

ГЕНЕЗИС ХЁГБОМИТА ИЗ ГОРНОЙ ШОРИИ

А. М. КУЗЬМИН

В данной статье рассматривается вопрос о происхождении редкого пока минерала хёгбомита, который был найден К. В. Радугиным по р. Мрассу в районе устья ее правого притока р. Ташелги [1].

Кристаллографическое описание этого минерала, физические свойства и состав детально рассмотрены в другой статье¹⁾. В предлагаемой вниманию читателя работе на описании самого минерала остановимся очень кратко.

Морфология хёгбомита. Минерал хёгбомит встречается в указанном выше месторождении в форме мелких таблитчатых, пластинчатых и чешуйчатых кристаллов, часто гексагонального, иногда тригонального облика. Размеры кристаллов колеблются от 5 до 1 мм и меньше в поперечнике. Изредка встречаются кристаллы величиною более 5—10 мм. Их толщина редко превышает 2 мм, чаще 0,5—1,5 мм. Они часто оказываются в различной степени деформированными.

Кристаллографические измерения показали, что, кроме основной обликотной формы $\{0001\}$ базопинакоида, имеются очень узкие грани $\phi \{11\bar{2}1\}$, $a \{11\bar{2}0\}$, $X_6 \{5.5.10.6\}$, $K_8 \{7.7.14.8\}$, $K_5 \{7.7.14.5\}$, $X_3 \{5.5.10.3\}$, $K_4 \{7.7.14.4\}$, которые вместе взятые проявляются в форме штриховки.

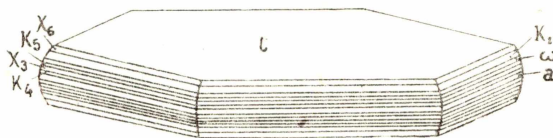


Рис. 1. Кристалл хёгбомита.

Геометрические константы хёгбомита: $a:c=1:1,36785$, которые несколько больше аналогичных констант корунда и гематита и несколько меньше ильменита, но ближе подходят к корунду. Сравнение структурных рентгенограмм хёгбомита с рентгенограммами корунда и ильменита говорит о том, что хёгбомит по своим структурным особенностям и составу ближе к корунду, чем к ильмениту.

Все вместе взятое позволило хёгбомит отнести к тригирно-планаксальному ($G_3G_2ЗРС$) классу симметрии.

Физические свойства. Цвет хёгбомита из Горной Шории желто- и темно-бурый до черно-бурого. Минерал в пластинках просвечивает.

¹⁾ Статья «Хёгбомит из Горной Шории» принята к опубликованию журналом «Известия Зап. Сиб. Отд. АН СССР, 1960.

В шлифах в 0,03 мм толщины—палево-желтый, буро-желтый, с заметным зеленоватым оттенком. Плеохроизм заметный: буровато-желтый, палево-желтый по N_m , желтый, светло-желтый по N_p , адсорбция $N_m > N_p$. Показатели преломления для хёгбомита: $N_m = 1,853 \pm 0,002$ и $N_p = 1,803 \pm 0,003$, $N_p - N_m = (-) 0,050 \pm 0,003^1$. Удельный вес 3,80—3,82 г/см³. Твердость минерала 8^{1/2}, она заметно выше твердости циркона и ниже твердости корунда²). Минерал хрупкий, излом неровный. Спайность по {0001}³ совершенная или ясная. Блеск минерала перламутрово-алмазовидный на плоскости спайности, что сближает хёгбомит с алмазным шпатом.

В заключение описания приведем сравнительную таблицу главным образом оптических свойств хёгбомитов из разных месторождений (табл. 1).

Оптические свойства хёгбомита.

Таблица 1

Месторождения	Уд. вес, г/см ³	$N_p (\epsilon)$	$N_m (\omega)$	$N_p - N_m$	Цвет минерала и его плеохроизм
р. Мрассу (Горная Шория)	3,80—3,82	1,809 $1,802 \pm 0,003$	1,850 $1,853 \pm 0,002$	$(-) 0,050 \pm 0,003^1$	Желто-бурый, темно-бурый до черно-бурого N_m —буро-желтый, палево-желтый N_p —желтый, светло-желтый
Руотивага [2] (Швеция)	3,81 3,8—3,9	1,803	1,853	$(-) 0,050 \pm 0,003$ $(-) 0,052 - - 0,055^4$	черный N_m —желто-бурый с желтоватым оттенком N_p —светло-желтый, черно-бурый
Ворджия [6, 7] (США)		1,817	1,848	$(-) 0,031$	черно-бурый N_m —темно-бурый N_p —желтовато-бурый до бесцветного
р. Тессино [4] (Швейцария)			1,74	близко к двупреломлению биотита	черный

Из рассмотрения приведенных данных следует, что хёгбомиты из различных месторождений очень близки друг к другу. Намечающиеся различия прежде всего невелики, а отклонения зависят не только от колебаний в составе, но и от очень малой величины самих кристаллов, обуславливающих трудности в их изучении.

Химический состав. Изучение химического состава хёгбомита представляет известные трудности, которые определяются следующими моментами. Минерал обладает высокой твердостью и при истирании его в агатовых ступках нельзя избежать попадания в пробу постороннего кремнезема. Кристаллы хёгбомита часто при своем росте захватывают кристаллы везувиана, рутила, зерна кальцита, герцинита, корунда; кроме того, в него часто врастают два последних и магнетит. На-

¹) Определено с помощью комплексатора Берека.

²) Твердость хёгбомита из Швеции ошибочно была определена Гавелиным равной 6,5. Твердость того же минерала из Швейцарии была определена не ниже 8 единиц [2, 3].

³) По Рамдору [5].

⁴) Определено с помощью компенсатора Зидентоффа [2].

личие только что указанных минералов соответственным образом скажется на химическом анализе минерала. Для горношорского хёгбомита в настоящее время в моем распоряжении имеются три анализа (табл. 2), из которых I и III близки между собой, и обе пробы перед анализом предварительно обрабатывались: первая—уксусной кислотой, а вторая — разбавленной соляной кислотой для удаления углекислого кальция. II проба предварительно кислотами не обрабатывалась, и для анализа отбирались сравнительно крупные кристаллы.

Химический состав хёгбомита

Таблица 2

Компоненты	I ¹⁾	II ²⁾	III ³⁾
Окись кремния	2,10	4,44	2,29
Окись титана	4,96	5,25	4,16
Окись алюминия	72,60	66,16	74,88
Окись железа	10,04	11,54	11,34
Закись железа	—	—	1,02
Окись марганца	следы	0,54	следы
Окись кальция	4,64	10,47	3,20
Окись магния	4,64	0,93	2,39
Вода	—	0,12	—
Потеря при прокаливании	0,87	1,16	0,70
Итого	99,85	100,61	99,98

Из приведенных анализов ясно, что ведущая роль в составе хёгбомита принадлежит окиси алюминия. Также устойчивыми примесями в минерале являются окись железа, магния и титана, которые в виде $(Mg, Fe)(Ti, Fe)O_3$ изоморфно входят в состав минерала. Большая часть кальцита и кремнезем образуют механическую примесь в форме везувиана. Высокое содержание окиси кальция II анализа свидетельствует о том, что магний не был отделен от кальция и что часть кальция входила в поры хёгбомита в виде кальцита. Но, по-видимому, небольшая его часть входила в состав минерала. Часть кремнезема внесена в анализ при подготовке пробы.

Исходя из сказанного, общую формулу химического состава хёгбомита, как сложного изоморфного соединения, можно представить в следующем виде: $(Al, Fe)_2O_3 \cdot (Mg, Fe, Ca, Mn)(Al, Ti, Fe)O_3$. Если допустить, что соединения $(Al, Fe)_2O_3$ и $(Mg, Fe, Ca, Mn)(Al, Ti, Fe)O_3$ могут образовать твердый раствор, то в таком случае химический состав исследуемого минерала можно представить себе в виде более простой формулы $(Mg, Fe, Al, Ca, Mn)(Al, Ti, Fe)O_3$, что должно наилучшим образом отвечать его структуре и сказываться на ряде физических свойств.

Генезис хёгбомита. Горношорский хёгбомит встречается в форме различной величины кристаллов, вкрапленных в зернистый агрегат кальцита. Последний, видимо, образует различной величины жилы,

¹⁾ Химический анализ выполнен В. Н. Орловой.

²⁾ Химический анализ выполнен И. П. Онуфриенком.

³⁾ Химический анализ выполнен А. Кривец.

гнезда и штоки в авгитовом олигоклазите, содержит редкие зерна корунда и хёбомита. Известняковые ксенолиты подверглись экзоконтактовому изменению с образованием своеобразных скарнов, в которых, кроме кальцита и хёбомита, имеются зерна корунда, везувиана, герцинита, андалузита, дистена, диопсида, рутила и магнетита.

Кальцит, составляющий главную массу скарна, слагает средне- и мелкозернистый агрегат. Кальцит в изолированных зернах прозрачен или полупрозрачен, в последнем случае несет ясно заметную штриховку скольжения. По окраске он бесцветен, беловатый или даже голубоватый. Желтоватая или буровая окраска является вторичной.

Везувиан в скарнах присутствует в форме правильных изометричных кристаллов, на которых можно различить грани (100), (110), (101), (111), (001). Кристаллы мелкие. Везувиан преимущественно прозрачный, зеленовато-желтый. В шлифе он оказывается большей частью в форме правильных кристаллов. Заметно зонарный. Зоны проявляются главным образом в периферической части кристалла, и количество их колеблется от 2 до 4. Спайность несовершенная, проявляется параллельно граням призмы; спайность по (100) проявляется лучше, чем по (110). Зерна везувиана в скарне распределены крайне неравномерно. В одних случаях количество зерен везувиана относительно велико, в других—он проявляется лишь в форме редких вкрапленных зерен. Из всех минералов в скарнах он появляется одним из первых. Поэтому мы находим везувиан вкрапленным в хёбомит, герцинит и корунд.

Диопсид лейкократовый, встречается редко в форме несовершенных призматических кристаллов.

Сфен в массе известняка присутствует в небольшом количестве и представлен неправильной формы мелкими бесцветными зернами.

Андалузит — в форме призматически игольчатых кристаллов, резко вытянутых по N_p . Заметен слабый плеохроизм: по N_g — голубоватый и по N_p — желтоватый. Его нельзя спутать с цоизитом ни по показателям преломления, ни по интерференционной окраске. Судя по всему комплексу минералов, обстановка ни в коей мере не благоприятствовала ни образованию водных силикатов, ни образованию гидроокисей, которые в других месторождениях хёбомита являются обычными спутниками. Андалузит изредка встречается включенным в периферическую часть зерен везувиана, располагаясь в этом случае вдоль зонарных оболочек. Большая часть его находится в массе кальцита. Последнее обстоятельство, видимо, говорит о том, что при относительном изобилии глинозема и малом количестве кремнезема образование анортита являлось невозможным.

Дистен встречается в форме тонкопризматических и игольчатых голубоватых кристаллов, которые в отличие от обычных имеют отрицательное удлинение, погасание $Np:c=28^\circ$. Плеохроизм более заметный, чем у андалузита, и проявляется неравномерно в синеватых тонах. Необычная ориентировка оптической индикатрисы в дистене, вероятно, объясняется тем, что вследствие динамометаморфизма андалузиты в своем превращении в дистен претерпели неполное изменение, выразившееся в основном в увеличении показателя преломления и в некотором повороте оптической индикатрисы андалузита.

Рутил в скарнах проявляется в мелких каплевидных образованиях, включенных иногда в небольшом количестве в хёбомит. Отдельные и редкие его зерна встречаются вкрапленными в кальците. В хёбомите рутил окрашен в темно-бурый цвет, а его зерна в кальците окрашены в фиолетово-бурый цвет.

Герцинит преимущественно образует небольшие зернистые скопления в скарнах. Кристаллы его очень редко правильно образованы.

часто несут на своей поверхности контактовую штриховку роста. В шлифе герциниты окрашены в темно-зеленый до густо зеленого цвета. На некоторых зернах герцинита заметно полисинтетически-двойниковое строение по шпинелевому закону. Характер этого двойникования подчеркивается тонко распыленным магнетитом, который преимущественно распределяется по плоскости двойникового срастания. Герцинит, как видно из его отношений к соседним с ним минералам, образуется позже везувиана и позже соединений $\text{Al}_2[\text{SiO}_4]\text{O}$ и захватывает при своем формировании андалузит. По отношению хёгбомита герцинит, видимо, образуется позже, а поэтому в отдельных случаях он обрастает его и вторгается в него язычками.

Корунд в скарнах образует зерна различной величины, и немногие из них различимы без микроскопа. Зерна корунда часто неправильно округлого очертания, макроскопически голубоватой окраски. В шлифе бесцветен. Из анализа его взаимоотношений с другими минералами достаточно ясно следует то, что корунд образуется несколько позже хёгбомита и герцинита. В скарнах корунд распределяется неравномерно. Поэтому в одних случаях скопления зерен корунда редки, в других — они относительно многочисленны.

Магнетит встречается в небольшом количестве и распределяется неравномерно и преимущественно совместно с другими скарновыми минералами. Магнетит в одиночных кристаллах и мелких агрегатах, встречаясь изолированно от других минералов в кальците, проявляется в форме октаэдров и ромбододекаэдров. Встречаясь же в контакте с хёгбомитом, кристаллы магнетита принимают только кубические формы. Данный случай является хорошей иллюстрацией того, что при одних и тех же физико-химических условиях в зависимости от окружающей обстановки могут получаться кристаллы морфологически различного облика.

Хёгбомит в скарне, как и многие минералы, распределяется неравномерно. Из сказанного следует, что описываемый минерал образуется позже везувиана, андалузита, одновременно с рутилом, частично захватывает при своем росте зерна герцинита и корунда. Два последние минерала в большей массе с магнетитом формируются позже хёгбомита, оторачивая и разъедая его по периферии.

Генезис мраморного хёгбомита и сопровождающих его минералов представляется в следующем виде (табл. 3). Все вышеперечисленные минералы вместе с хёгбомитом составляют контактово-метасоматическую минеральную ассоциацию, образованию которой предшествовало дробление и внедрение в толщу кембрийских известняков дайки авгитовых олигоклазитов. В контакте известняки и известняковые ксенолиты подвергаются контактово-метасоматическим изменениям с образованием своеобразных скарнов, состав которых определяется привнесением в испытывающие перекристаллизацию карбонатные породы относительно больших количеств алюминия, железа и титана; в меньших количествах вносятся магний и кремний.

Порядок формирования всей минеральной ассоциации распадается на отдельные этапы минерализации, и каждый последующий отделяется от предыдущего интерминерализационным дроблением и раскрытием путей движения растворов. Подобные тектонические напряжения приводят к тому, что андалузит частично превращается в дистены; относительно крупные кристаллы хёгбомита испытывают деформацию и оказываются различной степени деформированными. Кальцит в результате давления испытывает многократную перекристаллизацию, вследствие чего характерные для деформированного кальцита полисинтетические

двойники скольжения оказываются в описанном случае сравнительно редкими.

Таблица 3

Последовательность выделения минералов в хёгбомитовом скарне

Элементы, название минералов	Ca, Mg, Fe Al, Si, Ti	Ca, Mg, Fe Al, Ti	Ca, Fe, Al	Ca, Fe
Кальцит				
Везувиан				
Диопсид				
Андалузит				
Титанит				
Рутил				
Хёгбомит				
Герцинит				
Корунд				
Магнетит				

Внутри каждого этапа формирование минералов регулируется его геохимическими особенностями. Так, первая минеральная ассоциация описываемого месторождения геохимически определяется совместным присутствием Ca, Mg, Al, Si и Ti, что приводит к образованию главным образом силикатов. На этой стадии образуется диопсид (лейкодиопсид), титанит и относительно обильный везувиан. В присутствии избытка алюминия и недостатка кремнезема образуется андалузит.

На следующем этапе в присутствии Ca, Al, Mg, Fe, Ti и Si продолжает образовываться андалузит, связывающий остатки кремнезема, исчезновение которого приводит к отложению глинозема в форме корунда. Одновременно начинают формироваться хёгбомит и рутил; первый из них в сложном соединении связывает Al, Ti, Mg и Fe, избыток Ti приводит к образованию рутила. Fe и Al связываются в форме герцинита.

На третьем этапе с понижением температуры заканчивается формирование герцинита, продолжается отложение корунда, а железо в форме магнетита сменяет герцинит и продолжает накапливаться в больших количествах на последнем—четвертом этапе формирования всей минеральной ассоциации. В отдельных точках бассейна р. Ташелги происходит концентрация магнетита в промышленных количествах.

Генезис хёгбомитов из Руотивары тесно связан с происхождением железорудных месторождений, которые являются одним из продуктов дифференциации известково-щелочной магмы. Сами магматические железные руды месторождений пространственно связаны с анортозитовыми или монцонитовыми породами. Плеонаст и корунд встречаются в рудах, богатых силикатами, и в анортозитах и других силикатовых породах, бедных рудами. Хёгбомит вместе с корундом и шпинелью развивается только в рудах, бедных силикатами или свободных от них. Например, в магнетит-шпинеллидах, магнетит-хёгбомититах и магнетитокорундитах [2].

В этих условиях хёгбомит сопровождается магнетитом, ильменитом, плеонастом, корундом, гидрагиллитом, редко пирротинном. В ка-

честве второстепенных и случайных вместе с хёгбомитом встречаются магнетит, амфобол и хлорит. Изучая соотношения указанных минералов, Гавелин говорит, что имеется первичный хёгбомит, который образуется в результате затвердевания первичного рудного расплава, и имеется вторичный, более поздний, который образуется путем замещения в первичном плеонасте закиси железа окисью титана [2].

Вирджинский хёгбомит найден в наждаках, которые представляют собой черный плотный агрегат зеленой шпинели (герцинита), титаномагнетита и корунда. Подобные агрегаты залегают по соседству с гранитами в слюдяных сланцах, которые прорезаются гранитными пегматитами. Парагенезис минералов этого месторождения следующий: магнетит I—корунд-шпинель, хёгбомит—магнетит II. Хёгбомит чаще проявляется в виде эвгедральных кристаллов, которые старше магнетита II, но вместе с тем встречается криптокристаллический хёгбомит, охватывающий в виде оторочки зерна шпинели. Подобные оторочки хёгбомита рассматриваются как реакционные каймы вокруг шпинели. Криптокристаллический хёгбомит переходит в кристаллический хёгбомит II. Это вторая генерация для Т. Уотсона осталась неразгаданной, так как неясно, возникает ли она только путем изменения шпинели, или она развивается в реакционной кайме между кристаллическим хёгбомитом и шпинелью [6; 7].

Генезис швейцарского хёгбомита несколько иной. В бассейне р. Тессино хёгбомит встречен в графитовых мраморах, содержащих различной величины актинолитово-хлоритовые линзы. В этих метаморфических породах встречаются следующие минералы: кальцит, актинолит, хлорит, шпинель, ильменит, хёгбомит, корунд, клиноцоизит, эпидот, апатит, циркон. Шпинель, ильменит и хёгбомит прорастают друг друга и образуют местами относительно большие скопления. Шпинель—зеленый плеонаст в виде округло угловатых зерен. Ильменит полисинтетически сдвойникован, образует индивиды, вытянутые параллельно поверхности листоватого хёгбомита [4].

Сравнивая генезис горношорского хёгбомита с таковым Лапландии, Вирджинии и Швейцарии, можно заметить, что хёгбомит из Горной Шории по своему происхождению будет ближе к происхождению хёгбомита из Руотивары. Это сходство прежде всего заключается в том, что как в районе Руотивары, так и в районе рч. Ташелги мы имеем месторождение магнетитов.

Авгитовые олигоклезиты надо рассматривать, как аналог сиенитов из Руотивары и как один из крайних членов плюмазитов.

В последнее время месторождения хёгбомита были найдены в двух точках северной части Кузнецкого Алатау в бассейне р. Кии. По своему характеру хёгбомит из этих месторождений, вкрапленный в грубозернистый мрамор, в точности отвечает Мрасскому хёгбомиту как по внешней форме, так и по комплексу его сопровождающих минералов.

Новые находки хёгбомита дают основание предполагать, что этот минерал в Кузнецком Алатау пользуется более широким распространением, чем это можно было бы думать, а сонахождение хёгбомита с корундом в ряде месторождений дает основание полагать, что хёгбомит в Кузнецком Алатау может явиться одним из руководящих минералов для поисков месторождений корунда.

Выводы. Хёгбомит по своим морфологическим свойствам принадлежит к тригирно-планаксиальному виду симметрии, проявляется в пластинчатых гексагонального очертания кристаллах, его геометрическая константа: $a:c=1:1,36775$ сближает хёгбомит с кристаллами группы корунда—ильменита. Эта принадлежность хёгбомита к данной группе сказывается и в том, что наряду с формами, индекс которых не более 4, име-

ются формы с индексами не только более 5, но более 10, что нужно признать особенно характерным для минералов этой группы.

Хёгбомит, как следует из рассмотрения физических и химических свойств минерала, является сложно изоморфным соединением переменного состава типа $(\text{Al}, \text{Fe})_2\text{O}_3 : (\text{Mg}, \text{Ca}, \text{Fe}^{''}, \text{Mn}^{''}) (\text{Al}, \text{Fe}, \text{Ti})\text{O}_3$ или вернее: $(\text{Mg}, \text{Ca}, \text{Fe}, \text{Al}, \text{Mn}) (\text{Al}, \text{Fe}, \text{Ti})\text{O}_3$.

На этом основании хёгбомит не может рассматриваться как некая разновидность корунда, содержащая те или иные примеси. Хёгбомит от корунда отличается следующими свойствами, а именно: твердость хёгбомита по сравнению с корундом несколько понижена, и минерал вместе с тем является более хрупким, чем корунд, ильменит и другие минералы данной группы. В противоположность корунду хёгбомит обладает большим показателем преломления и большим двупреломлением, что, как это и следует ожидать для изоморфных смесей, зависит от количества изоморфных примесей компонентов состава—пиррофанита, гейкилита и других, показатель преломления которых выше, чем у корунда. Отсюда блеск у хёгбомитов всегда алмазовидный. Далее, у хёгбомитов четко выражена совершенная спайность (0001), и она, как показывают исследования, ни в какой мере не может рассматриваться как отдельность, вызванная двойникованием. Эта совершенная спайность, перламутрово-алмазовидный блеск и таблитчато-пластинчатый облик кристаллов обуславливают характер так называемых алмазных шпатов.

Месторождение хёгбомита в Горной Шории недавно являлось четвертым по счету. Известны новые находки этого минерала в Чехии и Карелии. Надо полагать, что хёгбомит является более широко распространенным минералом, чем мы об этом знаем.

Он, по-видимому, встречается в месторождениях корунда, т. е. там, где в силу особых генетических условий, наряду с избытком глинозема, имеется избыток титановых солей магния и железа. По крайней мере упоминаемые в литературе бурые, темно-бурые и черно-бурые корунды, имеющие при этом ясную спайность по (0001), алмазный блеск и содержащие в своём химическом составе $\text{Fe}_2\text{O}_3 > 4\%$, $\text{MgO} > 1\%$, $\text{TiO}_2 > 2,74\%$ [3, стр. 1769, 1770, 1775] являются, вероятнее всего, хёгбомитами.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузьмин А. М. Хёгбомит из Горной Шории. Научно-техническая конференция Томск. политехн. ин-та им. С. М. Кирова. Изд. Томск. политехн. ин-та, Томск, 1942.
2. Gavelin A. Über Högbomit. Bull. of the Geolog. Institut of the Univers. of Upsala. XV, 1916.
3. Hintze C. Handbuch der Mineralogie. I. Bd. 1907—1908.
4. Mittelholzer A. E. Beitrag zur Kenntniss der Metamorphose in der Tessiner Wurddzone Schweiz. Miner. u. Petrog. Mitt. Bd. XVI, 1936.
5. Ramdohr P. Die Erzminerale und ihre Verwachsungen, Berlin, 1955.
6. Watson T. L. and Steiger G. Titanumbearing corundum spinelliae (rock emery). Journ. Wash. Acad. Sci., 8. 1918.
7. Watson T. L. Hoegbomit from Virginia. Amer. Miner. 10, No. 1, 1925.