оптическим данным — значительно меньшее светопреломление ( $N_m = 1,510$ ).

Происхождение, изученность, распространение, условия нахождения в природе и спутники. Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений. Получен путем искусственной гидратации отенита в холодной воде. Минерал редкий, при температуре до  $40^\circ$  легко теряет часть воды, превращаясь в отенит. Описан из рудника Редрут, Корнуэлл (Англия); также из окисленной зоны уранового месторождения, где образует тонкопластинчатые кристаллы размером до 1—1,5 мм в ассоциации с отенитом и фосфурунитом (проверен оптически). Судя по химическим анализам (см. выше), встречается так же на о. Мадагаскар и в месторождении Отен (Франция).

Практическое значение. Ввиду малой распространенности практического значения не имеет.

**Салейт** (saléite)  $Mg(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 8-10H_2O = MgO \cdot 2UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot 8-10H_2O$ . Впервые описан в 1932 г., последующие дополнения к описанию сделаны в 1949—1950 гг. Сингония псевдотетрагональная: по рентгеноструктурным данным тетрагональная, по кристаллографическим и оптическим — ромбическая.

Тонкотаблитчатые кристаллы по [010] почти квадратного сечения, развивающиеся в виде корочек, друз и радиально-лучистых скоплений. Согласно Торо, наиболее развиты формы (001), (100) и (010), иногда встречаются (120), (210). Углы между гранями (001) и (010)  $54^\circ 51'$ ; (210) и (120)  $26^\circ 37'$  (рис. 38).

Двойники по (210) под углом  $90^\circ$ . Спайность совершенная по (001) ясная по (100) и (010). Штриховка в кристалле параллельна пинакоидам или двум призмам. Цвет соломенно-желтый до лимонно-желтого. Просвечивает до непрозрачного. Блеск перламутровый. Твердость 2—3. Уд. вес 3,27—3,3. Люминесценция сильная, желтовато-зеленая (тип отенита). Хорошо растворяется в минеральных кислотах.

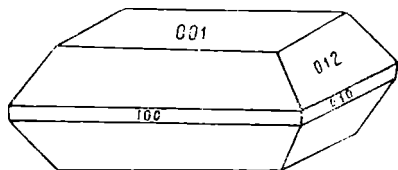


Рис. 38. Салейт

**Оптические свойства**  
Оптически отрицательный, как правило, двусосный.  $2V = 61-65^\circ$ , иногда  $0^\circ$ . Плоскость оптических осей (010). Дисперсия,  $r > v$ ;  $Ng(NO) = 1,571-1,585$ ;  $Nm = 1,570-1,582$ ;  $Np(Ne) = 1,554-1,656$ ;  $Ng - Np = 0,016-0,018$ . Плеохроизм:  $Ng$  и  $Nm$  — бледножелтый,  $Np$  — почти бесцветный.  $Np = c$ . Под микроскопом заметные двойники с взаимно перпендикулярным расположением плоскостей. В препарате ложится плоскостью (001) с выходами осей  $Ng$  и  $Nm$ .

**Рентгенометрическое изучение.** Порошкограмма указывает на изоструктурность салейта с отенитом (см. табл. 2).

**Химический состав салейта** охарактеризован тремя анализами (табл. 71), один из которых относится к мышьяковому салейту. Соответственно этим анализам различными авторами для формулы рассчитывается различное количество воды от 8 до 10 молекул (по рентгеноструктурным данным  $10H_2O$ ).

Таблица 71

Химический состав салейта

Образец, год анализа	PbO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Нерастворимый остаток	Сумма
Из медно-уранового месторождения Катанги, Бельгийское Конго, 1932 . . .	—	5,06	—	64,70	14,58	—	16,64	2,79	103,77
Из уран-висмут-никель-кобальтового месторождения, 1950 . . . . .	—	4,31	—	60,32	11,98	4,50	(18,89)	—	(100)
Из кварцево-вольфрамитовых жил Португалии, 1951 . .	0,21	4,04	0,37	63,05	14,97	—	17,42	—	100,06
Теоретический состав при 8H <sub>2</sub> O . . . . .	—	4,4	—	62,41	15,50	—	17,69	—	100

Как видно из табл. 71, в одной разности отмечается присутствие As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, в связи с чем предполагается наличие непрерывного ряда от салейта до его мышьякового аналога — новачекита.

**Диагностические признаки.** Реакция на фосфор. Сильная желтовато-зеленая люминесценция (тип отенита). От сходного отенита

и сабугалита отличается реакцией на *Mg* и по оптическим данным (другая величина *Nm*).

Происхождение, условия нахождения в природе, спутники. Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений совместно с другими вторичными минералами — торбернитом, девиндитом, цейнеритом, уранофаном, новачекитом, лимонитом. Иногда нарастает на кристаллы торбернита.

Распространение, изученность. Минерал редкий, известен в трех месторождениях. Возможно, иногда принимается за отенит. Получен искусственным путем.

Практического значения не имеет.

**Ураноцирцит** (uranocircite)  $\text{Ba}(\text{UO}_2)_2[\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O} = \text{BaO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{P}_2\text{O}_5 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . Синоним: мета-ураноцирцит. Впервые описан в 1877 г. Сингония псевдотетрагональная; по кристаллографическим и оптическим данным — ромбическая.

Тонкопластинчатые кристаллы с квадратными и восьмиугольными очертаниями, развивающиеся в виде друз и чешуйчатых скоплений. Спайность совершенная по (001), ясная по (010) и (100). Цвет желторозово-зеленый, светлозеленый (бледнее отенита). Прозрачный до просвечивающего. Блеск перламутровый на плоскость (001), на других гранях стеклянный. Хрупкий (легко расщепляется при надавливании иглой). Твердость 2—2,5. Уд. вес. 3,50—3,55. Люминесценция сильная, желто-зеленая (типа отенита). Растворяется в разбавленных минеральных кислотах.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный.  $2V = 10—25^\circ$ . Плоскость оптических осей (010). На базальной грани отчетливо наблюдаются две системы двойниковых пластинок по плоскости призмы (110) ·  $N_g = Nm = 1,623$ ;  $N_p = 1,610$ ;  $N_g - N_p = 0,013$ . Плеохроизм:  $N_g$  и  $Nm$  — бледный канареечно-желтый,  $N_p$  — бесцветный.  $N_p = c$ . В препарате кристалл ложится плоскостью (001) с выходами осей  $N_g$  и  $Nm$ . Искусственно полученный ураноцирцит оптически одноосный, отрицательный,  $Nm = 1,613$ .

Рентгенометрическое изучение. Порошковая диаграмма (см. табл. 2) указывает на резкое различие между ураноцирцитом и отенитом, которые раньше считали возможным рассматривать, как минералы изоструктурные.

Химический состав. Для ураноцирцита имеется два анализа (см. табл. 72).

Таблица 72

Химический состав ураноцирцитов

Образец, год анализа	BaO	UO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из кобальт-никелевого месторождения, 1877 . . . . .	14,57	56,86	15,06	13,99	100,48
То же, 1879 . . . . .	15,08	56,74	13,99	14,19	100,00
Теоретический состав . . . . .	15,0	56,7	14,0	14,3	100,00

По данным спектрального анализа, в ураноцирците имеются примеси Ca, Y, Yb и отмечаются следы Mn, Cu, Fe.

Вода в ураноцирците носит цеолитный характер, так как 6 ее молекул легко теряются при комнатной температуре в вакууме над серной кислотой или же при температуре 100°. Остальные две молекулы теряются при 280°. При 150° минерал становится одноосным. Согласно результатам термического анализа, обезвоживание минерала происходит при 120°, когда он выделяет основную массу воды, и при 250° (незначительное количество ее). До температуры 900° структура природного

минерала устойчива, а после 1000° на рентгенопорошковой диаграмме появляются нечеткие линии  $U_3O_8$ .

**Диагностические признаки.** Ураноцирцит по внешнему виду и яркой желто-зеленой люминесценции легко спутать с другими фосфатами — огенитом, ураношпатитом и салеитом, поэтому необходима оптическая проверка ( $Nm = 1,623$ , характерная двойниковая спайность) и реакция на Ва.

**Происхождение.** Зона окисления гидротермальных и некоторых осадочных месторождений. При благоприятных условиях может также образовывать самостоятельные скопления инфильтрационного происхождения.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Ураноцирцит обычно встречается на стенках трещин во вмещающих породах и жильных минералах, главным образом в верхней части зоны окисления гидротермальных жил, совместно с огенитом и торбернитом (месторождение Риманиер в Испании и др.). Зафиксирован также на значительных глубинах в месторождении Вёльсендорф (Бавария), где заполняет трещины и пустоты во флюорите, совместно с настураном, беккерелитом, уранофаном, торбернитом. Кроме того, ураноцирцит, как и огенит, иногда встречается в гранитах в виде мономинеральных прожилков своеобразного чешуйчато-зернистого строения, и крупных хорошо образованных друз в кристаллизационных пустотах первичных жильных минералов, располагающихся ниже зеркала грунтовых вод. В этих случаях происхождение ураноцирцита рассматривается как инфильтрационное. Ураноцирцит известен также в зоне окисления и в зоне переходных руд осадочных месторождений, в ассоциации с урано-ванадатами, гидроокислами железа и фосфатами железа. Кроме того, наблюдался в аллювиальных отложениях в прослоях торфа совместно с огенитом (о. Мадагаскар).

**Распространение, изученность, практическое значение.**

Ураноцирцит получен искусственно. Хорошо изучен в структурном отношении. В промышленных скоплениях развит в ограниченном количестве месторождений инфильтрационного происхождения.

**Бассетит** (bassetite)  $Fe(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 6-8H_2O = FeO \cdot 2UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot 6-8H_2O$ . Первоначально (1875 г.) бассетит принимали за кальциево-урановую слюдку (огенит). В 1940 г. Мекснер на основании качественного микрохимического анализа установил принадлежность минерала к новому нелюминесцирующему железо-урановому фосфату — бассетиту. В 1954 г. И.Н. Трефельдт бассетит был подвергнут химико-минералогическому изучению. Сингония моноклиная.

**Кристаллы** таблитчатые по  $\{010\}$ . Наблюдались формы (010), (001), (110), (120) (011), (111), (121), (12 $\bar{1}$ ), (141), (101). Встречается в виде корочек и небольших скоплений. Спайность совершенная по (010) и менее совершенная по (001) и (100). Цвет желтый. Блеск перламутровый. Твердость 3. Уд. вес. 3,1—3,2. Люминесценция отсутствует. Хорошо растворяется в слабых минеральных кислотах.

**Оптические свойства.** Оптически отрицательный, двуосный.  $2V = 62^\circ - 86^\circ$ ;  $N_g = 1,579 - 1,580$ ;  $Nm = 1,570 - 1,574$ ;  $N_p = 1,558$   $N_g - N_p = 0,022$ . Плеохроизм отчетливый;  $N_g$  — густожелтый,  $N_p$  — светложелтый. Удлинение отрицательное. Погасание прямое. При удалении воды изменяется положение плоскости оптических осей и угол погасания доходит до  $20^\circ$ .

**Рентгенометрическое изучение.** Полученная порошковая диаграмма (см. табл. 2) отличается нечеткостью линий.

**Химический состав** бассетита, охарактеризован одним полным анализом, на основании которого рассчитана формула минерала с  $6H_2O$  (колебания до  $8H_2O$  даны в формуле по теоретическим соображениям).

Ниже приводится состав бассетита из уранового месторождения по данным химического анализа, произведенного в 1954 г.

MgO	CaO	BaO	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O при 110°	H <sub>2</sub> O при 300°	Сумма
0,5%	0,3%	0,9%	7,08%	2,32%	14,82%	1,3%	60,01%	9,6%	3,4%	100,23%

При анализе не обнаружены MnO, CuO, PbO, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, As<sub>2</sub>O<sub>5</sub>. Присутствие в минерале окисного железа объясняется примесью лимонита, Ca и Ba — наличием отенита и ураноцирцита, с которыми он находится в тесном сростании.

По данным спектрального анализа, в минерале присутствуют Cu, Mn, Zn, Al, Pb и Ni.

**Термическое изучение.** Кривая нагревания характеризуется интенсивным эндотермическим эффектом в интервале 100—300° при максимуме 140°, который связан с дегидратацией минерала. Незначительное эндотермическое поднятие при 300—500° связано с окислением двухвалентного железа до трехвалентного.

**Диагностические признаки.** Реакция на фосфор. От других нелюминесцирующих уранофосфатов отличается наличием Fe<sup>2+</sup> и низкими показателями преломления ( $N_m = 1,570—1,574$ ).

**Происхождение, условия нахождения и спутники.** Бассетит является своеобразным по условиям образования гипергенным фосфатом. Образуется только в кислой среде. Неустойчив и является, повидимому, кратковременной фазой зоны окисления или полунискусственный образованием, возникающим в старых горных выработках. При смене кислой среды щелочной в результате окисления и гидролиза железа бассетит замещается лимонитом. Обнаружен в руднике Бассет в Корнуэлле и в окисленной зоне некоторых других урановых месторождений, где встречен:

1) в ассоциации с отенитом, торбернитом, цейнеритом, ренардитом, ураноцирцитом и лимонитом; 2) на остаточной черни, проросшей сульфидами, обнаженной старыми горными выработками; 3) с лимонитом.

**Распространенность, изученность.** Минерал редкий, требуется дополнительное изучение.

**Практического значения** не имеет, но остатками бассетита может быть иногда объяснена радиоактивность скоплений лимонита.

**Фритчейт** (fritzscheite)  $Mn(UO_2)_2 [PO_4, VO_4]_2 \cdot 8H_2O$ ? Установлен в 1865 г. Брейтгауптом. Сингония тетрагональная (?).

Призматические (?) и таблитчатые кристаллы. Спайность совершенная по (001). Цвет красновато-бурый и красный. Блеск стеклянный, перламутровый на плоскостях спайности. Твердость 2—3. Уд. вес 3,50.

Оптические свойства не изучены.

**Химический состав.** Химического анализа не производилось, качественно определены уран, ванадий, марганец, фосфор и вода.

**Диагностические признаки.** Реакция на Mn и P. От других фосфатов фритчейт отличается красными тонами окраски.

**Распространение, условия нахождения и изученность.** Марганцево-урановый фосфат, который был отнесен к фритчейту, встречен только два раза: с отенитом, торбернитом, настураном (?) на гематитовых рудах и с торбернитом в выветрелых породах. Не исключена возможность, что фритчейт не распознается из-за несвойственной урановым минералам неяркой красной окраски и отсутствия люминесценции.

**Торбернит** (torbernite)  $Cu(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 12H_2O = CuO \cdot 2UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot 12H_2O$ . Синонимы: хальколит. Впервые обнаружен в 1780 г. Сингония тетрагональная. Винчелл на основании оптических данных относит его к ромбической или псевдотетрагональной сингонии.

Кристаллы обычно мелкие, тонкопластинчатые и слюдоподобные по [010], с восьмиугольными или квадратными очертаниями. Иногда наблюдается пирамидальный габитус с развитием пирамид (302), (102), (105) и (103). Наиболее распространены формы (001), (101), (100), (011), (010) и (110) (рис. 39). Углы между гранями (001): (101)  $72^{\circ}12'$ ; (011): (110)  $90^{\circ}$ ; (011): (101)  $71^{\circ}11'30''$  и (011): (112)  $64^{\circ}17'$ . Встречается обычно в виде чешуйчатых и листоватых скоплений, плотных корочек, друз одиночных кристаллов и порошковатых налетов. Наблюдаются двойники прорастания по (101) и (010). Спайность совершенная по (001), ясная по (010) и (100). Цвет изумрудно- или травяно-зеленый. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Просвечивает до прозрачного. Хрупкий. Твердость 2—2,5. Уд. вес 3,2—3,6. Люминесценция отсутствует. Хорошо растворяется в разбавленных минеральных кислотах.

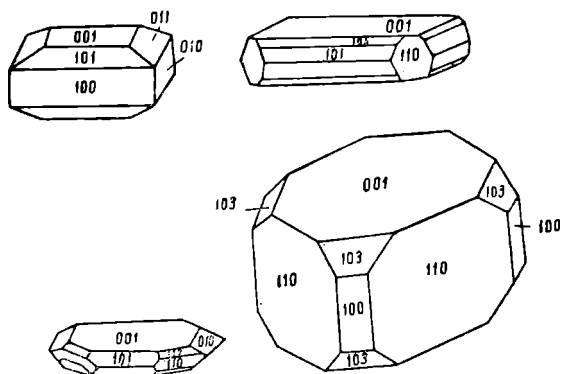


Рис. 39. Торбернит

Показатели преломления торбернита:  $N_o = 1,590—1,593$ ,  $N_e = 1,576—1,582$ . Плеохроизм ясный:  $N_o$  — темнозеленый;  $N_e$  — светлозеленый. В препарате кристаллы ложатся плоскостью (001) с выходом  $N_o$  и плеохроизм не наблюдается.

Рентгеноструктурное изучение. Установлена принадлежность торбернита к тетрагональной сингонии, получены порошковые граммы (см. табл. 2).

Химический состав. Для торбернита можно привести данные двух химических анализов, согласно которым количество воды в минерале соответствует его теоретическому составу ( $12H_2O$ ). Ряд старых анализов, указывающих на содержание в минерале 15—17%  $H_2O$  или 8—9 молекул, нами отнесены к метаторберниту (см. ниже).

Таблица 73

Химический состав торбернитов

Образец, год анализа	CuO	UO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из пегматита Фуксбау, Бавария, 1922 .	7,73	57,03	14,50	0,59	20,30	100,15
Из золоторудного месторождения, 1951	7,71	56,96	14,18	0,37	20,21	99,43
Теоретический состав . . . . .	7,9	57,0	14,0	—	21,1	100,00

Торбернит легко обезвоживается. При нагревании до  $75^{\circ}$ , частично еще при комнатной температуре в эксикаторе, он теряет 4 молекулы  $H_2O$ , превращаясь в метаторбернит с  $8H_2O$ ; при нагревании до  $100^{\circ}$  торбернит теряет 72% своей воды и переходит в фосфат с  $5H_2O$ . Эти искусственные соединения получили соответственные названия: метаторбернит I и метаторбернит II (в природных условиях не найдены). Полностью торбернит теряет воду при  $600^{\circ}$ .



На дифференциальных кривых нагревания отмечается потеря воды в нескольких температурных интервалах: основная масса при 160°, незначительные количества при 120° и 265°. При прокаливании минерал светлеет, становится очень хрупким, но сохраняет таблитчатый облик; при температуре выше 1100° спекается и затем плавится.

**Диагностические признаки.** Торбернит от других фосфатов, кроме метаторбернита, отличается изумрудно-зеленым цветом, обусловленным присутствием Си; от метаторбернита отличается только по оптическим данным (показатели преломления и знак). Для отличия от сходных медно-урановых арсенатов — цейнерита и метацейнерита необходима реакция на фосфор.

**Происхождение.** Образуется в зоне окисления гидротермальных, реже пегматитовых месторождений.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Торбернит отлагается на стенках трещин и пустот вмещающих пород в виде слюдоподобных корочек, пластинчатых, друзовых и порошковатых скопленений, а также отдельных кристаллов.

В гидротермальных месторождениях торбернит развивается преимущественно в нижней части подзоны выщелачивания, располагаясь ближе, чем отенит, к разрушающимся первичным рудам урана. Торбернит и цейнерит местами образуют так называемую зону зеленых слюдок. Ассоциирует также с отенитом, нередко срастающимся или замещающим кристаллы торбернита (смешанные слюдки), гидроокислами железа, иногда ренардитом, девиндитом и другими минералами зоны окисления.

В пегматитах торбернит известен в ассоциации с отенитом, кюритом и соддитом. Торбернит является неустойчивым минералом: на воздухе при сухой погоде переходит в метаторбернит.

**Распространение и изученность.** Торбернит принадлежит к числу широко распространенных и легко диагностирующихся вторичных минералов урана, хотя к нему нередко (без оптической проверки) относят метаторбернит, являющийся более устойчивым в атмосферных условиях медно-урановым фосфатом. Торбернит, как и отенит, распространен почти во всех месторождениях урановых руд. Получен искусственным путем при  $pH = 4,2$ . Экспериментальными и структурными исследованиями подтверждено наличие в формуле 12 молекул  $H_2O$ .

**Практическое значение.** Используется при поисках с поверхности гидротермальных жил с урановым оруденением, иногда является бедной рудой на уран.

**Метаторбернит** (metatorbernite)  $Cu(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 8H_2O = CuO \cdot 2UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot 8H_2O$ . Впервые определен в 1919 г. Галлимондом как продукт искусственной окислительной торбернитизации. Позднее, в 1920 г., был обнаружен в зоне окисления. Сингония тетрагональная.

Мелкие пластинчатые и таблитчатые кристаллы, большей частью квадратного и прямоугольного сечения. Чаще всего развиты формы (001) (101), (010), (112), (110) и (111). Образует чешуйчатые, листоватые, розетчатые скопления, нередко порошковатые налеты. Спайность совершенная по (001), ясная по (100). Цвет изумрудно- или травяно-зеленый. Блеск стеклянный, на плоскостях спайности перламутровый. Просвечивает до полупрозрачного. Хрупкий. Твердость 2—2,5. Уд. вес. 3,6—3,68. Люминесценция отсутствует. Хорошо растворяется в разбавленных минеральных кислотах.

**Оптические свойства.** Положительный, одноосный, иногда аномально двуосный, с очень малым углом оптических осей. Плоскость оптических осей (001). Дисперсия осей обыкновенного луча больше необыкновенного,  $N_o = 1,623$ ;  $N_e = 1,625$ ;  $N_e - N_o = 0,002$ . Плеохроизм:  $N_o$  — параллельно (001) темнозеленый,  $N_e$  — светлозеленый или светлосиний. Наблюдается аномальная окраска с темносиними и яркофиолетовыми цветами интерференции. Погасание прямое. Кристаллы в препарате ло-

жаты базисными плоскостями по  $No$ . При нагревании до  $100^\circ$  метаторбернит переходит в ромбическую модификацию с оптической ориентировкой  $No = a$ ,  $Ne = a$ , а при нагревании от  $125$  до  $350^\circ$  оптическая ориентировка изменяется:  $No = c$ ,  $Ne = b$ .

Рентгенометрическое изучение. Порошкограммы метаторбернита сходны с таковыми торбернита (см. табл. 2).

Химический состав. В литературе известно 16 весьма близких по полученным данным анализов метаторбернита из различных месторождений, часть из которых первоначально относилась к торберниту.

В табл. 74 приводятся данные химического анализа наиболее типичного метаторбернита.

Таблица 74

Химический состав метаторбернита

Образец, год анализа	CaO	CuO	PbO	$Al_2O_3 +$ $Fe_2O_3$	$P_2O_5$	$As_2O_5$	$UO_3$	$H_2O$	Нерастворимый остаток	Сумма
Из гранита, 1951 .	0,66	8,05	—	Следы	15,22	—	60,66	14,96	—	99,55
Колебание содержания компонентов по 16 анализам . . . . .	0— 0,66	7,05— 9,31	0— 2,95	0— 0,93	13,54— 17,42	0— 3,24	55,98— 62,10	14,16— 17,30	0,11— 4,21	—
Теоретический состав . . . . .	—	8,30	—	—	15,1	—	61,2	15,4	—	100,00

При нагревании до  $100^\circ$  минерал теряет 73% своей воды; полностью вода выделяется при  $450^\circ$ .

Диагностические признаки. Реакция на P и Cu. По внешнему виду метаторбернит неотличим от торбернита и изумрудно-зеленых медно-урановых арсенатов: цейнерита и метацейнерита. Необходима оптическая проверка и определение фосфора.

Происхождение. Образуется в зоне окисления гидротермальных рудных жил и осадочных месторождений. Помимо непосредственного выделения из водных растворов, образуется в процессе дегидратации торбернита.

Условия нахождения в природе и спутники. Метаторбернит встречается в виде корочек, налетов и друз по трещинам и пустотам выветрелых вмещающих пород, иногда по трещинам отдельности гранитов. В одних месторождениях развивается преимущественно с торбернитом и цейнеритом в нижней части подзоны выщелачивания. В других гидротермальных месторождениях распространен в самых верхних горизонтах (отенитовая подзона), где иногда замещается отенитом и более или менее постоянно ассоциирует с лимонитом, гидроокислами марганца, торбернитом, смешанными слюдками, фосфуранилитом.

В осадочном месторождении урано-ванадиевых руд метаторбернит зафиксирован в ассоциации с тюжунитом и лимонитом.

Распространение и изученность. Метаторбернит является широко распространенным минералом и имеет надежные диагностические признаки. Без проверки оптических свойств его часто принимают за торбернит.

Практическое значение. Вместе с другими фосфатами и арсенатами служит поисковым признаком на проявления гидротермального уранового оруденения и иногда представляет промышленный интерес (вторичная урановая руда).

**Пржевальскит**  $Pb(UO_2)_2[PO_4]_2 \cdot 4H_2O = PbO \cdot 2UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot 4H_2O$ . Открыт В. Г. Кругловой в 1946 г. Сингония ромбическая.

Таблитчатые кристаллы, размеры которых наиболее часто колеблются от 0,5 до 0,8 мм, реже от 0,1 до 1 мм. Образует слюдоподобные, чешуйчатые агрегаты. Цвет яркожелтый со слабым зеленоватым оттенком. Блеск сильный, стеклянный. Люминесценция отсутствует. Растворяется в минеральных кислотах.

Оптические свойства. Отрицательный, двуосный.  $2V$  средний.  $Ng = 1,752-1,753$ ;  $Nm = 1,749-1,750$ ;  $Np = 1,739$ . Плеохроизм ясный:  $Ng$  — густожелтый,  $Nm$  — светложелтый и  $Np$  — бесцветный.

Удлинение отрицательное. Погасание прямое.

Рентгенометрическое изучение. Синтезированный пржевальскит имеет кристаллическую структуру торбернита (см. табл. 2).

Химический состав. Результаты химического анализа пржевальскита из свинцово-уранового месторождения, полученные в 1948 г., приведены ниже.

PbO	UO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Нерастворимый остаток	Сумма
21,66%	46,55%	11,47%	4,10%	6,69%	1,99%	91,86%

Формула пржевальскита выведена после соответствующего пересчета результатов анализа на состав минерала без примеси.

Диагностические признаки. Реакция на Р и Pb. От сходных свинцово-урановых фосфатов пржевальскит отличается светопреломлениями: от парсонсита — более низким, от девиндтита — более высоким; кроме того, от парсонсита отличается прямым погасанием. Практически не отличим от ренардита.

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Образуется в зоне окисления свинцово-урановых месторождений. Встречен только в одном месторождении совместно с девиндтитом, отенитом, ренардитом, чаще встречается в агрегатах с метагаллуазитом, каолинитом и гидроксилами марганца. Приурочен к нижней части подзоны выщелачивания, где преобладают казолит, уранофан и кюрит. Получен искусственно при  $pH = 4,2$ .

Практического значения не имеет.

**Ренардит** (renardite)  $Pb(UO_2)_4[PO_4]_2[OH]_4 \cdot 7H_2O = Pb \cdot 4UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot 9H_2O$ . Впервые описан Скулом в 1928 г. Сингония ромбическая.

Кристаллы таблитчатые по [100], бедные формами. Обычно наблюдаются формы (010), (100), (101) (рис. 40). Образует друзы из хорошо ограненных прозрачных кристаллов размером до 4 мм или тонкокристаллические скопления. Спайность весьма совершенная по (100). Цвет желтый с коричневым оттенком. Цвет порошка светложелтый. Блеск жирный. Хрупкий. Твердость (?). Уд. вес. 4,05. Люминесценция отсутствует. Хорошо растворяется в слабых минеральных кислотах.

Оптические свойства. Отрицательный, двуосный.  $2V = 60-70^\circ$ . Плоскость оптических осей (001). Острая биссектриса  $Np$  (100). Дисперсия,  $r > v$ .  $Ng = 1,737-1,739$ ;  $Nm = 1,732-1,736$ ;  $Np = 1,713-1,715$ ;  $Ng - Np = 0,024$ . Плеохроизм сильный:  $Ng$  и  $Nm$  — бесцветный,  $Np$  — желтый.

Рентгенометрическое изучение. Для ренардита в 1948 г. получена эталонная порошкограмма, отличная от имеющихся в литературе порошкограмм для других фосфатов (см. табл. 2).

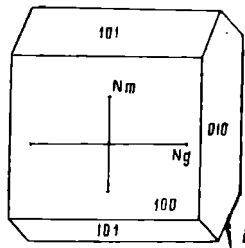


Рис. 40. Ренардит

**Химический состав.** Для ренардита известны данные двух химических анализов, которые приведены в табл. 75. Спектральный анализ, кроме того, указывает на присутствие в минерале Si, La, Mg и Cu.

**Диагностические признаки.** Реакция на Р и Рb. От других нелюминесцирующих свинцово-урано-фосфатов (девиндита, дюмонтита, парсонита и пржевальскита) отличается только по оптическим данным ( $Nm = 1,732-1,736$ , низкое двупреломление).

Таблица 75

Химический состав ренардита

Образец, год анализа	CaO	PbO	UO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	MnO <sub>3</sub>	CoO + (Al, Fe) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Нерастворимый остаток	Сумма
Из медно-уранового месторождения Казало, Катанга, 1928 . . . . .	—	12,26	64,82	8,15	8,74	0,74	3,68	2,11	100,50
Из свинцово-уранового месторождения минерал с примесью отенита, 1948 . . . . .	0,90	9,33	62,54	9,63	9,13	—	—	5,66	97,39
Теоретический состав . .	—	13,35	68,46	8,49	9,69	—	—	—	99,99

**Происхождение.** Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений.

**Условия нахождения в природе, распространение, спутники.** Ренардит обнаружен всего лишь в нескольких месторождениях: 1) в свинцово-урановом, в нижней части зоны выщелачивания на глубине 34 м, где наиболее распространенными урановыми минералами являются казолит, уранофан и кюрит, меньше девиндит, пржевальскит, дюмонтит, отенит, торбернит и смешанные слюдки; 2) в урановом на глубине 40—42 м, в зоне урановых черней; 3) в медно-урановом месторождении Шинколобве (Катанга), где ренардит ассоциирует с торбернитом, образуя идиоморфные кристаллы в пустотах торбернита, реже встречается совместно с дюмонтитом, иногда в сопровождении девиндита.

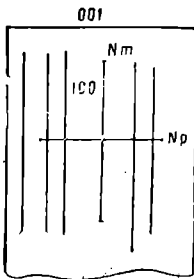


Рис. 41. Девиндит

**Практическое значение.** Используется как второстепенный компонент окисленных руд урана.

**Девиндит** (dewindtite)  $Pb_3(UO_2)_5[PO_4]_4(OH)_4 \cdot 10H_2O = 3PbO \cdot 5UO_3 \cdot 2P_2O_5 \cdot 12H_2O$ . Синоним: статит. Сингония ромбическая.

Кристаллы призматические, обычно ограниченные с одного конца пинакоидом (001) или сплюсненные по [100] до таблитчатых. Штриховка || с (рис. 41). Встречается в виде друз, скрыто кристаллических и порошковатых скоплений. Спайность ясная по (100). Цвет канареечно-желтый. Прозрачный до просвечивающего. Блеск стеклянный, по (100) перламутровый. Уд. вес 4,08—5,03. Люминесценция отсутствует. В минеральных кислотах хорошо растворяется.

**Оптические свойства.** Положительный, двуосный. Плоскость оптических осей (001).  $2V$  очень большой. Дисперсия,  $r < v$ .  $Ng = 1,765$ ;  $Nm = 1,763$ ;  $Np = 1,762$ ;  $Ng - Np = 0,003$ . Не плеохроирует.  $Np = a$ . Погасание относительно удлинения прямое.

**Химический состав.** Для девиндита известен один химический анализ, результаты которого приведены в табл. 76.

## Химический состав девиндтита

Образец, год анализа	PbO	UO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из медно-уранового месторождения Катанги, Бельгийское Конго, 1930	24,85	54,80	10,14	7,93	97,82
Теоретический состав . . . . .	25,75	55,01	10,93	8,31	100,0

При температуре до 110° девиндтит теряет 3,67% воды, остальная часть воды выделяется при 400°.

Диагностические признаки. Реакция на Р и Рb. От сходных свинцово-урановых фосфатов: дюмонтита, парсонсита, ренардита и пржевальскита отличается только оптическими свойствами — низким двупреломлением ( $N_g - N_p = 0,003$ ). Кроме того, от дюмонтита, ренардита и пржевальскита отличается отсутствием плеохроизма, а от парсонсита — прямым погасанием.

Происхождение. Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений.

Условия нахождения в природе, распространение, спутники. Девиндтит встречен в нескольких месторождениях: 1) в медно-урановом месторождении Шинколобве Катанга (Бельгийское Конго), где он нарастает на кристаллы торбернита; 2) в свинцово-урановом месторождении, где преимущественно развит в верхней части зоны выщелачивания, образуя небольшие скопления длиннопризматических прозрачных кристаллов, совместно с дюмонтитом, пржевальскитом и ренардитом на отените и торберните; нередко вращает в листочки торбернита, образует жеоды; 3) девиндтит отмечен в месторождении флюорита Вельсендорф (Бавария) совместно с торбернитом и парсонситом на кристаллах кварца в пустотах флюорита.

Практическое значение. Служит поисковым признаком на ураноносные жилы, также используется как второстепенный компонент вторичных руд.

**Дюмонтит** (dumontite)  $Pb_2(UO_2)_3[PO_4]_2[OH]_4 \cdot 3H_2O = 2PbO \cdot 3UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot 5H_2O$ . Сингония ромбическая. Кристаллы призматические, вытянутые по оси *c* (до 2 мм длины) и таблитчатые по [100]. Развиты формы (001), (010), (100), (013), (011) (рис. 42). Углы между гранями (001) и (011) 53°, (001) и (013) 23°30'. Наблюдается штриховка по призме, параллельно оси *c*. Встречается в виде тонкоигольчатых коробочек, небольших скоплений и друз. Цвет желтый, охряно-желтый. Просвечивает. Твердость около 3. Уд. вес около 5. Люминесценция отсутствует. Растворяется в разбавленных минеральных кислотах.

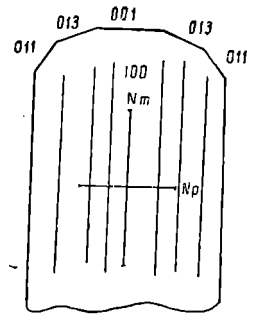


Рис. 42. Дюмонтит

Оптические свойства. Положительный, двуосный. Плоскость оптических осей (001).  $2V$  большой.  $N_m = 1,87-1,89$ ;  $N_p = 1,88$ . Погасание прямое. Плеохроизм сильный по оси *c* по удлинению — темножелтый, по *a* и *b* — светложелтый.

Химический состав. Для дюмонтита известен один анализ, результаты которого приведены в табл. 77.

При температуре до 100° из минерала выделяется 3,37% H<sub>2</sub>O, при 200—250° — 1,92% H<sub>2</sub>O.

Диагностические признаки. Реакция на Р и Рb. От сходных свинцово-урановых фосфатов — девиндтита, парсонсита, ренардита

## Химический состав дюмонита

Образец, год анализа	PbO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из медно-уранового месторождения Шинколовбе, Катанга, Бельгийское Конго, 1924 . . . . .	27,19	1,01	56,49	8,65	5,78	99,12%
Теоретический состав . . . . .	28,9	—	55,4	9,2	5,8	99,3%

и пржевальскита отличается только большими показателями преломления; от девиндита, кроме того, сильным плеохроизмом, а от парсонсита прямым погасанием.

**Происхождение.** Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений.

**Условия нахождения в природе, распространение, спутники.** Минерал редкий. Встречен в небольших количествах всего в нескольких месторождениях: 1) в медно-урановом месторождении Шинколовбе, Катанга (Бельгийское Конго) во вторичных рудах с ренардитом, кюритом, казолитом, соддиитом, складовскитом, обычно обособленно от девиндита, часто приурочивается к полостям скоплений торбернита; 2) в свинцовоурановом месторождении в нижней части зоны выщелачивания, нередко между листочками отенита и торбернита, также в ассоциации с метагаллазитом и окислами марганца; 3) в висмутовом месторождении, в зоне распространения урановых слюдок выше зоны урановых черней, совместно с лимонитом, цейнеритом, малахитом.

**Практическое значение.** Может служить поисковым признаком на урановые месторождения.

**Парсонсит (parsonsite):** 1)  $Pb_2(UO_2)[PO_4]_2 \cdot H_2O = 2PbO \cdot UO_3 \cdot P_2O_5 \cdot H_2O$ ; 2)  $Pb_2(UO_2)[PO_4]_2 \cdot 2H_2O$ . Сингония моноклинная или триклинная.

Призматические, нередко пластинчатые кристаллы. Наблюдаются формы (010), (100), (001). Угол между гранями (100) и (001) 76—81°. Встречается преимущественно в плотных, сплошных скрытокристаллических массах, реже образует волокнистые и лучистые скопления. Цвет светложелтый, бесцветный, желтовато-бурый, в порошке светлорозовый. Блеск стеклянный. Уд. вес 5,37—6,23. Люминесценция отсутствует. Растворяется в слабых минеральных кислотах.

**Оптические свойства.** Оптически отрицательный, двуосный. Дисперсия,  $r < v$ ;  $N_g = 1,86—1,90$ ;  $N_p = 1,795—1,870$ . Погасание косое.  $N_g : c = 6—23^\circ$ . Удлинение положительное. В препарате кристаллы ложатся плоскостью (010) (рис. 43).

**Рентгенометрическое изучение.** Полученная в 1948 г. порошкограмма отличается от порошкограмм других фосфатов и является эталонной для парсонсита (см. табл. 2).

**Химический состав.** В литературе известны два химических анализа (табл. 78), характеризующих парсонсит и отвечающих приведенным выше формулам.

**Диагностические признаки.** Реакция на Р и РЬ. От сходных свинцово-урановых фосфатов — девиндита, дюмонита, пржевальскита отличается косым погасанием (6—23°).

**Происхождение.** Зона окисления гидротермальных и пегматитовых месторождений.

Химический состав парсонсита

Образец, год анализа	PbO	CuO	CaO	UO <sub>3</sub>	MoO <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Негассто- гимый оста- ток	Сумма	Приме- чание
Из медно-урано- вого месторож- дения, Казоло, Катанга, 1930	44,71	0,25	0,63	29,67	0,43	1,23	3,01	15,08	1,19	1,56	1,51	99,27	Формула
Из пегматита Нью-Гемпшир, 1950	47,43	—	—	34,68	—	—	—	14,46	—	3,43	—	100%	Пере- считано на 100% без нера- створи- мого остатка. Формула
Теоретический состав для фор- мулы 1	50,00	—	—	32,07	—	—	—	15,92	—	2,01	—	100%	—

Условия нахождения в природе и спутники. Парсонсит встречается в гидротермальном месторождении Шинколобве, Катанга (Бельгийское Конго) преимущественно в виде сплошных масс на торберните вместе с казолитом, девиндитом и др. Известны также микроскопические кристаллики парсонсита в Вельсендорфе (Бавария), где он встречается с девиндитом на пластинках ураноцирцита в пустотках флюорита. В пегматитовых жилах Нью-Гемпшир парсонсит обнаружен вблизи скоплений измененного уранинита, он вместе с отенитом и фосфуранилитом образует здесь корочки из микроскопических пластинчатых кристалликов, развитые на стенках пустот и трещинок в полевом шпате и кварце.

Распространение, изученность. Парсонсит является редким минералом; встречен всего в нескольких месторождениях в незначительном количестве.

Практического значения не имеет.

**Сабугалит** (sabugalite)  $\text{NaAl}(\text{UO}_2)_4[\text{PO}_4]_4 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$ . Описан Фронделем в 1951 г. Сингония псевдотетрагональная: по рентгеноструктурным данным тетрагональная, по оптическим ромбическая.

Таблитчатые по [001] кристаллы, образующие корочки и скопления. Спайность ясная по (001). Цвет яркожелтый до лимонно-желтого. Твердость 2,5. Уд. вес 3,20. Люминесценция сильная, желтовато-зеленая. По видимому, растворяется в разбавленных минеральных кислотах, как и другие фосфаты.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный.  $2V$  от малого до среднего.  $Ng(No) = 1,582-1,584$ ;  $Nm = 1,581-1,583$ ;  $Np(Ne) = 1,564-1,565$ . Плеохроизм ясный:  $Ng$  и  $Nm$  — желтый,  $Np$  — бесцветный  $Np \perp (001)$ .

Рентгенометрическое изучение. Для сабугалита имеется эталонная порошкограмма (см. табл. 2).

Химический состав сабугалита характеризуется двумя анализами, результаты которых приведены в табл. 79.

При нагревании до  $68^\circ$  сабугалит теряет 20%  $\text{H}_2\text{O}$ , при  $135^\circ$  — 82%  $\text{H}_2\text{O}$ .

Диагностические признаки. Сильная желтовато-зеленая люминесценция, реакция на P и Al.

## Химический состав сабугалита

Образец, год анализа	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма	Примечание
Из месторождения Сабугаль (Португалия), 1951	—	2,65	65,22	16,08	2,70	15,93	99,88	Примесь 5% метаотенита
Из месторождения Карис, Минью (Португалия), 1951 . . . . .	0,36	3,20	65,01	14,02	—	(14,71)	100	
Теоретический состав . .	—	2,87	64,41	15,99	—	16,73	100	

Происхождение, условия нахождения. Зона окисления пегматитовых месторождений. Встречен в Португалии в виде мономинеральных корочек в брекчированном и каолинизированном пегматите.

Практического значения не имеет.

## б) Арсенаты

**Трёгерит** (troegerite)  $(\text{UO}_2)_3[\text{AsO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O} = 3\text{UO}_3 \cdot \text{As}_2\text{O}_5 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ . Впервые обнаружен в 1871 г. Сингония тетрагональная. Иногда минерал принимался за моноклинный.

Трёгерит образует таблитчатые по [001] с квадратными, прямоугольными и неправильными очертаниями кристаллы, часто чешуйчатые. По облику напоминает кристаллы гипса (рис. 44). Наблюдались формы (001), (010), (120), (012), (011), (032), (021), (111) и (331). Остальные грани плохо образованы и часто покрыты штриховкой. Минерал встречается в друзовидных образованиях, состоящих из чешуек и табличек, а также в виде скоплений из беспорядочно спутанных листочков. Спайность совершенная по (001), хорошая по

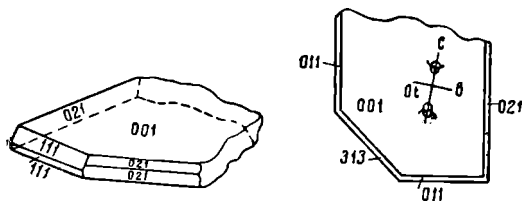


Рис. 44. Трёгерит

(100). Цвет лимонно-желтый или буровато-желтый. Блеск от парламутрового (на плоскости совершенной спайности) до стеклянного. Хрупкий. Твердость 2—3. Уд. вес 3,23—3,30. Люминесценция отсутствует. Легко растворяется в слабых минеральных кислотах.

Оптические свойства. Оптически отрицательный, преимущественно одноосный.  $N_o = 1,627—1,631$ ;  $N_e = 1,580—1,586$ ;  $N_o - N_e = 0,045—0,047$ . Редко минерал слабо двуосный.  $N_g = 1,630—1,632$ ;  $N_m = 1,623—1,630$ ;  $N_p = 1,585—1,586$ ;  $N_g - N_p = 0,045—0,046$ . Угол погасания  $11—40^\circ$ . Плеохроизм слабый:  $N_g$  и  $N_m$  — бледножелтый или бледный желтовато-зеленый,  $N_p$  — бледный буровато-желтый до бесцветного.

В некоторых кристаллах трёгерита под микроскопом при скрещенных николях обнаруживается пятнистое угасание, причем измерение величины угла оптических осей в таких одновременно погасающих участках одного и того же кристалла показало, что одни из них одноосны, а другие двуосны с малым  $2V$ .

Рентгенометрическое изучение. Полученная порошковаяграмма по значению межплоскостных расстояний и интенсивности линий отличается от порошковыхграмм других арсенатов и фосфатов и является эталоном для трёгерита (см. табл. 2).



Химический состав трёгерита охарактеризован четырьмя анализами минерала из одного и того месторождения. В табл. 80 приводятся результаты анализа трёгерита, на основании которых была рассчитана его формула.

Таблица 80

Химический состав трёгерита

Образец, год анализа	CuO	CaO	Vi <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Нерастворимый остаток	Сумма
Из уран-висмут никель-кобальтового месторождения. 1873 . . .	—	—	—	19,64	63,76	14,81		98,21%
Колебание по 4 анализам . . .	0,56	Следы— 1,45	0,74— 2,21	17,39— 19,64	49,69— 63,76	14,81— 22,43	0,08— 1,69	—
Теоретический состав . . . . .	—	—	—	17,63	65,81	16,56		100,00%

Кроме того, спектральным анализом в трёгерите установлено небольшое количество Mg, Fe, Pb, незначительные количества Sb, Co, V, Y, P и следы Mn.

**Происхождение.** Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений, развиваясь преимущественно в окисленной части зоны цементации, изредка возникает при выветривании пегматитов.

**Диагностические признаки.** Реакция на As. Отсутствием люминесценции и желтым цветом выделяется среди других арсенатов; от нелюминесцирующего вальпургита отличается значительно меньшим светопреломлением.

**Условия нахождения, в природе, распространение и спутники.** Трёгерит в незначительных количествах встречен в месторождении Корке (Ирландия) и др. Преимущественно развивается в зоне урановых черней, как правило, на поверхности последних; иногда образуется на настуране в форме отдельных тонких пластинок и мелких звездчатых агрегатов в ассоциации с вальпургитом, цейнеритом, ураноспинитом и ураноцирцитом. Редко трёгерит отмечается в верхней части зоны выщелачивания с отенитом, ураноспинитом, лимонитом. Кроме того, встречен в пегматитах, содержащих сподумен, колумбит и другие минералы редких элементов.

**Изученность.** Несмотря на относительную редкость, трёгерит изучен лучше других урановых арсенатов. В 1948 г. получен искусственно.

**Практического значения** не имеет.

**Ураноспинит** (uranospinite)  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O} = \text{CaO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{As}_2\text{O}_5 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . Впервые описан в 1871—1873 гг. Известны две модификации ураноспинита: тетрагональная —  $\alpha$ -ураноспинит и ромбическая (псевдотетрагональная) —  $\beta$ -ураноспинит.

Кристаллы таблитчатые с четырехугольными и восьмиугольными очертаниями. Наблюдаются формы (001), (102), (012) и (101). Преобладающей из них является пинакоид (001), остальные плохо выражены и нередко покрыты штриховкой. Углы между гранями (001) : (102) 55°32'; (001) : (101) 73°30'. Образуется тонкочешуйчатые, звездчатые, слюдоподобные агрегаты. Спайность по (001) совершенная, по (010) и (100) ясная. Цвет лимонно-желтый, иногда буроватый, реже светлозеленый до яркого желто-зеленого. Блеск стеклянный на плоскости спайности перламутровый. Хрупкий. Твердость 2—3. Уд. вес 3,0—3,45. Люминесценция сильная желтовато-зеленая (типа отенита). Легко растворяется в слабых минеральных кислотах.

Оптические свойства. Отрицательный. Встречаются как одноосные, так и двуосные кристаллы, нередко даже в одном месторождении.  $2V$  от 0 до  $62^\circ$ .

Дисперсия ясно выражена,  $r > v$ .  $Ng = 1,572-1,589$ , редко 1,620;  $Nm = 1,567-1,586$ ;  $Np = 1,550-1,560$ , иногда 1,612. Плеохроизм слабый:  $Ng$  и  $Nm$  — бледножелтый или светлый желтовато-зеленый,  $Np$  — бесцветный:  $Ng$  совпадает с направлением спайности (001);  $Np = c$ . Кристаллы в препарате ложатся плоскостью (001). В разрезах, перпендикулярных к (001), погасание относительно спайности по (001) прямое.

Рентгенометрическое изучение. Для ураноспинита получены две сходные порошкограммы, которые могут служить эталонами (см. табл. 2).

Химический состав ураноспинита охарактеризован тремя анализами. В табл. 81 приводятся результаты анализов, на основании которых установлена формула минерала.

Таблица 81

Химический состав ураноспинита

Образец, год анализа	CaO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из уран-висмут-никель-кобальтового месторождения, 1873 . . . . .	5,47	—	19,37	59,18	16,19	100,21
Колебание по 3 анализам . . . . .	5,47—	—	18,50—	58,09—	15,02—	—
	6,12		20,07	59,18	16,19	
Теоретический состав . . . . .	5,5	—	23,0	57,2	14,3	100,0%

Согласно данным анализов, содержание воды в минерале больше теоретического, хотя в свете кристаллохимических обобщений кальциево-урановый арсенат может принадлежать только к ряду метаарсенатов с  $H_2O \approx 8$  (см. стр. 198). Главная масса воды (13,01%) выделяется до  $100^\circ$ .

Диагностические признаки. Реакция на As, яркая люминесценция.  $Nm = 1,567-1,586$ .

Происхождение. Зона окисления гидротермальных месторождений.

Условия нахождения и спутники. Ураноспинит преимущественно развит в верхней части подзоны выщелачивания с отенитом, гидроокислами железа и марганца и ниже по разрезу — с цейнеритом, торбернитом, метаторбернитом и отенитом. В горизонтальном разрезе месторождений ураноспинит обычно следует за цейнеритом и торбернитом, расположенными около жил. Он встречается в виде пленок, корочек и скоплений в пустотах и трещинах вмещающих пород, иногда в сростании с метаторбернитом или тесном прорастании с более ранним силикатом типа соддиита.

Распространение и изученность. Ураноспинит является относительно распространенным арсенатом для месторождений урана в комплексе с арсенидными рудами. Имеет достаточно надежную химико-минералогическую характеристику. Дважды получен искусственным путем.

Практическое значение. Наряду с отенитом, используется как поисковый признак на жилы с первичным урановым оруденением и — как один из компонентов окисленных руд.

**Цейнерит** (zeunerite)  $Cu(UO_2)_2[AsO_4]_2 \cdot 10H_2O = CuO \cdot 2UO_3 \cdot As_2O_5 \cdot 10H_2O$ . Открыт в 1871 г. В последние годы существование минерала подвергается сомнению, так как рентгеноструктурный анализ природных цейнеритов указывает на присутствие в них не больше  $8H_2O$  и изоструктурность с метаторбернитом. Кроме того, при синтезе арсенатов также был

получен только метацейнерит. На основании имеющихся химических данных до проведения более углубленного изучения нами дается описание цейнерита как арсената с  $10\text{H}_2\text{O}$ , а затем метацейнерита с  $8\text{H}_2\text{O}$ , существование которого подтверждается данными структурных анализов. Сингония тетрагональная.

Табличчатые кристаллы и листочки, чаще всего квадратных, реже восьмиугольных очертаний, иногда дипирамидальные кристаллы. Кроме преобладающего базисного пинакоида (001), развиты формы (100), (110), (101), (102), (201), (301), (рис. 45).

Угол между гранями (001) и (101)  $71^\circ 3'$ . Образует слюдоподобные, тонкочешуйчатые, звездчатые, порошокватые агрегаты. Спайность совершенная по (001), ясная по (101). Цвет изумрудно- и яблочно-зеленый. Блеск перламутровый на плоскостях спайности (001), на других — стеклянный. Твердость 2—2,5. Уд. вес 3,2—3,7. Люминесценция отсутствует. Легко растворяется в слабых кислотах.

Оптические свойства. Одноосный, отрицательный.  $N_o = 1,642—1,651$ ;  $N_e = 1,622—1,635$ ;  $N_o - N_e = 0,016—0,020$ . Плеохроизм сильный: перпендикулярно оси  $c$  голубовато-синий, параллельно оси  $c$  — изумрудно-зеленый. Характерна аномальная индигово-синия интерференция. В препарате листочки ложатся изотропным сечением по (001) с выходом  $N_o$ , окраска изумрудно-зеленая.

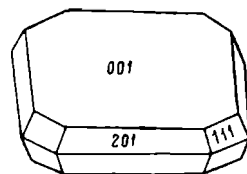


Рис. 45. Цейнерит

Рентгеноструктурное изучение. Для цейнерита имеются две порошковые диаграммы, выделяющие его среди других рентгенометрически охарактеризованных арсенатов и фосфатов (см. табл. 2).

Химический состав. Для цейнерита в литературе известно два анализа (табл. 82), согласно которым, количество воды в минерале увязывается в 10 молекул, против 12 по формуле.

Таблица 82

Химический состав цейнерита

Образец, год анализа	CuO	UO <sub>3</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из уранового месторождения, 1939	7,66	54,63	21,06	17,30	100,65
Из уран-висмут-никель-кобальтового месторождения, 1873 . . . . .	7,49	55,86	20,94	15,68	99,97
Теоретический состав при 12 H <sub>2</sub> O . . .	7,25	52,13	20,94	19,68	100,00

При  $110^\circ$  цейнерит теряет от 1,5 до 5 молекул воды.

По данным термического анализа вода в минерале выделяется при  $110$ ,  $140$  и  $180^\circ$ . При  $950^\circ$  минерал плавится.

Диагностические признаки. Реакция на As и Cu. Отсутствие люминесценции. Цейнерит по внешнему виду совершенно неотличим от другого медно-уранового арсената — метацейнерита. Выделяется только по оптическим данным, имея достаточно твердые показатели преломления.

Происхождение. Зона окисления гидротермальных месторождений, как правило, содержащих в своем составе, наряду с урановыми рудами, никель-кобальтовые арсениды или арсенопирит.

Условия нахождения в природе. Корочки, скопления, одиночные кристаллы на стенках трещин и пустот как в жильной массе, так и во вмещающих породах за пределами жил. ореол рассеяния в стороны от жил обычно меньше, чем у всех других сопутствующих урановых слюдок. В вертикальном разрезе зоны окисления, цейнерит располагается преимущественно в нижних горизонтах подзоны выщелачивания вме-

сте с торбернитом, иногда закономерно сростаясь с трёгеритом и ураноспинитом.

**С п у т н и к и.** Чаще всего цейнерит ассоциирует с ураноспинитом, торбернитом, обычно также с гидроокислами железа, скородитом, иногда с хальконтитом; в отдельных месторождениях с трёгеритом, вальпургитом, ураносферитом и отенитом.

**Р а с п р о с т р а н е н и е, и з у ч е н н о с т ь.** Цейнерит считается довольно широко распространенным минералом в ряде урановых месторождений. Однако, за цейнерит нередко без оптической и химической проверок ошибочно принимается метацейнерит. Кроме того, по теоретическим соображениям (см. стр. 198) цейнерит как медноурановый арсенат предельно насыщенный водой ( $>8\text{H}_2\text{O}$ ) в природе существовать не может.

**П р а к т и ч е с к о е з н а ч е н и е.** Наряду с другими слюдками, используется при поисках гидротермальных жил с урановым оруденением.

**М е т а ц е й н е р и т** (*metazeunerite*)  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ . Открыт в прошлом столетии и первоначально описан как цейнерит. Значительно позднее (Jezek, 1922) минерал выделен в самостоятельный вид как бедная водой модификация цейнерита. Рентгеноструктурными исследованиями последних лет природных и синтезированных медно-урановых арсенатов установлено, что все они содержат не более  $8\text{H}_2\text{O}$ , и изоструктурны метаторберниту. Однако химические анализы двух оптически изученных образцов показывают содержание в минерале  $10\text{H}_2\text{O}$ , т. е. по этим данным минерал следует относить не к метацейнериту, а к цейнериту. До производства новых химических анализов нами пока сохраняются оба арсената: цейнерит с  $10\text{H}_2\text{O}$  и метацейнерит — с  $8\text{H}_2\text{O}$ , хотя, по всей вероятности, в природе существует лишь один арсенат. Сингония тетрагональная.

**Т а б л и т ч а т ы е к р и с т а л л ы.** Наблюдались формы (001), (010), (110), (013), (012), (021), (025), (041), (023), (011). Цвет зеленый. Уд. вес 3,28. Люминесценция отсутствует. Легко растворяется в слабых кислотах.

**О п т и ч е с к и е с в о й с т в а.** Одноосный, отрицательный. Сильный плеохроизм: *No* — изумрудно-зеленый. *Ne* — синеватый (в препарате наблюдаться не должен). Для химически не изученного метацейнерита в 1952 г. получены: *No* = 1,643—1,650, *Ne* = 1,623—1,628, а для искусственного метацейнерита с  $8\text{H}_2\text{O}$  — *No* = 1,645—1,648. Показатели преломления, даваемые Ежеком (Jezek, 1922), значительно ниже и вызывают сомнения.

**Р е н т г е н о м е т р и ч е с к о е и з у ч е н и е.** Порошкограммы метацейнерита отличаются очень большим числом четко проявленных линий и близки к порошкограмме искусственного метацейнерита (см. табл. 2).

**Х и м и ч е с к и й с о с т а в** не изучен.

По данным термического анализа метацейнерит при нагревании до  $70^\circ$  теряет 62% своей воды, а в интервале от  $100$  до  $250^\circ$  — 28%; полностью минерал выделяет воду при  $600^\circ$ .

**Д и а г н о с т и ч е с к и е п р и з н а к и.** Реакция на As, Cu, в отличие от других фосфатов и арсенатов, кроме цейнерита. От последнего отличается только по оптическим свойствам, однако этот признак в настоящее время недостаточно надежен в виду неопределенности констант метацейнерита.

**П р о и с х о ж д е н и е.** Зона окисления гидротермальных месторождений, содержащих арсениды.

**У с л о в и я н а х о ж д е н и я в п р и р о д е и с п у т н и к и.** Найден в уран-висмут-никель-кобальтовом месторождении с торбернитом, ураносферитом, вальпургитом; обнаружен также в нескольких урановых месторождениях с уранофосфатами и гиалитом.

**Р а с п р о с т р а н е н и е и и з у ч е н н о с т ь.** Метацейнерит должен относиться к числу распространенных минералов, а по рентгеноструктурным данным он является единственным медно-урановым арсенатом. Без оптической проверки и определения количества воды, повидимому, неред-

ко принимался за цейнерит; требует химического изучения. Многократно получался в искусственных условиях с количеством воды от 5 до 8 молекул.

**Практическое значение.** Используется как поисковый признак на жилы с урановым оруденением и как компонент окисленных руд.

**Вальпургит** (walgurgite): 1)  $UO_3 \cdot 2Bi_2O_3 \cdot As_2O_5 \cdot 3H_2O$ ; 2)  $3UO_3 \cdot 5Bi_2O_3 \cdot 2As_2O_5 \cdot 12H_2O$ . Впервые описан в 1871 г. Сингония триклинная.

Кристаллы таблитчатые по [100] и удлинённые по оси *c*. Развиты формы (010), (001), (100), (011), (130), ( $\bar{1}30$ ), (011), ( $\bar{1}01$ ) и др. (рис. 46). Углы между гранями (001) : ( $\bar{1}01$ )  $66^\circ 53' \pm 26'$ ; (001) : (011)  $22^\circ 56' \pm 23'$ , наблюдались двойники по (100).

Сдвойникованные кристаллы похожи на гипс. Спайность совершенная по (100). Цвет желтый до оранжево-желтого, желтые кристаллы непрозрачны, оранжево-желтые прозрачны. Блеск стеклянный до алмазного. Твердость 3,5. Уд. вес. 5,64—5,80. Люминесценция отсутствует. Растворяется в слабых минеральных кислотах.

**Оптические свойства.** Отрицательный, двусосный,  $2V = 52^\circ$ . Дисперсия слабая.  $N_g = 2,00—2,05$ .  $N_m = 1,975—2,00$ ;  $N_p = 1,871—1,90$ ;  $N_g - N_p = 0,14—0,15$ .  $N_p$  почти перпендикулярна (100). Угол погасания в плоскости (100) около  $12—14^\circ$  (благодаря двойникованию погасание симметричное). Угол  $N_m : c = 8^\circ$  находится в плоскости (010).

**Химический состав.** Для вальпургита известно три химических анализа (табл. 83), на основании которых рассчитаны две приведенные формулы.

**Диагностические признаки.** Реакция на As. От других арсенатов урана отличается реакцией на Bi и исключительно высоким светопреломлением.

**Происхождение.** Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений, содержащих руды висмута.

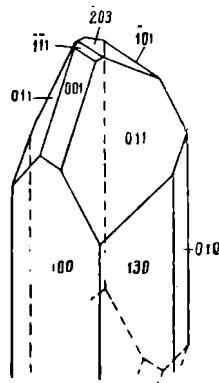


Рис. 46. Вальпургит

Таблица 83

Химический состав вальпургита

Образец, год анализа	$Bi_2O_3$	$UO_3$	$As_2O_5$	$P_2O_5$	$H_2O$	Сумма	Примечание
Из уран-висмут-никель-кобальтового месторождения, 1871 . . . . .	61,43	20,29	11,88	—	4,32	97,92	Состав отвечает формуле 2
То же, 1948 . . . . .	61,8	18,7	14,1	0,9	3,7	99,2	Состав отвечает формуле 1
То же, 1950 . . . . .	61,87	16,16	12,45	5,88	3,42	99,78	
Теоретический состав для формулы (1) . . . . .	62,05	19,05	15,31	—	3,59	100,00	

**Условия нахождения в природе, распространение и спутники.** Минерал редкий, встречается в нескольких уран-висмут-никель-кобальтовых месторождениях в виде скоплений в пустотках и трещинках, преимущественно в непосредственной близости от разрушающегося настурана и руд висмута. Ассоциирует с остаточной урановой чернью, ураносферитом, трёгеритом, цейнеритом, ураноспинитом.

**Практическое значение.** Второстепенный компонент окисленных руд урана.

**Новачекит** (novacekite)  $Mg(UO_2)_2[AsO_4]_2 \cdot 8-10H_2O$ . Описан Фронделем в 1951 г. как мышьяковый аналог салеита. Сингония тетрагональная.

Кристаллы пластинчатых и прямоугольных очертаний. Цвет от соломенно- до лимонно-желтого. Блеск слабый, восковой. Твердость 2,5. Уд. вес 3,25. Спайность ясная по (001). Люминесценция (по Фронделю) глубокая, зеленого цвета, что, повидимому, соответствует в принятой нами схеме сильной желтовато-зеленой люминесценции типа отенита.

Оптические свойства. Отрицательный. Встречаются как одноосные, так и двуосные разновидности минерала.  $2V$  от 0 до  $15^\circ$ . Дисперсия,  $r > v$ .  $Ng = Nm = 1,620-1,623$ . Плеохроизм:  $Np(Ne)$  — почти бесцветный,  $Ng(No)$  и  $Nm$  — бледножелтые. Погасание пятнистое.

Химический состав новачекита охарактеризован одним анализом, результаты которого приведены в табл. 84.

Таблица 84

Химический состав новачекита\*

Образец, год анализа	CuO	MgO	UO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из уран-висмут-никель-кобальтового месторождения, 1951 . . . . .	1,73	3,41	59,74	6,87	11,23	(17,02)	(100,00)
Теоретический состав для новачекита с 9 H <sub>2</sub> O . . . . .	—	4,01	56,96		22,88	16,15	100,00

\* Анализ пересчитан на 100% после вычета данных для нерастворимого остатка вода дана по разности.

Приводимая для новачекита формула, отвечающая чистому арсенату Mg и U, выведена без учета имеющегося в анализе фосфора, хотя отношение  $P_2O_5 : As_2O_5 \approx 1 : 1$ . Возможно, что новачекит в природе образует с магниевым фосфатом-салеитом непрерывную серию переходов, так как в некоторых разностях салеита отмечается присутствие мышьяка. Коллания воды в формуле даются по структурным соображениям (см. стр. 198).

Диагностические признаки. Реакция на As. От сходного по люминесценции арсената-ураноспинита, кроме реакции на магний, отличается более высоким светопреломлением.

Происхождение, условия нахождения, изученность. Новачекит, как и остальные арсенаты, несомненно, гипергенного происхождения. Встречен в зоне окисления совместно с цейнеритом, ураноспинитом, трёгеритом, сабугалитом, и др.

Минерал новый, требует дальнейшего изучения, в частности химического, и проверки люминесцентных свойств.

Практического значения в настоящее время не имеет.

## в) Ванадаты

**Ферганит**  $(UO_2)_3[VO_4]_2 \cdot 6H_2O?$  Открыт И. А. Антиповым в 1908 г. Сингония ромбическая.

Чешуйчатый. Угол между гранями (110) и  $(\bar{1}\bar{1}0)$   $74^\circ$ . Цвет светложелтый. Непрозрачный. Блеск восковой. Твердость немного больше 2. Спайность весьма совершенная в одном направлении, перпендикулярно к нему — менее ясная. Уд. вес 3,31. Растворяется в разбавленных кислотах.

Оптические свойства.  $2V$  большой. Двупреломление незначительное. Плеохроизм очень слабый.

Химический состав ферганита охарактеризован одним анализом (табл. 85).

Химический состав ферганита

Образец, год анализа	Li <sub>2</sub> O	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	UO <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из урано-ванадиевого месторождения, 1908 . . . . .	1,22	77,03	—	17,60	10,75	106,57%
Теоретический состав . . . . .	—	—	74,74	15,84	9,42	100,00

**Происхождение.** Зона выветривания осадочных месторождений. Высказывались предположения, что ферганит может образоваться в результате выщелачивания катионов из сложных урано-ванадатов (карнотита, тюямунита).

**Условия нахождения в природе, распространение, спутники.** Минерал редкий. Встречен в карстовых пустотах в девонских известняках с тюямунитом и карнотитом и в мезозойских песчаниках Колорадо с карнотитом.

**Изученность.** Ферганит изучен крайне слабо. Отсутствуют замеры оптических констант и данные о люминесценции, в связи с чем не имеет твердых диагностических признаков для отличия его от других ванадатов.

**Практического значения** не имеет.

**Уванит** (ivanite)  $(UO_2)_2V_6O_{17} \cdot 15H_2O = 2UO_2 \cdot 3V_2O_5 \cdot 15H_2O$ . Сингония ромбическая? (по оптическим данным).

Образует мелкозернистые массы. Спайность по двум направлениям (наблюдается под микроскопом). Цвет буровато-желтый. Растворяется в разбавленных кислотах. Люминесценция не выяснена.

**Оптические свойства.** Положительный, двуосный.  $2V = 52^\circ$ ;  $Ng = 2,057$ ;  $Nm = 1,879$ ;  $Np = 1,817$ ;  $Ng - Np = 0,24$ . Плеохроизм сильный:  $Ng$  — зеленовато-желтый,  $Nm$  — темнобурый,  $Np$  — светлобурый.

Химический состав уванита приведен в табл. 86.

Таблица 86

Химический состав уванита

Образец, год анализа	CaO	UO <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из песчаников Темпл Рок, штат Юта, 1924 . . . . .	1,73	39,60	37,70	18,28	97,31
Теоретический состав . . . . .	—	41,22	39,33	19,45	100,00

**Происхождение.** Зона выветривания осадочных месторождений.

**Условия нахождения, спутники.** Минерал редкий. С достоверностью установлен только в асфальтсодержащих песчаниках штата Юта совместно с карнотитом, геветтитом, гипсом, торбернитом, гяалитом.

**Изученность.** Изучен слабо. Отсутствуют кристаллографические и люминесцентные данные, что не позволяет с уверенностью выделять уванит среди других ванадатов.

**Практического значения** не имеет.

**Тюямунит**  $Ca(UO_2)_2[VO_4]_2 \cdot 8H_2O = CaO \cdot 2UO_3 \cdot V_2O_5 \cdot 8-9H_2O$ . Синоним: кальциевый карнотит. Разновидности: метатюямунит, содержащий в своем составе 5—7H<sub>2</sub>O. Тюямунит открыт в 1912 г. К. А. Ненадкевичем. Сингония ромбическая.

Кристаллы тонкопластинчатые прямоугольного и шестиугольного сечения (рис. 47). Наблюдались формы (100), (110), (120), (010), (001), (101) и (111). Углы между гранями (110) (110)  $75^\circ \pm 1^\circ$ ; (120) и

(120) 67°. Образует тонкочешуйчатые землистые массы, также налеты, корочки в полостях. Спайность совершенная по (001), средняя по (010) и (100). Цвет яркожелтый, иногда с зеленоватым или оранжевым оттенком. Блеск сильный, на плоскостях спайности перламутровый. Хрупкий. Твердость 1—2. Уд. вес 3,31—4,35 (колебание наблюдается в зависимости от содержания воды). Люминесценция отсутствует. Растворяется в разбавленных кислотах.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный.  $2V = 36—57^\circ$ . Дисперсия умеренная или сильная,  $r < v$ .  $Ng = 1,895—1,968$ ;  $Nm = 1,870—1,932$ ;  $Np = 1,67—1,80$ ;  $Ng - Np = 0,154$ ; для разновидности с 5—7 молекулами  $H_2O$  (метатюямунита):  $Ng = 1,865$ ;  $Nm = 1,835$ , и  $Np = 1,67$ . Плоскость оптических осей (010);  $Ng = a$ ,  $Np = c$ . Плеохроизм:  $Ng$  и  $Nm$  — желтый,  $Np$  — бесцветный.

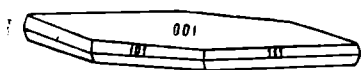


Рис. 47. Тюямунит

Рентгенометрическое изучение. Для тюямунита из Техаса установлена более простая кристаллическая структура в сравнении с карнотитом и сенжеритом (см. табл. 2.).

Химический состав. Для тюямунита имеется шесть полных химических анализов из различных месторождений. В табл. 87 приводятся данные одного из них. Для метатюямунита анализы не опубликованы.

Химический сос

Образец, год анализа	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	CuO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Из уранованадиевого месторождения, 1925 г. . . . .	—	—	0,12	5,08	BaO 0,32	—
Колебание по 6 анализам . . . . .	0—0,20	0,17— 0,52	0—0,12	4,80— 7,55	0,10— 4,16	—0
Теоретический состав . . . . .	—	—	—	5,87	—	—

Экспериментальными исследованиями установлены способность тюямунита к ионному обмену, при котором кальций вытесняется калием, и цеолитный характер воды в минерале.

Диагностические признаки. Реакция на V. От сходного карнотита отличается отсутствием люминесценции.

Происхождение. Образуется в зоне выветривания осадочных месторождений в результате окисления первичных урановых и ванадиевых соединений. Весьма возможно, что тюямунит образуется также за счет карнотита в осадочных породах при воздействии на него вод, содержащих бикарбонат кальция. Экспериментальные исследования подтверждают возможность замещения калия кальцием.

Условия нахождения в природе и спутники. Тюямунит, как и карнотит, отлагается в трещинах и пустотах в известняках и песчаниках, обычно совместно с другими ванадатами. Он встречается в следующих ассоциациях: 1) с туранитом и редким ферганитом в виде пропластков и линз в палеозойских известняках и корочек на кальците рудного мрамора; 2) с карнотитом, шрёкингеритом, ураноталлитом, лимонитом, гипсом, образуя корочки и примазки на стенках трещин в палеогеновых известняках, иногда в порах известняка и на месте раковин породообразующих организмов; 3) с карнотитом и другими ванадатами в юрских песчаниках штата Юта; 4) в песчаниках плато Колорадо и Техас. Метатюямунит наблюдается в значительном количестве в районе Гренте в Нью-Мексико.



Практическое значение. Используется как второстепенный компонент карнотитовых руд. Поисковый признак на осадочные урано-ванадиевые месторождения.

**Раувит** (rauvite)  $\text{CaO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot 6\text{V}_2\text{O}_5 \cdot 20\text{H}_2\text{O}$ ? (возможно кальциевый уранил и ванадил поливанадиевой кислоты).

Образует землистые или порошковатые массы. Микросталлический. Цвет пурпурно-красный. Растворяется в разбавленных кислотах.

Оптические свойства. Анизотропный.  $N = 1,88 \pm 0,01$ .

Химический состав. Для раувита произведен один анализ нечистого минерала (табл. 88).

Диагностические признаки. Реакция на V. Среди других минералов группы ванадатов выделяется красным цветом.

Происхождение. Образуется в зоне выветривания осадочных урано-ванадиевых месторождений.

Условия нахождения в природе и спутники. Найден в Темпл Маунтенс (штат Юта) в цементе выветрелых асфальтовых песчаников в ассоциации с карнотитом и гевегтитом.

Распространение и изученность. Минерал очень редкий, почти не изучен. Формула приблизительная; твердость, уд. вес, люминесцентные и другие физические свойства не определялись. Отсутствует кристаллографическая характеристика.

Практического значения не имеет.

Таблица 87

тав туюмунита

$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{SiO}_2$	$\text{UO}_3$	$\text{V}_2\text{O}_5$	$\text{H}_2\text{O}$	Нераствори- мый остаток	Прочие	Сумма
0,86	—	56,07	18,92	17,53	0,31	—	99,21
1,87	0—3,9	53,71—	17,92—	6,83—	0—0,326	2,45	
—	—	63,09	21,00	17,53	—	—	100,00%
		59,96	19,06	15,11			

Таблица 88

Химический состав раувита

Образец, год анализа	CaO	MgO	$\text{UO}_3$	$\text{V}_2\text{O}_5$	$\text{V}_2\text{O}_4$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{H}_2\text{O}$	$\text{H}_2\text{O}^+$	Нераст- воримый остаток	$\text{SO}_3$	Сумма
Из песчаников Темпл Маун- тенс, штат Юта, 1914 . . .	2,00	0,12	20,82	36,33	2,05	2,39	7,77	5,61	24,06	0,13	101,28
Пересчитано на состав без нерастворимого остатка . .	2,68	—	27,92	48,71	2,75	—	17,95	—	—	—	100,01

**Карнотит** (carnotite)  $\text{K}_2(\text{UO}_2)_2[\text{VO}_4]_2 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = \text{K}_2\text{O} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ . Сингония ромбическая.

Наблюдается в порошковатых массах и налетах. Спайность совершенная по (001). Цвет яркожелтый или зеленовато-желтый. Непрозрачный. Блеск сильный на плоскостях спайности перламутровый. Хрупкий. Твердость 2—2,5. Уд. вес 4,46. Люминесценция очень слабая грязножелтовато-зеленая (тип уранофана). Растворяется в разбавленных кислотах.

Оптические свойства. Двуосный, отрицательный.  $2V = 50^\circ \pm 2^\circ$  (иногда 39—44°).  $N_g = 1,950$ —2,08;  $N_m = 1,925$ —2,04;  $N_p = 1,750$ ;  $N_g - N_p = 0,20$ . Плеохроизм:  $N_g$  и  $N_m$  лимонно-желтый,  $N_p$  — серовато-желтый. На спайных плоскостях плеохроизм не наблюдается.

**Рентгенометрическое изучение.** Для карнотита из Колорадо получена порошковая диаграмма отличная от других ванадатов (см. табл. 2).

**Химический состав.** Для карнотита имеется четыре полных химических анализа из разных месторождений, результаты этих анализов весьма близки по значению окислов (табл. 89). Экспериментально доказана способность к катионному обмену в карнотите калия на кальций. Возраст карнотита из штата Юта — 42 млн. лет, а карнотита из Западной Австралии — 240 млн. лет.

**Диагностические признаки.** Реакция на V. От других ванадатов отличается типичной люминесценцией. Кроме того, в штуде при действии HCl становится яркокрасным без добавления H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>.

**Происхождение.** Карнотит, как установлено геолого-разведочными работами последних лет, образуется в зоне выветривания осадочных месторождений при окислении урановых окислов и железо-ванадиевых сульфидов.

**Условия нахождения в природе, распространение, спутники.** Карнотит является наиболее распространенным уранованадатом, почти полностью представляя урановую минерализацию в верхних горизонтах осадочных месторождений выше зоны черней. Образует тонкую вкрапленность, небольшие прожилки, корочки и примазки по трещинам в известняках или песчаниках, иногда пропитывает пористые породы, замещает раковины породообразующих организмов, остатки стволов деревьев, кальцит, гипс, цемент песчаника. Отмечается во многих месторождениях преимущественно мезозойского или палеогенового возраста (месторождения плато Колорадо, штат Юта, штат Аризона и др.). Известен также в более древних отложениях (Радиум Хилл в Австралии).

Типичны ассоциации: 1) тюямунит, ураноталлит, шрёкингерит, гидроокислы железа, гипса и на более глубоких горизонтах — настуран, урановая чернь, железо-ванадиевый сульфид; 2) гевеллит, фольбортит, пинтадоит, кентемитит, роскоэлит.

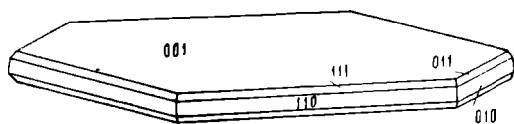


Рис. 48. Сенджерит

**Изученность.** Карнотит имеет достаточно определенную химико-минералогическую и геологическую характеристику; без труда определяется.

**Практическое значение.** Промышленная руда на уран и ванадий.

**Сенджерит (sengierite)**  $\text{Cu}_2(\text{UO}_2)_2[\text{VO}_4]_2 [\text{OH}]_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O} = 2\text{CuO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot \text{V}_2\text{O}_5 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ . Описан Ваесом и Керром в 1949 г. Сингония ромбическая.

Встречается в виде мелких плоских по [001] кристалликов. Развиты формы (001), (111), (010), (110), (331) и (441). Угол между гранями (110) : (110) 74°37', (001) : (111) 50°40' (рис. 48). Спайность совершенная (001). Цвет зеленый. Блеск стеклянный. Твердость 2,5. Уд. вес около 4. Легко растворяется в кислотах (даже в разбавленной HCl). В концентрированной HCl вокруг зерен сенджерита образуется бурое кольцо (от ванадия). Не люминесцирует.

**Оптические свойства.** Отрицательный, двуосный.  $2V$  37—39°. Дисперсия сильная,  $r < v$ ;  $Ng = 1,97$ ;  $Nm = 1,94$ ;  $Np = 1,74$ ;  $Ng - Np = 0,23$ . Плеохроизм ясный:  $Ng$  — желто-зеленый до бесцветного,  $Nm$  — оливково-зеленый;  $Np$  — синеваато-зеленый.  $Ng = a$ ;  $Np = c$ .

**Рентгенометрическое изучение.** По структуре отличается от карнотита и тюямунита (табл. 2).

**Химический состав** сенджерита приведен в табл. 90.

При нагревании сенджерит теряет воду: до 100° — 2,5 молекулы, при

300°—6,5 молекул, при прокаливании остальную. После двух дней лежания на воздухе вновь впитывает 6 молекул воды.

**Диагностические признаки.** Реакция на V и Cu. От других ванадатов сенджерит отличается зеленым цветом (при-сутствие Cu).

Происхождение, условия на-хождения и спутники. Минерал гипергенный. Найден в Катанге (Бельгийское Конго), в трещинах хлорито-талковых сланцев, содержащих сульфиды и окислы железа и меди, а также настуран и некото-рые ванадиевые, кобальтовые и никелевые минералы.

Распространение, изучен-ность. Минерал редкий. Требуется уточне-ния. Представляет несомненный минерало-гический интерес как единственный медно-урановый ванадат.

### 5. СИЛИКАТЫ

Среди силикатов урана выделяются две резко отличные группы минералов: а) сили-каты шестивалентного урана (уранил-сили-каты) — соддиит, склодовскит, уранофан, β-уранофан, купросклодовскит, казолит, ор-лит и б) силикаты тория и урана — уранот-рит, майтландит, макинтошит, николаит, пильбарит, ненадкевит.

Силикаты шестивалентного урана в структурном отношении не изучены. В боль-шей части они рассматриваются в литерату-ре как водные двойные силикаты, отвечаю-щие общей формуле  $R(UO_2)_2Si_2O_7 \cdot nH_2O$ . В общей классификации минералов А. Г. Бе-техтин (1950) расшифровывает силикаты шестивалентного урана как силикаты с изо-лированными тетраэдрами в кристаллической структуре:  $RU_2[SiO_4]_2[OH]_6 \cdot nH_2O$ . В клас-сификации Frondel I. a. Fleischer M. (1955) большинство силикатов дается с формулой  $R(UO_2)_2(SiO_3)_2(OH)_2 \cdot nH_2O$ .

Силикаты шестивалентного урана обра-зуются в зоне окисления гидротермальных, пегматитовых и изредка осадочных место-рождений: склодовскит, уранофан и купро-склодовскит — в нейтральной среде при сульфатном процессе окисления настурана, сопутствуя фосфатам и арсенатам урана, а соддиит, β-ураногил, казолит, орлит — в по-следнюю стадию разрушения первичных окислов в щелочной среде, выделяясь после гидроокислов шестивалентного урана. Мине-ралы первой из указанных ассоциаций, осо-бенно уранофан, используются при поисках гидротермальных жил, соддиит и другие

Таблица 89

Химический состав карнитита

Образец, год. анализ	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	MgO	CaO	SiO <sub>2</sub>	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Нераст-воримый остаток	Сумма
Из песчаников Темпл. Маунтенс, штат Юта, 1924 . . . . .	10,00	0,16	0,30	0,66	0,07	(0,8)	—	0,55	62,26	20,57	4,90	0,26	0,04	99,77
Коллобание по 4 анализам . . . . .	9,58—	0—	0—	0—	0—	0—	0—	0,04—	62,26—	19,95—	1,35—	0—	0—	—
Теоретический состав . . . . .	11,16	0,35	0,30	0,67	0,07	(0,8)	0,16	0,96	65,62	21,12	5,19	0,26	0,32	100,00
	10,44	—	—	—	—	—	—	—	63,41	20,16	5,99	—	—	—

минералы второй ассоциации в комплексе с гидроокислами иногда образуют скопления промышленных руд на месте первоначального залегания настурана.

Таблица 90

Химический состав сенджерита

Образец, год анализа	CuO	(Fe, Al) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	Сумма
Из медно-уранового месторождения, Катанга (Бельгийское Конго), 1949 . . . . .	14,82	1,43	47,45	15,96	11,83	3,94	95,45
Пересчитано на 100% . . . . .	15,77	—	50,47	16,98	16,78	—	100
Теоретический состав . . . . .	14,55	—	52,33	16,64	16,48	—	100

Тороураносиликаты содержат, как правило, четырехвалентный уран, изоморфно замещающий торий. Шестивалентный уран в николайите и других минералах, по всей вероятности, является результатом окисления четырехвалентного урана. Тороураносиликаты вместе с другими минералами редких элементов образуются в пегматитовых жилах и грейзенах.

Практического значения, как правило, не имеют. За исключением ураноторита и ненадkevита, эти минералы изучены крайне слабо.

### а) Силикаты урана

**Соддиит** (soddyite) 1.  $(UO_2)_5[SiO_4]_2[OH]_2 \cdot 5H_2O = 5UO_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 6H_2O$  (по Верри) 2.  $12UO_3 \cdot 5SiO_2 \cdot 14H_2O$  (по Скупу). Впервые описан Скупом в 1922 г. Сингония ромбическая.

Бипирамидальные, призматические кристаллы. Наиболее развитые формы (001) и (111), встречались (113) и (114). По (111) — штриховка параллельно пинакoidу (001) (рис. 49). Образует мелкозернистые скрытокристаллические землистые массы, большей частью в прорастании с кюритом радиально-лучистые скопления, одиночные идиоморфные кристаллы. Цвет медово-желтый (для прозрачных разновидностей), канареечно-желтый (для непрозрачных) и желтый с зеленоватым оттенком (для землистых). Блеск стеклянный до матового. Твердость 3—4. Уд. вес. 4,627 (кристаллы) и 3,605 (плотные массы). Люминесценция слабая, желтовато-бурая (тип соддиита). Разлагается в HCl с выделением геля кремнезема.

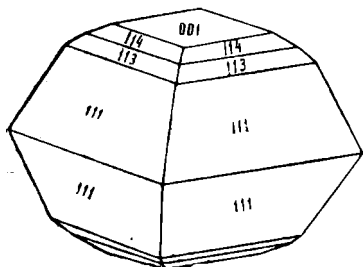


Рис. 49. Соддиит

Оптические свойства. Двусный, положительный и отрицательный.  $2V = 84^\circ$ . Плоскость оптических осей (010). Острая бисектриса  $\perp$  (100). Дисперсия,  $r < v$ , по Горману (1952) сильная,  $r > v$ .  $N_g = 1,712$  (одно измерение)  $N_m = 1,662—1,685$  и  $N_p = 1,645—1,650$ . Плеохроизм отсутствует или слабый:  $N_p$  — бесцветный,  $N_m$  — светло-желтый,  $N_r$  — светлый желтовато-зеленый. Плоскость оптических осей (010);  $N_g = a$ ,  $N_m = b$  и  $N_p = c$ .

Рентгенометрическое изучение. Для соддиита из Казоло в 1952 г. опубликованы порошкограммы (см. табл. 2). Кроме того, для землистой разновидности соддиита из карбонатно-сульфидного месторождения получена порошкограмма с едва заметными размытыми линиями.

Химический состав. Для соддиита произведены три полных химических анализа, результаты которых приведены в табл. 91. Формула (1) рассчитана на основании средних данных.

Таблица 91

Химический состав соддиита

Образец, год анализа	UO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из медно-уранового месторождения, Казоло, (скрытокристаллическая разность), 1922 . . . . .	85,53	7,86	} 6,12—6,35	
То же, (непрозрачные кристаллы), 1922 . . . . .	85,13	7,88		
То же, (прозрачные кристаллы), 1922 . . . . .	85,79	7,61	6,16	99,56
Среднее из приведенных анализов	85,87	7,87	6,26	
Теоретический состав для формулы (1) . . . . .	86,2	7,3	6,5	100,0

Кроме того, в 1948 г. произведен неполный химический анализ землистой разности соддиита с примесью отенита, алюмосиликатов и скородита из карбонатно-сульфатного месторождения. Результаты этого анализа следующие:

MgO	CaO	PbO	CuO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
0,40%	0,88%	1,34%	0,77%	2,39%	12,52%	0,96%
	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	UO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	
	4,82%	42,67%	8,91%	1,77%	13,67%	

Диагностические признаки. Реакция на SiO<sub>2</sub>. От других силикатов отличается характерной для него оранжевой люминесценцией.

Происхождение. Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений в слабо щелочной среде после гидроокислов урана.

Условия нахождения в природе и спутники. Соддиит встречен в медно-урановом месторождении Казоло (Катанга) в так называемой зоне оранжевых руд, где он чаще всего образует совместно с кюритом скрытокристаллическую однородную массу оранжевого цвета, псевдоморфно замещающую настуран; иногда мелкие кристаллики соддиита приурочены к выделениям кюрита и беккерелита, в ассоциации с которыми отлагается также фурмарьерит.

Совместно с казолитом, фосфуранилитом, торбернитом, гидроокислами железа и иногда отенитом, алюмосиликатами и скородитом соддиит зафиксирован в поверхностных участках карбонатно-сульфидного месторождения в виде скрытокристаллических землистых масс (см. табл. 91), выполняющих тонкие ветвящиеся прожилки, мощностью 20—30 мм.

Желтый плотный (при разрушении у поверхности — землистый) гидросиликат урана типа соддиита ( $N_p = 1,648$  и ниже) широко распространен в ряде урановых месторождений варисской рудной провинции. Минерал наблюдается в верхней части зоны окисления, где более или менее полно замещает ургит или непосредственно гидронастуран, который, в свою очередь, псевдоморфно развивается по настурану (рис. 50). Этот силикат, условно называемый силикатом типа соддиита, по трещинам (особенно у поверхности земли) разъедается уранофаном, иногда отенитом или ураноспинитом, поэтому его трудно выделить для точного определения. Постоянная примесь уранофана в этом минерале обуславливает слабую неравномерную люминесценцию, наличие CaO и линии уранофана на порошкограммах.

Распространение. Минерал, в частности его землистая разность (силикат типа соддиита), широко распространены в ряде место-

рождений, являясь главными компонентами промышленно ценных гидрокисно-силикатных руд в верхних частях гидротермальных жил.

**Склововскит** (sklodowskite)  $Mg(UO_2)_2Si_2O_7 \cdot 7H_2O = MgO \cdot 2UO_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 7H_2O$ . Синоним: шинколовбит. Сингония ромбическая. Кристаллы призматические, игольчатые (рис. 51). Наблюдались формы (100), (140), (110), (210) и (101). Образует друзы идиоморфных кристаллов, чаще радиальнолучистые, сферолитовые, иногда встречается в виде войлокоподобных агрегатов и плотных масс, а также в виде псевдоморфоз по настурану и ураниниту. Спайность совершенная по (100) и (110). Цвет желтый, лимонно-желтый. Блеск стеклянный. Прозрачный до просвечивающего. Хрупкий. Твердость 3. Уд. вес 3,54 (кристаллы) и 3,74 (сплошные массы). Люминесценция очень слабая, грязножелто-зеленая (тип уранофана). Разлагается в HCl с выделением студия кремнезема.

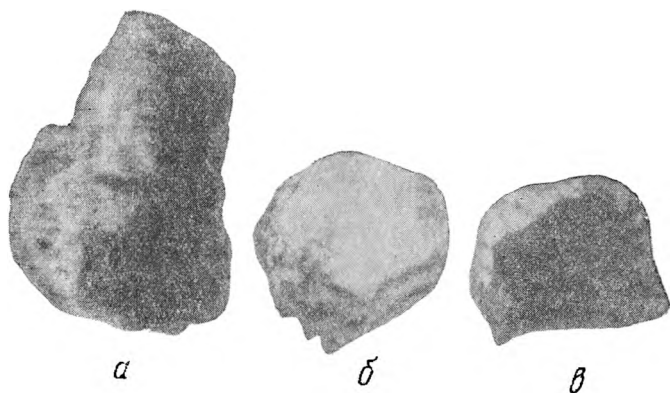


Рис. 50. Развитие силиката типа соднита по гидронастурану. Нат. вел.

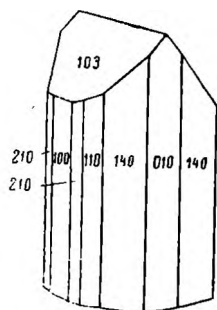


Рис. 51. Склововскит

**Оптические свойства.** Отрицательный, двуосный.  $2V$  большой. Плоскость оптических осей (001). Острая биссектриса (001). Дисперсия очень сильная,  $r > v$ .  $N_g = 1,646-1,657$ ;  $N_m = 1,635-1,642$  и  $N_p = 1,611-1,618$ . Плеохроизм:  $N_g$  — желтый,  $N_m$  — бледножелтый,  $N_p$  — бесцветный.  $N_m = c$ .

**Химический состав.** Имеются данные двух химических анализов склововскита из одного и того же месторождения (табл. 92).

Химический состав склововскита

Таблица 92

Образец, год анализа	MgO	PbO	NiO	CaO	SiO <sub>2</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MoO <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из медно-уранового месторождения Казоло, Катанга, 1924 . . . . .	3,74	R <sub>2</sub> O 1,97	0,20	—	14,28	1,08	—	64,72	13,41	99,40
То же . . . . .	2,87	6,23	1,34	2,36	11,15	—	3,86	57,98	11,91	97,70
Теоретический состав . . . . .	4,7	—	—	—	14,0	—	—	66,6	14,7	100

При нагревании до 110° минерал теряет 1,23% воды, а при 450° полностью обезвоживается.

**Диагностические признаки.** Реакция на SiO<sub>2</sub>. Характерная люминесценция. От сходных силикатов-уранофана и β-уранофана отличается меньшими показателями преломления и реакцией на Mg.

**Происхождение.** Образуется в зоне окисления гидротермальных и осадочно-метаморфогенных(?) месторождений.

**Условия нахождения и спутники.** Склодовскит встречается в зоне окисления медно-уранового месторождения Казоло (Катанга) совместно с уранофаном в виде друз, корочек и налетов в пустотках и трещинах вмещающих пород; также он обнаружен в прожилках, совместно с кюритом и соддиитом. Отмечены псевдоморфозы этого минерала по настурану и ураниниту.

**Магний-урановый силикат,** содержащий в своем составе кальций, идентичный по физическим свойствам склодовскиту из Катанги, зафиксирован в поверхностных участках уранового месторождения осадочно-метаморфогенного(?) генезиса, где совместно с цейнеритом образует корочки по трещинам отдельности метаморфических пород, содержащих в цементе урановую чернь и настуран.

**Распространение и изученность.** Минерал редкий. Вероятно, нередко его без соответствующей проверки принимают за уранофан.

**Практическое значение.** Может служить поисковым признаком на первичные месторождения урана.

**Уранофан** (uranophane)  $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \text{CaO} \cdot 2\text{UO}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Впервые описан в 1870 г. Синонимы: уранотил, ламбертит. Сингония ромбическая.

Кристаллы игольчатые или призматические, обычно бедные гранями. Наиболее распространены формы (110), (100), (010), значительно реже (001). Спайность по (110). Образует тонкоигольчатые, иногда почковидные, волокнистые и радиальнолучистые агрегаты, изредка псевдоморфозы по  $\beta$ -уранофану. Цвет желтый, соломенно-желтый. Прозрачен. Блеск стеклянный. Твердость 2—3. Уд. вес 3,81—3,96. Люминесценция очень слабая грязножелтовато-зеленая (тип уранофана). Разлагается в HCl с выделением студня кремнезема.

**Оптические свойства.** Отрицательный, двуосный.  $2V = 32—45^\circ$ . Дисперсия сильная,  $r > v$ ;  $N_g = 1,666—1,676$ ;  $N_m = 1,661—1,670$  и  $N_p = 1,640—1,650$ ,  $N_g - N_m = 0,022—0,026$ . Плеохроизм ясный:  $N_g$  — яркожелтый,  $N_m$  — бледножелтый,  $N_p$  — почти бесцветный. Аномальная интерференционная окраска в синих тонах. Удлинение положительное. Погасание  $N_g : c = 4^\circ$ ,  $N_g$  параллельна удлинению,  $N_p \perp (110)$ .

**Рентгенометрическое изучение.** По значению межплоскостных расстояний порошкограммы уранофана из свинцово-уранового и уранового месторождений и  $\beta$ -уранофана одинаковы, но интенсивность линий различна (см. табл. 2).

**Химический состав.** В литературе известно девять химических анализов уранофана из семи месторождений.

В табл. 93 приводятся данные двух типичных химических анализов этого минерала.

**Диагностические признаки.** Реакция на  $\text{SiO}_2$ . Характерная люминесценция. От сходных силикатов  $\beta$ -уранотила и склодовскита отличается только по оптическим данным: от первого — малым углом погасания, от второго — более высокими показателями преломления.

**Происхождение.** Чаще всего уранофан образуется в зоне окисления гидротермальных, иногда пегматитовых и осадочных месторождений. Помимо непосредственного отложения из урансодержащих гипергенных растворов, уранофан образуется в результате разрушения  $\beta$ -уранофана, а также силиката типа соддиита.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Уранофан в гидротермальных месторождениях располагается непосредственно у дневной поверхности, выше зоны развития отенита или ураногидратов (месторождения урановые, свинцово-урановые) или же просле-

## Химический состав уранофана

Образец год анализа	CaO	MgO	PbO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> + Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	П.п.п.	Сумма
Из урано-ванадиевого месторождения 1950	6,16	—	—	0,70	64,75	14,22	—	8,95	5,77	100,55
Из флюоритового месторождения Вельсендорф /Бавария/, 1870	5,27	—	—	0,51	66,75	13,78	0,45	12,67	—	99,43
Колебания по 9 анализам	5,05— 7,50	0— 0,48	0— 3,58	0— 3,03	63,93— 67,2	11,90— 14,22	0— 0,60	8,95— 14,55	0— 6,10	
Теоретический состав	6,55	—	—	—	66,81	14,02	—	12,62	—	100%

живается по всему разрезу зоны окисления (месторождения урановые, медно-урановые в Катанге, молибден-вольфрамовое, серебро-урановое у Большого Медвежьего озера, железо-урановое, кобальт-никель-урановое и др.). В первом случае характерна ассоциация уранофана с отенитом, гидроокислами железа и марганца, вторичным кальцитом, гяалитом, β-уранофаном, иногда казолитом, свинцово-урановыми фосфатами, торбернитом и силикатом типа соддиита. Во втором случае на более глубоких горизонтах зоны окисления уранофан располагается вблизи настурана и ассоциирует с трёгеритом, цейнеритом, ураносферитом, ураноспиритом, вальпуритом, торбернитом или с беккерелитом, скупитом, циппейтом, кюрином и соддиитом.

Встречается уранофан преимущественно по стенкам трещин и пустот вмещающих пород в виде корочек, пленок и примазок. Иногда он псевдоморфно замещает β-уранофан, разъедает отенит и землистый силикат типа соддиита.

В зоне окисления пегматитовых жил уранофан найден совместно с кюрином, соддиитом, отенитом и торбернитом в трещинах вмещающих кварцево-биотито-гранатовых пород.

Среди осадочных месторождений уранофан известен в урано-ванадиевом и буроугольном месторождениях. В первом он совместно с гидроокислами железа встречен в виде тонких корочек по трещинам известняков, выделяющимся одним из последних среди гипергенных минералов урана. В буроугольном месторождении уранофан в виде лучистых тонкоигльчатых агрегатов зафиксирован в небольших количествах совместно с кальцитом и шрёкингеритом.

Распространение и изученность. Уранофан является широко распространенным урановым минералом, изучен относительно полно и определяется без труда. Получен искусственно при pH = 7.

Практическое значение. Поисковый признак на гидротермальные жилы с урановым оруденением. Иногда является рудой на уран.

**β-уранофан** (β-uranophane) Ca(UO<sub>2</sub>)<sub>2</sub> Si<sub>2</sub>O<sub>7</sub> · 6H<sub>2</sub>O = CaO · 2UO<sub>3</sub> · 2SiO<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O. Синоним: β-уранотил, бетауранотил. Впервые выделен как полиморфная разность уранофана (α-уранотил) в 1931 г. Скупом и Шольцем. Подробное описание Р. Новачеком в 1935 г. Сингония моноклинная.

Призматические, игльчатые и реже таблитчатые по {010}, иногда зональные кристаллы. Наиболее развиты формы (010), (100) (рис. 52). Характерны двойники прорастания по (100) (рис. 53).



Образует игольчатые, радиально-лучистые, звездчатые агрегаты. Иногда псевдоморфозы по гидроокислам урана. Спайность совершенная (по 010). Цвет лимонно-желтый, оранжево-желтый. Блеск стеклянный, иногда матовый. Твердость(?). Уд. вес 3,95—4,08. Люминесценция очень слабая грязно-желтовато-зеленая (тип уранофана). Разлагается в HCl с выделением студня кремнезема.

Оптические свойства. Двусный, отрицательный,  $2V = 60—65^\circ$ . Дисперсия очень сильная перекашенная,  $r \approx v$ . У зональных кристаллов оптические константы изменяются от центра к периферии:  $N_g = 1,685—1,704$ ,  $N_m = 1,680—1,695$ ,  $N_p = 1,656—1,676$ . Плеохроизм сильный:  $N_g$  и  $N_m$  — лимонно-желтый,  $N_p$  — бесцветный или бледножелтый. Наблюдаются аномальные интерференционные цвета.  $N_p \perp (010)$ .

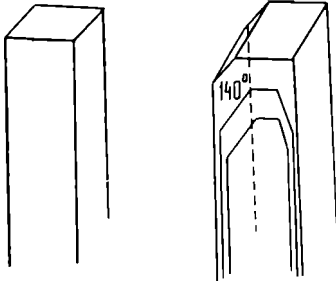


Рис. 52. Кристаллы β-уранофана

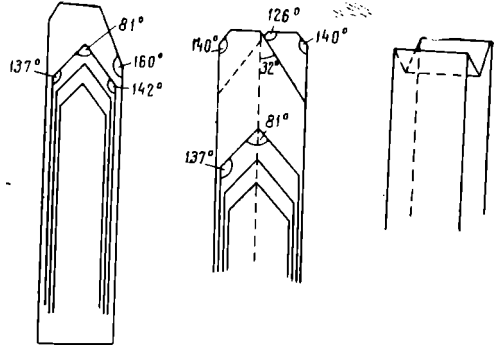


Рис. 53. Двойники β-уранофана

Погасание  $N_g : c = 44—48^\circ$  (зоны с наибольшим показателем преломления) и  $52—57^\circ$  (зоны с наименьшим показателем преломления).

Рентгенометрическое изучение. Порошкограммы, полученные для двух разновидностей (призматического и тонкоигльчатого) β-уранофана, указывают на почти полную идентичность их кристаллических решеток и сходство межплоскостных расстояний с уранофаном (см. табл. 2).

Химический состав. β-уранофан из трех месторождений охарактеризован четырьмя химическими анализами, согласно которым состав этого минерала аналогичен составу уранофана. В табл. 94 приводятся результаты двух из этих анализов β-уранофана.

Таблица 94

Химический состав β-уранофана

Образец, год анализа	CaO	MgO	PbO	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>±</sup>	Сумма
Из уран-висмут-никель-кобальтового месторождения, 1939	7,32	—	—	—	13,11	66,29	—	—	12,87	99,59
Из уранового месторождения, 1951 . . .	7,34	0,52	0,53	0,32	13,34	64,84	0,55	0,47	5,69(H <sub>2</sub> O <sup>+</sup> ) 5,48(H <sub>2</sub> O <sup>-</sup> )	99,08
Колебания по 4 анализам . . . . .	7,1— 7,34	0— 0,52	0— 0,53	0— 0,32	12,9— 13,88	66,59— 66,9	0— 0,55	0— 0,47	11,17— 12,87	—
Теоретический состав	6,55	—	—	4,02	14,02	66,81	—	—	12,62	100

$\beta$ -уранофан при нагревании до  $110^\circ$  выделяет 5,48%, воды при  $200^\circ$  — 1,87%,  $300^\circ$  — 2,47% и  $1000^\circ$  — 1,33%, т. е. часть ее имеет конституционный характер.

Радиоактивное равновесие. Коэффициент равновесия  $\beta$ -уранофана одного уранового месторождения 90,4 и 84,1%.

Диагностические признаки. При растворении в HCl дает студень  $\text{SiO}_2$ . Очень слабая грязножелтовато-зеленая люминесценция. От сходных силикатов уранофана и склодовскита отличается только по оптическим данным — более высокими показателями преломления ( $N_g = 1,685$ — $1,704$ ), кроме того, от уранофана — косым погасанием ( $44$ — $58^\circ$ ).

Происхождение. Образуется: а) в зоне окисления гидротермальных, редко пегматитовых месторождений, в результате окисления настурана сульфатными водами, из которых он выпадает после нейтрализации их в поверхностных условиях, и б) окисления и гидратации настурана (или уранинита) щелочными водами в процессе перехода растворов в нейтральные.

Условия нахождения в природе и спутники.  $\beta$ -уранофан развит в зоне окисления гидротермальных месторождений преимущественно с сульфатным режимом выветривания в самой верхней части разреза — непосредственно у дневной поверхности. Встречается вместе с купросклодовскитом, уранофаном, отенитом, урансодержащим гиалитом, галлуазитом, гидроокислами железа и марганца, в виде корочек, пленок и налетов по стенкам трещин и пустот вмещающих пород (уран-серебро-висмут-никель-кобальтовое, свинцово-урановое, касситеритовое, вольфрамовое месторождения). Реже  $\beta$ -уранофан распространен по всему вертикальному разрезу зоны окисления, развивающейся в щелочной среде, где он образует самостоятельные прожилки определенной системы на месте настурана, псевдоморфно замещает гидроокислы или дает скопления в пустотах флюорита вблизи выделений настурана. В этом случае спутниками  $\beta$ -уранофана являются: гидронастуран, беккерелит, скупит, кюрит и другие гидроокислы, марказит, пирит, остаточный лимонит, пироморфит, англезит и др. (месторождение урановое в трахилипаритах и др.). В пегматитах  $\beta$ -уранофан зафиксирован на кварце и полевых шпатах в ряде жил, а также по трещинам в самарските (Неллор, Индия).

Распространение и изученность. Довольно распространенный урановый минерал, но обычно встречается в небольших количествах. Изучен достаточно хорошо, однако требуется сравнительное изучение кристаллической структуры  $\beta$ -уранофана и уранофана.

Практическое значение. Находки  $\beta$ -уранофана имеют главным образом поисковое значение.

**Купросклодовскит** (cuprosklodowskite)  $\text{Cu}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O} = \text{CuO} \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 2\text{UO}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ . Синоним — яхимовит. Впервые описан в 1933 г. Ваесом и более подробно (яхимовит) в 1935 г. Новачеком. Сингония ромбическая.

Игольчатые кристаллы. Наиболее часто развиты формы (110) и (100), редко — (010). Угол между гранями (110) и (031)  $69$ — $72^\circ$ . Образуется порошокватые, плотные, радиальнолучистые, почковидные скопления. Цвет бледнозеленый, фисташково-зеленый. Прозрачный до просвечивающего. Не люминесцирует. Разлагается HCl с выделением студня кремнезема.

Оптические свойства. Отрицательный, двуосный. Дисперсия сильная,  $r > v$ ;  $N_g = N_m = 1,664$ — $1,667$ ;  $N_p = 1,654$ — $1,665$ . Плеохроизм ясный:  $N_g$  и  $N_m$  — зеленовато-желтый,  $N_p$  — бесцветный. Удлинение положительное, погасание прямое. Наблюдаются аномальные интерференционные цвета.

Химический состав. Для минерала известны три близких по полученным результатам химических анализа; данные приведены в табл. 95.

Таблица 95

Химический состав купроскладовскита

Образец, год анализа	CuO	PbO	UO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из медно-уранового месторождения, Колонгве, Бельгийское Конго, 1933 . . . . .	9,00	—	64,70	Следы	14,14	12,10	100,20
Колесание по 3 анализам	8,99—	0—	64,65—	0—	13,40—	11,72—	—
	9,07	0,13	64,96	следы	14,40	12,10	
Теоретический состав . .	9,04	—	65,03	—	13,65	12,28	100

Диагностические признаки. Реакция на SiO<sub>2</sub>. От других силикатов урана легко отличается зеленым цветом и реакцией на Си.

Происхождение. Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений.

Условия нахождения в природе, распространение и спутники. Минерал редкий. Вместе с хризоколлой, гидроокислами железа, β-уранофаном, ванденбрандеитом, малахитом образует корочки и налеты на стенках трещин и пустот вмещающих пород. Встречен вблизи земной поверхности в уран-висмут-никель-кобальтовом месторождении, в медно-урановом месторождении Колонгве (Бельгийское Конго) и др. Получен искусственно при pH=7,8.

Находки купроскладовскита имеют минералогический интерес.

**Казолит** (kasolite)  $Pb(UO_2)SiO_4 \cdot nH_2O = PbO \cdot UO_3 \cdot SiO_2 \cdot nH_2O$ ;  $n = 1-1,6$ . Впервые описан Скупом в 1921 г. Сингония моноклинная. Кристаллы призматические, размером до 2 мм, иногда игольчатые до — 0,5—1,2 см длины, вытянуты по оси *b*. Наиболее развиты формы (001), (100), (110), (111), реже наблюдаются (201), и (401) (рис. 54). Встречается в радиально- и шарообразнолучистых, волокнистых, звездчатых, нередко плотных скрытокристаллических, а также порошковатых агрегатах. Слайность совершенная по (001), несовершенная по (100) и по (010). Цвет буро-желтый, охряно-желтый, янтарно-желтый. Просвечивает до непрозрачного. Блеск сильный, стекляный. Твердость 4—5. Уд. вес 5,81—5,96. Люминесценция отсутствует. Разлагается разбавленной HCl с выделением студня кремнезема.

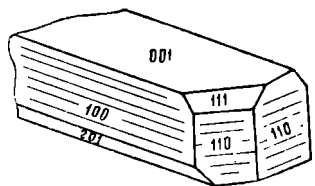


Рис. 54. Казолит

Оптические свойства. Положительный, двуосный. Плоскость оптических осей (100),  $2V = 35-40^\circ$ .  $N_g = 1,950 (> 1,950)$ ;  $N_m = 1,880-1,910$ ;  $N_p = 1,850-1,895$ ;  $N_g - N_p = 0,055$ .  $N_g = c$ ,  $N_p = b$ . Плеохроизм отсутствует. Удлинение отрицательное. Погасание по отношению к удлинению кристаллов. прямое.

Рентгенометрическое изучение. Наблюдаются некоторые различия в межплоскостных расстояниях и интенсивности линий на порошкограммах казолита из различных месторождений и даже для двух генераций казолита из одного и того же месторождения (см. табл. 2).

Химический состав. Известно пять химических анализов казолита из нескольких месторождений. По данным наиболее ранних анализов казолита, из месторождения Казоло выведена его формула

$PbO \cdot UO_3 \cdot SiO_2 \cdot H_2O$ ; казолит первой генерации из свинцово-уранового месторождения имеет формулу  $2PbO \cdot 2UO_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 3H_2O$ , а казолит второй генерации —  $3PbO \cdot 3UO_3 \cdot 3SiO_2 \cdot 5H_2O$ . Эти формулы указывают на содержание в минерале соответственно 1,5 и 1,6 молекул  $H_2O$ . В табл. 96 приведены результаты двух полных анализов.

Таблица 96

## Химический состав казолита

Образец, год анализа	MgO	CaO	PbO	CuO	$\frac{Fe_2O_3}{Al_2O_3}$	UO <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	Сумма
Из зоны оранжевых руд месторождения Казоло, Катанга Бельгийское Конго, 1930	0,03	0,06	36,20	—	0,41	49,28	9,42	—	—	0,85	3,59	99,84
Из свинцово-уранового месторождения, 1948	0,01	0,56	40,50	—	—	44,96	9,68	0,10	—	—	4,96	100,86
Колебание по 5 анализам	0 — 0,29	Следы 0,56	34,44 — 40,50	0 — 0,05	0 — 1,21	44,96 — 49,50	9,04 — 10,62	0 — 0,32	0 — 0,53	0 — 0,85	3,59 — 5,37	—
Теоретический состав при одной молекуле H <sub>2</sub> O	—	—	38,0	—	—	48,70	10,23	—	—	—	3,07	100%

Радиоактивное равновесие. Коэффициент радиоактивного равновесия для минерала первой генерации из свинцово-уранового месторождения, 66,84%, а для минерала второй генерации того же месторождения 55%.

Диагностические признаки. Реакция на SiO<sub>2</sub>. Отсутствие люминесценции. От других силикатов, кроме орлита, отличается реакцией на Pb, уд. весом (> 5) и исключительно высоким светопреломлением. От орлита практически неотличим.

Происхождение. Минерал образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений.

Условия нахождения в природе и спутники. Встречается на различных горизонтах зоны окисления ряда гидротермальных месторождений, иногда прослеживается от самой поверхности до зоны развития урановых черней. Образует корочки, друзовые скопления и тонкие налеты на вмещающих породах и более ранних силикатах — кюрите и β-уранофане; известен в прорастании с соддиитом, кюритом и уранофаном. В приповерхностных участках месторождений казолит ассоциирует с различными ураноарсенатами, уранофосфатами, уранофаном, орлитом, гялитом, гидроокислами железа и марганца, гидроалюмосиликатом, вульфенитом, метагаллуазитом. В глубоких частях зоны окисления встречается совместно с соддиитом, кюритом, орлитом и β-уранофаном. Казолит особенно характерен для месторождения Казоло, Катанга (Бельгийское Конго), где он наблюдается в зоне развития гидроокислов урана — в так называемой зоне оранжевых руд, также для свинцово-уранового месторождения, в котором минерал встречается в кристаллах двух генераций, от земной поверхности до глубоких подземных выработок.

Распространение и изученность. Казолит является широко распространенным силикатом урана, встречается реже уранофана, но в значительно больших количествах. Получен искусственно при

$pH = 6,6$ . Изучен достаточно хорошо, диагностика его не вызывает затруднений.

**Практическое значение.** Представляет интерес как поисковый признак на гидротермальное урановое оруденение и является одним из главных компонентов окисленных руд урана.

**Орлит**  $Pb_3(UO_2)_3[Si_2O_7]_2 \cdot 6H_2O = 3PbO \cdot 3UO_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 6H_2O$ . Открыт В. Г. Мелковым и А. М. Сергеевой в 1951 г. Сингония не установлена.

Игольчатые кристаллы размером несколько десятых долей миллиметра. Характер граней не установлен. Агрегаты радиальнолучистые. Цвет светлый кремово-желтый. Кристаллы непрозрачны. Блеск восковой. Хрупкий. Твердость (?). Уд. вес 5,307. Люминесценция отсутствует. Легко разлагается кислотами, разбавленной HCl разлагается с выделением студня  $SiO_2$ .

**Оптические свойства.** Двуосный.  $Ng = 1,793(?)$ ,  $Nm = 1,788$ . В проходящем свете желто-бурый. Удлинение отрицательное. Погасание прямое.

**Рентгенометрическое изучение.** Порошкограмма указывает на некоторые различия в структурах орлита и казолита (см. табл. 2).

**Химический состав.** Ниже приводится химический состав орлита из уранового месторождения по данным микроанализа 1952 г.

MgO	CaO	BeO	PbO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>
0,84%;	0,76%;	0,22%;	32,44;	0,80%;	2,54%;	43,57%;
SiO <sub>2</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Нерастворимый остаток		Сумма
12,08%;	0,25%;	0,65%;	5,22%;	1,44%;		99,37%;

При нагревании до 110° выделяется 2,97% воды, при 200° — 1,11%, при 300° — 0,85%, при 1000° — 0,29%. Спектральный анализ орлита, кроме отмеченных выше элементов, показал присутствие примеси меди.

**Диагностические признаки.** Реакция на  $SiO_2$ , Pb, отсутствие люминесценции, очень высокое светопреломление. От сходного казолита практически неотличим.

**Происхождение.** Образуется в зоне окисления гидротермальных месторождений.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Орлит совместно с казолитом образует крупные скопления в верхних частях жил уранового месторождения, расположенного в массиве липаритов. Прослежен в вертикальном разрезе от дневной поверхности до глубины около 180 м. Обычно он образует тонкие (десятые доли миллиметра) прожилки и корочки или небольшие радиальнолучистого строения агрегаты в гидроалюмосиликатах. Часто изолированные агрегаты орлита сферической формы концентрируются на  $\beta$ -уранофане. Иногда на орлите отлагается уранофан, нередко замещающая его.

**Распространение и изученность.** Минерал новый, обнаружен только в одном месторождении, требует дальнейшего изучения.

**Практическое значение.** Руда на уран.

## б) Силикаты урана и тория

**Ураноторит**  $(Th, U)SiO_4 \cdot nH_2O$ ;  $n = 1-1,5$ . Разновидность торита, также, повидимому, ферриторита и ауэрлита, содержащая много урана (по имеющимся анализам 5,7—14,6% U). Сингония тетрагональная. Изоструктурен с цирконом.

Кристаллы, как у торита, тетрагонально призматические, дипирамидальные длиной до 1 см (по оси  $c$ ). Хорошо развиты грани (110), (010)

и (111). Встречается в виде вкрапленников, представленных, как правило, хорошо образованными кристаллами, реже сростками. Спайность неясная по призме. Цвет черный; у разностей, загрязненных примесью железа — красноватый, в тонких осколках — буроватый, зеленый. Цвет черты буровато-серый. Блеск стеклянный до смоляного. Твердость 4,5—5. Уд. вес 3,9—4,5 до 6,7. Разлагается HCl с выделением студня кремнезема. Электромагнитен.

Оптические свойства. В большинстве случаев метамиктный, вследствие чего изотропный.  $N = 1,680—1,870$ . После прокаливания  $N > 1,786—2,01$ .

Рентгеноструктурное изучение. Для ураноторита в 1951 г. получена лауэграмма, указывающая на полное сходство его структуры со структурой циркона. После прокаливания этого минерала структура его не изменяется. Ураноториты из других месторождений в большинстве случаев метамиктны (изотропизированы), после прокаливании некоторые из них дают гранецентрированную кубическую решетку, близкую к таковой торанита.

Химический состав. Ураноторит из различных месторождений охарактеризован семью полными и несколькими неполными анализами. В табл. 97 даны результаты по двум из этих анализов.

Химический состав ураноторита

Образец, год анализа	MgO	CaO	PbO	MnO	FeO	F <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	(Y, Ce) <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
Из пегматита Гиллеспай, Новая Зеландия, 1951 . . . . .	0,3	0,3	—	—	—	2,3	—	1,1
Из пегматита Хибла, Онтарио, 1927 . . . . .	<0,01	4,38	1,32	0,07	0,43	0,75	0,13	0,44
Колебание по 7 анализам . . . . .	<0,01— 0,41	0,17— 4,38	0,52— 1,70	0,04— 0,61	0— 0,43	0,75— 13,71	0,09— 2,83	0,44— 3,30

Возраст ураноторита из месторождений Норвегии 300—430 млн. лет.

Диагностические признаки. Ураноторит от сходных черных тороураносиликатов—макинтошита и майтландита отличается весьма условно электромагнитностью и в некоторых случаях дипирамидальным обликом. От алданита — обликом кристаллов и реакцией с HCl.

Для выделения ураноторита среди обычных торитов необходимо количественное определение урана.

Происхождение. Образуется в пегматитовых жилах, пневматолитовых месторождениях, грейзенах. Иногда накапливается в россыпях.

Условия нахождения в природе и спутники. Известен в полях гранитных пегматитов Норвегии, Канады, Мадагаскара и др., где развит в виде одиночных кристаллов совместно с бетафитом и малаконом на кварце и полево шпате. Кроме того, встречен в грейзенах с флюоритом и вторичными минералами урана, а также (ауэрлит, содержащий до 5,7% U) в пневматолитовом месторождении ураноториевых

руд совместно с ферриторитом, монацитом и пироксолом. Зафиксирован в пневматолит-гидротермальных жилах, связанных со щелочными породами.

Распространение, изученность. Минерал относительно редкий, хотя и является наиболее распространенным среди тороураносиликатов. Требуется установление более четких критериев для выделения его в ряду торита, в частности по содержанию урана.

Практического значения не имеет, так как не образует промышленных концентраций.

**Майтландит** (maitlandite)  $(Pb, Ca)_2Th_3U_4^{4+}Si_8O_{32} \cdot 23H_2O = 2(Pb, Ca)O \cdot 3ThO_2 \cdot 4UO_2 \cdot 8SiO_2 \cdot 23H_2O$ . Описан Симпсоном в 1912 г. как минерал, близкий к макинтошиту.

Аморфный — стекловатые массы. Характеризуется вкрапленным характером выделений. Цвет черный. Черта цветная. Блеск стеклянный до смоляного. Непрозрачный. Излом полураковистый. Твердость 4. Уд. вес 4,31—4,45. Разлагается горячей HCl с выделением студня и частично хлопьев кремнезема. Холодной HCl и кипящей H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> разлагается медленно. После прокаливания в кислотах не растворяется.

Оптические свойства. Изотропный.  $N = ?$ .

Таблица 97

ураноторита

SiO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	П. п. п.	Нераствори- мый остаток	Сумма
19,5	62,6	11,5	—	—	—	1,93	—	0,15	100
19,56	46,33	7,67	9,46	—	—	+H <sub>2</sub> O—3,57 +H <sub>2</sub> O+5,67	—	0,15	99,94
15,75— 19,58	43,61— 62,60	7,67— 11,5	9,46	7,43— 16,46	0— 0,93	1,02—0,83	7,10— 9,25	0,15— 3,41	—

Химический состав майтландита из пегматита Воджины (Западная Австралия) приводится ниже по данным анализа 1912 г.

MgO	CaO	FeO	MnO	PbO	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0,15%;	1,28%;	0,20%;	0,07%;	7,90%;	0,10%;	0,25%;
UO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	Ta <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Сумма
35,60%;	16,19%;	24,72%;	0,88%;	12,04%;	0,67%;	100,05%.

Кроме того, произведен неполный химический анализ майтландита из того же месторождения с близкими значениями основных окислов.

Симпсон отмечает, что часть урана входит в состав минерала в шестивалентной форме, кальций и одна часть свинца, по его предположению, относятся к примесям, а другая часть свинца, возможно, имеет радиогенное происхождение.

Возраст майтландита, вычисленный на основании данных приведенного анализа, 1257 млн. лет.

Диагностические признаки. Реакция на SiO<sub>2</sub> и Th. Ввиду слабой изученности других диагностических признаков не имеет.

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Найден в пегматитах Воджины (Западная Австралия) с николайитом, макинтошитом, альбитом, кварцем, слюдой, лепидолитом и касситеритом.

Распространенность и изученность. Минерал редкий, очень плохо изучен.

Практического значения не имеет.

**Макинтошит** (mackintoshite)  $(\text{Th}, \text{U})\text{SiO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$ ;  $\text{Th} : \text{U} = 3 : 1$  или  $2 : 1$ . Впервые найден в 1893 г. Сингония тетрагональная.

Призматические кристаллы в виде вкрапленников. Цвет черный. Черта цветная. Блеск слабый, стеклянный. Непрозрачный. Излом полураковистый до занозистого. Твердость 5—6. Уд. вес 5,44—5,45. Частично разлагается  $\text{HCl}$  с выделением студня кремнезема, в смеси  $\text{HNO}_3$  и  $\text{HCl}$  растворяется полностью.

Оптические свойства. Метамиктный, вследствие чего изотропизирован;  $N = 1,77$ .

Химический состав макинтошита из гадолинитового месторождения Льяно (штат Техас) приводится ниже по данным химического анализа 1893 г.

$(\text{Na}, \text{Li})_2\text{O}$ 0,68%;	$\text{K}_2\text{O}$ 0,42%;	$\text{MgO}$ 0,10%;	$\text{CaO}$ 1,59%;	$\text{FeO}$ 1,15%;	$\text{PbO}$ 3,74%;	$\text{Y}_2\text{O}_3$ 1,86%;	$\text{UO}_2$ 22,40%;
$\text{Ce}_2\text{O}_3 + \text{ThO}_2$ 45,30%;	$\text{ZrO}_2$ 0,88%;	$\text{SiO}_2$ 13,90%;	$\text{P}_2\text{O}_5$ 0,67%;	$\text{H}_2\text{O}^-$ 0,50%;	$\text{H}_2\text{O}^+$ 4,31%;	Сумма 96,50%.	

Предполагается, что свинец в макинтошите является продуктом радиоактивного распада, а часть урана находится в шестивалентной форме.

Диагностические признаки. Реакция на  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Th}$ . От светлых тороураносиликатов — николайита и пильбарита — макинтошит отличается черным цветом. Практически неотличим от ураноторита и майтландита.

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Найден в гадолининовом месторождении Льяно (Техас) в пегматитовых жилах с гадолинитом, циртолитом и фергюсонитом. При выветривании переходит в торогуммит.

Распространение, изученность. Минерал очень редкий, чрезвычайно плохо изучен; свойства его с момента открытия (1893 г.) не проверялись.

**Николайит** (nicolayite)  $(\text{Pb}, \text{Ca})_2 \text{Th}_3\text{U}_4^{6+}\text{Si}_8\text{O}_{36} \cdot 21\text{H}_2\text{O} = 2(\text{Pb}, \text{Ca})\text{O} \cdot 3\text{ThO}_2 \cdot 4\text{UO}_3 \cdot 8\text{SiO}_2 \cdot 21\text{H}_2\text{O}$ . Обнаружен в 1912 г.

Аморфный. Кристаллы не наблюдались. Образует плотные полустекловатые вкрапленные выделения. Цвет яркий, светложелтый. Непрозрачный. Блеск стеклянный до смоляного. Хрупкий. Твердость 3,5. Уд. вес 4,13. Разлагается крепкой  $\text{HCl}$  с выделением студня кремнезема. После прокаливании с кислотами не реагирует.

Оптические свойства.  $N = 1,617$  (между 1,609 и 1,624).

Химический состав николайита из пегматита Воджины (Западная Австралия) приводится ниже по данным анализа 1912 г.

$\text{MgO}$ 0,16%;	$\text{CaO}$ 1,12%;	$\text{PbO}$ 7,78%;	$\text{UO}_3$ 37,33%;	$\text{ThO}_2$ 24,46%;	$\text{SiO}_2$ 15,30%;
$\text{Ce}_2\text{O}_3$ 0,12%;	$\text{Ta}_2\text{O}_5$ 0,40%;	$\text{Y}_2\text{O}_3$ 0,32%;	$\text{H}_2\text{O}^+$ 8,27%;	$\text{H}_2\text{O}^-$ 4,19%;	Сумма 100,05%.

Возраст николайита, вычисленный по свинцовому методу на основании приведенного анализа, 1460 млн. лет.

Диагностические признаки. Реакция на  $\text{SiO}_2$  и  $\text{Th}$ . От других минералов группы торосиликатов отличается ярким светложелтым цветом. От желтого пильбарита практически неотличим.



Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Образуется при выветривании и окислении майтландита; изменяясь, переходит в пильбарит. Найден в оловоносных пегматитах Воджины (Западная Австралия) совместно с майтландитом, касситеритом, слюдой, альбитом, кварцем.

Распространение и изученность. Чрезвычайно плохо изучен и мало распространен.

Практического значения не имеет.

**Пильбарит** (pilbarite)  $\text{PbTh}(\text{UO}_2)[\text{OH}]_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 3\text{H}_2\text{O} = \text{PbO} \cdot \text{ThO}_2 \cdot \text{UO}_3 \cdot 2\text{SiO}_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  или  $(\text{PbTh})(\text{UO}_2)[\text{SiO}_3]_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ . Обнаружен в 1910 г.

Встречается в виде аморфных землистых стяжений (вкрапленников) размером от 0,5 до 2—2,5 см. Предполагается, что пильбарит является псевдоморфозой по другому минералу, от которого иногда сохраняются следы спайности. Цвет с поверхности красновато- или буровато-желтый, внутри конкреций — канареечно-желтый. Излом землистый. Твердость 2,5—3. Уд. вес 4,4—4,7. Неплавкий. Хорошо разлагается крепкими или слегка разбавленными кислотами,  $\text{HCl}$  — с выделением хлопьевидного кремнезема. При подогревании темнеет и выделяет много воды.

Оптические свойства. Изотропный.  $N = 1,730—1,760$ .

Химический состав пильбарита из пегматита Виджины (Западная Австралия) приводится ниже по данным химического анализа 1912 г.

$\text{Na}_2\text{O}$ 0,04%;	$\text{K}_2\text{O}$ 0,09%;	$\text{MgO}$ 0,21%;	$\text{CaO}$ 0,57%;	$\text{PbO}$ 17,26%;	$\text{Fe}_2\text{O}_3$ 0,20%;	$\text{Al}_2\text{O}_3$ 0,15%;	$\text{Ce}_2\text{O}_3$ 0,19%;	$\text{Y}_2\text{O}_3$ 0,49%;
$\text{UO}_3$ 27,09%;	$\text{ThO}_2$ 31,34%;	$\text{SiO}_2$ 12,72%;	$\text{H}_2\text{O}^+$ 4,16%;	$\text{H}_2\text{O}^-$ 3,50%;	$\text{P}_2\text{O}_5$ 1,08%;	$\text{Ta}_2\text{O}_5$ 0,47%;	Сумма 99,56%	

Химическому анализу подвергался минерал с примесями монацита, ксенотима, танталита, а также слюды и полевых шпатов, присутствием которых объясняются наличие Р, Се, Y, Та, Al, Fe, Na и К.

Диагностические признаки. Реакция на  $\text{SiO}_2$  и Th. От других торосиликатов отличается красновато- и буровато-желтым цветом, от желтого николайита практически неотличим.

Происхождение, условия нахождения в природе и спутники. Образуется при выветривании майтландита и николайита. Предполагается, что в дальнейшем за счет пильбарита образуется гидроторит. Найден в оловоносных пегматитах Воджины в Пильбара (Западная Австралия) совместно с майтландитом, николайитом, танталитом.

Распространенность и изученность. Пильбарит является малораспространенным, чрезвычайно плохо изученным минералом.

Практического значения не имеет.

**Ненадкевит**. Формула для темноокрашенных разностей:  $(\text{U}^{4+}, \text{Y}, \text{Ce})\text{U}^{6+}(\text{MgCaPb})_2[\text{SiO}_4][\text{OH}]_{4-8} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  или  $(\text{U}_{0,4}^{1+} \text{U}_{0,54}^{6+} \text{Y}, \text{Ce}_{0,02} \text{Pb}_{0,18})_{1,14} \text{Ca}_{0,38} \text{Mg}_{0,93} \text{Si}_{1,31}[\text{SiO}_{3,83}][\text{OH}]_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ ;  $n < 1$ .

Формула для светлоокрашенных разностей:  $(\text{U}^{6+}, \text{Y}, \text{Ce})(\text{CaMgPb})_2[\text{Si}_2\text{O}_7][\text{OH}]_{4-8} \cdot n\text{H}_2\text{O}$  или  $(\text{U}_{0,41}^{+4} \text{U}_{1,15}^{+6} \text{Y}, \text{Ce}_{0,04} \text{Pb}_{0,26})_{1,46} (\text{Ca}_{0,49} \text{Mg}_{0,59})_{1,08} [\text{SiO}_{4,5}][\text{OH}]_4 \cdot n\text{H}_2\text{O}$ .

Обнаружен и изучен В. А. Поликарповой в 1946—1954 гг. Под названием ненадкевит выделяется минеральный ряд сложных силикатов, в состав которых уран входит в двух формах валентности. Изменение химического состава в данном ряду происходит главным образом в направлении окисления четырехвалентного урана до шестивалентного и убывания тория. Помимо непрерывного изменения химического состава, одновременно происходит последовательное изменение физических и оптических свойств, а также структурная перестройка минерала. В дальнейшем

в этом ряду целесообразно выделить два самостоятельных минеральных вида, соответствующих формулам 1 и 2. Сингония тетрагональная (?).

Встречается в виде вкрапленников, сростков из длиннопризматических, квадратных и ромбоэдрических кристаллов, сплошных масс. Спайность отсутствует. Грубая отдельность по одному направлению. Наблюдается вся гамма переходов окраски минерала от черной, зелено-черной, черно-коричневой (темноокрашенные разности) до красно-бурой, коричневой, оранжевой и желтой (светлоокрашенные разности). Нередко смена окраски отмечается в пределах одного штуфа или даже шлифа. Черта цветная; у черной разности темная с коричневым оттенком, у светлых — желтая. Как правило, ненадkevит прозрачный, черная разность только в тонких осколках просвечивает бутылочно-зеленым цветом. Блеск стеклянный до жирного. Уд. вес колеблется в широких пределах: у черной разности — от 4,16 до 4,81; у коричневой — от 3,80 до 3,91; у желто-оранжевой разности от 3,56 до 3,70. Излом плоскоракoвистый. Очень хрупкий. Не люминесцирует. Растворяется во всех слабых кислотах (1 : 10) с выделением белого студнеобразного и каркасного остатка. Неэлектромагнитный.

**Оптические свойства.** Изотропизированный (метамиктный). В проходящем свете темноокрашенные разности имеют бутылочно-зеленый цвет,  $N = 1,716—1,781$ , иногда анизотропны; светлоокрашенные разности — зеленовато-желтые до желтых,  $N = 1,618—1,635$ . Наблюдается агрегационная поляризация с аномальной интерференционной окраской в изумрудно-зеленых тонах. В отраженном свете серый; отражательная способность меньше, чем у настурана.

**Рентгеноструктурное изучение.** В табл. 2 приведены расчеты эталонных порошкограмм различных разностей ненадkevита. Наиболее четкую картину дают желтая и коричневая разности. Черная разность ненадkevита не дает дифракционной картины и лишь после нагревания при  $600^\circ$  на порошкограмме отчетливо фиксируются дифракционные линии, указывающие на кристаллическое строение вещества и полное сходство его структуры со структурой непрокаленных разностей желтого и коричневого цвета.

**Химический состав.** Для ненадkevита из уранового месторождения произведено 13 химических анализов. Результаты шести наиболее типичных химических анализов этого минерала приведены в табл. 98.

Редкие земли по данным полуколичественного рентгеноспектрального анализа представлены иттриевой и церовой группами, количество их возрастает в светлоокрашенных разностях.

**Изотопический состав свинца** по данным масспектральных анализов 1948—1955 гг. указывает на радиогенную природу свинца в ненадkevите:

$Pb_{204}$	$Pb_{206}$	$Pb_{207}$	$Pb_{208}$
0,082%	87,7%	10,1%	2,1%
--	89,02%	9,89%	1,09%

**Возраст** ненадkevита, определенный по свинцовому методу, 1,7 миллиарда лет.

**Термическое изучение.** Кривые нагревания всех разновидностей идентичны. На них отмечается два эндотермических и один экзотермический эффект. Первый эндотермический эффект начинается при  $100^\circ$  с резким спадом при  $200^\circ$  и связан с выделением воды. Второй эндотермический эффект происходит при  $680^\circ$  и связан с выделением кристаллизационной воды. Экзотермический эффект происходит при  $760^\circ$  и обусловлен переходом ненадkevита из метамиктного в кристаллическое состояние.

**Происхождение, условия нахождения и спутники.** Минерал гидротермальный, образуется в высокотемпературную стадию процесса до выделения настурана. Встречен в альбититах уранового ме-

## Химический состав ненадквита

Разновидность, год анализа	MgO	CaO	PbO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	ThO <sub>2</sub>	SiO <sub>2</sub>	UO <sub>2</sub>	UO <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> O при 115— —140°	H <sub>2</sub> O при 140— —1000°	Нераст- воримый остаток	Сумма
Черная, 1949 . . . . .	0,7	4,04	7,42	2,85	0,70	0,34	12,55	66,10		2,64	3,1	—	100,44
То же, 1949 . . . . .	7,46	4,31	6,37	8,64	0,66	0,03	11,97	21,72	30,94	7,80		—	99,99
Красно-бурая, 1952 . . . . .	3,2	7,2	11,7	сл.	1,10	0,01	11,97	55,0		2,06	7,80	—	100,04
Оранжево-коричневая, 1952 . . . . .	5,5	5,27	10,20	6,64	0,31	0,05	16,61	50,10		5,59		—	100,27
Оранжево-желтая, 1952 . . . . .	11,08	8,30	7,00	5,74	0,63	сл.	20,25	38,50		2,33	6,38	—	100,21
То же, 1949 . . . . .	3,71	4,71	9,59	1,76	1,29	—	10,60	0,60	58,01	6,95		3,09	100,31
Колебания по 13 анализам . . . . .	0— 11,66	0,80— 9,10	5,10— 13,79	0— 8,00	0— 1,29	0— 0,34	10,60— 24,43	0,60— 21,72	30,94— 58,01	2,06— 2,64	6,38— 7,80	0— 3,09	—

сторождения совместно с браннеритом, бесториевым уранинитом, а также в сростках с малаконом и апатитом. Иногда цементирует магнетит. Желтая разновидность, повидимому, образуется за счет окисления черной и темноокрашенной разновидностей.

Распространение и изученность. Минерал новый, широко развит на одном урановом месторождении. Изучен детально. В дальнейшем требуется его дополнительное исследование в направлении выделения самостоятельных видов или разновидностей.

Практическое значение. Руда на уран.

---

### III. ОРГАНИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ

Данная группа минералов — карбуран, тухолит, согренит — выделяется условно как наиболее изученные урансодержащие углеводороды, хотя органическая форма соединения урана в них не доказана, а наличие урана в тухолитах в большей своей части связано с включениями уранинита или настурана.

Указанные соединения существенно не отличаются между собой ни по химическому составу, ни по характеру выделений и являются, повидимому, в общем однотипными углеводородными комплексами.

**Карбуран** в основном представляет собой водное соединение углерода и окиси урана. По химическому составу и формам выделения очень близок к тухолиту. Открыт А. Н. Лабунцевым в 1927 г.

Образует выделения округлой или неправильной формы (обычно в мусковите, олигоклазе и реже кварце). Иногда образует корочки и очень редко псевдоморфозы по ураниниту. Спайность отсутствует. Цвет черный. Черта черная. Блеск смоляной до матового. Излом раковистый. Очень хрупкий. Твердость 5—5,5. Уд. вес около 1,6. Немагнитный. Слабо растворяется в  $\text{HNO}_3$ . Гигроскопичный. После прокаливания становится рыхлым, землистым зеленовато-желтого цвета.

Оптические свойства. В проходящем свете непрозрачный, однородной структуры, по микротрещинкам иногда наблюдается серицитоподобное вещество.

Химический состав карбурана охарактеризован одним анализом, результаты которого приведены в табл. 99.

Таблица 99

Химический состав карбурана

Образец, год анализа	PbO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	UO <sub>3</sub>	C	H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	NH <sub>3</sub>	SO <sub>3</sub>	Зола	Сумма
Из пегматита, 1939	—	—	—	60,96	19,23	9,70	Следы	Следы	9,51	99,40
Пересчитано на воздушно-сухое вещество . . . . .	—	—	—	67,98	21,59	—	—	—	10,6	100,17
Зола . . . . .	17,01	6,01	54,20	—	—	—	—	—	—	87,22

Кроме того, с помощью спектрального анализа в карбуране обнаружены много Na, Y, Yb; мало Gd, Ho и Dy, очень мало La, Ce и следы Sm и Eu.

Диагностические признаки. Черный цвет минерала и черты. Положительный отпечаток на U. Уд. вес 1,6 (отличие от окислов и танталониобатов).

Практически неотличим от других органических соединений тухолита и согренита.

Происхождение, условия нахождения в природе

и спутники. Карбуран, по Лабунцову А. Н., считается первичным минералом, образование которого связано с пегматитовым расплавом, содержащим углерод. При этом наличие последнего объясняется захватом его при соприкосновении расплава с карбонатами или другими содержащими углерод породами. Углерод же путем абсорбции окислов урана образует урано-углеродистый минерал — карбуран. Минерал встречен в древнем поле гранитных пегматитов Северной Карелии. Как правило, он образует неправильные выделения 1—30 мм в диаметре, приуроченные к боковым плагиоклазовым частям микроклино-плагиоклазовых жил; встречается также в плагиоклазовых и мусковито-плагиоклазовых жилах включенным в мусковит, серицит, олигоклаз или редко кварц.

Обычно от мусковита отделен тонкой корочкой серицитоподобного вещества. Кругом включений карбурана в олигоклазе и кварце образуется радиально-лучистая трещиноватость. Иногда карбуран образует корочки и очень редко псевдоморфозы по ураниниту. Кроме того, карбуран ассоциирует с цирколитом, монацитом и гранатом.

Распространение, изученность. Встречен в нескольких жилах, близок тухолиту. Минеральная форма урана не выяснена.

Находки карбурана имеют минералогический интерес.

**Тухолит** (tucholite) — соединение углерода с U, Th, Pb, TR. Впервые описан в 1928 г. Эльсвортом. Близок и возможно идентичен карбурану. По данным последних исследований, наличие урана в тухолите связано с включениями уранинита или настурана, которые замещаются углеродистым веществом.

Как правило, массивный (выделения до 5 см величины); нередко наблюдается в виде округлых и плоских образований, реже псевдоморфоз по ураниниту и плохообразованных кристаллов до 2 см в поперечнике, иногда встречаются кубы и сростки кристаллов, а также более правильные кубические кристаллы с гранями (110); кроме того, известны тонкие прожилки и прослойки тухолита зернистого пористого строения. Спайности нет. Цвет черный. Черта буровато-черная. Непрозрачен даже в тонких осколках. Блеск алмазный, жирный, яркий антрацитовый. Излом раковистый. Очень хрупкий (легко распадается с образованием грубо-зернистого порошка). Твердость 3,5—4 и >4. Уд. вес 1,57—2,06.

Оптические свойства. Изучению подвергался тухолит из полиметаллических месторождений и золотоносных конгломератов. В отраженном свете неоднороден, состоит в основном из углеводорода с включениями настурана или уранинита. Последние окружаются и иногда замещаются по трещинам углеводородом. Отмечаются более поздние выделения сульфидов. Углеводород, как правило, анизотропный, но найдены изотропные разности. Отражательная способность у анизотропного тухолита 11,4—14,3%, а изотропного 10,1—11%. У первого наблюдается отчетливый плеохроизм, иногда с волнистым погасанием.

Химический состав. Для тухолита из пегматитовых жил Канады имеется четыре полных химических анализа и один анализ (1928 г.) летучих составных частей и золы. В табл. 100 приведены результаты одного полного химического анализа.

Таблица 10

Химический состав тухолита

Образец, год анализа	Связанный углерод	Летучие углеводороды	H <sub>2</sub> O	Зола	Сумма
Из пегматита Валлингфорд Майн, Квебек, 1930 . . . . .	27,93	28,70	13,53	19,84	100
Колебание по 4 анализам . . . . .	27,93 — 61,56	19,96 — 40,19	0 — 13,53	7,22 — 26,86	—

Состав летучих тухолита из пегматита Пэрри Саунд, Онтарио при температуре 1200°.

H <sub>2</sub> O	CO	CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	F <sub>2</sub>	Cl <sub>2</sub>
7,86%;	35,83%;	6,44%;	44,50%;	3,56%;	1,50%;	0,07%;	0,03%;
		S <sub>2</sub>	Другие компоненты	Сумма			
		0,06%;	0,01%;	99,96%.			

Химический состав золы тухолита из пегматита Пэрри Саунд, Онтарио.

Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO	CaO	MnO	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
0,22%;	0,15%;	следы;	0,50%;	0,02%;	0,20%;	1,45%;
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	SiO <sub>2</sub>	ZrO <sub>2</sub>	ThO <sub>2</sub>
1,50%;	2,25%;	10,95%;	5,45%;	14,70%;	0,80%;	48,48%;
	U <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Другие компоненты	Сумма		
	5,80%;	3,21%;	1,60%;	97,28%.		

В литературе отмечаются такие разновидности тухолита, в золе которых содержание U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> колеблется от 21,08 до 39,70% и в одном случае достигает 70,5%.

В золе тухолита из пегматита Оттава по данным количественного рентгеноспектрального анализа 1931 г. содержится: ThO<sub>2</sub> 14,3%; U<sub>3</sub>O<sub>8</sub> 1,65%; Y 8,0%; Ce > 10%; La ≈ 5%; Nd меньше чем Ce; Er в восемь раз меньше Ce; Sa то же; Pr то же; Dy то же; Sr 1,3%; Zr 0,6—0,7% Fe + Ca 2—3%; V + Zn 0,1%; As следы.

Происхождение, распространение, условия нахождения в природе и спутники. Спенс (1930 г.) считает тухолит вторичным минералом, образовавшимся за счет проникновения в пегматитовые жилы летучих углеводородов от маслянистого органического вещества, которые при взаимодействии с уранинитом полимеризовались до тухолита. Однако более поздними минералогическими исследованиями установлено, что наличие урана в тухолите из пегматитовых жил связано с тонкораспыленным уранинитом, по которому углеводород образует псевдоморфозы. Тухолит впервые описан из пегматитовых жил Канады, позднее Швеции и Японии. Выделения тухолита в пегматитовых жилах имеют неправильную форму, выполняя пустоты между полевым шпатом и хлоритизированным ортитом (?). Округлые и плоские образования его встречены в измененном сфене, биотите и полевом шпате. Нередко тухолит образует корочки вокруг кристаллов уранинита или полностью замещает его кубические кристаллы (псевдоморфозы), которые отмечались в полевом шпате. Известны также прожилки зернистого тухолита в полевом шпате с хлоритовым веществом и псевдоморфозы по турмалину. Из других спутников характерны циртолит, ортит и самарскит.

Тухолит найден в медном месторождении Мунта (Южная Австралия).

Антрацитоподобные богатые ураном углеводороды известны в ряде полиметаллических месторождений Англии. В руднике Лакси минерал, описанный в 1951 г. как тухолит, встречен в висячем боку свинцово-цинковой жилы в медьсодержащей породе. Минераграфическое изучение показало интенсивное замещение углеводородами уранинита (?) и настурана и последующее внедрение в урано-углеводородный комплекс сульфидов.

Тухолит широко распространен в золотоносных конгломератах Витватерсранда и ряда других золоторудных районов Южной Африки. Образование его связывается с гидротермальным изменением конгломератов. На более раннем этапе этого процесса образовывался уранинит (?) и на-

Химический состав согренига (зола и летучие)

Образец, год анализа	Летучие			Зола														Сумма			
	C	H	S	Зола	CaO	MgO	MnO	PbO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	UO <sub>3</sub> *	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	S	ThO <sub>2</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	As <sub>2</sub> O <sub>5</sub>		V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	H <sub>2</sub> O	Pi. п.
1949	20,46	2,32	1,18	59,26	8,16	0,30	0,07	0,19	4,59	2,98	19,99	1,72	—	1,96	Нет	13,38	—	—	—	16,70	28,75
То же															Нет			Нет			97,50

\* Истинная форма нахождения урана и железа не установлена ввиду сплавления навески с окислителем.

стуран, далее шло проникновение флюида углеводорода с полимеризацией его под влиянием конденсации вокруг ядер настурана с образованием урансодержащих углеводородных комплексов — тухолитов. Настуран в составе тухолита устанавливается минераграфически почти повсеместно.

Отмечаются также находки тухолита в районе золотых россыпей оз. Атабаска (Канада).

Урансодержащее углеродистое вещество по химическому составу и физическим свойствам очень близкое к тухолиту известно в пермских песчаниках. Цвет черный. Блеск матовый, реже смоляной. Уд. вес от 1,2 до 2,2. Твердость < 2.

По данным химического анализа (1951 г.), углеродистое вещество из пермских песчаников содержит: С — 43,19%; Н — 3,15%; золы — 35,47%.

Химический состав золы: (Na,K)<sub>2</sub>O — 3,16%; CaO — 2,71%; NiO — 0,64%; PbO — 0,31%; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 1,85%; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 0,06%; V<sub>2</sub>O<sub>3</sub> — 3,49%; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> — 2,09%; ΣTR — 1,00%; UO<sub>3</sub> — 6,45%; H<sub>2</sub>O — 14,73%; S — 1,52%.

Рентгенометрическое изучение. Установлено, что наличие урана в углеродистом веществе песчаников связано с присутствием тонкораспыленного уранинита.

Практическое значение. Находки тухолита в пегматитах и песчаниках имеют минералогический интерес. В конгломератах Витватерсранда является рудой на уран.

**Согрениг** — водное соединение углерода с ураном, фосфором и другими элементами. Формула не установлена. Открыт А. А. Арсеньевым и Е. А. Начаевой в 1949 г. Сингония кубическая (по данным рентгеновского изучения прокаленного материала).

Кристаллических форм неизвестно. Образует вкрапленники, тонкие прожилки и сажистые налеты. Цвет черный. Черта буровато-серая или буровато-черная. Блеск сильный смоляной, у измененных разностей матовый. Излом раковистый. Хрупкий. Непрозрачный. Уд. вес. 2,0—2,1. В кислотах не растворяется. При



сплавлении с содой и селитрой растворяется полностью. При прокаливании разрушается, превращаясь в светлую пористую массу.

**Оптические свойства.** В проходящем свете в тонких шлифах непрозрачен, лишь иногда просвечивает красновато-бурым цветом. В отраженном свете изотропный. Отражательная способность ниже, чем у прозрачных минералов.

**Травление.**  $\text{HNO}_3$  (3:1),  $\text{HCl}$  (1:1) и  $\text{FeCl}$  — черная шероховатая поверхность;  $\text{KCN}$ ,  $\text{HgCl}_2$  и  $\text{KOH}$  не действуют.

**Рентгенометрическое изучение.** Минерал метамиктный. Порошкограмма с четкими дифракционными линиями кубической решетки получена после прокаливании при  $850^\circ$ .

**Химический состав.** Имеются данные двух химических анализов согренита (табл. 101).

**Диагностические признаки.** От черных окислов и тантало-ниобатов с черной чертой отличается очень низким удельным весом ( $<2,2$ ) и тем, что разрушается при прокаливании. От других органических соединений тухолита и карбурана практически неотличим.

**Происхождение.** Образуется в низкотемпературных карбонатных жилах.

**Условия нахождения в природе и спутники.** Встречен в анкерито-кальцитовых жилах, секущих кварц-карбонатные жилы с полиметаллическим оруденением (пиритом, сфалеритом, галенитом). Тонкая вкрапленность согренита приурочена к участкам наиболее интенсивного дробления карбонатных жил, а тонкие прожилки и сажистые налеты его развиты преимущественно вблизи или по контактам рудоносных жил, местами во вмещающих известняках на расстоянии до одного метра от жил. Согренит ассоциирует с железистыми карбонатами (анкеритом, сидеритом) и пиритом. Минерал неустойчивый, на воздухе тускнеет, растрескивается и становится землистым с матовым блеском. При окислении переходит в рыхлую бурую массу, обогащенную гидроокислами  $\text{Fe}$  со значительной потерей урана (до 2—5%). Процесс изменения минерала начинается с его периферии и по трещинам до полного замещения. При полном окислении за счет согренита, повидимому, образуются отенит, ураноталлит и арсенат урана, фиксирующиеся в месторождении в незначительных количествах.

**Распространение и изученность.** Минерал редкий, изучен недостаточно, неясна форма нахождения в нем урана.

Практического значения не имеет.

---

## ЛИТЕРАТУРА

- Алимарин И. П. и Архангельская В. Н. Качественный полумикроанализ. Госхимиздат, 1949.
- Антипов И. А. Горный журнал № 84 (стр. 255—263), 1908.
- Барсанов Г. П. О критериях и методике определения редкоземельных ниобатов, титанониобатов и силикатов. Зап. Вс. Мин. об-ва, 74, № 4, 285—298, 1945.
- Бетехтин А. Г. Минералогия. Госгеолиздат, 1950.
- Блок А. И. Качественный полумикроанализ. Госхимиздат, 1949.
- Вернадский В. И. Очерки геохимии. Горгеонефтенздат, 1934.
- Волынский И. С. Определение рудных минералов под микроскопом. т. III. Госгеолиздат, 1949.
- Гецева Р. В. Гидронастуран и ургит — новые минералы из группы гидроокислов урана. Атомная энергия, № 3, 1956.
- Дэна Д., Дэна Э., Пэлач Ч., Берман Г. и Фрондел К. Система минералогии, том I, 2-й полутом, 1951; том II, 1-й полутом, 1954.
- Исаков П. М. Полевой качественный химический анализ руд и минералов. Госгеолиздат, 1950.
- Калинин П. В. Зап. Вс. Мин. об-ва, 74, вып. 3, 1945.
- Комлев Л. В. Сб., посв. В. И. Вернадскому к 50-летию научной и педагогической деятельности, вып. 1, стр. 463—482, 1936.
- Копченова Е. В. Минералогический анализ шлихов. Госгеолиздат, 1951.
- Лабунцов А. Н. Пегматиты СССР, ч. II, изд. Акад. наук СССР, 1939.
- Меланхолин Н. И. Измерение показателей преломления под микроскопом иммерсионным методом. Госгеолиздат, 1946.
- Мелков В. Г. Минералогия и геохимия урана в зоне окисления. Реферат научно-исследовательских работ за 1940 г.
- Мелков В. Г. и Свердлов З. М. Люминесцентный метод обнаруживания минералов и руд. Доклады АН СССР, № 4, 1941.
- Новачек Р. Сб., посв. В. И. Вернадскому к 50-летию научн. и педагогической деятельности. АН СССР, 1936, стр. 783—788.
- Поликарпова В. А. Ненаджевит — новый силикат урана. Атомная энергия, № 3, 1956.
- Пудовкина И. А., Романов П. С., Наумова Э. Н. О применении точных методов исследования при определении рудных минералов в отраженном свете. Сборник статей «Исследование мин. сырья». Госгеолтехиздат, 1955, стр. 58—66.
- Сборник статей «Фотографический метод в ядерной физике», ИИЛ, 1952.
- Суражский Д. Я. Генетические типы промышленных месторождений урана. Атомная энергия, № 2, 1956.
- Тананаев Н. А. Капельный метод определения катионов и анионов. 1939.
- Татарский В. Б. Кристаллооптика и иммерсионный метод определения веществ. Госгеолиздат, 1949.
- Файгль Ф. Капельный анализ. Госхимтехиздат, 1933.
- Хрущев М. М. и Беркович Е. С. Приборы ПМТ2 и ПМТ3 для определения микротвердости. Госгеолиздат, 1951.
- Шубникова О. М. Минералы редких элементов и их диагностика. Госгеол-издат, 1945.
- Юшко С. А. Методы изучения руд в отраженном свете. ОНТИ, 1934.
- Axelrod J., Grimaldi F., Milton Ch. a. Murata K. The Uranium Minerals from the Hillside Mine Javapai County, Arisona. Am. Min. № 1—2, pp. 1—22, 1951.
- Bannister F. a. Hollingworth S. Two New British Minerals. Nature. London, vol. 162, № 4119, p. 565, 1948.
- Bannister F. a. Horne J. A Radioactive Mineral from Mozambique Related to Davidite. Min. Mag., vol. 29, № 209, pp. 101—112, 1950.
- Biltz W. a. Müller H. Sistematic Doctrine of Affinity XLI Uranium Oxides. Zs. Anorg. Chem. vol. 163, p. 247, 1927.
- Brasseur H. Properties and Chemical Formula of Fourmarierite. Am. Min., vol. 33, № 9—10, p. 619—621, 1948.

- Brooker E. a. Nuffield E. Studies of Radioactive Compounds IV Pitchblende from Lake Atabaska Canada. *Am. Min.*, vol. 37, № 5—6, pp. 363—385, 1952.
- Buttgenbach H. *Les Minéraux de Belgique et du Congo Belge*, Paris, 1947.
- Cooke W. Chemical Notes on Davidite. *Trans. Proc. Royal Soc. S. Australia*, vol. 40, p. 267, 1916.
- Crook T. a. Blake G. On Carnotite and Assoc. Mineral. Complex from South Australia. *Min. Mag.*, vol. 12, p. 41—46, 1910.
- Davidson C. The Gold—Uranium Ores of the Witwatersrand. *Min. Mag.*, vol. 88, № 2, pp. 73—85, 1953.
- Davidson C. a. Bowie S. On Thucholite and Related Hydrocarbon Uraninite Complexes with a Houte on the Origin of the Witwatersrand Gold Ores. *Bull. of Geol. Surv. of Gr. Britan*, № 3, pp. 1—19, 1951.
- Ellsworth H. Thucholite, a Remarkable Primary Carbon Mineral from the Vicinity of Parry Sound, Ontario. *Am. Min.*, vol. 13, pp. 419—441, 1928.
- Ellsworth H. Cyrtolite Ingergrowth Associated with the Parry Sound Thucholite. *Am. Min.*, vol. 13, pp. 442—448, 1928.
- Evans H. a. Frondel C. Studies of Uranium Minerals: Liebegite and Uranothallite. *Am. Min.*, vol. 35, pp. 251—254, 1950.
- Frondel C. Studies of Uranium Minerals: Phosphuranilite. *Am. Min.*, vol. 35, № 9—10, p. 245—249, 1950.
- Frondel J. Studies of Uranium Minerals: Zeinerite. *Am. Min.*, vol. 36, № 3—4, p. 249, 1951.
- Frondel C. Studies of Uranium Minerals VIII: Sabugalite and Aluminium—Autunite. *Am. Min.*, vol. 36, № 9—10; pp. 671—685, 1951.
- Fischer E. Chemische Zusammensetzung des Wolpurgins. *Neues Jahrb. Min., Monatshefte, Abt. A.*, 1948.
- Frondel J. a. Cuttitta F. Studies of Uranium Minerals (XII): An Alteration Product of Janthinite. *Am. Min.* Vol. 39, № 11—12, pp. 1018—1020, 1954.
- Frondel C. a. Cuttitta F. Studies of Uranium Minerals (XIV): Renardite. *Am. Min.*, vol. 39, № 5—6, pp. 448, 1954.
- Frondel J. a. Fleischer M. Glossary of Uranium — and Thorium — Bearing Minerals. *Geol. Surv. Bull.*, 1009 F. pp. 169—209, 1955.
- Gorman D. Studies of Uranium Minerals: Soddyite. *Am. Min.*, vol. 37, № 5—6, pp. 386—393, 1955.
- Gruner J. The Chemical Formula of Clarkeite. *Am. Min.*, vol. 39, № 9—10, pp. 836—838, 1954.
- Guimarães A. Jazida de Djalmaisa de Volta Grande, Rio das Mortes, Minas Gerais. *Anais. Acad. Brasil. Ciências*, vol. 22, pp. 51—71, 1951, no reference in *Min. Mag.*, vol. 29, № 216, p. 435, 1952.
- Hogarth D. a. Nuffield E. Studies of Radioactive Compounds. VII: Phosphuranilite and Devindite. *Am. Min.*, vol. 39, № 5—6, pp. 444—447, 1954.
- Jaffe H., Sherwood A. a. Peterson M. New Data of Schroeckingerite. *Am. Min.*, vol. 33, № 3—4, pp. 152—157, 1948.
- Ježek B. *Rožpravy Česke Akad. Class 2*, 31, № 15, 1922.
- Kerr P. Natural Black Uranium Powder. *Science*, vol. 114, pp. 91—92, 1951.
- Kerr J. Uranium Minerals a. their Treatment. *Chem. Eng. a. Min. Rev.*, vol. 10, p. 46, 1954.
- Lacroix A. *Minéralogie de Madagascar*, 1, 1922.
- Larsen E. Dakeite, a New Uranium Mineral from Wyoming, by Esper. *Am. Min.* № 5, pp. 561—563, 1937.
- Lokka L. Viikite. Contributions to the Knowledge of the Chemistry of the Radiactive Minerals of Finland. *Bull. Commis. Geol. Finland*, № 149, 1950.
- Milne I. a. Nuffield E. Studies of Uranium Minerals: Vandenbrandeite. *Am. Min.*, vol. 36, № 5—6, 394—410, 1951.
- Mrose M. Studies of Uranium Minerals: (XIII) Synthetic Uranospinites. *Am. Min.*, vol. 38, № 11—12, 1953.
- Novaček R. Some Secondary Uranium Minerals. *Vestník Královské Česke Společnost Nauk*, p. 1—36, 1935.
- Novaček R. The Identity of Dakeite and Schroeckingerite. *Am. Min.*, vol. 24, № 5, pp. 317—323, 1939.
- Nuffield E. a. Milne I. Studies of Radioactive Compounds: VI Meta—Uranocircite. *Am. Min.*, vol. 38, № 5—6, pp. 476—487, 1953.
- Pabst A. X-ray Examination of Uranothorite. *Am. Min.*, vol. 36, № 7—8, pp. 557—563, 1951.
- Phair G. a. Shimamoto K. Hydrothermal Uranothorite in Fluorite Breccias from the Blue Jay Mine, James—Town, Boulder County, Colorado. *Am. Min.*, vol. 36, № 7—8, p. 557.
- Rosenzweig A., Gruner I., Gardiner L. Widespread Occurrence and Character of Uraninite in the Triassic and Jurassic Sediments of the Colorado Plateau. *Econ. Geol.*, vol. 49, № 4, pp. 351—361, 1954.

- Ross S., Henderson E. a. Posnjak E. Clarceite a New Uranium Mineral. *Am. Min.*, vol. 16, pp. 213—220, 1931.
- Schoep A. Les Minéraux d'Uranium des Gigements du Katanga Belge. *Ann. Mus. Congo Belge*, ser. I. Min., 1, Fasc. 2, 1—42, 1930.
- Schoep A. a. Stradiot S. Paraschoepite and Epiianthinite. Two New Uranium Minerals from Schinkolobwe. *Am. Min.*, vol. 32, № 5—6, pp. 344—348, 1947.
- Schoep A. a. Leenmer L. Qu'est-ce que la Gummite? *Bul. Soc. Belg. Geol.*, № 40, pp. 309—316, 1937.
- Spence H. Uraninite and Thucholite from Pied des Monts Charlevoix County. *Quebec. Am. Min.*, vol. 25, pp. 711—718, 1940.
- Steinöcker V. a. Novaček R. On  $\beta$ -uranotile. *Am. Min.*, vol. 24, № 95, pp. 324—398, 1939.
- Takubo T. Studies on the Minerals Bearing Rare Elements (p. 13) Betafite Found in China Region, South Manchuria. *Journ. Geol. Soc. Japan*, vol. 57, pp. 171—175, 1951, no reference: *Min. Mag.*, vol. 29, № 216, p. 435, 1952.
- Thompson M., Weeks A. a. Sherwood A. Rabbittite, a New Uranyl Carbonate. *Am. Min.* vol. 3/4, p. 201—206, 1955.
- Thoreau J. et du Trien de Terdonek R. Le Gîte d'Uranium de Shinkolobve-Kasolo (Katanga), Bruxelles, 1933.
- Traill R. Synthesis a x-Ray Study of Uranium Sulphate Minerals. *Am. Min.*, vol. 37, № 5—6, pp. 394—406, 1952.
- Weeks A., Thompson M. Identification and Occurrence of Uranium and Vanadium Minerals from the Colorado Plateaux. *Geol. Surv. U. S. Amer. Bull.* 1009—B, pp. 310—322, 1954, no reference: *Bull. Soc. franç.*, v. 77, № 10—12, p. 1421, 1954.
- Weeks A., Thompson M. Metatyamunite Op. Cit. (cf. Coffinite), p. 37—38, 1954, no reference: *Bull. Soc. Fran.* vol. 77, № 10—12, p. 1428, 1954.
- Weeks A., Thompson M. Rabbittite. Op. Cit (cf. Coffinite), p. 33—34, 1954, no reference: *Bull. Soc. Franc.*, vol. 77, № 10—12, p. 1428, 1954.
- Vaes J. Six New Uranium Minerals from Schincolobve (Katanga). *Ann. Soc. Geol. Belg. Bull.*, vol. 70, pp. 212—232, 1946—1947.
- Vaes J. a. Kerr P. Sengierite Preliminary Description. *Am. Min.*, vol. 34, № 1—2, pp. 109—120, 1949.
- Volg J. Gangverhältnisse und Mineralzechtum Joachimstals, Teplitz, 1856.
- Geological Survey Finds 3 New Uranium Minerals. *Nucleonic*, vol. 6, № 5, pp. 74—75, 1950.

## Список оборудования и химических реактивов для определения урановых минералов в лабораторных и полевых условиях

Люминоскоп  
 Карманный спектроскоп  
 Бинокулярная лупа  
 Микроскопы поляризационный и минералогический  
 Микросклерометр  
 Электромагнит  
 Весы аптекарские с разновесом  
 Аналитические весы  
 Магнит постоянный (ручной)  
 Ступки агатовая и Абиха  
 Штатив  
 Паяльная трубка  
 Наковальня  
 Молоток минералогический  
 Набор сверл  
 Спиртовка  
 Платиновая проволока, диаметром 4 мм  
 Кислородная газовая горелка  
 Груша-воздуходувка  
 Электроплитка  
 Штампик для перлов  
 Мерная ложка  
 Фотобумага  
 Чертежная бумага  
 Фильтровальная бумага  
 Фотованны (13 × 18)  
 Ручной пресс  
 Пинцет из пластмассы  
 Набор сит  
 Лупы (карманные)  
 Набор иммерсионных жидкостей  
 Стекла предметные  
 Стекла покровные  
 Стекла часовые диаметром 3—5 см  
 Стеклянные чашечки  
 Серебряная пластинка  
 Чашки фарфоровые  
 Пробирки на 1—5 мл  
 Пробирки на 5—15 мл  
 Воронки диаметром 3—5 см  
 Пикнометры  
 Ложка платиновая  
 Цилиндры мерные на 10 мл  
 Цилиндры мерные на 50 мл  
 Капельницы стеклянные  
 Склянки с притертыми пробками  
 Стеклянные палочки  
 Каучуковые трубки и пробки  
 Сетки асбестовые  
 Треугольники фарфоровые  
 Держатели для пробирок

Штатив для пробирок  
 Напильник  
 Карандаши восковые для стекла  
 Ерши для мытья посуды  
 Ножницы  
 Полотенца

### Р е а к т и в ы

Азотная кислота  
 Соляная кислота  
 Серная кислота  
 Уксусная кислота  
 Фтористый натрий  
 Фтористый калий  
 Селитра  
 Сода  
 Пиросульфат калия  
 Кислый сернокислый калий  
 Едкий натрий  
 Едкий калий  
 Аммиак  
 Желтая кровяная соль  
 Красная кровяная соль  
 Ацетат натрия  
 Йодистый калий  
 Гипосульфит натрия  
 Углекислый натрий  
 Фосфорнокислый натрий  
 Танин  
 Бензидин  
 Перекись водорода  
 Молибденовокислый аммоний  
 Азотнокислое серебро  
 Анилин  
 Хлористый барий  
 Сера  
 Азотнокислый кобальт  
 Цинхонин  
 Надсернокислый аммоний  
 Карбонат натрия  
 Роданистый аммоний  
 Роданистый калий  
 Родизонат натрия  
 Фенолфталин  
 Дифенилкарбазид  
 Бромформ  
 Жидкость Клеричи  
 Жидкость Туле  
 Цинк гранулированный  
 Спирт денатурированный  
 Спирт ректификат  
 Древесный уголь  
 Сурик

## АЛФАВИТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ МИНЕРАЛОВ

Стр.	Стр.
Аберпатит . . . . .	80
Агат . . . . .	18
Алданит . . . . .	124, табл. II (18)
Аллофан . . . . .	18
Альвит . . . . .	18
Ампагабеит . . . . .	141, табл. II (26)
Андерсонит . . . . .	57, 184, табл. IV (101)
Апатит . . . . .	17
Аутунит см. отенит	
Ауэрлит . . . . .	17
Бадделеит . . . . .	17
Бассетит . . . . .	208, табл. IV (85)
Байлеит . . . . .	57, 184, табл. IV (72)
Беккерелит . . . . .	53, 163, табл. IV (50)
Бесториевый уранинит	48, 112, табл. I (1)
Бетауранотил см. β-уранофан	
Бетафит . . . . .	145, табл. II (25)
Бильетит . . . . .	54, 173, табл. IV (51)
Бирюза . . . . .	18
Бломстрондин . . . . .	151, табл. II (22)
Бломстрандит . . . . .	146, табл. II (25)
Боденбендерит . . . . .	17
Брагит . . . . .	133
Браннерит . . . . .	51, 129, табл. II (20)
Брэггерит . . . . .	123, табл. I (1)
Вальпургит . . . . .	223, табл. IV (56)
Ванденбрандеит . . . . .	55, 176, табл. III (36)
Вандендрисшеит . . . . .	78
Вивванит . . . . .	18
Виикит . . . . .	157, табл. II (27)
Водный уранофосфат висмута . . . . .	78
Водородный отенит . . . . .	80
Водородный ураноспирит . . . . .	80
Вульфенит . . . . .	18
Галлуазит . . . . .	18
Гатчеттолит . . . . .	148, табл. IV (46)
Гиалит . . . . .	17
Гидронастуран . . . . .	170, табл. I (10)
Гидроторит . . . . .	17
Гиельмит . . . . .	140, табл. I (6)
Гильпинит см. ноганит	
Гипс . . . . .	18
Гокутолит . . . . .	18
Гуммит . . . . .	8
Гуммиэрд см. гуммит	8
Давидит . . . . .	49, 126,
Дакент см. шрёкингерит	табл. I (3)
Девиндтит . . . . .	214, табл. IV (89)
Делоренцит . . . . .	128, табл. II (21)
Дельвоксит . . . . .	18
Джалмаит . . . . .	144, табл. III (30)
Дидерихит . . . . .	78
Другмансит . . . . .	78
Дюмонтит . . . . .	215, табл. IV (86)
Ильменит . . . . .	17
Иоганиит . . . . .	60, 195, табл. IV (116)
Иригинит . . . . .	61, 197, табл. IV (83)
Иттриалит . . . . .	17
Иттрогуммит . . . . .	76
Иттроильменит см. самарскит	
Иттроколумбит . . . . .	142, табл. II (27)
Иттрокразит . . . . .	131, табл. II (21)
Иттроганталит . . . . .	142, табл. II (27)
Ишикаваит . . . . .	139, табл. II (26)
Казолит . . . . .	72, 237, табл. IV (55)
Калерит . . . . .	80
Кальциевый карнотит см. тюямунит	
Кальциосамарскит . . . . .	138, табл. II (26)
Кальцит . . . . .	18
Карбуран . . . . .	73, 247, табл. I (12)
Карнотит . . . . .	70, 227, табл. IV (76)
Кларкеит . . . . .	55, 178, табл. III (28)
Клевеит . . . . .	122, табл. I (1)
Коллофан . . . . .	18
Колумбит . . . . .	17
Корацинт см. гуммит	
Коффинит . . . . .	80
Кохелит . . . . .	17
Ксеенотим . . . . .	17
Купроскладовскит . . . . .	73, 236, табл. I (110)
Кюриит . . . . .	174, табл. IV (38)
Ламбертит см. уранофан	
Лермонтовит . . . . .	199, табл. III (37)
Ловчоррит . . . . .	18

	Стр.
Либигит см. урнотал-лит	
Лимонит . . . . .	18,
Линдокит . . . . .	17
Лодочникит . . . . .	131, табл. II (17)
Лопарит . . . . .	17
Майтландит . . . . .	241, табл. II (15)
Макинтошит . . . . .	242, табл. II (14)
Малакон . . . . .	17
Масюнит . . . . .	78
Меджидит . . . . .	76
Менделеевит . . . . .	148, табл. II (25)
Метаотенит см. отенит	
Метаторбернит . . . . .	66, 211, табл. IV (113)
Метаураноцирцит см. ураноцирцит	
Метацейнерит . . . . .	69, 222, табл. IV (115)
Микролит . . . . .	17
Минерал X . . . . .	166, табл. IV (79)
Минерал У . . . . .	76
Молуранит . . . . .	196, табл. I (7)
Монацит . . . . .	17
Монтмориллонит . . . . .	18
Настуран . . . . .	48, 105, табл. I (8)
Наэгит . . . . .	17
Ненадквит . . . . .	74, 243, табл. II (16)
Неогастунит . . . . .	78
Нивенит см. клеветит	
Николайит . . . . .	242, табл. IV (82)
Новачекит . . . . .	224, табл. IV (68)
Обручевит . . . . .	140, табл. IV (47)
Оннеродит . . . . .	134
Опал . . . . .	18
Оранжеит . . . . .	17
Орлит . . . . .	73, табл. IV (81)
Ортит . . . . .	17
Отенит . . . . .	62, 202, табл. IV (64)
Отунит см. стениит	
Палыгорскит . . . . .	18 табл. IV (90)
Параскупит . . . . .	54, 167,
Парсонсит . . . . .	67, 216, табл. IV (78)
Пелигоит см. иоганнит	
Пильбарит . . . . .	243, табл. IV (53)
Пиролозит . . . . .	18
Пироморфит . . . . .	18
Пироклор . . . . .	17
Писекит . . . . .	76
Питгинит см. гуммит	
Плюмбониобит . . . . .	139, табл. II (26)
Поликраз . . . . .	156, табл. II (23)
Пржевальскит . . . . .	213, табл. IV (88)
Приорит . . . . .	152, табл. II (22)
Псиломелан-вад . . . . .	18
Раббиттит . . . . .	187, табл. IV (108)
Радиобарит . . . . .	18
Радиокальцит . . . . .	18
Радиофлюорит . . . . .	18
Рандит см. уранотал-лит	
Раувит . . . . .	227, табл. IV (44)
Ренардит . . . . .	67, 213, табл. IV (87)
Рётзерфордин . . . . .	180, табл. IV (97)

	Стр.
Рётзерфордит см. рёт-зерфордин	
Ризерит . . . . .	17, 135
Ринколит . . . . .	17
Ришетит . . . . .	78
Роуландит . . . . .	17
Рутзерфордит см. рёт-зерфордин	
Сабугалит . . . . .	67, 217, табл. IV (66)
Салеит . . . . .	63, 206, табл. IV (65)
Самарскит . . . . .	134, табл. I (5)
Самиресит . . . . .	146, табл. IV (95)
Сварцит . . . . .	186, табл. IV (107)
Сенжьерит . . . . .	70, 228, табл. IV (117)
Сипилит . . . . .	17
Склодовскит . . . . .	232, табл. IV (75)
Скупит . . . . .	168, табл. IV (96)
Смешанные урановые слюдки . . . . .	78
Смирновит . . . . .	17
Согренит . . . . .	250, табл. I (12)
Соддит . . . . .	70, 230, табл. IV (71)
Стасит см. девиндит	
Студтит . . . . .	78
Сфен . . . . .	17
Таленит . . . . .	17
Танталгатчеттолит см. джалмант	
Титанбетафит . . . . .	145
Тоддит . . . . .	76
Торбернит . . . . .	65, 209, табл. IV (112)
Торнианит . . . . .	124, табл. I (2)
Торневый гуммит . . . . .	76
Торневый кюрит . . . . .	54, 179, табл. IV (39)
Торит . . . . .	17
Торогуммит . . . . .	76
Трёгерит . . . . .	218, табл. IV (57)
Тухолит . . . . .	248, табл. I (12)
Тюямунит . . . . .	70, 225, табл. IV (94)
Уванит . . . . .	225, табл. IV (61)
Ульрихит см. уранинит	
Умохоит . . . . .	80
Ураконит . . . . .	194, табл. IV (62)
Уранинит . . . . .	49, 119, табл. I (1)
Урановая охра см. уранопилит см. циппеит	
Урановая смолка см. настуран	
Урановая смоляная обманка см. настуран	
Урановая смоляная руда см. настуран	
Урановая чернь . . . . .	114, табл. I (9,11)
Урановые цветы см. циппеит	
Урановый купорос см. иоганнит	
Уранолепидит см. ванденбрандеит	
Уранолибдит . . . . .	76
Уранопилит . . . . .	59, 190, табл. IV (69)

	Стр.		Стр.
β-уранопилит . . . . .	191, табл. IV (70)	Фритчеит . . . . .	209, табл. IV (43)
Уранпирохлор см. гат- четтолит		Фурмарьерит . . . . .	175, табл. IV (40)
Ураноспинит . . . . .	68, 219, табл. IV (67)	Халседон . . . . .	18
Ураносферит . . . . .	177, табл. IV (41)	Халькозин . . . . .	18
Ураноталлит . . . . .	56, 182, табл. IV (102)	Хальколит см. тор- бернит	
Уранотантал см. са- марскит		Хиблит . . . . .	76
Уранотил см. уранофан		Хлопинит . . . . .	149, табл. II (24)
β-уранотил см. β-ура- носфан		Хризоколла . . . . .	18
Ураноторит . . . . .	239, табл. II (19)	Цейнерит . . . . .	68, 220, табл. IV (114)
Уранофан . . . . .	71, 232, табл. IV (73)	Цералит . . . . .	80
β-уранофан . . . . .	71, 234, табл. IV (74)	Церусит . . . . .	18
Уранохальцит . . . . .	8	Циппеит . . . . .	59, 192, табл. IV (48)
Ураношпатит . . . . .	63, 205, табл. IV (105)	Циркон . . . . .	17
Ураноцирцит . . . . .	63, 64, 207, табл. IV (104)	Циртолит . . . . .	17
Ургит . . . . .	172, табл. IV (52)	Шарпит . . . . .	181, табл. IV (109)
Уфертит . . . . .	132, табл. II (21)	Шелковистый суль- фат-карбонат урана	78
Ферганит . . . . .	224, табл. IV (99)	Шёпит см. скупит	
Фергюсонит . . . . .	133, табл. II (27)	Шинколовит см. склодовскит	
Ферриторит . . . . .	17	Шрэкингерит . . . . .	58, 188, табл. IV (63)
Ферсманит . . . . .	17	Шуилингит . . . . .	78
Ферутит . . . . .	50, 126, табл. I (4)	Эвксенит . . . . .	52, 153, табл. II (23)
Фитингофит . . . . .	134	Элиасит см. гуммит	
Флюорит . . . . .	17	Эльсвортит . . . . .	149, табл. II (25)
Флютерит см. урано- таллит		Эналит . . . . .	76
Фоглианит . . . . .	8	Эпиянтинит . . . . .	53, 165, табл. IV (42)
Фоглит . . . . .	183, табл. IV (111)	Эшвегеит . . . . .	17
Форманит . . . . .	17, 135	Эшинит . . . . .	17
Фосфат кальция . . . . .	18	Ямагутилит . . . . .	17
Фосфуранилит . . . . .	61, 200, табл. IV (84)	Янтинит . . . . .	162, табл. II (13)
		Яхимовит см. купро- склодовскит	

---



## ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	3
 <b>Часть первая. Систематика и определитель урановых минералов</b>	
Минералы урана, их систематика, классификация и происхождение .....	7
Урановые минералы .....	8
Минералы, вошедшие в литературу, но не подтвержденные дальнейшими исследованиями .....	8
Минералы, выделение которых обосновано недостаточно .....	9
Новые минералы, описанные в литературе без химических анализов.....	9
Урановые минералы, достаточно изученные для их выделения .....	9
Список урановых минералов .....	10
Происхождение урановых минералов .....	13
Урансодержащие минералы .....	17
Некоторые особенности физических и физико-химических свойств урановых минералов, используемые при их определении .....	19
Таблицы для определения урановых минералов .....	24
Строение сводных определительных таблиц и общий ход систематического определения минералов .....	24
Данные для определения урановых минералов по оптическим свойствам.....	28
Данные для определения урановых минералов по рентгенометрическим константам .....	48
Данные о свойствах урановых минералов, не вошедших в сводные таблицы	76
Методы определения урановых минералов .....	82
1. Радиографический метод .....	82
2. Косвенные приемы выявления радиоактивных минералов.....	83
3. Метод отпечатков .....	83
4. Люминесцентные методы .....	85
5. Оптические методы .....	89
6. Простейшие химические реакции .....	90
7. Другие методы изучения урановых минералов .....	96
8. О подготовке материала для исследований .....	98
 <b>Часть вторая. Описание минералов урана</b>	
I. Окислы .....	103
A. Безводные окислы .....	103
Безводные окислы урана и безводные окислы урана и тория .....	103
1. Безводные окислы урана .....	105
2. Безводные окислы урана и тория .....	119
3. Сложные безводные окислы, содержащие титан (титанаты).....	125
4. Сложные безводные окислы, содержащие тантал, ниобий, титан (танталониобаты и титанотанталониобаты) .....	132

<b>Б. Водные окислы (гидроокислы)</b> .....	159
1. Водные окислы урана простые кристаллические .....	162
2. Водные окислы урана простые аморфные .....	170
3. Водные окислы урана сложные кристаллические (уранаты).....	173
4. Водные окислы урана сложные аморфные .....	178
<b>II. Кислородные соли</b> .....	180
1. Карбонаты и сульфат-карбонаты .....	180
2. Сульфаты .....	189
3. Молибдаты .....	196
4. Фосфаты, арсенаты, ванадаты .....	198
5. Силикаты .....	229
<b>III. Органические соединения</b> .....	247
<b>Литература</b> .....	252
<b>Список лабораторного оборудования и реактивов</b> .....	255
<b>Алфавитный указатель минералов</b> .....	256

**Таблицы для определения урановых минералов**

Таблица I. Минералы черные и серые с черной и почти черной чертой....	1 лист
Таблица II. Минералы черные с цветной чертой .....	2 листа
Таблица III. Минералы темноокрашенные .....	1 лист
Таблица IV. Минералы ярко и светлоокрашенные .....	4 листа



Авторы *Гецева Ревекка Венедиктовна, Савельева Клавдия Тихоновна*

**РУКОВОДСТВО ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ УРАНОВЫХ МИНЕРАЛОВ**

Редактор *Ю. А. Арапов*

Редактор издательства *М. В. Семенова*

Техн. редактор *К. В. Крыночкина*

Корректор *Э. Г. Агеева*

Сдано в набор 6/IV 1956 г.

Подписано к печати 19/XI 1956 г.

Формат бумаги 70×108<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Уч.-изд. л. 29,4.

Тираж 10 000. Цена в перепл. № 7 16 р. 70 к., в перепл. № 5 15 р. 70 к. Зак. 305.

Бум. л. 9,88.

Печ. л. 22,26 + 4,8 п. л. вкл.

T-11043

Типография Металлургиздата, Москва, Цветной бульвар, д. 30

ОПЕЧАТКИ

Стр.	Строка	Напечатано	Следует читать
76	3 снизу графа 3	Rammels — berg	Rammelsterg
190	5 сверху	[OH] <sub>90</sub>	[OH] <sub>10</sub>
202	1 сверху	[PO <sub>4</sub> ] <sub>4</sub>	[PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub>
212	3 сверху	No-a	No-c
248	1 и 2 снизу	27, 93	37, 93
256		Аберпатит	Абернатит
256		Бломстрондин	Бломстрандин
256		Иоганнит	Иоганнит
258		Шрэкингерит	Шрёкингерит

В табл. 1 в третьей графе должно быть: для торнапита U ~ 10%, для самарскита U > 7%.

Минералы черные и серые с черной, пв

(не прозрачны, электромагнитны, не лк

Уд. вес	Руководящие диагностические признаки		Группа минералов	Название минерала, формула	Допол.				
	Форма выделений	Другие характерные признаки			Сингония	Спайность	Блеск	Излом	Тв
>2,8	Вкрапленники: куб в комбинации с октаэдром и додекаэдром; кристаллические агрегаты. Кубовидные кристаллы (давидит)	+ отпечаток U > 50%	1	Уранинит (Ульрихит) $[(U^{4+}, Th)_{1-x} U_x^{6+}] O_{2+x}$	Куб.	Нет	Смоляной (на гранях полуметаллический)	Неровный до раковистого	5,1
				Бесториевый уранинит $(U_{1-x}^{4+} U_x^{6+})_{2+x}$	Куб.	Нет	Смоляной	Раковистый	4,
				Бреггерит—разновидность уранинита с ThO <sub>2</sub> 7,8—13,9%	Куб.	Нет	Смоляной (на гранях полуметаллический)	Неровный до раковистого	
				Клевейт (нивенит)—разновидность уранинита с TR 2,24—15,01%	Куб.	Нет	Смоляной (на гранях полуметаллический)	Неровный	5
		+ отпечаток U > 10%	2	Торианит (Th, U)O <sub>2</sub>	Куб.	Сл. по кубу	Полуметаллический до алмазного	Неровный до полураковистого	6
		+ Ti (очень много)	3	Давидит AO <sub>2</sub> ? A = Ti, Fe, U, (Ce), Pb, Ca	Куб.	?	Стекланный до металлического	Раковистый, полураковистый	
	Вкрапленники: кристаллы призматические и таблитчатые, неправильные выделения. Ромбоэдрические кристаллы (феррутит)	+ Ti (очень много)	4	Феррутит (Fe <sup>2+</sup> , U, Ce) (Ti, Fe <sup>3+</sup> ) <sub>3</sub> (O, OH) <sub>7</sub>	Гексогон.	Нет	Смоляной до полуметаллического	Раковистый	5
		— отпечаток + Ta, Nb, Ti (мало) U > 57%	5	Самарскит (Y, Er, Ce, U, Th, Fe) <sub>4</sub> [(Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ] <sub>3</sub> (см. 26)	Ромб.	Неясная (010)	Смоляной (на поверхности тусклый)	Раковистый	
		— отпечаток + Ta, Nb — Ti U < 4%	6	Гиельмит — водный окисел или ниоботанталат Y, Fe, U и Ca	Ромб.	Нет данных	Металлический	Зернистый	
		+ Mo	7	Моуранит U <sub>2</sub> <sup>4+</sup> [MoO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub> [OH] <sub>2</sub> · 10H <sub>2</sub> O?	?	Нет	Смоляной	Данных нет	
Прожилки, ленточные и гнездовые скопления плотных, внешне аморфных масс; натечные, почковидные, колломорфные стяжения	+ отпечаток Бл. смоляной Тв. > 4 Колломорфная структура	8	Настуран (урановая смолка, урановая смоляная руда) $(U_{1-x}^{4+} U_x^{6+}) O_{2+x}$ или UO <sub>2,16—2,70</sub>		Нет	Смоляной от сильного до слабого	Раковистый	4	

## Серы с черной, почти черной и серой чертой

электромагнитны, не люминесцируют)

Дополнительные диагностические признаки						Происхождение, характерные спутники
Излом	Твердость	Уд. вес	Оптические свойства	U, %	Другие дополнительные признаки	
Неровный до раковистого	5,06—7,6	7,6—10,8	Изотропный. Отр. св. серый; R = 12,5—17,5%	62,8—76,5		Пегматиты Минералы TR, Ta и Nb, турмалин, циркон, слюды, кларкеит, Th-кюрит
Раковистый	4,46—5,88	7,8	Изотропный. Отр. св. серый; R = 11,6—14,4	46,3—61,3		Высокотемпературные гидротермальные месторождения Золото, пирит, магнетит, настуран, альбит, эгирин
Неровный до раковистого	6,5	6,89—9,62	Изотропный; R = 15%	60—66,3		Пегматиты Минералы TR, Ta и Nb, турмалин, уранинит
Неровный	5,5—6,0	7,49—8,71	Не изучены	5,4—66		Пегматиты Минералы TR, Ta и Nb, циртолит, карбуран, «иттрогуммит»
Неровный до полураковистого	6,5—7	8,97—9,87	Изотропный; $N_{cp}=2,20$	4,14—12,3		Пегматиты и россыпи Циркон, ильменит, гейкилит, торит, флогопит, «ториевый гуммит»
Раковистый, полураковистый	6	~4,5	Не изучены		В тонких осколках просвечивает коричневым цветом. Наблюдаются микроскопические включения уранинита	Высокотемпературные кварцевые жилы Рутил, ильменит
Раковистый	5,7—6,1	4,46	Изотропизированный (метамиктный). Отр. св. серый; R = 19,5%	9,4—7,9	В тонких осколках просвечивает красновато-бурым цветом	Образуется при региональном метаморфизме Магнетит, ильменит, рутил, циркон, апатит
Раковистый	5—6	4,43—5,69	Изотропизированный (метамиктный). Отр. св. красно-серый; $N=2,10-2,25$ ; R ~ 14%; вн. рефлексы очень слабые, красновато-коричневые	7,7—21,7	Электромагнитен При гидратации цвет желто-бурый	Пегматиты, золотоносные россыпи Колумбит, монацит, магнетит, циркон, берилл, слюды, альбит, топаз
Зернистый	5	5,26—5,82	Не изучены	1,95—4,0		Пегматиты Гранат, топаз, гадолинит, танталит
Данных нет	3—4	Нет данных	Изотропный; $N=1,97-1,98$ R $\leq$ R настурана	35,2	В очень тонких осколках просвечивает коричневым цветом. Хрупкий	Образуется при региональном метаморфизме Халькоприт, галенит, молибденит
Раковистый	4,0—6,29	4,8—7,7	Изотропный; Отр. св. серый; R = 11,6—16,8%	52,3—76,5		Гидротермальные месторождения 1) Карбонаты, флюорит, гематит, сульфиды 2) Кварц, карбонаты, Ni—Co арсениды, самородный Bi, Ag, As 3) Магнетит, гематит, бесториевый уранинит Осадочные и осадочно-мета-

			$n = 11, \text{Ge, U, (Ce), Pb, Ca}$			до металличе-ского	полуракови-стый		
Вкрапленники: кри-сталлы призматиче-ские и таблитчатые, неправильные выделе-ния. Ромбоэдрические кристаллы (феррутит)	+ Ti (очень много)	4	Феррутит ( $\text{Fe}^{2+}, \text{U, Ce}(\text{Ti, Fe}^{3+})_3(\text{O, OH})_7$ )	Гек-согон.	Нет	Смоляной до полуметал-лического	Раковистый	5,	
	— отпечаток + Ta, Nb, Ti (мало) U > 57%	5	Самарскит ( $\text{Y, Er, Ce, U, Th, Fe}_4[(\text{Nb, Ta})_2\text{O}_7]_3$ (см. 26)	Ромб.	Неяс-ная (010)	Смоляной (на поверхно-сти тусклый)	Раковистый		
	— отпечаток + Ta, Nb — Ti U < 4%	6	Гиельмит — водный окисел или ниоботанталат Y, Fe, U и Ca	Ромб.	Нет дан-ных	Металличе-ский	Зернистый		
	+ Mo	7	Молюранит $\text{U}_2^{4+}[\text{MoO}_4]_3[\text{OH}]_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$	?	Нет	Смоляной	Данных нет		
Прожилки, ленточ-ные и гнездовые скоп-ления плотных, внеш-не аморфных масс; натечные, почковид-ные, колломорфные стяжения	+ отпечаток Бл. смоляной Тв. > 4 Колломорфная структура	8	Настуран (урановая смолка, урановая смоляная руда) $(\text{U}_{1-x}^{4+} \text{U}_x^{6+})\text{O}_{2+x}$ или $\text{UO}_{2,16-2,70}$		Нет	Смоляной от сильного до слабого	Раковистый	4,0	
	+ отпечаток Бл. матовый Тв. < 4	9	Урановая чернь остаточная $(\text{U}_{1-x}^{4+} \text{U}_x^{6+})\text{O}_{2+x}$ или $\text{UO}_{2,70-2,92}$		Нет	Матовый	От ракови-стого до зем-листого		
	+ отпечаток Сильный стеклян-ный бл. Прозрачен в тон-ких осколках Очень хрупкий	10	Гидронастуран $(\text{U}_{1-x}^{4+} \text{U}_x^{6+})\text{O}_{2+x} \cdot n\text{H}_2\text{O}$ , $n = 3,9$ ; или $\text{UO}_{2,5-2,8} \cdot n\text{H}_2\text{O}$		Нет	Сильный стеклянный	Раковистый	3,1	
Порошковатые плен-ки и налеты, плотные корочки	+ отпечаток Уд. вес < 2,9 U 4,8—11%	11	Урановая чернь регенерирован-ная — многокомпонентная дис-персная система, содержащая U 4,8—11,4%		Нет	Матовый	Землистый		
≤ 2,2	Неправильные и ок-руглые выделения, кор-очки и прожилки. Сажистые налеты (со-гренил). Псевдомор-фозы по ураниниту (ту-холит)	Очень хрупкие. При прокаливании разрушаются в свет-лую пористую массу. Гигроскопичны	12	Тухолит — соединение углеро-да с U, Th, Pb, TR		Нет	Алмазный	Раковистый	2,5
				Карбуран — водное соединение углерода с окисью U			Смоляной до матового	Раковистый	5-
				Согренил — водное соединение углерода с U, P и др. элементами			Смоляной до матового	Раковистый	

стый					вым цветом. Наблюдаются микроскопические включения уранинита	Рутил, ильменит
Раковистый	5,7—6,1	4,46	Изотропизированный (метамиктный). Отр. св. серый; $R = 19,5\%$	9,4—7,9	В тонких осколках просвечивает красновато-бурым цветом	Образуется при региональном метаморфизме Магнетит, ильменит, рутил, циркон, апатит
Раковистый	5—6	4,43—5,69	Изотропизированный (метамиктный). Отр. св. красно-серый; $N=2,10—2,25$ ; $R \sim 14\%$ ; вн. рефлексы очень слабые, красновато-коричневые	7,7—21,7	Электромагнитен При гидратации цвет желто-бурый	Пегматиты, золотоносные россыпи Колумбит, монацит, магнетит, циркон, берилл, слюды, альбит, топаз
Зернистый	5	5,26—5,82	Не изучены	1,95—4,0		Пегматиты Гранат, топаз, гадолинит, танталит
Данных нет	3—4	Нет данных	Изотропный; $N=1,97—1,98$ $R \leq R$ настурана	35,2	В очень тонких осколках просвечивает коричневым цветом. Хрупкий	Образуется при региональном метаморфизме Халькоприт, галенит, молибденит
Раковистый	4,0—6,29	4,8—7,7	Изотропный; Отр. св. серый; $R = 11,6—16,8\%$	52,3—76,5		Гидротермальные месторождения 1) Карбонаты, флюорит, гематит, сульфиды 2) Кварц, карбонаты, Ni—Co арсениды, самородный Bi, Ag, As 3) Магнетит, гематит, бесториевый уранинит Осадочные и осадочно-метаморфизованные месторождения Урановая чернь, пирит, органическое вещество
От раковистого до землистого	1—4	3,1—4,8	Изотропный. Отр. св. темносерый, серый; $R < 11,6\%$	7,7—34	Цв. от серо-черного до серого; от примесей Fe—буроватый оттенок. Неоднородность свойств, реликты настурана	Зона окисления и зона цементации гидротермальных и осадочных месторождений. Настуран, сульфиды, битумы и др. органические соединения
Раковистый	3,1—4,5	4,3—4,6	Изотропный до слабоанизотропного. Прх. св. бутылочно-зеленый; зеленовато-бурый. $N = 1,715—1,781$ . Отр. св. серый с буровато-желтыми рефлексами $R > 7—11,4\%$	62,2—65,4		Зона окисления гидротермальных месторождений Настуран, силикат типа содиита. Переходит в ургит
Землистый	?	2,84—2,89	В препарате тонкая пылевидная смесь. Не полируется	4,8—11,4	Цв. черный до пепельно-серого	Зона цементации гидротермальных и осадочных месторождений Халькозин, марказит, лимонит, вторичный кальцит
Раковистый	2,5—4,0	1,57—2,06	Не изучены	1—5	Микроскопические включения уранинита	Пегматиты Уранинит, циртолит, сфен, биотит, ксенотим Золотоносные конгломераты
Раковистый	5—5,5	~1,6	Не изучены	5		Пегматиты Уранинит, циртолит, монацит мусковит
Раковистый		2,0—2,1	$R$ очень низкий	9,8—16,6		Карбонатные жилы Пирит, сфалерит, галенит и др. При окислении переходит в рыхлую массу с потерей U

Руководящие диагностические признаки					Группа минералов	Название минерала, формула			
Магнитность	Nb, Ta	Ti	Облик, агрегаты	Другие характерные признаки			Сингония	Спайность	Блеск
Не электромагнитные	Нет	Нет	Игольчатый, призматический и тонкопластинчатый	Фиолетовый оттенок Растворяется в кислотах Плеохроизм	13	Янтинит $2UO_2 \cdot 7H_2O?$	Ромб.	Совершенная (100)	Полуметаллический
			Призматический Вкрапленники	С HCl студень Тв. 5—6	14	Макинтошит (Th, U) $SiO_4 \cdot nH_2O$ Th:U = 3:1 или 2:1	Тетрагон.	Нет	Слабый стекланный
			Аморфные стекловатые выделения Вкрапленники	С HCl студень тв. 4	15	Майтландит (Pb, Ca) <sub>2</sub> Th <sub>3</sub> U <sub>4</sub> <sup>4+</sup> Si <sub>8</sub> O <sub>32</sub> · · 23H <sub>2</sub> O	?	Нет	Стекланный до смоляного
			Призматический ромбоэдрический Вкрапленники, сплошные массы	С HCl студень тв. 3—4 U > 45%	16	Ненадкевит (U <sup>4+</sup> , Y, Ce) U <sup>6+</sup> (Mg Ca Pb) <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] [OH] <sub>4-8</sub> · nH <sub>2</sub> O см. 29, 54	Тетрагон.	Нет	Стекланный
		+	Плотные массы, прожилки	В кислотах не растворяется	17	Лодочникит $2(U, Th)O_2 \cdot 3UO_3 \cdot 14TiO_2$	?	Нет	Смоляной
		(очень много)							
		Нет	Нет	Кубы с октаэдрами Вкрапленники. Неправильные зерна	В HCl не растворяется	18	Алданит $[(Th, U^{4+})_{1-x} U_x^{6+}] O_{2+x}$	Куб.	Неясная
Призматический, бипирамидальный Вкрапленники	С HCl студень			19	Ураноторит (Th, U) $SiO_4 \cdot nH_2O$ n = 1 — 1,5	Тетрагон.	Неясная по призме	Стекланный до смоляного	
	U > 10%			20	Браннерит (U, Ca, Fe, Y, Th) <sub>3</sub> Ti <sub>5</sub> O <sub>16</sub>	Моноклин.	Нет	Алмазный	



## ые с цветной чертой

осколках, не люминесцируют)

Дополнительные диагностические признаки						Происхождение, характерные спутники
Излом	Твердость	Уд. вес.	Оптические свойства	U, %	Другие дополнительные признаки	
Данных нет	2—3	Данных нет	Прх. св. $N_g = 1,92$ — темнофиолетовый; $N_m = 1,90$ — светлофиолетовый; $N_p = 1,67$ — бесцветный; $2V$ — малый	70,4	Цв. черный с фиолетовым и бурым оттенком Прозвучивает Черта буро-фиолетовая	Зона окисления гидротермальных месторождений Настуран, беккерелит, скупит, казолит
Полураковистый до зернистого	5—6	5,44—5,45	Изотропизированный (метамиктный) $N = 1,77$	22,8	—	Пегматиты Циртолит, фергусонит, гадолинит, торогуммит
Полураковистый	4	4,31—4,45	Изотропный	31,2	—	Пегматиты Николайит, макинтошит, альбит, кварц, слюды, касситерит
Плоско-раковистый	3—4	4,16—4,81	Изотропизированный (метамиктный) Прх. св. темнобутылочно-зеленый; $N = 1,716—1,781$ . Иногда анизотропный. Отр. св. серый; $R \leq R$ настурана	45,26—58,52	Черта коричневатая	Высокотемпературные гидротермальные месторождения. Браннерит, бесториевый уранинит, малакон, амфиболы, эгириц, магнетит, гематит
Раковистый	5—6	5,88	Изотропизированный (метамиктный) $N > 2,1$ , отр. св. темносерый	43,4	Непрозрачный Черта темнокоричневая	Сидерито-баритовые прожилки в нефелиновом пегматите Гематит, смирновит, ферротрит
Данных нет	6—7	8,65—8,92	Изотропный. Отр. св. серовато-белый; вн. рефлексы буровато-красные; $R = 20\%$		Непрозрачный Черта зеленовато-бурая Двойники по (III). Цв. смоляно-черный до зеленовато-черного Слабо электромагнитный	Пегматиты и россыпи Монацит, ильменит, циркон, рутил, касситерит, золото
Данных нет	4,5—5	3,94	Изотропизированный (метамиктный) $N = 1,710$	7,4—14,3	Черта буровато-серая. От примеси Fe — цв. красноватый	Пегматиты, грейзены, пневматолиты Бетафит, малакон, флюорит, ферротрит, монацит, пироклор
Раковистый	4,5—5,5	4,5—5,43	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. желто-зеленый; $N = 2,30—2,35$ Отр. св. серый. слабые буровато-	39,0	Черта зеленовато-бурая	Аксессуарный минерал (граниты) Пегматиты с турмалином. Кварц, беккерелит

Не электромагнитные	Нет	Нет	Аморфные стекловатые выделения Вкрапленники	С HCl студень тв. 4	15	Майтландит (Pb, Ca) <sub>2</sub> Th <sub>3</sub> U <sub>4</sub> <sup>4+</sup> Si <sub>8</sub> O <sub>32</sub> · · 23H <sub>2</sub> O	?	Нет	Стекланный до смоляного	П
			Призматический ромбоэдрический Вкрапленники, сплошные массы	С HCl студень тв. 3—4 U > 45%	16	Ненадквит (U <sup>4+</sup> , Y, Ce) U <sup>6+</sup> (Mg Ca Pb) <sub>2</sub> [SiO <sub>4</sub> ] [OH] <sub>4-8</sub> · nH <sub>2</sub> O см. 29, 54	Тетрагон.	Нет	Стекланный	Р
			Плотные массы, прожилки	В кислотах не растворяется	17	Лодочникит 2(U, Th)O <sub>2</sub> · 3UO <sub>3</sub> · 14TiO <sub>2</sub>	?	Нет	Смоляной	Р
Электромагнитные	Нет	Нет	Кубы с октаэдрами Вкрапленники. Неправильные зерна	В HCl не растворяется	18	Алданит [(Th, U <sup>4+</sup> ) <sub>1-x</sub> U <sub>x</sub> <sup>6+</sup> ] O <sub>2+x</sub>	Куб.	Неясная	Смоляно- жирный	
			Призматический, бипирамидальный Вкрапленники	С HCl студень	19	Ураноторит (Th, U) SiO <sub>4</sub> · nH <sub>2</sub> O n = 1 — 1,5	Тетрагон.	Неясная по призме	Стекланный до смоляного	
	Очень много	Нет	Вкрапленники. Призматические кристаллы, овал- ные выделения (уфертит)	U > 10%	20	Браннерит (U, Ca, Fe, Y, Th) <sub>3</sub> Ti <sub>6</sub> O <sub>16</sub>	Моно- клин.	Нет	Алмазный	Р <sub>1</sub>
				U < 10%	21	Делоренцит (Y, U, Fe) (Ti, Sn?) <sub>3</sub> O <sub>8</sub>	Ромб.	Нет	Смоляной	Р <sub>2</sub>
						Уфертит 20FeO · 8Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · 4TR <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · · UO <sub>2</sub> · 74TiO <sub>2</sub>	?	Нет	Смоляной	Р <sub>3</sub>
Иттрокразит (Y, Th, U, Ca) <sub>2</sub> (Ti, Fe, W) <sub>4</sub> O <sub>11</sub> ?	Ромб.	Нет	Смоляной	Н пс 1						

й	Полурако- вистый	4	4,31—4,45	Изотропный	31,2	—	Пегматиты Николайит, макинтошит, альбит, кварц, слюды, касситерит
й	Амфи- бовистый	3—4	4,16—4,81	Изотропизированный (метамиктный) Прх. св. темнобутылочно-зеленый; $N = 1,716—1,781$ . Иногда анизотроп- ный. Отр. св. серый; $R \leq R$ настурана	45,26—58,52	Черта коричневатая	Высокотемпературные гидротермальные место- рождения. Браннерит, бесториевый уранинит, малакон, амфи- болы, эгирин, магнетит, гематит
	Россып- чатый	5—6	5,88	Изотропизированный (метамиктный) $N > 2,1$ , отр. св. темносерый	43,4	Непрозрачный Черта темнокоричневая	Сидерито-баритовые прожилки в нефелиновом пегматите Гематит, смирновит, ферротрит
Данных нет		6—7	8,65—8,92	Изотропный. Отр. св. серовато-белый; вн. рефлексы буровато-красные; $R = 20\%$		Непрозрачный Черта зеленовато-бурая Двойники по (III). Цв. смоляно-черный до зеленовато-черного Слабо электромагнитный	Пегматиты и россыпи Монацит, ильменит, циркон, рутил, кассите- рит, золото
Данных нет		4,5—5	3,94	Изотропизированный (метамиктный) $N = 1,710$	7,4—14,3	Черта буровато-серая. От примеси Fe — цв. красноватый	Пегматиты, грейзены, пневматолиты Бетафит, малакон, флю- орит, ферротрит, мона- цит, пироксид
ковистый		4,5—5,5	4,5—5,43	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. желто-зеленый; $N = 2,30—2,35$ Отр. св. серый, слабые буровато- красные рефлексы	39,0	Черта зеленовато- бурая	Аксессуарный минерал (граниты) Пегматиты с турмалие- ном. Кварц-берилловы жилы с шеелитом, мо- либденитом и урано- танталониобатами Золотоносные пески
ковистый		5,5—6	4,7	Изотропизированный (метамиктный) Прх. св. каштаново-бурый	8,7	Просвечивает светлым каштаново-бурым цветом	Пегматиты Стрюверит, колумбит, ильменит, турмалин, берилл. Аксессуарный минерал гранитов (редко)
ковистый	Нет данных		4,33	Изотропизированный (метамиктный) Отр. св. серый; $R = 19\%$	2,3—3,2	—	Жилы альбитита Ильменит, магнетит, халькопирит, гематит
ровный лурако- вистый		5,5—6	4,80	Изотропный до слабо анизотропного Прх. св. янтарно-желтый до светло- желтого; $N = 2,12—2,15$	2,22	При выветривании с поверхности бурый	Пегматиты Гадолинит

Магнитность	Руководящие диагностические признаки				Группа минералов	Название минерала, формула	Сингония	Спайность	Блеск	Излом
	Nb, Ta	Ti	Облик, агрегаты	Другие характерные признаки						
Электромагнитные	Много	$(\text{TiO}_2 > 5\%)$	Вкрапленники: призматические, иногда таблитчатые, кристаллы, неправильные выделения	Кристаллы вытянуты по оси <i>a</i>	22	Бломстрандин (Y, Er, Ca, Th, U) (Ti, Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Ромб.	Нет	Сильно стеклянный	Раковист
						Приорит (Y, Er, Ca, U, Th) (Ti, Nb) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (см. 34)	Ромб.	Нет	Алмазный	Раковист
				Кристаллы вытянуты по оси <i>c</i>	23	Поликраз (Y, Ce, Ca, U, Th) (Ti, Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub>	Ромб.	Нет	Полуметаллический	Раковист
						Эвксенит (Y, Ce, Ca, U, Th) (Ti, Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (см. 35)	Ромб.	Нет	Полуметаллический, жирный	Раковист
			Микрокристаллические неправильные выделения	Уд. вес > 5 U < 7%	24	Хлопинит (Y, U, Th) (Nb, Ta, Ti, Fe) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ?	Не выяснена	Нет	Полуметаллический	Раковист; занозист
			Вкрапленники: октаэдрические, ромбододекаэдрические (иногда сплюснутые) и плохо образованные кристаллы; кристаллические массы (менделеевит)	Уд. вес < 5 U > 15%	25	Бетафит (U, Ca, Th, Y, Ce) (Nb, Ta, Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> · nH <sub>2</sub> O? (см. 33)	Куб.	Нет	Жирный до стеклянного, смоляной	Раковист
						Бломстрандит (U, Ca, Fe, Ce) (Nb, Ta, Ti) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> · nH <sub>2</sub> O? (см. 33)	Куб.	?	?	?
						Эльсвортит (U, Ca, Fe) <sub>2</sub> (Nb, Ta, Ti) <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (O, OH) (см. 33, 60)?	Куб.	Нет	Алмазный	Полуаквистый, зернистый
						Менделеевит (U, Ca, Fe) <sub>2</sub> (Nb, Ta, Ti) <sub>2</sub> O <sub>8</sub> (O, OH)	Куб.	Нет	Полуметаллический	Полуаквистый, зернистый
				U > 10%	26	Кальциосамарскит (Ca, Y, Er, Ce, U, Th) <sub>3</sub> (Nb, Ta, Fe) <sub>5</sub> O <sub>14</sub> ? Самарскит (см. 5)	Ромб.	Нет	Полуметаллический	Неправильный до раковистого
Ишикаванит (U, Fe, Y, Er, Ce) <sub>2</sub> (Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ?	Ромб.	Нет				Смоляной	?			
Ампангабейт (Y, Er, U, Ca, Th) <sub>3</sub> (Nb, Ta, Fe, Ti) <sub>7</sub> O <sub>18</sub> ? (См. 31, 45, 58)	Ромб.	Не обнаружена				Смоляной	Раковистый Неровный			
Плюмбониобит ниобат Y, U, Pb, Fe	Ромб.	Нет				Смоляной	Грубо-раковистый			

Дополнительные диагностические признаки					Происхождение, характерные спутники
Твердость	Уд. вес.	Оптические свойства	U, %	Другие дополнительные признаки	
5,5	4,6—5,4	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. бледно-желтый до почти бесцветного, в отдельных участках анизотропный	2,9—4,6	Цв. темнокоричневый до черного. Просвечивает, желто-бурым цв. Черта красновато-желтая	Пегматиты Приорит
5,6	4,61—5,05	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. красновато-коричневый до светлорубого; $N = 2,14—2,20$ ; Отр. св. кремово-серый; $R$ — средняя; вн. рефлексы отчетливые коричневатожелтые	3,4—4,6	Цв. буро-черный, просвечивает желто-бурым цветом. Черта красновато-желтая. Хрупкий	Пегматиты Ампагабейт, колумбит, берилл магнетит, биотит
5,5—6,5	4,7—5,4	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. бурый с красноватым или желтоватым оттенком; $N = 2,248$	9,00—11,84	Черта желтовато-или красновато-бурая, просвечивает. Штриховка. Двойники (201)	Пегматиты Эвксенит, присрит, монацит, ксенотим, фергусонит
5,5—6,5	4,5—5,9	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. коричневатобурый до светложелтого; $N = 2,20—2,25$ . Отр. св. кремово-серый; $R = 12—15\%$ ; вн. рефлексy слабые темнокрасные, буро-красные	4,9—15,0	Черта желтовато-или красновато-бурая. Просвечивает краснобурым, желто-бурым цветом	Пегматиты Бетафит, биотит, монацит, блонстрандин, ильменит, магнетит
5—6	5,24	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. темнобурый светлокоричнев.; $N = 2,15—2,20$ . Отр. св. кремово-серый; $R > 8\%$ ; вн. рефлексy слабые красновато-коричневые	6,75	Просвечивает буроватым цветом. Черта темнокоричневая. Кристаллы неизвестны	Пегматиты Монацит, циркон, ортит, сфен, гранат
4	3,70—5	Изотропный. Прх. св. светло-желтый до бесцветного; $N = 1,895—1,925$	16,8—22,1	Черта темнокоричневая	Пегматиты Эвксенит, фергусонит, берилл, малакон, биотит
5,5—6	4,07—4,25	Изотропный; $N$ — высокий	15—22,3	Цв. зеленовато-бурый	Пегматиты Берилл, колумбит, малакон, полевые шпаты
4,0—4,5	3,61—3,76	Изотропный; $N = 1,89$ . Отр. св. $R$ — средняя; вн. рефлексy серовато-желтые до светлокоричневого	5,3—18,3	Черта светлая, буровато-желтая до бурой. Сильноокругленные грани	Пегматиты Циркон, сфен, кварц, кальцит, флюорит
4,5	4,44—7,75	Отр. св. кремово-серый; $R$ — средняя, вн. рефлексy слабые коричнево-бурые	17—23,9	Черта светлая, красновато-коричневая	Пегматиты Ортит, эвксенит, циркон, монацит
6,5	4,48—4,74	Изотропизированный; (метамиктный). Прх. св. коричневатый; $N = 2,01—2,09$	9,3—11,4	Черта буровато-серая	Пегматиты Колумбит, циртолит, тухолит, уранинит
5—6	6,2—6,4	Не изучены	19,2	Черта темно-бурая	Пегматиты Самарскит
3,5—5,5	4,97	Изотропизированный. Прх. св. буро-желтый, темный и светложелтый; $N = 2,13$ . Отр. св. серый; $R$ — средняя; вн. рефлексy коричневые	10,6—17,1	Черта коричневая Пятнистая окраска	Пегматиты Колумбит, магнетит, эвксенит, стрюверит, гранат, циртолит, биотит, альбит
5—5,5	4,8—4,81	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. коричневый (неоднородный)	12,0	Черта коричневая	Пегматиты Уранинит

Много (TiO<sub>2</sub> > 5%)

Много

Мало (TiO<sub>2</sub> < 5%) или отсутствует

Микрокристаллические неправильные выделения	Уд. вес > 5 U < 7%	24	Хлопинит (Y, U, Th) (Nb, Ta, Ti, Fe) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> ?	Не выяснена	Нет	Полуметаллический	Раковин заноз
	Вкрапленники: октаэдрические, ромбододекаэдрические (иногда сплюснутые) и плохо образованные кристаллы; кристаллические массы (менделеевит)	Уд. вес < 5 U > 15%	25	Бетафит (U, Ca, Th, Y, Ce) (Nb, Ta, Ti) <sub>3</sub> O <sub>6</sub> · nH <sub>2</sub> O? (см. 33)	Куб.	Нет	Жирный до стеклянного, смоляной
Бломстрандит (U, Ca, Fe, Ce) (Nb, Ta, Ti) <sub>3</sub> O <sub>6</sub> · nH <sub>2</sub> O? (см. 33)				Куб.	?	?	?
Эльсвортит (U, Ca, Fe) <sub>2</sub> (Nb, Ta, Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O, OH) (см. 33, 60)?				Куб.	Нет	Алмазный	Полувист зерна
Менделеевит (U, Ca, Fe) <sub>2</sub> (Nb, Ta, Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O, OH)				Куб.	Нет	Полуметаллический	Полувист зерна
Вкрапленники: призматические, таблитчатые (ишикаваит, иттроганталит), дипирамидальные (фергюсонит), неясно выраженные кристаллы; неправильные выделения	U > 10%	26	Кальциосамарскит (Ca, Y, Er, Ce, U, Th) <sub>3</sub> (Nb, Ta, Fe) <sub>6</sub> O <sub>18</sub> ? Самарскит (см. 5)	Ромб.	Нет	Полуметаллический	Неправильный раковин
			Ишикаваит (U, Fe, Y, Er, Ce) <sub>2</sub> (Nb, Ta) <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ?	Ромб.	Нет	Смоляной	?
			Ампангабейт (Y, Er, U, Ca, Th) <sub>2</sub> (Nb, Ta, Fe, Ti) <sub>7</sub> O <sub>18</sub> ? (См. 31, 45, 58)	Ромб.	Не обнаружена	Смоляной	Раковин Неровн
			Плюмбониобит ниобат Y, U, Pb, Fe	Ромб.	Нет	Смоляной	Груб раковин
	U < 10%	27	Виикит. Сложный силико-титанотанталониобат U, Y, Ca, Fe переменного состава (см. 32, 35, 45, 59)	Ромб.	Нет	Смоляной, стеклянный, матовый	Раковин Заноз
			Фергюсонит (Y, Er, Ce, U, Fe) (Nb, Ta, Ti)O <sub>4</sub> (См. 32)	Тетрагон	Следы (III)	Смоляной, с поверхности тусклый	Полувист
			Иттроганталит (Fe, Y, Er, U, Ca) <sub>4</sub> [(Ta, Nb) <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ] <sub>3</sub> Ta > Nb	Ромб.	Нет	Стеклообразный	Раковин
			Иттроколумбит (Fe, Y, Ce, U, Th, Ca) <sub>4</sub> [(Ta, Nb) <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ] <sub>3</sub> Nb > Ta	Ромб.	?	Стеклообразный	?

жирный

истый, истый	5—6	5,24	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. темнобурый светло-коричнев.; $N = 2,15 - 2,20$ . Отр. св. кремво-серый; $R > 8\%$ ; вн. рефлекссы слабые красновато-коричневые	6,75	Просвечивает буроватым цветом. Черта темнокоричневая. Кристаллы неизвестны	Пегматиты Монацит, циркон, ортит, сфен, гранат
истый	4	3,70—5	Изотропный. Прх. св. светло-желтый до бесцветного; $N = 1,895 - 1,925$	16,8—22,1	Черта темнокоричневая	Пегматиты Эвксенит, фергюсонит, берилл, малакон, биотит
?	5,5—6	4,07—4,25	Изотропный; $N$ — высокий	15—22,3	Цв. зеленовато-бурый	Пегматиты Берилл, колумбит, малакон, полевые шпаты
урако- стый, истый	4,0—4,5	3,61—3,76	Изотропный; $N = 1,89$ . Отр. св. $R$ — средняя; вн. рефлекссы серовато-желтые до светлокоричневого	5,3—18,3	Черта светлая, буровато-желтая до бурой. Сильноокругленные грани	Пегматиты Циркон, сфен, кварц, кальцит, флюорит
урако- стый, истый	4,5	4,44—7,75	Отр. св. кремво-серый; $R$ — средняя, вн. рефлекссы слабые коричнево-бурые	17—23,9	Черта светлая, красновато-коричневая	Пегматиты Ортит, эвксенит, циркон, монацит
правиль- ый до овистого	6,5	4,48—4,74	Изотропизированный; (метамиктный). Прх. св. коричневатый; $N = 2,01 - 2,09$	9,3—11,4	Черта буровато-серая	Пегматиты Колумбит, циртолит, тухолит, уранинит
?	5—6	6,2—6,4	Не изучены	19,2	Черта темно-бурая	Пегматиты Самарскит
овистый рожный	3,5—5,5	4,97	Изотропизированный. Прх. св. буро-желтый, темный и светлозеленый; $N = 2,13$ . Отр. св. серый; $R$ — средняя; вн. рефлекссы коричневые	10,6—17,1	Черта коричневая Пятнистая окраска	Пегматиты Колумбит, магнетит, эвксенит, стрюверит, гранат, циртолит, биотит, альбит
рубо- овктый	5—5,5	4,8—4,81	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. коричневый (неоднородный)	12,0	Черта коричневая	Пегматиты Уранинит
овктый озктый	4—5,5	3,27—4,87	Изотропизированный (метамиктный.) Прх. св. окраска пятнистая; $N = 1,87 - 2,00$ . Отр. св. серый; $R$ — слабая; вн. рефлекссы коричнево-желтые и коричнево-серые	2,5—9,3	Черта темносерая, коричнево-бурая. Просвечивает или непрозрачный	Пегматиты Монацит, магнетит, биотит, полевые шпаты, гематит, уранинит, гадолинит. Иногда сульфиды
лушко- истый	5,5—6,5	5,5—5,8	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. от светлого до темнобурого; $N = 2,06 - 2,19$ . Отр. св. кремво-серый; $R$ — хорошая; вн. рефлекссы слабые красновато-коричневые	1,28—5,41	Черта бурая, буровато-серая	Пегматиты Циркон, магнетит, эвксенит, биотит Россыпи с эвксенитом, монацитом, гадолинитом
овктый	5—5,5	5,5—5,9	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. красновато-бурый до светложелтого; $N = 2,10 - 2,15$ . Отр. св. коричневатосерый; $R \sim 13\%$ ; вн. рефлекссы желтовато-серые и желтые	1,4—4	Черта серая до бесцветной	Пегматиты Фергюсонит, гадолинит, монацит, топаз, гранат
?	5	5,49	Изотропизированный (метамиктный); $N = 2,15$	2,7	Черта бурая	Пегматиты

Минералы темноокрашенные

(просвечивают, черта цветная или бесцветная; не

Руководящие диагностические признаки					Группы минералов	Название минерала, формула	Допс				
Магнит- ность	Ta, Nb	Ti	Облик, агрегаты	Другие характерные признаки			Синго- ния	Блеск	Излом	Спай- ность	Твер- дость
<b>1. Коричневые, бурые и зеленовато-бур</b>											
Неэлек- тромаг- нитные	Нет	Нет	Плотные аморф- ные массы псев- доморфозы по ураниниту	Легко растворяет- ся в кисло- тах	28	Кларкеит (Na, K) <sub>2-2x</sub> (Ca, Pb) <sub>x</sub> U <sub>2</sub> O <sub>7</sub> · y H <sub>2</sub> O		Восковой	Раковис- тый	Нет	4—4,5
			Призматичес- кий, ромбоэд- рический Вкрапленники, сплошные мас- сы	СНCl сту- день Уд. вес 3,8—3,91	29	Ненадкевит (см. 16)		Стеклянный до жирного			
Электро- магнит- ные	Мно- го	Ма- ло (TiO <sub>2</sub> < 5%)	Октаэдры Вкрапленники		30	Джалмаит (танталгаччетто- лит) (U, Ca, Pb, Fe) (Ta, Nb, Zr) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> · nH <sub>2</sub> O (см. 46)	Куб.	Жирный	Неровный	Нет	5,5
			Призматичес- кий Вкрапленники	U > 10%	31	Ампангабит (см. 26)		Смоляной до жирного			
				U < 10%	32	Виикит (см. 27) Фергюсонит (см. 27)					
		Мно- го (TiO <sub>2</sub> > 5%)	Октаэдры, додекаэдры Вкрапленники		33	Эльсвортит (см. 25) Бломстрандит (см. 25) Бетафит (см. 25)					
				Призматичес- кий Вкрапленники	Вытянутость кристаллов по оси a	34	Бломстрандин-приорит (см. 22)				
					Вытянутость кристаллов по оси c	35	Поликраз-эвксенит (см. 23) Виикит (см. 27,32)				



## нералы темноокрашенные

а цветная или бесцветная; не люминесцируют)

Дополнительные диагностические признаки							Происхождение, характерные спутники
Излом	Спай- ность	Твер- дость	Уд. вес	Оптические свойства	U, %	Другие дополнительные признаки	
<b>свые, бурые и зеленовато-бурые</b>							
Раковис- тый	Нет	4—4,5	6,39	Прх. св. красно-бурый до оранжевого; $N_g=2,108$ ; $N_m=2,098$ $N_p=1,997$ ; $-2V=30-50^\circ$ ; плеохроизм в оранже- вых тонах	67,7—68,7	Цв. темнокоричневый и красновато-коричне- вый. Черта желтовато- бурая. Просвечивает в тонких зернах	Зона окисления пег- матитов Кюрит, содиит, цирто- лит, монацит, ториевый кюрит
			3,8—3,91		45,26—58,52	Цв. коричневый, и красно-бурый	Высокотемпературные гидротермальные место- рождения Черный ненадкевит, браннерит, бесториевый уранинит, малакон, эги- рин, магнетит
Неровный	Нет	5,5	5,75—5,78	Изотропный; $N = 1,97$		Цв. бурый	Пегматиты Аквамарин, турмалин, самарскит
			3,92—4,39	$1,89 < N < 2,13$		Пятнистая окраска в штуфе. Цв. от темнозе- леного до темнобурого	
			4,3—5,6			Цв. темнобурый	
						Цв. темнобурый	
						Цв. зеленовато-бурый	
						Цв. зеленовато-бурый	
						Цв. коричнево-жел- тый, темно-коричневый, красно-бурый. Черта бледная красновато-жел- тая	
						Цв. темный с зелено- ватым или буроватым оттенком	
						Цв. коричневый и крас- но-коричневый	

	Нет	Нет	Призматический, ромбоэдрический Вкрапленники, сплошные массы	СНCl студень Уд. вес 3,8—3,91	29	Ненадкевит (см. 16)		Стекланный до жирного			
Электромагнитные	Много	Мало (TiO <sub>2</sub> < 5%)	Октаэдры Вкрапленники		30	Джалмаит (танталгачеттолит) (U, Ca, Pb, Fe) (Ta, Nb, Zr) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> · nH <sub>2</sub> O (см. 46)	Куб.	Жирный	Неровный	Н	
			Призматический Вкрапленники	U > 10%	31	Ампангабит (см. 26)		Смоляной до жирного			
				U < 10%	32	Виикит (см. 27) Фергюсонит (см. 27)					
		Много (TiO <sub>2</sub> > 5%)	Октаэдры, додекаэдры Вкрапленники		33	Эльсвортит (см. 25) Бломстрандит (см. 25) Бетафит (см. 25)					
				Призматический Вкрапленники	Вытянутость кристаллов по оси a	34	Бломстрандин-приорит (см. 22)				
			Вытянутость кристаллов по оси c		35	Поликраз-эвксенит (см. 23) Виикит (см. 27,32)					

## 2. Зеленые

Неэлектромагнитные	Нет	Нет	Таблитчатые кристаллы, плотные массы — корочки на натуре	Растворяется в HCl с пузырьками Реакция на Cu	36	Ванденбрандеит (уранолепидит) CuO · UO <sub>3</sub> · 2 — 2,5H <sub>2</sub> O	Трикл.	Стекланный	Данных нет	п (11)
			Игольчатый Гроздевидные, сферические, землистые, радиальнолучистые	Реакция на PO <sub>4</sub> <sup>'''</sup> , U <sup>4+</sup>	37	Лермонтовит (U <sup>4+</sup> , Ca <sub>2</sub> , TR) <sub>3</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>4</sub> · 6H <sub>2</sub> O	?	Матовый на поверхности, шелковистый в изломе	Данных нет	Данных нет

			3,8—3,91		45,26—58,52	Цв. коричневый, и красно-бурый	Высокотемпературные гидротермальные месторождения Черный ненадквит, браннерит, бесториевый уранинит, малакон, эгирин, магнетит
Неровный	Нет	5,5	5,75—5,78	Изотропный; $N = 1,97$		Цв. бурый	Пегматиты Аквамарин, турмалин, самарскит
			3,92—4,39	$1,89 < N < 2,13$		Пятнистая окраска в штуфе. Цв. от темнозеленого до темнобурого	
			4,3—5,6			Цв. темнобурый	
						Цв. темнобурый	
						Цв. зеленовато-бурый	
						Цв. зеленовато-бурый	
						Цв. коричнево-желтый, темно-коричневый, красно-бурый. Черта бледная красновато-желтая	
						Цв. темный с зеленоватым или буроватым оттенком	
						Цв. коричневый и красно-коричневый	

## 2. Зеленые

Данных нет	по (110)	4	4,91—5,03	Прх. св. зеленый; плеохроизм от зеленого до бесцветного; $Ng=1,782-1,800$ ; $Nm=1,78$ ; $Np=1,76-1,77$ ; $\pm 2V \sim 90$ Угол погасания $35^\circ$ на спайных пластинках		Цв. кристаллов темнозеленый до почти черного Прозрачный в тонких осколках	Зона окисления гидротермальных месторождений Настуран, халькопирит, казолит, склодовскит, сульфиды меди
Данных нет	Данных нет	Данных нет		Прх. св. травяно-зеленый, концентрически зональный, погасание прямое; $Ng=1,574-1,726$ ; $Np=1,562-1,702$ ; плеохронрует	42,9	Резко изменчивое светопреломление	Зона цементации гидротермальных месторождений Урановая чернь, сульфаты U, марказит, гидронастуран, силикаты U, охра талия

Руководящие диагностические признаки			Группа минералов	Наименование минерала, формула	Сингония, облик	Агрегаты	Спайность
Люминесценция	Реакция на анионы	Другие характерные признаки					

5. Желтый

Очень сильная голубовато-зеленая	+CO <sub>3</sub> <sup>''</sup> +SO <sub>4</sub> <sup>''</sup>	Слюдоподобный облик. Уд. вес. 2,47—2,51	100	Шрёккингерит (см. 63)			
	+CO <sub>3</sub> <sup>''</sup>	Изометрические прозрачные кристаллы. Уд. вес 2,8	101	Андерсонит Na <sub>2</sub> Ca(UO <sub>2</sub> )(CO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Тригон. (псевдокубическая) Бипирамидальный	Друзы, одиночные кристаллы в корочках и скоплениях	Данных нет
Сильная голубовато-зеленая		Пластинчатые кристаллы. Прозрачный Уд. вес 2,14—2,41	102	Ураноталлит (Либигит) Ca <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> )(CO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> · 8—11H <sub>2</sub> O	Ромб. Почти изометрические ромбоидальные пластинки, призмы, иногда с закругленными ребрами и большим количеством граней	Радиальнолучистые почковидные, чешуйчатые, корочки и налеты	Ясная (100)
	Сильная желто-зеленая	+Ca Nm = 1,573—1,605		103	Отенит (см. 64)		
+Ba Nm = 1,623			104	Ураноцирцит Ba(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 8H <sub>2</sub> O	Ромб. (псевдотетрагональная). Тонкопластинчатый с квадратным и восьмиугольным сечением	Корочки, друзовидные скопления, прожилки	Совершенная (001), ясная (010) (100)
Nm = 1,510			105	Ураношпатит Ca(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (PO <sub>4</sub> ) <sub>2</sub> · 12H <sub>2</sub> O	Ромб. (псевдотетрагональная). Удлиненно-таблитчатый	Скопления кристаллов по трещинам	Совершенная (001) ясная (100)
Слабая голубовато-зеленая	+AsO <sub>4</sub> <sup>'''</sup>	Nm = 1,567—1,586	106	Уранспинит (см. 67)			
	+CO <sub>3</sub> <sup>''</sup>	Призматические кристаллы Уд. вес 2,8	107	Свартцит MgCa(UO <sub>2</sub> )(CO <sub>3</sub> ) <sub>3</sub> · 12H <sub>2</sub> O	Моноклинная Призматический	Корочки	
Люминесценция не выяснена		Игольчатые кристаллы Уд. вес ~2,6	108	Раббиттит Ca <sub>3</sub> Mg <sub>3</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> [OH] <sub>4</sub> · 18H <sub>2</sub> O	Моноклин. Игольчатый, волокнистый	Налеты	По (001)
		Уд. вес > 3,3	109	Шарпит (UO <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> (CO <sub>3</sub> ) <sub>6</sub> [OH] <sub>2</sub> · 7H <sub>2</sub> O	Ромб. Волокнистый чешуйчатый	Корочки радиальнолучистые и чешуйчатые 6. Изумрудно-, голубовато-, травяно-зеленые	

6. Изумрудно-голубая

Дополнительные диагностические признаки								Происхождение, характерные спутники
г	Блеск	Излом	Твердость	Уд. вес	Оптические свойства	Другие дополнительные признаки	U, %	
гогато-зеленые								
						Цв. желтовато-зеленый. Просвечивает		
нет	Стеклянный перламутровый	Данных нет		2,7—2,8	Прх. св. $N_g = 1,540—1,542$ — бледнозеленый; $N_o = 1,520—1,526$ — бесцветный; $+2V = 0^\circ$ , иногда $> 0$	Цв. яркий желтовато-зеленый. Прозрачный	36,1	Зона окисления гидротермальных месторождений и грейзенов Шрекингерит, байлеит шварццит, гипс
ю)	Стеклянный		2,5—3	2,14—2,41	Прх. св. $N_g = 1,524—1,543$ — зеленовато-желтый; $N_m = 1,498—1,506$ — желтоватый; $N_p = 1,494—1,501$ — бесцветный; $\pm 2V = 30—48^\circ$ , иногда аномальная интерференционная окраска	Цв. желто-зеленый. Прозрачен до просвечивающего	31,2—33,0	Образуется в горных выработках гидротермальных и осадочных месторождений Шрекингерит, гипс, ярозит
						Цв. зеленый с желтым оттенком		
иная ая	Перламутровый		2—2,5	3,50—3,55	Прх. св. $N_g = N_m = 1,623$ — бледножелтый; $N_p = c$ ; $-2V = 10—25^\circ$	Цв. желтовато-зеленый, светлозеленый. Прозрачный до просвечивающего	41,0—47,1	Зона окисления гидротермальных и осадочных месторождений Отенит, торбернит, уранофан, беккерелит В осадочных с уранованадатами и гидроокислами Fe
иная (100)			2—3	2,50	Прх. св. $N_g = 1,521$ — темно-желтый; $N_m = 1,510$ — темно-желтый; $N_p = 1,488$ — желтоватый; $N_p = c$ ; $-2V = 69^\circ$	Цв. желто-зеленый до бледнозеленого	48,1	Зона окисления гидротермальных месторождений Отенит, фосфуранилит, при $t = 40^\circ$ переходит в отенит
						Цв. светло-зеленый до ярко-желто-зеленого		
	Данных нет			2,3	Прх. св. $N_g = 1,540$ — желтый; $N_m = 1,510$ — желтый; $N_p = 1,465$ — бесцветный; $-2V = 40^\circ$	Цв. зеленый	30,9	Зона окисления гидротермальных месторождений Андерсонит, шрекингерит, байлеит, гипс
	Шелковистый	Данных нет		2,57	Прх. св. $N_g = 1,525$ ; $N_m = 1,508$ ; $N_p = 1,502$ ; $2V$ — большой; $c : N_g = 15^\circ$ ; $N_m = b$	Цв. светлозелено-желтый		Образуется в старых горных выработках и отвалах гидротермальных месторождений Фурмарьерит, циппеит, гипс
	Данных нет		>2,5	>3,33	Прх. св. $N_g = 1,72$ — светло-желтый, слегка зеленоватый; $N_p = 1,620—1,633$ — буроватый; удл. +; положительный	Цв. желтовато-зеленый	6,72	Зона окисления гидротермальных и осадочных месторождений Кюрит, беккерелит, уранофан, ванадаты, шрекингерит, сульфаты U

Люминесценция  
не выявлена

Уд. вес > 3,3

109

Шарпит  
 $(\text{UO}_2)_6 [\text{CO}_3]_5 [\text{OH}]_2 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$

Ромб.  
Волокнистый чешуйчатый

Корочки радиально-лучистые и чешуйчатые  
6. Изумрудно-, голубовато-, травяно-зеленые

6. Изумрудно-голубая

+SiO<sub>3</sub>''

+Cu

110

Купроскладовскит (Яхимовит)  
 $\text{Cu} (\text{UO}_2)_2 \text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Ромб.  
Игольчатый

Корочки: плотные, радиальнолучистые, сферические, часто пленки, налеты

+CO<sub>3</sub>''

+Cu

111

Фоглит  
 $2\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot \text{UO}_3 \cdot 5\text{CO}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Трикл.  
Изометрический иногда чешуеподобный

Корочки и пленки

+PO<sub>4</sub>'''

№ = 1,590—1,592  
+Cu

112

Торбернит (Хальколит)  
 $\text{Cu} (\text{UO}_2)_2 [\text{PO}_4]_2 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$

Тетрагон. Тонко-таблитчатый с восьмиугольными и квадратными очертаниями

Чешуйчатые, листоватые, плотные друзы, порошковатые налеты, корочки, одиночные кристаллы

Совершенная (001), ясная (0 и 100)

+Cu

№ = 1,623  
+Cu

113

Метаторбернит  
 $\text{Cu} (\text{UO}_2)_2 [\text{PO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Тетрагон.  
Прямоугольные пластинки таблички

Чешуйчатые, листоватые, розетчатые скопления в пустотах: порошковатые налеты; корочки

Совершенная (001), ясная (100)

+AsO<sub>4</sub>'''

+Cu

114

Цейнерит  
 $\text{Cu} (\text{UO}_2)_2 [\text{AsO}_4]_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$

Тетрагон.  
Таблитчатый с квадратными очертаниями, реже дипирамидальный

Слюдоподобные, тонко-чешуйчатые, звездчатые, порошковатые скопления

Совершенная (001), ясная (100)

115

Метацейнерит  
 $\text{Cu} (\text{UO}_2)_2 [\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$

Тетрагон.  
Таблитчатый

Данные

+SO<sub>4</sub>''

Растворяется в воде  
+Cu

116

Иоганнит (Гильпинит. Пелигонит)  
 $\text{Cu} (\text{UO}_2)_2 [\text{SO}_4]_2 [\text{OH}]_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$

Трикл.  
Брусковидный, таблитчатый, игольчатый, сплюснутый по (010)

Радиальнолучистые и почковидные корочки

Ясная (001)

+VO<sub>4</sub>'''

+Cu

117

Сенжьерит  
 $\text{Cu}_2(\text{UO}_2)_2 [\text{VO}_4]_2 [\text{OH}]_2 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$

Ромб.

Корочки

Совершенная (001)

Отсутствует

Данных нет		>2,5	>3,33	Прх. св. $Ng = 1,72$ — светло-желтый, слегка зеленоватый; $Np = 1,620 - 1,633$ — буроватый; удл. +; положительный	Цв. желтовато-зеленый	6,72	Зона окисления гидротермальных и осадочных месторождений Кюрит, беккерелит, уранофан, ванадаты, шрёкингерит, сульфаты U
убсвато- и травяно-зеленые							
Данных нет				Прх. св. $Np = 1,654 - 1,665$ — бесцветный; $Ng = Nm = 1,664 - 1,667$ — зеленовато-желтые (—) 2V; удлинение +; погасание прямое, аномальная интерференционная окраска	Цв. бледно-зеленый, зеленый. Прозрачный до просвечивающего	53,6—54	Зона окисления гидротермальных месторождений Уранофан, $\beta$ -уранотил, ванденбрандеит, хризоколла, лимонит
	Стекланный	Данных нет		Прх. св. $Ng = 1,564$ — бледно-желтый; $Nm = 1,544 - 1,547$ , синезеленый; $Np = 1,541$ — то же +2V = 60°. $Ng$	Цв. изумрудно-зеленый до светлотравяно-зеленого	32,6	Зона окисления гидротермальных месторождений Ураноталлит, сульфат-карбонаты урана]
енная ая (010)	Перламутровый, стекланный	2—2,5	3,20—3,60	Прх. св. $No = 1,590 - 1,593$ — темнозеленый; $Ne = 1,576 - 1,582$ — светлозеленый, —2V=0 иногда 2V малый	Цв. изумрудно-и травяно-зеленый	47,3	Зона окисления гидротермальных месторождений Отенит, цейнерит, лимонит, девиндтит Зона окисления петматитовых месторождений. Кюрит, отенит
енная асная	Данных нет	2 25	3,6—3,68	Прх. св. $No = 1,623$ — темнозеленый; $Ne = 1,625$ ; — светлозеленый, светлосиний; +2V = 0; иногда 2V очень малый; аномальная интерференционная окраска	Цв. изумрудно-и травяно-зеленый	46,5—52,0	Зона окисления гидротермальных месторождений Торбернит, отенит, смешанная слюдка, галлуазит, лимонит Редко зона окисления осадочных месторождений
енная ая (101)		2—2,5	3,2—3,7	Прх. св. $No = 1,642 - 1,651$ ; $Ne = 1,622 - 1,635$ . $No - Ne = 0,016 - 0,020$ ; плеохроизм сильный от синеватого до изумрудно-зеленого; —2V = 0°; аномальная интерференционная окраска	Цв. изумрудно-и яблочно-зеленый		Зона окисления гидротермальных месторождений Трёгерит, ураноспинит, торбернит, лимонит, скородит
Данных нет			3,28	Прх. св. $No = 1,643 - 1,650$ ; $Ne = 1,623 - 1,628$ ; —2V = 0°; сильный плеохроизм; $No$ — изумрудно-зеленый; $Ne$ — синеватый	Цв. зеленый	68,3	Зона окисления гидротермальных месторождений Торбернит, ураноспинит, трёгерит, цейнерит, лимонит
(001)	Стекланный матовый	2—2,5	3,3	Прх. св. $Ng = 1,611 - 1,620$ ; $Nm = 1,580 - 1,597$ ; $Np = 1,572 - 1,577$ ; $Ng - Np = 0,036 - 0,047$ ; $Nm : c = 4 - 8^\circ$ ; плеохроизм в зелено-желтых тонах; $\pm 2V = 80 - 90^\circ$	Цв. травяно-зеленый, бледно-зеленый, иногда с желтым оттенком. Часто сложные полисинтетические двойники	30,1—50,0	Образуется на стенках горных выработок при испарении рудничных вод Циппент, шрёкингерит, гипс, халькантит, лимонит, остаточная чернь
ощенная	Стекланный	2,5	~4	Прх. св. $Ng = 1,97$ — желто-зеленый до бесцветного; $Nm = 1,94$ — зеленый; $Np = 1,74$ — синевато-зеленый; —2V = 37°—39°; $Np = c$ ; $Ng = a$	Цв. зеленый		Зона окисления гидротермальных месторождений Окислы Fe, сульфиды, настуран

Руководящие диагностические признаки			Группа минералов	Название минерала (распространенные синонимы) Формула	Сингония, облик	Агрегаты	Спайность
Люминесценция	Реакция на анионы	Другие характерные признаки					
	+VO <sup>4+</sup>	От HCl краснеет	76	Карнотит K <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [VO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 3H <sub>2</sub> O	Ромб.	Порошковатые массы и налеты	Совершен (001)
I		Растворяется в HCl с выделением пузырьков; Nm = 1,790	77	Эпиянтинит (см. 42)			
		Растворяется в HCl с выделением пузырьков Nm = 1,714—1,760	78	Параскувит 5UO <sub>3</sub> · 9 1/2 H <sub>2</sub> O	Ромб. Таблитчатый	Корочки на поверхности	Совершен
		Растворяется в HCl с выделением пузырьков; Nm = 1,810	79	Минерал X 5UO <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O	Ромб. Удлиненно таблитчатый	Данных нет	Совершен (001)
		Растворяется в HCl с выделением пузырьков. Изотропный до анизотропного N <sub>ср</sub> = 1,681—1,686	80	Ургит (см. 52)			
+SiO <sub>2</sub>		Корочки, налеты скопления в пустотах +Pb Анизотропный	81	Орлит Pb <sub>3</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ] <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Игольчатый	Радиальнолучистые	
		Вкрапленники Изотропный? +Pb, +Th	82	Николайит (Pb, Ca) <sub>2</sub> Th <sub>3</sub> U <sub>4</sub> <sup>6+</sup> Si <sub>8</sub> O <sub>36</sub> · 21H <sub>2</sub> O	Аморфный	Вкрапленники	Нет
+MoO <sub>4</sub>		Игольчатые кристаллы	83	Иригинит U <sub>2</sub> <sup>6+</sup> [Mo <sub>4</sub> ][OH] <sub>4</sub> · 4H <sub>2</sub> O	Монокл. Игольчатый (псевдогексагональный)	Радиальнолучистые корочки	I
Отсутствует		Отсутствие катионов кроме (UO <sub>2</sub> ) <sup>2+</sup>	84	Фосфуранилит (UO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O	Монокл. (псевдотетрагональная). Тонко таблитчатый	Чешуйчатые, порошковатые скопления и налеты	(01)
		+Fe Nm = 1,570—1,574	85	Бассетит Fe(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 6—8H <sub>2</sub> O	Монокл. Таблитчатый	Корочки	Совершен (010) менее совершенна (001)
		+Pb Прямое погасание Nm = 1,87—1,89	86	Дюмонтит Pb <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> [OH] <sub>4</sub> · 3H <sub>2</sub> O	Ромб. Призматический, таблитчатый	Корочки, друзы	Данных
		+Pb Nm ≈ 1,73	87	Ренардит Pb(UO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> [OH] <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	Ромб. Таблитчатый	Друзы и мелкокристаллические скопления	Совершенно (100)



Дополнительные диагностические признаки								Происхождение, характерные спутники
Цвет	Блеск	Излом	Твердость	Уд. вес	Оптические свойства	Другие дополнительные признаки	U, %	
белая	Перламутровый по (001)		2—2,5	4,46	Прх. св. $Ng = 1,950 - 2,08$ — лимонно-желтый; $Nm = 1,925 - 2,04$ лимонно-желтый; $Np = 1,750$ — серовато-желтый; $-2v = 50^\circ$	Цв. яркожелтый, зеленовато-желтый Непрозрачный	51,7—54,5	Зона выветривания осадочных месторождений Тюямунит, ураноталит, шрёкингерит, гидроокислы Fe
					Плеохроизм; $Ng$ — густожелтый; $Nm$ — желтый; $Np$ — светло-желтый	Цв. желтый		
белая	Алмазный	Данных нет	2—3	>3,3	Прх. св. $Ng = a$ ; $Np = c$ ; $Ng = 1,769 - 1,770$ — желтый; $Np = 1,702 - 1,703$ почти бесцветный; $-2V = 46^\circ$ ; $Nm = 1,714 - 1,730$ (1,760) — желтый Погасание прямое	Просвечивает	74,0	Зона окисления гидротермальных месторождений Настуран, янтинит, беккерелит, кюрит
белая	Данных нет	Данных нет	3	Данных нет	Прх. св. $Ng = a$ ; $Np = c$ ; $Nm = b$ ; $Ng = 1,820$ — желтый; $Nm = 1,810$ — желтый; $Np = 1,785$ — бесцветный; $\pm 2V$ до $52^\circ$		69,2	Зона окисления гидротермальных месторождений Уранофан, циппеит
					Прх. св. желтый; изотропный; $N = 1,681 - 1,686$ : иногда анизотропный	Цв. янтарно-желтый; прозрачный	62,6	
	Восковой	Данных нет	Данных нет	5,31	Прх. св. $Ng = 1,793$ (?); $Np = ?$ ; $Nm = 1,788$ ; удлинение отрицательное, погасание прямое	Цв. кремово-желтый	55,3	Зона окисления гидротермальных месторождений Казолит, уранофан, $\beta$ — уранотил
	Стеклянный до смоляного	Неровный	3,5	4,13	Прх. св. $N = 1,617$ ; очевидно, изотропизированный	Цв. яркий светложелтый, непрозрачный	32,8	Пегматиты (Продукт выветривания майтландита) Касситерит, альбит, слюды. При выветривании переходит в пильбарит и гидротерит
белая	Данных нет	Данных нет	Данных нет	3,84	$Ng = 1,93$ , $Np = 1,82$	Цв. желтый При прокаливании легко выделяет воду	34,8	Зона окисления метаморфогенных месторождений Опал, молуранит
белая	Перламутровый, матовый			Около 3	Прх. св. $Ng = 1,720$ ; $Nm = 1,690 - 1,723$ ; $Np = 1,691$ , $-2V$ до $10^\circ$ ; плеохроизм: $Ng = Nm$ — желтый; $Np$ — бесцветный; погасание $10 - 13^\circ$ ; $Np \perp (010)$	Цв. лимонно-желтый желтый; Прозрачный до просвечивающего	44,5—60,0	Зона окисления гидротермальных месторождений Метагаллаузит, каолинит, метаторбернит, отенит
белая	Перламутровый	Данных нет	3	3,1—3,2	Прх. св. $Ng = 1,579 - 1,580$ ; $Nm = 1,570 - 1,574$ ; $Np = 1,558$ ; $-2V = 62 - 86^\circ$ ; плеохроизм от светлого $Np$ до густожелтого $Ng$ и $Nm$ . Погасание прямое	Цв. желтый просвечивает	49,8	Зона окисления гидротермальных месторождений Цейнерит, отенит, лимонит. Неустойчив, разъедается лимонитом
белая	Данных нет	Данных нет	$\approx 3$	$\approx 5$	Прх. св. $Nm = 1,87 - 1,89$ ; $Np = 1,88$ ; погасание прямое; плеохроизм сильный по с удл. — темножелтый, $a = b$ — светло-желтый; $+ 2V$ большой	Цв. желтый, охряно-желтый. Просвечивает Штриховка	16,8	Зона окисления гидротермальных месторождений Отенит, торбернит, цейнерит, лимонит, ренардит, казолит
белая	Жирный	Данных нет	Данных нет	4,05	Прх. св. $Ng = 1,737 - 1,739$ — бесцветный; $Nm = 1,732 - 1,736$ — бесцветный; $Np = 1,713 - 1,715$ —	Цв. желтый с коричневым оттенком	53,7—57,5	Зона окисления гидротермальных месторождений

+PO <sub>4</sub> <sup>'''</sup>	+Pb Прямое погасание <i>Nm</i> = 1,87—1,89	86	Дюмонтит Pb <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> [OH] <sub>4</sub> · 3H <sub>2</sub> O	Ромб. Призматический, таблитчатый	Корочки, друзы	Данных нет
	+Pb <i>Nm</i> ≈ 1,73	87	Ренардит Pb(UO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> [OH] <sub>4</sub> · 7H <sub>2</sub> O	Ромб. Таблитчатый	Друзы и мелкокристаллические скопления	Совершенная (100)
	+Pb Прямое погасание <i>Nm</i> = 1,75	88	Пржевальскит Pb(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 4H <sub>2</sub> O	Ромб- Таблитчатый	Слюдоподобные, чешуйчатые	Совершенная (001)
	+Pb Погасание прямое, <i>Nm</i> = 1,763	89	Девиндит Pb <sub>3</sub> (UO <sub>2</sub> ) <sub>5</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>4</sub> [OH] <sub>4</sub> · 10H <sub>2</sub> O	Ромб. Таблитчатый плоскопризматический	Друзы в полостях, скрытокристаллические, порошковатые скопления по трещинам	Ясная (100)
	+Pb Погасание с: <i>Ng</i> — 6—23°, <i>Np</i> = 1,795—1,870	90	Парсонсит Pb <sub>2</sub> (UO <sub>2</sub> ) [PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · H <sub>2</sub> O	Монокл. или трикл. Призматический, пластинчатый	Плотные, скрытокристаллические, волокнистые, лучистые скопления	Данных нет
+AsO <sub>4</sub> <sup>'''</sup>	<i>No</i> = 1,627—1,631	91	Трёгерит (см. 57)			
	+Bi <i>Nm</i> = 1,975—2,00	92	Вальпургит (см. 56)			
+SO <sub>4</sub> <sup>''</sup>		93	Циппеит (см. 48)			
+VO <sub>4</sub> <sup>'''</sup>		94	Тюямунит Ca(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [VO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 8H <sub>2</sub> O	Ромб. Тонкопластинчатый	Тонкочешуйчатые, землистые массы; налеты и корочки в полостях	Совершенная (001) ясная (010) и (100)
+(Ta, Nb)O <sub>3</sub> <sup>''</sup>	Вкрапленники-октаэдр	95	Самиресит (U, Pb, Ce) (Nb, Ti, Ta) <sub>3</sub> O <sub>9</sub> · nH <sub>2</sub> O?	Куб. Октаэдрический, реже в комбинации с додекаэдром	Вкрапленники	Нет
Не выяснена	—	96	Скупит (Шёпит) 4UO <sub>3</sub> · 9H <sub>2</sub> O	Ромб. Таблитчатый бипирамидальный	Мелкокристаллические корочки, сплошные массы и псевдоморфозы по настурану	Совершенная (001)
	+CO <sub>3</sub> <sup>''</sup>	97	Рётзерфордин (Ретзерфордит) (UO <sub>2</sub> ) CO <sub>3</sub> ?	Ромб. Волокнистый	Корочки. Псевдоморфозы по ураниниту	Д
	+SO <sub>4</sub> <sup>''</sup>	98	Ураконит (см. 62)			
	+VO <sub>4</sub> <sup>'''</sup>		99	Ферганит (UO <sub>2</sub> ) <sub>3</sub> [VO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 6H <sub>2</sub> O?	Ромб. Чешуйчатый	Данных нет

х нет	Данных нет	Данных нет	≈3	≈5	Прх. св. $Nm = 1,87-1,89$ ; $Np = 1,88$ ; погасание прямое; плеохроизм сильный по с удл. — темножелтый, $a = b$ — светло-желтый; $+2V$ большой	Цв. желтый, охряно-желтый. Просвечивает Штриховка	16,8	Зона окисления гидротермальных месторождений Отенит, торбернит, цейнерит, лимонит, ренардит, казолит
шенная	Жирный	Данных нет	Данных нет	4,05	Прх. св. $Ng = 1,737-1,739$ — бесцветный; $Nm = 1,732-1,736$ — бесцветный; $Np = 1,713-1,715$ — желтый; $-2V = 60-70^\circ$	Цв. желтый с коричневым оттенком	53,7—57,5	Зона окисления гидротермальных месторождений Торбернит, девиндит, дюмонтит, казолит, уранофан
шенная	Сильно стеклянный	Данных нет			Прх. св. $Ng = 1,752-1,753$ — густо-желтый; $Nm = 1,749-1,750$ — светложелтый; $Np = 1,739$ — бесцветный, $(-)$ $2V$ — средний. Удл. отрицательное, погасание прямое	Цв. ярко-желтый	38,5	Зона окисления гидротермальных месторождений Девиндит, отенит, ренардит, метагаллузит
(100)	Стекланный	Данных нет	Данных нет	4,08—5,03	Прх. св. $Ng = 1,765$ ; $Nm = 1,763$ ; $Np = 1,762$ ; $Np = a$ ; $+2V$ — очень большой; погасание прямое	Прозрачный до просвечивающего	45,6	Зона окисления гидротермальных месторождений Торбернит, отенит, ренардит, дюмонтит уранофан
х нет	Стекланный	Данных нет		5,37—6,23	Прх. св. $Ng = 1,86-1,90$ ; $Np = 1,795-1,870$ ; $Ng : c = 6-23^\circ$ . Удлинение положительное	Цв. светло-желтый, бесцветный, желтовато-бурый Иногда коричневые, пылевидные включения	24,6—28,9	Зона окисления гидротермальных месторождений Торбернит, девиндит, ураноцирцит, отенит. Зона окисления пегматитовых месторождений Отенит, полевые шпаты
						Цв. лимонно-желтый		
						Цв. желтый		
						Цв. ярко-желтый		
ршенная (010)	Сильный перламутровый		1—2	3,31—4,35	Прх. св. $Ng = 1,895-1,968$ — желтый; $Nm = 1,870-1,932$ — бледножелтый; $Np = 1,67-1,80$ — почти бесцветный; $-2V = 36-57^\circ$ ; $Np = c$	Цв. ярко-желтый, иногда с зеленоватым или оранжевым оттенком	44,5—52,4	Зона выветривания осадочных месторождений Гипс, ванадаты U
	Данных нет	Раковистый	?	≈5,24 (колеблется)	Прх. св. изотропный, $N = 1,92-1,96$	Цв. золотисто-желтый Просвечивает; разлагается в слабых кислотах	17,6	Пегматиты Циркон, самородный висмут, эвксенит, биотит
ршенная	Алмазный		2—3	4,8—4,95	Прх. св. $Ng = 1,735$ ; $Nm = 1,714$ ; $Np = 1,690$ ; $-2V = 89^\circ 20'$ ; $Ng$ и $Nm$ — лимонно-желтые; $Np$ — бесцветный; $Ng = a$ ; $Nm = b$ ; $Np = c$	Цв. лимонный; серно-желтый Прозрачный или просвечивает	72,6	Зона окисления гидротермальных месторождений Настуран, янтинит, беккерелит, кюрит
	Данных нет		?	4,82	Прх. св. $Ng = 1,80$ ; $Nm = 1,75$ ; $Np = 1,72$ ; $+2V$ . Удл. —	Цв. желтый, серно-желтый. Просвечивает	63,5	Зона окисления пегматитовых месторождений Уранинит
						Цв. серно-лимонножелтый		
ршенная ному панию	Восковой		2,0	3,31	Плеохроизм почти отсутствует; двупреломление значительное, $2V$ большой	Цв. светло-желтый непрозрачный	65,5	Зона окисления осадочных месторождений. Тюямунит и карнит

Руководящие диагностические признаки			Группа минералов	Название минерала, формула	Сингония, облик	Агрегаты	Спайнос
Люминесценция	Реакция на анионы	Другие характерные признаки					

1. Красные и

О т с у т с т в у е т	—	Растворяется в HCl с выделением пузырьков; +Pb; уд. вес ~7,2	38	Кюрит $2PbO \cdot 5UO_3 \cdot 4H_2O$	Ромб. Призматические кристаллы, обычно-массивный, плотный, землистый	Корочки тонкоигольчатых кристаллов, псевдоморфозы по настурану	Совершенно (100) или (1
		Растворяется в HCl с выделением пузырьков; +Pb и Th	39	Ториевый кюрит $2PbO \cdot ThO_2 \cdot 5UO_3 \cdot 6H_2O$	Аморфный	Плотные массы, псевдоморфозы по ураниту	Нет
		Растворяется в HCl с выделением пузырьков; +Pb; уд. вес ~6	40	Фурмарьерит $PbO \cdot 4UO_3 \cdot 5H_2O$	Ромб. Таблитчатый	Мелкокристаллические плотные массы	Данных
		Растворяется в HCl с выделением пузырьков; +Bi	41	Ураносферит $Bi_2O_3 \cdot 2UO_3 \cdot 3H_2O$ (см. 49)	Ромб. Полушаровидный, мелкие удлиненные кристаллы	Концентрические, радиальные, плотные, землистые, щетки, друзы	Совершенно (100)
		Растворяется в HCl с выделением пузырьков; уд. вес. 3,3—3,5	42	Эпиянтинит $UO_3 \cdot 2H_2O$ (см. 77)	Ромб. Призматический, игольчатый	Данных нет	Совершенно (001)
	+PO <sub>4</sub> '''	+Mn	43	Фритчеит $Mn(UO_2)_2[PO_4, VO_4]_2 \cdot 8H_2O?$	Тетрагон. Таблитчатый, призматический	Данных нет	Совершенно по (001)
Не выяснено	+VO <sub>4</sub> '''	—	44	Раувит $CaO \cdot 2UO_3 \cdot 6V_2O_5 \cdot 2OH_2O?$	Микрокристаллический	Землистые, порошковатые массы	

2. Коричневые, бурые,

у е т	[O <sub>3</sub> ]"	Призматическая форма кристаллов	45	Вникит (см. 27, 32, 35)			
				Ампангабейт (гидратированный) (см. 26, 31)			
				Иттротанталит (см. 27)			

## и светлоокрашенные

Дополнительные диагностические признаки								Происхождение, характерные спутники
Стать	Блеск	Излом	Твердость	Уд. вес	Оптические свойства	Другие дополнительные признаки	U, %	
<b>оранжево-красные</b>								
иная 110)	Алмазный	Данных нет	4—5	7,19	Прх. св. желтый до красно-оранжевого. Кристаллы: $N_g = 2,15$ , темный красно-оранжевый; $N_m = 2,11$ — красно-оранжевый; $N_p = 2,06$ бледножелтый; $+2V$ большой. Плотные массы: от почти изотропного до изотропного; $N \approx 2,10$ ; погасание прямое; $N_p = b$ ; $N_g = c$	Просвечивает	61,6	Зона окисления гидротермальных месторождений Настуран, соддиит, казолит
	Сильный стеклянный	Раковистый	4,4—4,6	5,25±	Прх. св. красно-желтый, изотропный; $N > 1,786$ ; до слабо анизотропного с аномальной интерференционной окраской	Прозрачный	49,6	Зона окисления пегматитов Уранинит, кларкеит, торий содержащие уранил-силикаты
нет	Алмазный	Данных нет	3—4	5,69—6,05	Прх. св. светложелтый до красно-желтого; $N_g = 1,94$ — темножелтый; $N_m = 1,92$ — бледножелтый; $N_p = 1,85$ бесцветный; $-2V$ большой; $N_p = c$	Штриховка. Прозрачный	64,5—64,6	Зона окисления гидротермальных месторождений Кюрит, казолит
ая	Жирный	Данных нет	2—3	6,36	Прх. св. $N_g = 2,05$ ; $N_m = 1,985$ ; $N_p = 1,955$ ; $+2V$ большой; $N_g = c$	Просвечивает	41,7—42,2	Зона окисления гидротермальных месторождений. Вальпургит, трегерит, цейнерит, ураноспинит
ая	Сильно стеклянный?	Данных нет	2—3	3,3—3,5	Прх. св. $N_g = 1,790—1,793$ — красный; $N_m = 1,730—1,79$ — буровато-оранжевый; $N_p = 1,695—1,70$ ; —светлорозовый; $-2V = 50^\circ$ ; $N_p = c$ ; $N_g = a$	Цв. пурпурно-красный. Включения янтинита	77,7	Зона окисления, гидротермальных месторождений Янтинит
ая	Стеклянный до перламутрового	—	2—3	3,5	Не изучены	Цв. красновато-бурый	39,8	Зона окисления гидротермальных месторождений. Настуран, отенит, торбернит, гематит
	Данных нет				Прх. св. анизотропный $N = 1,88$	Цв. пурпурно-красный	17,9	Зона выветривания осадочных месторождений Карнотит, геветтит

## желтовато- и зеленовато-бурые

	Жирный					Цв. светлокоричневый		
			3,5—4	3,35—3,75	Изотропизированный Прх. св. $N = 1,80—1,86$	Цв. светлозеленый, светлокоричневый, коричнево-зеленый. Пятнистая окраска		
					Отр. св. коричнево-серый. $R$ — слабая до средней, внутренние рефлексы ясные. желто-серые, желтые	Цв. бурый и светлокоричневый		

Не высе- нено	+VO <sup>IV</sup> <sub>4</sub>	—	44	Раувит CaO · 2UO <sub>3</sub> · 6V <sub>2</sub> O <sub>5</sub> · 2OH <sub>2</sub> O?	Микрокристалличе- ский	Землистые, порош- коватые массы	
------------------	--------------------------------	---	----	---	---------------------------	------------------------------------	--

2. Коричневые, бурые, желт

О т с у т с т в у е т	+ (TaNb)O <sub>3</sub> ; + (TiO <sub>3</sub> ) <sup>n</sup>	Призматическая форма кристаллов	45	Вникит (см. 27, 32, 35)			
				Ампангабеит (гидратиро- ванный) (см. 26, 31)			
				Иттроганталит (см. 27)			
		Октаэдрическая форма кристаллов, плотные массы (обру- чевит)	46	Джалмаит (Танталгатчеттолит) (см. 30)			
				Гатчеттолит (Уранпирохлор) (Ca, U, Fe) <sub>2</sub> (Nb, Ta, Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O,OH)	Куб. Октаэдрический с гранями куба. Плотный	Вкрапленники	Нет
			47	Обручевит 3Na <sub>2</sub> O · 4 (Ca, Fe) <sup>n</sup> O · · 3Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · (U, Th) <sup>n</sup> O <sub>2</sub> · · 5 (Ta, Nb) <sub>2</sub> O <sub>5</sub> · 2OH <sub>2</sub> O?	Куб. Плотные массы	Вкрапленники	Нет

3. Оранжево-красновато-

Очень слабая грязножелто- зеленая	+SO <sup>IV</sup> <sub>4</sub>	Землистые и порош- коватые выделения	48	Циппеит (Урановая охра) (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [SO <sub>4</sub> ] [OH] <sub>2</sub> · 3 — 5H <sub>2</sub> O (см. 93)	Монокл. Удлиненно-пластин- чатый, линзовидный веретенообразный	Землистые, порошко- ватые налеты, почко- видные образования радиальнолучистого строения	Совершенная (010)
			49	Ураноферит (см. 41)			
О т с у т с т в у е т	—	Растворяется в HCl с выделением пузырь- ков; +Bi Nm = 1,985	50	Беккерелит 1) 3UO <sub>3</sub> · 5H <sub>2</sub> O 2) 3 [(U, Pb) <sup>n</sup> O <sub>3</sub> ] · 5H <sub>2</sub> O	Ромб. Призматический, уд- линенно-таблитчатый	Мелкокристалличе- ские корочки, сплош- ные массы	Совершенная (101) и (110)
		Растворяется в HCl с выделением пузырь- ков; +Ba Nm = 1,820	51	Бильетит BaO · 6UO <sub>3</sub> · 10 — 11H <sub>2</sub> O	Ромб. Пластинчатый	Данных нет	Совершенная
		Растворяется в HCl с выделением пузырь- ков. Псевдоморфозы по гидронастурану N = 1,693—1,705	52	Ургит UO <sub>3</sub> · nH <sub>2</sub> O; n = 1,7—3,1 (см. 80)	Аморфный	Плотные массы	Нет
		Вкрапленный харак- тер выделений +Pb	53	Пильбарит Pb Th (UO <sub>2</sub> ) [OH] <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> · 3H <sub>2</sub> O	Аморфный	Землистые стяже- ния (вкрапленники)	—

говато- и зеленовато-бурые

Жирный					Цв. светлокоричневый		
		3,5—4	3,35—3,75	Изотропизированный Прх. св. $N = 1,80—1,86$	Цв. светлозеленый, светлоричневый, коричнево-зеленый. Пятнистая окраска		
				Отр. св. коричнево-серый. $R$ —слабая до средней, внутренние рефлексы ясные. желто-серые, желтые	Цв. бурый и светлоричневый		
Жирный					Цв. желтовато- и зеленоватобурый	9,6	"
Жирный до смоляного	Полураковистый	4,0—5,0	4,51—4,90	Изотропный Прх. св. $N = 1,98—2,10$ Отр. св. $R$ —средняя; вн. рефлексы сильные, темнокрасные, красновато-коричневые	Цв. бурый, желто-бурый; прозрачный	13,0—14,5	Пегматиты Самарскит, турмалин, берилл, слюда
Жирный смоляной	Раковистый	—	3,96—4,80	Изотропный (метамиктный)	Цв. светлокоричневый	5,5	Пегматиты Орит, гранаты, полевые шпаты

и буровато-желтые

Матовый	—	3	3,4—3,6	Прх. св. $Ng = 1,635—1,739$ —темножелтый; $Nm = 1,615—1,710$ —желтый; $Np = 1,575—1,636$ ; $Ng-Np=0,071—0,116$ ; $Ng:c = 32—40^\circ$ ; $-2V$ большой	Цв. оранжево-желтый; легко распадается при надавливании на мельчайшие индивидуумы. Просвечивает	43,4—66,6	На стенках горных выработок при испарении рудничных вод Настуран, чернь, уранопилит, гипс, ярозит, асфальтиты с уранованадатом
					Цв. оранжево-желтый		
Алмазный	—	2—3	5,68	Прх. св. $Ng = 1,830$ —темножелтый; $Nm = 1,820—1,845$ светложелтый; $Np = 1,725—1,735$ —бесцветный; $-2V = 30^\circ 35'$ ; $Np=c$ ; $Ng=a$ ; $Nm=b$ ; для Pb—разности: $Ng=1,880^\circ$ ; $Nm = 1,870$ ; $Np = 1,750$	Цв. буровато-янтарно-желтый	72,5—74,7	Зона окисления гидротермальных месторождений Скупит, настуран, янтинит, соддит, кюрит
Алмазный	Данных нет	Данных нет	5,28	Прх. св. $Np = c$ , $Ng = b$ , $Ng = 1,828$ ; $Nm = 1,822$ ; $Np = 1,73$ ; $Ng$ —густожелтый; $Nm$ —желтоватый, $Np$ —бесцветный; $-2V$ около $36^\circ$	Цв. янтарно-желтый; просвечивает	67,6	Зона окисления гидротермальных месторождений Гидрокислы и силикаты U
Сильный стеклянный	Раковистый	2—3	4,17	Прх. св. желтый. Изотропный, слабо анизотропный: $N = 1,693—1,705$	Цв. красновато-желтый. Прозрачный, очень хрупкий	58,0—59,0	Зона окисления гидротермальных месторождений Гидронастуран, силикаты типа соддита, водный кремнезем
—	Землистый	2,5—3	4,4—4,7	Изотропный; $N = 1,73—1,76$	Цв. красновато-буровато- и канареечно-желтый	22,4	Пегматиты Продукты выветривания майгандита, николайита Танталит, касситерит, слюды Переходит в гидротрит

Отс	+	Октаэдрическая форма кристаллов, плотные массы (обручевит)	46	Гатчеттолит (Уранпирохлор) (Ca, U, Fe) <sub>2</sub> (Nb, Ta, Ti) <sub>2</sub> O <sub>6</sub> (O,OH)	Куб. Октаэдрический с гранями куба. Плотный	Вкрапленники	Нет	Жирный смолянс
			47	Обручевит 3Na <sub>2</sub> O · 4 (Ca, Fe)O · 3Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub> · (U, Th)O <sub>2</sub> · 5 (Ta, Nb) <sub>2</sub> O <sub>5</sub> · 2OH <sub>2</sub> O?	Куб. Плотные массы	Вкрапленники	Нет	Жирны смолянс

### 3. Оранжево-красновато- и буровато-

Очень слабая грязножелто- зеленая	+SO <sub>4</sub>	Землистые и порош- коватые выделения	48	Циппеит (Урановая охра) (UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [SO <sub>4</sub> ] [OH] <sub>2</sub> · 3 — 5H <sub>2</sub> O (см. 93)	Монокл. Удлиненно-пластин- чатый, линзовидный веретенообразный	Землистые, порошко- ватые налеты, почко- видные образования радиальнолучистого строения	Совершенная (010)	Матовый			
			49	Ураносферит (см. 41)							
			50	Беккерелит 1) 3UO <sub>3</sub> · 5H <sub>2</sub> O 2) 3[(U, Pb) <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ] · 5H <sub>2</sub> O	Ромб. Призматический, уд- линненно-таблитчатый	Мелкокристалличе- ские корочки, сплош- ные массы	Совершенная (101) и (110)	Алмазный			
			51	Бильетит BaO · 6UO <sub>3</sub> · 10 — 11H <sub>2</sub> O	Ромб. Пластинчатый	Данных нет	Совершенная	Алмазный			
			52	Ургит UO <sub>2</sub> · nH <sub>2</sub> O; n = 1,7—3,1 (см. 80)	Аморфный	Плотные массы	Нет	Сильный стекляни			
			53	Пильбарит Pb Th (UO <sub>2</sub> ) [OH] <sub>2</sub> Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> · 3H <sub>2</sub> O	Аморфный	Землистые стяже- ния (вкрапленники)	—	—			
			54	Ненадкевит (U <sup>6+</sup> Y, Ce) (Ca Mg Pb) <sub>2</sub> [Si <sub>2</sub> O <sub>7</sub> ] [(OH) <sub>4-8</sub> ] nH <sub>2</sub> O (см. 16, 29)							
			55	Казолит Pb (UO <sub>2</sub> ) SiO <sub>4</sub> · nH <sub>2</sub> O n = 1 — 1,6	Монокл. Призматический, игольчатый, волокни- стый, скрытокристал- лический	Радиальнолучистые, волокнистые и плотные скопления в пустотках и в виде корочек; по- рошковатые налеты	Совершенная (001) Несовер- шенная (100) и (010)	Сильны стекляни			
			Отс	+	Выделения в виде корок и налетов +Pb	55	Казолит Pb (UO <sub>2</sub> ) SiO <sub>4</sub> · nH <sub>2</sub> O n = 1 — 1,6	Монокл. Призматический, игольчатый, волокни- стый, скрытокристал- лический	Радиальнолучистые, волокнистые и плотные скопления в пустотках и в виде корочек; по- рошковатые налеты	Совершенная (001) Несовер- шенная (100) и (010)	Сильны стекляни
						56	Уд. вес. 3,56—3,7 +Pb				



						бурый		
ит	Жирный до смоляного	Полураковистый	4,0—5,0	4,51—4,90	Изотропный Прх. св. $N = 1,98 - 2,10$ Отр. св. $R$ — средняя; вн. рефлексы сильные, темнокрасные, красновато-коричневые	Цв. бурый, желто-бурый; прозрачный	13,0—14,5	Пегматиты Самарскит, турмалин, берилл, слюда
ит	Жирный смоляной	Раковистый	—	3,96—4,80	Изотропный (метамиктный)	Цв. светлокоричневый	5,5	Пегматиты Ортит, гранаты, полевые шпаты

**овато- и буровато-желтые**

енная 0)	Матовый	—	3	3,4—3,6	Прх. св. $Ng = 1,635 - 1,739$ — темножелтый; $Nm = 1,615 - 1,710$ — желтый; $Np = 1,575 - 1,636$ ; $Ng - Np = 0,071 - 0,116$ ; $Ng : c = 32 - 40^\circ$ ; $-2V$ большой	Цв. оранжево-желтый; легко распадается при надавливании на мельчайшие индивидуумы. Просвечивает	43,4—66,6	На стенках горных выработок при испарении рудничных вод Настуран, чернь, уранопилит, гипс, ярозит, асфальтиты с уранованадатом
						Цв. оранжево-желтый		
енная (110)	Алмазный	—	2—3	5,68	Прх. св. $Ng = 1,830$ — темножелтый; $Nm = 1,820 - 1,845$ светложелтый; $Np = 1,725 - 1,735$ — бесцветный; $-2V = 30^\circ 35'$ ; $Np = c$ ; $Ng = a$ ; $Nm = b$ ; для Pb — разности: $Ng = 1,880^\circ$ ; $Nm = 1,870$ ; $Np = 1,750$	Цв. буровато-и янтарно-желтый	72,5—74,7	Зона окисления гидротермальных месторождений Скупит, настуран, янтинит, соддиит, кюрит
енная	Алмазный	Данных нет	Данных нет	5,28	Прх. св. $Np = c$ , $Ng = b$ , $Ng = 1,828$ ; $Nm = 1,822$ ; $Np = 1,73$ ; $Ng$ — густожелтый; $Nm$ — желтоватый, $Np$ — бесцветный; $-2V$ около $36^\circ$	Цв. янтарно-желтый; просвечивает	67,6	Зона окисления гидротермальных месторождений Гидроокислы и силикаты U
т	Сильный стеклянный	Раковистый	2—3	4,17	Прх. св. желтый. Изотропный, слабо анизотропный: $N = 1,693 - 1,705$	Цв. красновато-желтый. Прозрачный, очень хрупкий	58,0—59,0	Зона окисления гидротермальных месторождений Гидронастуран, силикаты типа соддинита, водный кремнезем
	—	Землистый	2,5—3	4,4—4,7	Изотропный; $N = 1,73 - 1,76$	Цв. красновато-буровато-и канареечно-желтый	22,4	Пегматиты Продукты выветривания майтландита, николайита Танталит, касситерит, слюды Переходит в гидроторит
				3,56—3,7	Изотропизированный (метамиктный). Прх. св. желтый; $N = 1,618 - 1,636$ ; агрегационная поляризация, аномальная интерференционная окраска в изумруднозеленых тонах. Отр. св. серый; $R \geq R$ настурана	Цв. оранжево-желтый	28,9—41,6	Повидимому, продукт выветривания черного ненадкевита
шенная Несоверш (100) и	Сильный стеклянный	Данных нет	4—5	5,81—5,96	Прх. св. $Ng = 1,95$ и $> 1,95$ ; $Nm = 1,88 - 1,91$ $Np = 1,85 - 1,895$ ; $+2V = 35 - 40^\circ$ . Погасание прямое. Удл. —	Цв. буровато-желтый, охряно-желтый и янтарно-желтый	36,2—41,5	Зона окисления гидротермальных месторождений Уранофан, соддиит, кюрит, фосфаты и арсенаты

Руководящие диагностические признаки			Группа минералов	Название минерала (распространенные синонимы), формула	Сингония, облик	Агрегаты	Спайность	
Люминесценция	Реакция на анионы	Другие характерные признаки						
Отсутствует	AsO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Высокое светопреломление ( $N_m = 1,975-2,00$ ) +Bi	56	Вальпургит $UO_3 \cdot 2Bi_2O_3 \cdot As_2O_5 \cdot 3H_2O$ (см. 92)	Трикл. Таблитчатый двойникованный по (010)	Скопления в пустотах и корочках	Совершенная (100)	
		Низкое светопреломление ( $N_o = 1,627-1,631$ )	57	Трөггерит $(UO_2)_3 [AsO_4]_2 \cdot 12H_2O$ (см. 91)	Тетрагон. Таблитчатые кристаллы квадратных прямоугольных и неправильных очертаний. Чешуйчатый	Скопления друз и беспорядочно спутанных листочков в пустотах и трещинах	Совершенная (001)	
	+ (Ta, Nb)O <sub>3</sub>	+Ti (мало)	58	Ампангабит (гидратированный) (см. 26, 31, 45)				
		Призматическая форма кристаллов +Ti (много)	59	Виикит (см. 27, 45)				
		Октаэдрическая форма кристаллов +Ti (много)	60	Эльсвортит (см. 25, 33)				
	Не выяснена	+VO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	Отчетливый плеохроизм в желтых и бурых тонах	61	Уванит $(UO_2)_3 V_6 O_{17} \cdot 15H_2O$	Ромб? (по оптическим данным)	Мелкозернистые массы	По двум направлениям (под микроскоп.)
+SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		Слабый плеохроизм в желтых тонах	62	Ураконит $3UO_3 \cdot SO_3 \cdot 14H_2O$ ? (см. 98)	Ромб. Пластинчатый, тонко-таблитчатый	Налеты, войлокообразные корочки	Данных нет	

#### 4. Желтые (золотистый—соломенный—серы

Очень сильная голубовато-зеленая	+Co <sub>3</sub> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	—	63	Шрёкингерит $NaCa_3 (UO_2) [CO_3]_3 [SO_4] F \cdot 10H_2O$ (см. 100)	Гексагональная? Слюдоподобный	Корочки и скопления: пластинчатые, чешуйчатые, натечные; порошковатые налеты	Совершенная (001), ясная (100)
	+Ca	—	64	Отенит $Ca (UO_2)_2 [PO_4]_2 \cdot 8-10H_2O$ (см. 103)	Псевдотетрагональная Тонко-таблитчатый с квадратными и восьмиугольными очертаниями	Корочки из пластинок и чешуек; звездчатые, сферические порошкообразные скрытокристаллические скопления; одиночные кристаллы	Совершенная (001); менее (100) и др.

Дополнительные диагностические признаки							Происхождение, характерные спутники
Блеск	Излом	Твердость	Уд. вес	Оптические свойства	Другие дополнительные признаки	U, %	
Стеклянный до алмазного	Данных нет	3,5	5,64—5,8	Прх. св. $N_g = 2,0 - 2,05$ ; $N_m = 1,975 - 2,00$ ; $N_p = 1,871 - 1,90$ ; $N_g - N_p = 0,14 - 0,15$ ; $N_m : c = 8^\circ$ ; $-2V = 52^\circ$ .	Цв. оранжево-желтый	16,9	Зона окисления гидротермальных месторождений Трэгерит, цейнерит, торбернит, ураносферит
Слабый стеклянный до перламутрового	—	2—3	3,23—3,3	Прх. св. $N_o = 1,627 - 1,631$ ; $N_e = 1,580 - 1,586$ ; $N_o - N_e = 0,045 - 0,047$ . Иногда двуосный с малым $2V$ ; слабый плеохроизм; погасание $11-14^\circ$	Цв. буровато-желтый	41,2—53,0	Зона окисления гидротермальных месторождений Цейнерит, отенит, ураноспинит, ураносферит, урановая чернь
					Цв. буровато-желтый		
					Цв. светлый буровато-желтый		
					Цв. буровато-желтый		
Данных нет	Данных нет	Данных нет	Данных нет	Прх. св. $N_g = 2,057$ — зелено-желтый; $N_m = 1,879$ — темно-бурый; $N_p = 1,817$ — светлорыжий; $+2V = 52^\circ$	Цв. буровато-желтый	32,9	Зона выветривания осадочных месторождений Карнотит, гипс, гялит, торбернит
Матовый	Данных нет	Данных нет	3,7—3,9	Прх. св. $N_g = 1,850$ ; $N_m = 1,752 - 1,790$ ; $N_p = 1,732 - 1,750$ ; $N_g - N_p = 0,10$ ; $+2V$ — средний; вдл. +; погасание косое; плеохроизм от бледножелтого до желтого	Цв. оранжево-желтый	54,8—58,9	Образуется на стенках горных выработок при испарении рудничных вод Настуран, чернь, уранопилит, гипс, ярозит, асфальтиты с уранованадатом

† — лимонный — и зеленоватый оттенки)

Стеклянный до перламутрового	—	2,5	2,47—2,51	Прх. св. $N_g = N_m = 1,339 - 1,545$ — бледнозеленовато-желтый; $N_p = 1,485 - 1,501$ — бесцветный; $N_g - N_p = 0,045 - 0,050$ ; $-2V = 0 - 25^\circ$ ; $N_p \perp (001)$ ; погасание прямое	Цв. желтый, зеленовато-желтый. Просвечивает	26,1—27,0	Образуется в зоне окисления в условиях сухого и жаркого климата и на стенках горных выработок в депрессионных воронках Ураноталит, андерсонит, ураносульфаты, уранованадаты, гипс
Перламутровый на спайн. пл. (001)	Данных нет	2—2,5	3,05—3,19 до 3,4—3,5	Прх. св. $N_g = 1,576 - 1,606$ ; $N_m = 1,573 - 1,605$ ; $N_p = 1,550 - 1,590$ ; плеохроизм слабый; погасание к $[001]$ прямое; $-2V = 0 - 45^\circ$	Цв. серно-желтый, зеленовато-желтый	43,0—52,5	Зона окисления гидротермальных, осадочных месторождений, пегматитов Торбернит, смешанные слюдки, ренардит, девиндтит, фосфуранилит, лимонит, гялит, уранофан

Не выяснена	+					
	+SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Слабый плеохроизм в желтых тонах	62	Ураковит 3UO <sub>3</sub> · SO <sub>3</sub> · 14H <sub>2</sub> O? (см. 98)	Ромб. Пластинчатый, тонко-таблитчатый	Налеты, войлокообразные корочки

#### 4. Желтые (золотистый—соломенный—серый)

Очень сильная голубовато-зеленая	+CO <sub>3</sub> + SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>		63	Шрёкингерит NaCa <sub>3</sub> (UO <sub>2</sub> )[CO <sub>3</sub> ] <sub>3</sub> [SO <sub>4</sub> ]F · 10H <sub>2</sub> O (см. 100)	Гексагональная? Слюдоподобный	Корочки и скопления: пластинчатые, чешуйчатые, натежные; порошокватые налеты	Совершенная (001), ясная (100)
	+PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup>	+Ca	64	Отенит Ca(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>3</sub> · 8—10H <sub>2</sub> O (см. 103)	Псевдотетрагональная Тонко-таблитчатый с квадратными и восьмиугольными очертаниями	Корочки из пластинок и чешуек; звездчатые, сферические порошокобразные скрытокристаллические скопления; одиночные кристаллы	Совершенная (001); менее (100) и др.
		+Mg	65	Салент Mg(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 8—10H <sub>2</sub> O	Псевдотетрагональная Тонко-таблитчатый почти квадратного сечения	Корочки, друзы и радиально-лучистые скопления	Совершенная (001) ясная (100) и (010)
Сильная желто-зеленая	+Al		66	Сабугалит HAl(UO <sub>2</sub> ) <sub>4</sub> [PO <sub>4</sub> ] <sub>4</sub> · 16H <sub>2</sub> O	Псевдотетрагональная Таблитчатый	Корочки	Ясная (010) и (100), Совершенная (001)
		Nm = 1,567—1,586	67	Ураноспинит Ca(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [AsO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 8H <sub>2</sub> O (см. 106)	Псевдотетрагональная Таблитчатый с четырехугольными и восьмиугольными очертаниями	Тонкочешуйчатые, звездчатые, слюдоподобные скопления	Совершенная (001), ясная (010) и (100)
		Nm = 1,620—1,623	68	Новачекит Mg(UO <sub>2</sub> ) <sub>2</sub> [AsO <sub>4</sub> ] <sub>2</sub> · 8—10H <sub>2</sub> O	Тетрагональная Пластинчатые кристаллы прямоугольных очертаний	Данных нет	Ясная (001)
	+SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	Игольчатый облик Погасание 15—18° Ng = 1,631—1,634	69	Уранопилит (UO <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> [SO <sub>4</sub> ][OH] <sub>10</sub> · 12H <sub>2</sub> O	Игольчатый плоский по [010]	Порошковатые налеты, корочки из радиальнолучистых, шаровидных и тонкозернистых образований	Совершенная (010) (под микроскопом)
		Ng = 1,76; Nm = 1,76 Погасание прямое	70	β-уранопилит (UO <sub>2</sub> ) <sub>6</sub> [SO <sub>4</sub> ][OH] <sub>10</sub> · 5H <sub>2</sub> O	Тонкоигольчатый, пластинчатый	Сингония? Порошковатые налеты	Совершенная (010)
Умеренная желтая	+SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>						

— лимонный — и зеленоватый оттенки)

Стекланный до перламутрового	—	2,5	2,47—2,51	Прх. св. $Ng = Nm = 1,539$ — $1,545$ — бледнозеленовато-желтый; $Np = 1,485$ — $1,501$ — бесцветный; $Ng - Np = 0,045$ — $0,050$ ; $-2V = 0 - 25^\circ$ ; $Np \perp (001)$ ; погасание прямое	Цв. желтый, зеленовато-желтый. Просвечивает	26,1—27,0	Образуется в зоне окисления в условиях сухого и жаркого климата и на стенках горных выработок в депрессионных воронках Ураноталит, андерсонит, ураносульфаты, уранованадаты, гипс
Перламутровый на спайн. пл. (001)	Данных нет	2—2,5	3,05—3,19 до 3,4—3,5	Прх. св. $Ng = 1,576$ — $1,606$ ; $Nm = 1,573$ — $1,605$ ; $Np = 1,550$ — $1,590$ ; плеохроизм слабый; погасание к $[001]$ прямое; $-2V = 0 - 45^\circ$	Цв. серно-желтый, зеленовато-желтый	43,0—52,5	Зона окисления гидротермальных, осадочных месторождений, пегматитов Торбернит, смешанные слюдки, ренардит, девиндтит, фосфурнит, лимонит, гиалит, уранофан
Перламутровый	—	2—3	3,27—3,3	Прх. св. $Ng (No) = 1,571$ — $1,585$ — желтый, $Nm 1,570$ — $1,582$ ; $Np (Ne) = 1,554$ — $1,565$ — бесцветный; $-2V = 61^\circ - 65^\circ$ ; иногда $0^\circ$ ; $Np = c$	Цв. соломенно-желтый до лимонно-желтого	50,0—53,8	Зона окисления гидротермальных месторождений Торбернит, девиндтит, лимонит; уранофан, цейнерит, новачекит
—	—	2,5	3,32	Пр. св. $Ng = 1,582$ — $1,584$ ; $Nm = 1,581$ — $1,583$ ; $Np = 1,564$ — $1,565$ ; — $2V$ — от малого до среднего. Плеохроизм ясный $Ng - Nm$ — желтый; $Np$ — бесцветный	Цв. от ярко-желтого до лимонно-желтого	53,6	Зона окисления пегматитов
Перламутровый	—	2—3	3,00—3,45	Прх. св. $Ng = 1,572$ — $1,589$ ; $Nm = 1,567$ — $1,586$ бледно-желтые; $Np = 1,550$ — $1,560$ бесцветный; $-2V = 0 - 62^\circ$ ; $Np = c$ ; погасание к $[001]$ прямое	Цв. лимонно-желтый	45,1—49,1	Зона окисления гидротермальных месторождений Отенит, цейнерит, трегерит, лимонит
Слабый восковой	—	2,5	3,25	Прх. св. $Ng (No) = Nm = 1,620$ — $1,623$ — бледножелтый; $Np (Ne)$ — почти бесцветный; $-2V = 0 - 15^\circ$	Цв. от соломенного до лимонно-желтого	50,0	Зона окисления гидротермальных месторождений Цейнерит, ураноспинит
Матовый, стекланный	—	Около 2	3,75—3,9	Прх. св. $Ng = 1,631$ — $1,634$ ; $Nm = 1,623$ — $1,625$ ; $Np = 1,620$ — $1,624$ ; $Ng - Np = 0,010$ — $0,012$ ; Практически не плеохроирует; $Nm : c = 15 - 18^\circ$ ; удлин. отриц.; $+2V \approx 52 - 60^\circ$ ; аномальная интерференция; $Np \perp (010)$	Цв. желтый, часто с зеленоватым оттенком	59,2—68,2	Образуется на стенках горных выработок при испарении рудничных вод Циппеит, гипс, ярозит, иоганнит, настуран, остаточная чернь, лимонит
Матовый	—	—	—	Прх. св. $Ng = 1,760$ — $1,713$ ; $Nm = 1,76$ ; $Np = 1,72$ — $1,652$ ; $-2V$ малый; погасание прямое (к удлинению)	Цв. желтый, грязновато-желтый	68,2	См. уранопилит (69)
Матовый стекланный	—	3—4	3,61—плотный 4,63—кристаллы	Прх. св. $Nm = 1,662$ ; $Np = 1,645$ ; $+2V$ , $Np = c$	Цв. медово-желтый, желтый с зеленоватым оттенком Просвечивает	71,5—72	Зона окисления гидротермальных месторождений Казолит, юрит, отенит, беккерелит

Сильная желто-зеленая	+Al	66	Сабугалит $\text{HAl}(\text{UO}_2)_4[\text{PO}_4]_4 \cdot 16\text{H}_2\text{O}$	Псевдотетрагональная Таблитчатый	Корочки	Ясная (010) и (100), Совершенная (001)	
	$\text{AsO}_4'''$	$Nm = 1,567-1,586$	Ураноспinit $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$ (См. 106)	Псевдотетрагональная Таблитчатый с четырёхугольными и восьмиугольными очертаниями	Тонкочешуйчатые, звездчатые, блюдopodobные скопления	Совершенная (001), ясная (010) и (100)	
		$Nm = 1,620-1,623$	Новачекит $\text{Mg}(\text{UO}_2)_2[\text{AsO}_4]_2 \cdot 8-10\text{H}_2\text{O}$	Тетрагональная Пластинчатые кристаллы прямоугольных очертаний	Данных нет	Ясная (001)	
	$+\text{SO}_4''$	69	Уранопилит $(\text{UO}_2)_6[\text{SO}_4][\text{OH}]_{10} \cdot 12\text{H}_2\text{O}$	Игольчатый плоский по [010]	Порошковатые налеты, корочки из радиальнолучистых, шаровидных и тонкозернистых образований	Совершенная (010) (под микроскопом)	
Умеренная желтая	$+\text{SO}_4''$	$Nk = 1,76; Nm = 1,76$ Погасание прямое	70	$\beta$ -уранопилит $(\text{UO}_2)_6[\text{SO}_4][\text{OH}]_{10} \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Тонкоигольчатый, пластинчатый	Сингония? Порошковатые налеты	Совершенная (010)
Слабая буровато-желтая	$+\text{SiO}_3''$	$Nm = 1,662$	71	Соддит $(\text{UO}_2)_5[\text{SiO}_4]_2[\text{OH}]_2 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$	Ромб. Бипирамидальный, призматический	Скрыто-кристаллические землистые массы. Радиальнолучистые скопления, одиночные кристаллы	Не наблюдалась
Слабая голубовато-зеленая	$+\text{CO}_3''$	+Mg	72	Байлеит $\text{Mg}_2(\text{UO}_2)[\text{CO}_3]_2 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$	Монокл. Призматический	Данных нет	
Очень слабая, грязножелтовато-зеленая	$+\text{SiO}_3''$	$Ng = 1,666-1,676$ Погасание $4^\circ$	73	Уранофан (уранотил) $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Ромб. Игольчатый, призматический	Одиночные кристаллы, корочки и налеты из игольчатых, радиальнолучистых и волокнистых агрегатов	(110)
		$Ng = 1,685-1,704$ Погасание $44-48^\circ$	74	$\beta$ уранофан (в уранотил) $\text{Ca}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$	Монокл. Призматический, игольчатый, реже таблитчатый Двойники (100)	Корочки, пленки, прожилки игольчатые, волокнистые, радиальнолучистые; псевдоморфозы по гидроокислам урана	Совершенная по (010)
		+Mg $Ng = 1,646-1,657$	75	Склововскит (Шинколовит) $\text{Mg}(\text{UO}_2)_2\text{Si}_2\text{O}_7 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	Ромб. Призматический, игольчатый	Одиночные кристаллы, друзы; чаще корочки и скопления; радиальнолучистые сферолиты; войлокоподобные, плотные; псевдоморфозы по настурану и ураниниту	Совершенная (100) и (110)

							чекит
—	—	2,5	3,32	Пр. св. $Ng = 1,582 - 1,584$ ; $Nm = 1,581 - 1,583$ ; $Np = 1,564 - 1,565$ ; — $2V$ — от малого до среднего. Плеохроизм ясный $Ng - Nm$ — желтый; $Np$ — бесцветный	Цв. от ярко-желтого до лимонно-желтого	53,6	Зона окисления пегматитов
Перламутровый	—	2—3	3,00—3,45	Прх. св. $Ng = 1,572 - 1,589$ ; $Nm = 1,567 - 1,586$ бледно-желтые; $Np = 1,550 - 1,560$ бесцветный; $-2V = 0 - 62^\circ$ ; $Np = c$ ; погасание к [001] прямое	Цв. лимонно-желтый	45,1—49,1	Зона окисления гидротермальных месторождений Отенит, цейнерит, трегерит, лимонит
Слабый восковой	—	2,5	3,25	Прх. св. $Ng(No) = Nm = 1,620 - 1,623$ — бледножелтый; $Np(Ne)$ — почти бесцветный; $-2V = 0 - 15^\circ$	Цв. от соломенного до лимонно-желтого	50,0	Зона окисления гидротермальных месторождений Цейнерит, ураноспинит
Матовый, стеклянный	—	Около 2	3,75—3,9	Прх. св. $Ng = 1,631 - 1,634$ ; $Nm = 1,623 - 1,625$ ; $Np = 1,620 - 1,624$ ; $Ng - Np = 0,010 - 0,012$ ; Практически не плеохроирует; $Nm : c = 15 - 18^\circ$ ; удлин. отриц.; $+2V \approx 52 - 60^\circ$ ; аномальная интерференция; $Np \perp (010)$	Цв. желтый, часто с зеленоватым оттенком	59,2—68,2	Образуется на стенках горных выработок при испарении рудничных вод Циппеит, гипс, ярозит, иоганнит, настурран, остаточная чернь, лимонит
Матовый	—	—	—	Прх. св. $Ng = 1,760 - 1,713$ ; $Nm = 1,76$ ; $Np = 1,72 - 1,652$ ; $-2V$ малый; погасание прямое (к удлинению)	Цв. желтый, грязновато-желтый	68,2	См. уранопилит (69)
Матовый стеклянный	—	3—4	3,61—плотный 4,63—кристаллы	Прх. св. $Nm = 1,662$ ; $Np = 1,645$ ; $+2V$ , $Np = c$	Цв. медово-желтый, желтый с зеленоватым оттенком Просвечивает	71,5—72	Зона окисления гидротермальных месторождений Казолит, кюрит, отенит, беккерелит
Данных нет			2,05	Прх. св. $Ng = 1,500$ — бледно-зеленый; $Nm = 1,490$ — бледно-зеленый; $Np = 1,455$ — розоватый; $Np = c = 15^\circ$ ; $-2V = 30^\circ$	Цв. желтый	27,0	Зона окисления гидротермальных месторождений Швартцит, шрекингерит, андерсонит
Стеклянный	—	2—3	3,81—3,96	Прх. св. $Ng = 1,666 - 1,676$ — яркожелтый; $Nm = 1,661 - 1,670$ — бледножелтый; $Np = 1,640 - 1,650$ — почти бесцветный. Удлин. +; $-2V = 32 - 45^\circ$ ; $Ng : c = 4^\circ$	Цв. желтый, соломенно-желтый	55—55,9	Зона окисления гидротермальных и пегматитовых месторождений Отенит, торбернит, казолит, лимонит Очень редко осадочных с лимонитом и ванадатами
Стеклянный иногда матовый	—	—	3,95	Прх. св. $Ng = 1,685 - 1,704$ — лимонно-желтый; $Nm = 1,680 - 1,695$ — лимонно-желтый; $Np = 1,656 - 1,676$ — бесцветный или бледножелтый; $-2V = 60 - 55^\circ$ . Аномальная интерференция; $Np \perp 010$ ; $Ng : c = 44 - 48^\circ$ и $52 - 57^\circ$	Цв. лимонно- и оранжево-желтый	49,8—55,6	Зона окисления пегматитовых и гидротермальных месторождений. Отенит, беккерелит, казолит, галлуазит, ураноцирцит, гидро-настурран
Стеклянный		3	3,54—3,74	Прх. св. $Ng = 1,646 - 1,657$ ; $Nm = 1,635 - 1,642$ ; $Np = 1,611 - 1,613$ . Плеохроизм от желтого ( $Ng$ ) до бесцветного ( $Np$ ); $-2V$ большой; $Nm = c$	Цв. желтый, лимонно-желтый	48,1—53,7	Зона окисления гидротермальных месторождений Уранофан, соддит, кюрит