

Е. Е. Костылева

## Энигматит Хибинских Тундр<sup>1</sup>

(Представлено академиком А. Е. Ферсманом в заседании Отделения Физико-Математических Наук 14 мая 1929 года)

### Общие сведения о положении энигматита в систематике

Энигматит в минералогических сводках помещается обыкновенно в группу триклинных роговых обманок<sup>2</sup> или выделяется как минерал неопределенной химической формулы.<sup>3</sup> В основе изучения энигматита лежат следующие 2 крупные работы: с одной стороны, работы W. Brögger,<sup>4</sup> описавшего в 1890 г. энигматит из нефелиновых сиенитов Гренландии (собранных Giesecke и Steenstrup из месторождения Kangerdluarsuck и Nujakasick) и с другой, Soellner<sup>5</sup> от 1909 г. относительно коссирита из липаритов о. Пантеллерии в Италии. На основании этих двух работ можно сделать следующие выводы: энигматит и коссирит являются по составу очень близкими, почти тождественными и эти два названия могут считаться синонимами; состав обоих минералов, согласно анализам, близок к щелочным роговым обманкам, главным образом к арфведсониту, отличаясь от последнего присутствием около 8% TiO<sub>2</sub>, за счет

<sup>1</sup> Сокращения: ДАН — Доклады Академии Наук; КЭИ — Комиссия экспедиционных исследований; ОКИСАР — Особый комитет по исследованию Союзных и Автономных Республик; Б. — Бюллетень; Н. — Научный; Cbl. — Centralblatt; Jb. — Jahrbuch; N. Jb. — Neues Jahrbuch; Z. — Zeitschrift.

<sup>2</sup> C. Hintze. Handbuch der Mineralogie, 1892, 2, Н. 2, 1268. — E. Dana. A System of Mineralogie, 1911, 403. — V. Goldschmidt. Atlas der Kristallformen, 1913, 1, Taf. 22.

<sup>3</sup> H. Rosenbusch. Mikroskopische Physiographie der Mineralien, 1926.

<sup>4</sup> W. Brögger. Die Mineralien der südnorwegischen Augitsyenite u. s. w. Z. f. Krist., 1890, 16, 423.

<sup>5</sup> I. Soellner. Beitrag zur Kenntnis des Cossyrits von Pantelleria. Z. Krist. 1909, 46, 518.

меньшего содержания  $\text{SiO}_2$ , значительно меньшим количеством полуторных окислов и гораздо большим количеством  $\text{FeO}$ . По кристаллографическим свойствам энigmatит и коссирит сильно отличаются от группы роговых обманок. Энigmatит кристаллизуется в триклинической системе кристаллографические его константы при установке, возможно близкой к амфиболам, согласно определению Soellner для прекрасных кристаллов коссирита, таковы:  $a:b:c = 0.66856:1:0.35173$ ;  $\alpha = 90^\circ 4' 45''$ ;  $\beta = 77^\circ 30'$ ;  $\gamma = 90^\circ 18' 30''$ . Угол спайности около  $66^\circ$ .

Brögger объясняет отклонения от арфвельсонитов в кристаллографических свойствах заменой части  $\text{SiO}_2$ — $\text{TiO}_2$  и повышенным содержанием закиси железа и считает энigmatит триклинной роговой обманкой. Soellner, возражая Brögger приводит целый ряд роговых обманок, содержащих  $\text{TiO}_2$  до 6.75% (напр. Kaersutit из Гренландии) с кристаллографическими свойствами роговой обманки. Soellner считает, что энigmatит в кристаллографическом отношении так же близок к амфиболам, как и к пироксенам, например диопсиду, поэтому он находит, что правильнее принять для энigmatита самостоятельный ряд, промежуточный между пироксенами и амфиболами, плеоморфный с ними, но не подчиненный им. Энigmatит и коссирит являются близкими членами этого ряда; к этому же ряду Soellner относит рёнит, описанный им ранее,<sup>1</sup> богатый полуторными окислами.

В 1929 г. В. Gossner<sup>2</sup> производит рентгеноскопическое исследование энigmatита Гренландии; сравнивая параметры для роговой обманки и энigmatита при прежней установке, Gossner находит, что близкой связи между роговой обманкой и энigmatитом не существует. Для энigmatита Гренландии он придает новую установку, принимая прежний пинакоид (110) за (100) и  $(\bar{1}\bar{1}0)$  за (010). Вычисляя элементарную ячейку энigmatита при новой установке, Gossner также не находит сходства с роговой обманкой, поэтому энigmatит, по мнению Gossner, должен быть отделен от группы роговых обманок, как это было им сделано по отношению к родониту, отделенному от группы пироксенов. Выяснение состава энigmatита и принадлежность его к той или иной группе должно идти по мнению, Gossner, вместе с изучением структуры и состава всей группы роговых обманок.

Изложенный выше краткий обзор показывает, что состав энigmatита и его положение в систематике является далеко не установленным. С этой точки зрения изучение энigmatита Хибинских Тундр является особенно интересным, так как дает новый материал для суждения о его составе.

<sup>1</sup> I. Soellner. N. Jb. Min., 1907, Beil.-Bd. 24, 475.

<sup>2</sup> В. Gossner u. T. Mussgnug. Über den Aenigmatit u. seine Stellung im System der Silikate. Cbl. f. Min., Geol. u. Pal., 1929, Abt. A, 5—11.

## Общие свойства энigmatита Хибинских Тундр

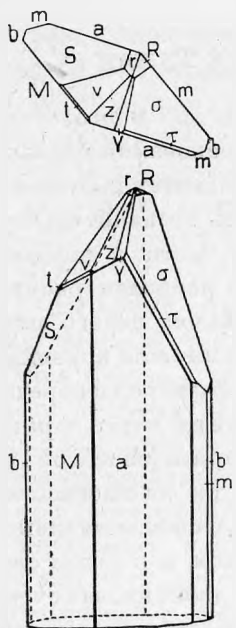
Материалом для настоящей работы послужили сборы многолетних экспедиций в Хибинские и Ловозерские Тундры.<sup>1</sup> На основании полевых наблюдений и изучения материала выяснено, что энigmatит в Ловозерских Тундрах почти не встречается, если не считать незначительного его выделения в качестве второстепенной составной части в породах. В Хибинских Тундрах энigmatит является одним из наиболее распространенных минералов. Он является главным минералом целого ряда месторождений, образующих нередко мощные элювиальные или коренные осыпи; выделения в них энigmatита достигают крупных размеров и нередко носят характер крупных глыб. Энigmatит характеризуется густо черным цветом, непрозрачностью даже в тонких осколках, призматической не очень хорошей спайностью, с сильным жирным блеском на плоскостях спайности. Местами он является очень хрупким, легко раскалывающимся по спайности, местами же с трудом разбивается молотком, и в таком случае на отколотых кусках ясно видна полисинтетическая двойниковая очень мелкая птриховка. Твердость  $5\frac{1}{2}$ —6; частично растворяется в кислотах, разлагается легко плавиковой кислотой; перед паяльной трубкой легко сплавляется в черный магнитный шарик.

С поверхности и по трещинам выделения энigmatита матовы, с побелалостью или с буроватыми железистыми налетами. Макроскопически энigmatит даже в кристаллах содержит мелкие включения нефелина, полевого шпата и обильное вращение эгирина по трещинкам.

## Кристаллографические свойства

Энigmatит часто дает очень крупные кристаллы, до нескольких десятков сантиметров в длину, но кристаллы эти с матовыми гранями и большей частью без головок, лишь с гранями вертикального пояса. Мелкие хорошо образованные кристаллики, годные для измерения на отражательном гониометре, являются большой редкостью, и из всего большого материала энigmatита возможно было выискать лишь 3 кристалла (фиг. 1, 2 и 3) для измерения на двукружном гониометре Гольдшмидта; на остальных

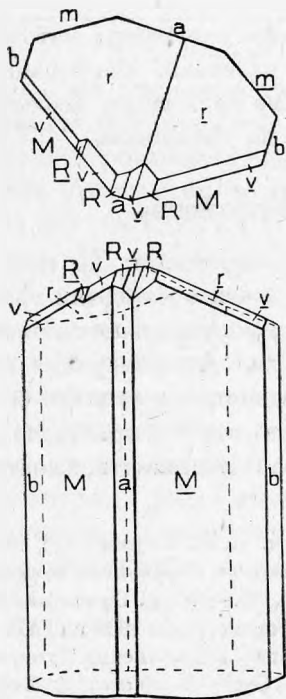
<sup>1</sup> Хибинские и Ловозерские Тундры (под ред. А. Е. Ферсмана), тт. I и II. Т. Н.-иссл. инст. Севера, 1925 и 1928 г. — А. Н. Лабунцов. Результаты командировки в Хибинские Тундры в 1925 г. ДАН-А, 1926, № 1, 15. — Н. Н. Гуткова. Краткий отчет о минералогических работах в Ловозерских Тундрах летом 1926 г. ДАН-А, 1927, № 10, 147. — А. Н. Лабунцов. Отчет о командировке в Хибинские Тундры летом 1926 г. ДАН-А, 1927, № 1, 5. — Е. Е. Костылева. Отчет о работах в Хибинских Тундрах летом 1926 г. ДАН-А, 1927, № 1, 3. — А. Н. Лабунцов. Минералогические исследования в Хибинских Тундрах. Осв. Б. ОКИСАР, 1927, № 19.



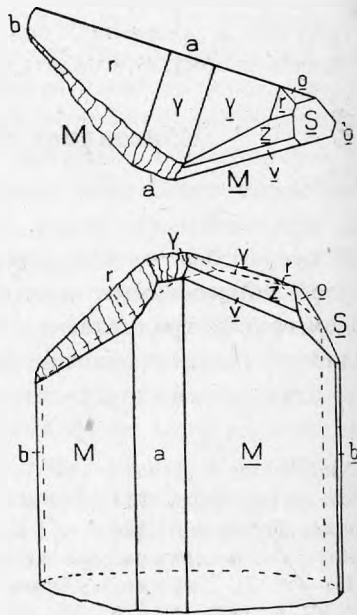
Фиг. 1.

крупных кристаллах измерение производилось прикладным гониометром. Общий тип кристаллов выражен на фиг. 2 и 3 (месторождение Часначорра), кристалл, изображенный на фиг. 1 (месторождение № 75 перевала Лопарского), отличается от остальных кристаллов как в отношении прекрасных рефлексов от граней, так и по общему типу развития. При выборе установки кристаллов принята старая установка Чермака для амфиболов, т. е. хорошо развитые пинакоиды, по которым идет спайность, приняты за  $(110)$  и  $(\bar{1}\bar{1}0)$ ; наилучше развитой пинакоид  $a$  — за  $(100)$  и слабо развитой  $b$  — за  $(010)$ ; за  $(001)$  принята грань  $c$ , дающая с гранью  $(100)$  двугранный угол  $= 77^\circ 30'$ , за  $(\bar{1}11)$  грань  $R$  с координатами:  $\varphi = 316^\circ 12'$ ;  $\rho = 25^\circ 12'$ .

Аналогичная установка принята Brögger для энigmatита Гренландии и Soellner для коссирита о. Пантеллерии. Всего для энigmatита Хибинского Тундра найдены пинакоиды следующих индексов



Фиг. 2.



Фиг. 3.

a {100}; b {010}; m {110}; M {110}; r {111}; R {111}; v {131}; ζ {021};  
 ε {151}; ρ {151}; σ {151}; о {331} и новые для энигматита формы t {351};  
 τ {351}; y {212}; x {322}; z {332}.<sup>1</sup>

Кристаллы почти всегда являются двойниками, нередко сложными; двойниковой плоскостью срастания является пинакоид (010). Кристаллы, изображенные на фиг. 2 и 3 являются двойниками; кристалл на фиг. 1, содержа многочисленные полисинтетические вростки, является одним индивидуумом, не двойником. Как видно из чертежей, из граней вертикального пояса наилучше развитыми являются пинакоиды a {100}, m {110} и M {110}; b {010} очень слабо развит или отсутствует. Благодаря сильному развитию указанных пинакоидов в форме горизонтального сечения наблюдается аналогия с кристаллами эгирина Хибинских Тундр, но не с роговыми обманками [в последних преобладает по развитию второй пинакоид b {010}, а первый пинакоид a {100} слабо развит или отсутствует]. Описание остальных наблюдаемых форм дается подробно ниже:

- r {111} Хорошо развитая и очень обычная форма, встреченная на нескольких крупных кристаллах и на всех измеренных мелких. Рефлексы дает хорошие.
- R {111} Хорошо развитая форма, наблюдается довольно часто.
- v {131} Хорошо развитая грань, встреченная на кристаллах фиг. 1 и 2. Рефлексы при измерении хорошие.
- ρ {151} Очень обычная и хорошо развитая форма, встречалась при измерении прикладным гониометром на крупных кристаллах и в количестве одной грани с хорошими рефлексами на кристалле фиг. 1.
- σ {151} Очень хорошо развитая форма с прекрасными рефлексами, встреченная на кристалле фиг. 1.
- ζ {021} Довольно хорошо развитая форма, встречалась не часто на крупных кристаллах.
- z {021} Обнаружена лишь на одном кристалле фиг. 3.
- y {212} Встречена лишь на кристалле № 3, очень плохо ложится в проекции; возможно, что эта грань иного индекса, может быть {101}.
- о {331} Небольшая форма с неясными рефлексами, встречена лишь на одном кристалле фиг. 8.
- t {351}  
τ {351} Узкие формы с хорошими рефлексами, измерены на кристалле фиг. 1.
- θ {551} Рефлексы в сильном луче роста в зоне {111}: {110} от одной искривленной и k {771} закругленной грани.
- x {322} Хорошо развитые формы, встреченные и изображенные на кристалле фиг. 1;
- z {332} рефлексы дают неясные и плохо ложатся в проекции. Полисинтетические вростки, идущие через эти грани вероятно искажают их положение.

<sup>1</sup> Обозначения форм взяты те же, что и для коссирита. См. I. Soellner. N. Jb. Min., 1907, Veil.-Bd. 84, 475. Для новых форм обозначения введены автором.

Полярные координаты приведены лишь для измеренного кристалла месторождения перевала Лопарского (табл. 1 и фиг. 1), так как лишь один этот кристалл, величиной в 3—4 мм длины, дает прекрасные рефлексии

Таблица 1

Индексы	Число измерений	$\varphi$	$\rho$
a (100)	2	89°43'30''	90°01
b (010)	2	0 01 30	90 03
m (110)	2	56 33	90 03
M (110)	2	122 52	90 00
v ( $\bar{1}\bar{3}1$ )	1	144 18	52 17
$\sigma$ (151)	1	23 25	62 31
$\rho$ ( $\bar{1}\bar{5}1$ )	1	190 15	60 43
r ( $\bar{1}\bar{1}1$ )	1	237 04	38 30
R ( $\bar{1}\bar{1}1$ )	1	316 22	25 12
t ( $\bar{3}\bar{5}1$ )	1	133 31	63 52
$\tau$ (351)	1	44 54	67 53
z ( $\bar{3}\bar{3}2$ )	1	126 02	48 41
x ( $\bar{3}22$ )	1	107 33	47 20
$\theta$ ( $\bar{5}\bar{5}1$ )	1	234 00	71 42
K ( $\bar{7}\bar{7}1$ )	1	236 56	77 30

лучи роста с усилениями в точках данных индексов.

мог быть установлен с большой точностью. Второй кристалл из месторождения Часначорр обладает матовыми гранями с туманными рефлексиями, которые не приводятся в таблице координат в виду их небольшой точности; третий, кристалл также месторождения Часначорра, величиной в 2 см по длинной оси дает еще более матовые грани, с еще более туманными и неясными рефлексиями.

К сожалению, небольшое количество встреченных форм, в частности полное отсутствие форм пояса  $\{001\}$ , не дает возможности вычислить элементы кристалла и сравнить их с таковыми для коссирита. Но по видимому кристаллографические постоянные этих обоих минералов являются очень близкими, что можно видеть из сравнения граничных углов вертикального пояса, измеренных на гониометре.

	Энигматит хибинский	Коссирит
(100) : (010)	89°42'	89°40'
(010) : (110)	56 31 30''	56 38
(010) : ( $\bar{1}\bar{1}0$ )	57 09	57 06
(110) : ( $\bar{1}\bar{1}0$ )	66 19	66 16

Таким образом, в кристаллографическом отношении энигматит Хибинских Тундр не представляет никаких особенностей по сравнению с энигматитом Гренландии и коссиритом, если не считать нескольких новых форм, что видно из сравнительной таблицы (табл. 2).

Таблица 2

Коссирит <sup>1</sup> Cossyrit	Энигматит гренландский Aenigmatit v. Grönland	Энигматит хибинский Aenigmatit v. Chibina-Tun- dren
a {100}	a {100}	a {100}
b {010}	b {010}	b {010}
m { $\bar{1}\bar{1}0$ }	m {110}	m {110}
M { $\bar{1}\bar{1}0$ }	M { $\bar{1}\bar{1}0$ }	M { $\bar{1}\bar{1}0$ }
e {180}	e {180}	e {180}
E {180}	—	—
c {001}	c {001}	—
z {021}	z {021}	—
ζ {021}	ζ {021}	ζ {021}
k {111}	—	—
r { $\bar{1}\bar{1}1$ }	r { $\bar{1}\bar{1}1$ }	r { $\bar{1}\bar{1}1$ }
R { $\bar{1}\bar{1}1$ }	R { $\bar{1}\bar{1}1$ }	R { $\bar{1}\bar{1}1$ }
x {113}	—	—
o { $\bar{3}\bar{3}1$ }	—	o { $\bar{3}\bar{3}1$ }
f {133}	—	—
u { $\bar{1}\bar{3}3$ }	—	—
—	φ {133}	—
i {131}	i {131}	—
v {131}	—	v {131}
ρ {151}	ρ {151}	ρ {151}

<sup>1</sup> I. Soellner, loc. cit.

Таблица 2 (продолжение)

Коссириат Cossyrit	Энигматит гренландский Aenigmatit v. Grönland	Энигматит хибинский Aenigmatit v. Chibina-Tund- ren
$\sigma$ {151}	—	$\sigma$ {151}
—	$\xi$ {151}	$\xi$ {151}
$\lambda$ {171}	—	—
$g$ {311}	—	—
$p$ {511}	—	$t$ {351}
		$\tau$ {351}
		$\theta$ {551}
		$K$ {771}
		$y$ {212}
		$x$ {322}
		$z$ {332}

В заключение кристаллографического описания необходимо привести новую установку кристаллов энигматита, которую Gossner принимает для кристалла энигматита Гренландии. За (100) и (010) он принимает направления спайности (110) и (110) прежней установки, оставляя прежними положения с (001) и г (111); при новой установке кристаллографические константы энигматита получаются следующие:  $a:b:c = 1.00:1:0.58$ ;  $\alpha = 96^\circ 38'$ ;  $\beta = 96^\circ 35'$ ;  $\gamma = 113^\circ 21'$ .

Преимущество этой установки Gossner находит в том, что индексы получают более простое обозначение и выступает псевдогексагональный характер, выраженный на кристаллах. Ниже приводится сравнительная таблица индексов (табл. 3) для кристаллов энигматита Хибинских Тундр при старой и новой установках. Последняя установка не принята в настоящей работе, во-первых, для удобства сравнения встреченных форм с кристаллами энигматита Гренландии и коссирита, с другой стороны, на следующих основаниях: 1) столь обычное полисинтетическое двойникование по (010) по установке Gossner должно быть принято по (110), т. е. двойниковой плоскостью является грань более сложного индекса, и 2) оптическая ориентировка эллипсоида по установке Gossner является сложнее, так как направление  $n_m$  должно быть принято почти перпендикулярно к (110) [при прежней установке  $n_m$  почти совпадает с осью  $b$ , т. е. плоскость оптических осей почти параллельна (010)].



Т а б л и ц а 3

Название форм	Прежняя уста- новка	Установка Gossner <sup>1</sup>
a	{100}	{110}
b	{010}	{1 $\bar{1}$ 0}
m	{110}	{010}
M	{1 $\bar{1}$ 0}	{100}
r	{ $\bar{1}$ 11}	{0 $\bar{1}$ 1}
R	{ $\bar{1}$ 11}	{101}
v	{1 $\bar{3}$ 1}	{2 $\bar{1}$ 1}
z	{021}	{ $\bar{1}$ 11}
с	{1 $\bar{5}$ 1}	{2 $\bar{3}$ 1}
ξ	{ $\bar{1}$ 51}	{3 $\bar{2}$ 1}
p	{ $\bar{1}$ 51}	{2 $\bar{3}$ 1}
o	{3 $\bar{3}$ 1}	{0 $\bar{3}$ 1}
t	{3 $\bar{5}$ 1}	{4 $\bar{1}$ 1}
τ	{351}	{141}

<sup>1</sup> В. Gossner. Cbl. f. Min., 1929, Abt. A, 5. 11.

### Оптические свойства

Энигматит представляет большие трудности для оптического изучения вследствие чрезвычайно густой окраски и сильной абсорбции. Оптическое изучение велось на возможно тонких препаратах при сильном электрическом освещении. Таким путем можно было определить лишь приблизительно оптическую ориентировку и выяснить характер абсорбции. Углы погасания не могли быть определены с большой точностью.

В шлифе || (100) наблюдается полисинтетическое прорастание параллельных тонких пластинчатых индивидуумов, уходящих симметрично в обе стороны. Спайность по (110) и ( $\bar{1}$ 10) выражена ясно лишь при большом увеличении; угол погасания по отношению к спайности около 4°. В сходящемся свете наблюдается смещенный выход оптической оси, с небольшим  $2v$ , около 20—30°. Оптический знак —. Плеохроизм ||  $n_p$  светлокоричневый, в  $\perp$  направлении ||  $n_m$  темнокоричневый. Абсорбция таким образом в этом сечении  $n_m > n_p$ .

В шлифе || (010) в сходящемся свете наблюдается выход оптической нормали очень слабо смещенный. Плоскость оптических осей таким образом

почти  $\perp$  к (010). Углы погасания:  $n_g$  делает угол около  $40^\circ$  в косом угле  $\beta$ . Плеохроизм  $\parallel n_g$  черный,  $\parallel n_p$  светлокоричневый. Схема абсорбции энigmatита таким образом  $n_g > n_m > n_p$ , т. е. аналогичная энigmatиту Гренландии и коссириту о. Пантеллерии.

Иммерсионным методом Larsen в сплаве иодидов с пиперином был определен средний показатель преломления  $n_m = 1.80$ . Larsen приводит следующие константы для энigmatита Гренландии месторождения Nuja-kasik:<sup>1</sup>  $n_m = 1.80 \pm 0.01$ ;  $n_g - n_p = 0.006$ ;  $2v = +32^\circ$ .

### Химические свойства

Для энigmatита и коссирита в литературе имеется очень немногие анализы:

1) В 1881 г. анализ Förstner<sup>2</sup> коссирита о. Пантеллерии, произведенный без пробы на содержание  $TiO_2$ ; анализ вследствие этого не полный и неверный в отношении содержания  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$  и  $Fe_2O_3$ .

2) В 1890 г. анализ Forsberg в работе Brögger<sup>3</sup> для энigmatита Гренландии (см. табл. 4). Анализ очень близок к анализам энigmatита Хибинских Тундр. Brögger пересчитывает анализы, связывая  $Al_2O_3$  с  $Na_2O$  и  $SiO_2$  по формуле  $Na_2 Al_2 Si_4 O_{12}$  и  $Fe_2O_3$  с  $FeO$  и  $SiO_2$  по формуле  $Fe_2 (Fe''')_2 Si_2 O_{12}$ . Остаток<sup>4</sup> выражается формулой  $(Na_2, K_2, Fe, (Si, Ti)_4 O_{12}$ .

3) В 1909 г. анализ Dittrich в работе Soellner<sup>5</sup> для коссирита о. Пантеллерии (табл. 4). Анализ также очень близок к энigmatитам Хибинских Тундр. Soellner пересчитывает анализ коссирита по формуле молекул соли  $R_2''(R_2''')_2 Si_2 O_{12}$  и ортосиликата  $(R_2'')_3 (SiO_4)_3$ , замещая одну часть группы  $(SiO_4)$  группой  $(Si_3O_8)$ . Анализ энigmatита Гренландии из работы Brögger, Soellner пересчитывает таким же образом и дает следующие формулы энigmatита и коссирита:

Коссирит  $6 R_2''(R_2''')_2 Si_2 O_{12} \cdot 15 [(R''R_2')_2]_3 [SiO_4]_3 \cdot 23 [(R''R_2')_2]_3 [Si_3O_8]$

Энigmatит  $6 R_2''(R_2''')_2 Si_2 O_{12} \cdot 18 [(R''R_2')_2]_3 [SiO_4]_3 \cdot 12 [(R''R_2')_2]_3 [Si_3O_8]$

<sup>1</sup> E. Larsen. The microscopic determination of the nonopaque minerals. Bull. U. S. Geol. Surv., 1921, 679, 71, 233.

<sup>2</sup> H. Förstner. Über Cossyrit, ein Mineral aus den Liparitlaven der Insel Pantelleria. Z. Krist., 1881, 5, 348—362.

<sup>3</sup> W. Brögger. Die Mineralien der südnorwegischen Augitsyenite... Z. Krist., 1890, 16, 423.

<sup>4</sup> При пересчете анализа Brögger не верно подсчитывает коэффициенты, на что позже указывает Soellner; формула Brögger для энigmatита Гренландии поэтому здесь не приводится.

<sup>5</sup> I. Soellner. N. Jb. Min., 1907, Beil.-Bd. 24, 475.

4) В 1925 г. Gossner<sup>1</sup> пересчитывает анализы энigmatита Гренландии и коссирита по формуле молекул 3 энigmatит + 1 нефелин, давая им иную молекулярную группировку, чем арфведсонитам.

5) В 1927 г. Г. П. Черник<sup>2</sup> приводит анализ энigmatита Хибинских Тундр вершины Миддендорфа. Анализ близок к приводимым ниже анализам энigmatита Хибинских Тундр, но отличается меньшим количеством закиси FeO (28,57%).

Г. П. Черник высчитывает следующую формулу:  $2[R_2'O \cdot (Si, Ti) O_2] 8[R''O \cdot (Si, Ti) O_2 R_2'''O_3 \cdot 3(Si, Ti) O_2 + Aq]$ .

Для энigmatитов Хибинских Тундр в распоряжении автора имелись анализы следующих месторождений:

- 1) Путеличорра, анализ И. Д. Курбатова, 1922 г.<sup>3</sup> (анал. I, мест. № 13);
- 2) Часначорра, анализ И. Д. Старынкевич, 1922 г. (мест. № 18).<sup>4</sup> Анализ был повторен для того же месторождения тем же аналитиком в 1928 г. на новом материале, отобранном автором; этот анализ и приводится в таблице (анал. II);
- 3) Партомчорра, анализ Н. И. Влодавца, 1929 г. (анал. III, мест. № 40/22);
- 4) эвдиалито-энigmatитовые жилы 4-й Северной речки, анализ И. Д. Курбатова, 1929 г. (анал. IV, мест. № 10);
- 5) Жилы Черника, анализ И. Д. Курбатова, 1929 г. (анал. V, мест. № 15);
- 6) энigmatит 5-й Западной речки, анализ И. Д. Курбатова, 1929 г. (анал. VI маршр. СХХII).<sup>5</sup>

Эти анализы приводятся в таблице 4, где для сравнения указаны также анализы энigmatита Гренландии и коссирита о. Пантеллерии.

Рассмотрение всех перечисленных выше анализов приводит к следующим выводам: 1) Наибольшим колебаниям подвержено содержание Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, количество которого колеблется от 1,6% до 9,97%; 2) повышение в содержании Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> обычно компенсируется понижением в содержании FeO (анал. II, III); количество последнего, вместе с содержанием второстепенных окислов типа RO — как MgO, CaO, MnO является в общем постоянным в анализах с одинаковым, в среднем, содержанием Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>; 3) количество Na<sub>2</sub>O подвержено незначительным колебаниям и не стоит в связи с колебанием в содержании Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> и Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, так же как и содержание SiO<sub>2</sub> и TiO<sub>2</sub>, которое в сумме также является довольно постоянным. Эти выводы указывают, что наличие полуторных окислов R<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, главным образом Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, не является следствием вхождения в состав энigmatита алюмоферриспликата

B. Gossner. Die chemische Zusammensetzung von Crossit, Arfvedsonit, Aenigmatit, Rhönit. Z. f. Krist., 1925, 61, 538—544.

Г. П. Черник. Горн. Ж., 1927, 740.

<sup>3</sup> Хибинский массив. Т. Сев. Н.-Пром. эксп., 1923, вып. 16, стр. 60, 72, 73.

<sup>4</sup> Хибинский массив. Т. Сев. Н.-Пром. эксп., 1923, вып. 16, стр. 60, 72, 73.

Анализы IV, V и VI выполнены в Радиологической лаборатории I Моск. Гос. Унив. И. Д. Курбатовым при участии Л. И. Игнатовой и Л. В. Лукошкиной.

Тр. ММ, т. IV.

7

	Коссирит о. Пантел- лерии Cossyrit Ins. Pantelleria	Энигматит Гренландии Aenigmatit Grönland	Энигматит Путели- чорра Aenigmatit Puteliçorr	Энигматит Часначорра Aenigmatit Çasnaçorr	Энигматит Партом- чорра Aenigmatit Partomçorr	Энигматит 4-й Сев. речки Aenigmatit Mannebachk	Энигматит жилы Чер- ника Aenigmatit Jidiçwum- çorr	Энигматит 5-й Западн. речки Aenigmatit Tjocksolum- jun
			I	II	III	IV	V	VI
SiO <sub>2</sub> . . . . .	40.80	37.92	40.88	38.59	39.96	40.33	40.15	40.28
TiO <sub>2</sub> . . . . .	8.22	7.57	7.86	10.11	11.71	8.22	8.51	7.86
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	0.20	3.23	2.27	1.20	1.00	0.96	1.39	0.83
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> . . . . .	5.31	5.81	3.94	9.97	1.60	6.77	6.73	5.55
FeO . . . . .	34.69	35.88	34.94	29.32	33.59	31.36	30.60	31.59
MnO . . . . .	1.39	1.00	0.99	2.26	2.05	2.30	2.16	3.25
MgO . . . . .	0.57	0.33	0.60	2.23	1.42	1.54	2.75	1.33
CaO . . . . .	0.77	1.36	1.23	0.74	0.36	0.99	0.40	0.96
Na <sub>2</sub> O . . . . .	6.61	6.58	6.25	6.07	6.85	7.47	7.53	8.36
K <sub>2</sub> O . . . . .	сл.	0.51	0.61	0.16	0.08	0.16	0.08	0.04
H <sub>2</sub> O . . . . .	1.29	—	0.24	не опр.	1.54	—	—	—
Уд. вес (Spec.-Gew.) .	99.85%	100.19%	99.74%	100.65%	100.16%	100.10%	100.30%	100.02%
	—	—	3.732	3.758	—	—	—	—

той или иной формулы, как это установлено для группы амфиболов и пироксенов, так как для алюмоферросиликата увеличение в содержании  $Fe_2O_3$  и  $Al_2O_3$  вызывает увеличение в содержании и оснований. Присутствие в анализах энигматита  $Fe_2O_3$  в том или ином количестве может быть объяснено следующими причинами: 1) Окислением  $FeO$  в  $Fe_2O_3$  в минерале как первичным, вскоре после выкристаллизации, так и позднейшим;<sup>1</sup> возможность позднейшего окисления подтверждается

Таблица 5

	Косириг о. Пантеллерия	Энигматит Гренландии	Энигматит Пугельгорра	Энигматит Часангорра	Энигматит Партольгорра	Энигматит 4-й Сев. речки	Энигматит Жилы Чер- ника	Энигматит 5-й Зап. речки
			I	II	III	IV	V	VI
$SiO_2$ . . . . .	0.6761	0.632	0.6774	0.6425	0.6653	0.6677	0.6637	0.6662
$TiO_2$ . . . . .	0.1024	0.095	0.0991	0.1265	0.1465	0.1026	0.1062	0.0982
$Al_2O_3$ . . . . .	0.0020	0.031	0.0211	0.0117	0.009	0.009	0.0196	0.038
$FeO$ . . . . .	0.5571	0.566	0.4876	0.4081	0.4275	0.5293	0.4250	0.4387
$FeO$ (пересчет) . . .	—	—	0.0557	0.1400	0.0490	0.0940	0.0946	0.0778
$MnO$ . . . . .	0.0197	0.014	0.0126	0.0318	0.029	0.0324	0.0304	0.0457
$MgO$ . . . . .	0.0142	0.024	0.0215	0.0560	0.0352	0.0381	0.0071	0.0329
$CaO$ . . . . .	0.0137	0.008	0.0146	0.0125	0.007	0.017	0.0681	0.017
$Na_2O$ . . . . .	0.1062	0.106	0.1016	0.0978	0.1105	0.120	0.1212	0.1346
$K_2O$ . . . . .	сл.	сл.	0.0068	0.0016	0.0008	0.0016	0.0008	0.0004
$H_2O$ . . . . .	0.0708	—	0.013	—	0.0355	—	—	—

очень обычным присутствием в энигматите бурых налетов по трещинам и с поверхности; 2) окислением  $FeO$  в  $Fe_2O_3$  в процессе анализа; 3) при присутствии примеси эгирина, богатого окисью железа. Присутствие во всех анализах  $Al_2O_3$ , в общем незначительное, или является результатом

<sup>1</sup> W. Kunitz допускает, что роговые обманки, как глаукофан, базальтические роговые обманки и др. подвергаются в изверженных породах окислению при высокой температуре, чем и объясняется присутствие в них  $Fe'''$ , образовавшегося из  $Fe''$ ; на этом основании все железо в них он принимает для вывода формулы как двухвалентное (W. Kunitz. Die Isomorphieverhältnisse in der Hornblendegruppe. N. Jb. Min., 1929, Beil.-Bd. 60, Abt. A, 209—210).

загрязнения минерала полевым шпатом и нефелином, или, по последним данным,<sup>1</sup> группа  $Al_2O_3$  может изоморфно замещать метасиликаты как  $MgSiO_3$ , реже  $CaSiO_3$  и входить в молекулу минерала в виде окиси.

Исходя из этих предположений при выводе возможной формулы энigmatита, количество  $Al_2O_3$  не принимается в расчет, а  $Fe_2O_3$  пересчитывается на  $FeO$ . Титан предполагается существующим в минерале в виде  $TiO_2$ , изоморфно замещающей  $SiO_2$ . Пересчет анализов на молекулярные отношения приводится в таблице 5.

Если суммировать, с одной стороны,  $SiO_2$  и  $TiO_2$  как кислотную часть, а с другой, все основания типа  $RO$  и  $R_2O$ , то анализы укладываются в простую формулу метасиликата (табл. 6).

Т а б л и ц а 6

	$Si(Ti)O_2$	$RO+R_2O$	Избыток или недостаток $SiO_2$
Коссирит . . . . .	0.780	0.782	— 0.002
Энigmatит Гренландии . . . . .	0.727	0.722	+ 0.007
Энigmatит:			
Путеличорра. Анализ I . .	0.776	0.713	+ 0.063
" Часначорра. Анализ II . .	0.769	0.747	+ 0.021
" Партомчорра. Анализ III . .	0.812	0.785	+ 0.027
" 4-й Северной речки. Анализ IV . . . . .	0.770	0.7387	+ 0.031
" Жилы Черника. Анализ V .	0.7699	0.747	+ 0.022
" 5-й Западной речки. Анализ VI . . . . .	0.7643	0.747	+ 0.017

Для прежних анализов энigmatита Гренландии и коссирита результаты пересчета очень хорошие, для новых анализов энigmatита Хибинских Тундр несколько хуже, но все же вполне удовлетворительные, за исключением анализа I.

Приведенная выше общая формула метасиликата  $R(R_2')Si(Ti)O_3$  может быть написана так:  $p RSi(Ti)O_3 \cdot q R_2'SiO_3$ , где  $R = Fe, Mn, Ca, Mg$ ,  $R_2' = Na_2, K_2, H_2$ .

B. Gossner. Die chemische Konstitution der monoklinen Pyroxene u. der Amphibole. Z. Krist., 1924, 60, 363. — N. Winchell. Isomorphous relations of  $MgSiO_3$  and  $AlAlO_3$  in silicates. Am. Min., 1928, 13, 52. — W. Kuntz, loc. cit., p. 192.

В виду того, что количество  $TiO_2$  значительно и часто превосходит количество  $Na_2O$ , вероятнее всего предположение, что  $TiO_2$  изоморфно замещает  $SiO_2$  в метасиликате  $RSiO_3$ .

Взаимоотношения между метасиликатами  $RSiO_3$  и  $R_2SiO_3$  может отвечать или понятию двойной соли, т. е. определенного химического соединения с кратным отношением коэффициентов  $p$  и  $q$  или твердого раствора метасиликата  $Na_2SiO_3$  в преобладающем по количеству растворителе  $RSiO_3$ . Отношения между коэффициентами  $p$  и  $q$  приводятся в таблице 7, где содержание  $Al_2O_3$  предполагается изоморфно замещающим метасиликат  $RSiO_3$  и потому суммируется с  $RSiO_3$  для подсчета цифрового значения коэффициентов  $p$  и  $q$ .

Таблица 7

	$RSi(Ti)O_3$	$Al_2O_3$	$RSi(Ti)O_3 +$ $+ Al_2O_3$	$R_2SiO_3 \times p$	$p$	$q$
Коссирит . . . . .	0.6047	0.0020	0.6067	$0.1770 \times 3.5 = 0.6195$	7	2
Энигматит Гренландии . . . . .	0.608	0.031	0.639	$0.106 \times 6 = 0.636$	6	1
Энигматит Путеличорра. Анализ I . . . . .	0.592	0.021	0.613	$0.121 \times 5 = 0.605$	5	1
Энигматит Часначорра. Анализ II . . . . .	0.648	0.011	0.659	$0.099 \times 7 = 0.693$	7	1
Энигматит Партомчорра. Анализ III . . . . .	0.587	0.009	0.596	$0.196 \times 3 = 0.588$	3	1
Энигматит 4-й Сев. реки. Анализ IV . . . . .	0.616	0.009	0.625	$0.121 \times 5 = 0.605$	5	1
Энигматит жилы Черника. Анализ V . . . . .	0.635	0.013	0.648	$0.122 \times 5 = 0.640$	5	1
Энигматит 5-й Западной реки. Анализ VI . . . . .	0.6121	0.008	0.620	$0.135 \times 5 = 0.675$	5	1

Отношения между цифровыми значениями коэффициентов  $p$  и  $q$  являются таким образом различными в различных анализах, причем в некоторых анализах это отношение очень хорошо отвечает значению кратных целых чисел, в других анализах имеется лишь довольно приближенное кратное отношение. Таким образом трудно определенно сказать, является ли энигматит соединением характера двойной соли или лишь твердого раствора. Приняв энигматит за двойную соль метатитано-силикатов  $Fe''$  и  $Na_2$ , нужно было бы признать для него различные формулы для различных месторождений, как например  $5 FeSi(Ti)O_3 \cdot Na_2SiO_3$ ;

$7 \text{ FeSi}(\text{Ti})\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{SiO}_3$ ;  $3 \text{ FeSi}(\text{Ti})\text{O}_3 \cdot \text{Na}_2\text{SiO}_3$  и т. д. Этот вопрос вероятно сможет разрешиться экспериментальным изучением диаграммы плавкости соответствующих метатитаносиликатов. Во всяком случае, ряд новых анализов энigmatита Хибинских Тундр заставляет смотреть на энigmatит как на минерал, стоящий особо от группы амфиболов и пироксенов. С этим хорошо согласуются и особые его кристаллографические и оптические свойства. Конечно, приводимый способ пересчета анализов, возможно, не является окончательным для выяснения формулы энigmatита, но определенно вопрос о положении группы энigmatита в систематике будет выяснен, как указывает Gossner,<sup>1</sup> лишь совместно с дальнейшим исследованием структуры и химического состава как самого энigmatита, так и группы пироксенов и амфиболов.

Это исследование структуры щелочных амфиболов и энigmatитов Gossner,<sup>2</sup> было у нас получено, когда настоящая работа была уже набрана. Давая новые анализы энigmatитов Гренландии и Кольского полуострова (вероятно Хибинских Тундр), а также и коссирита, Gossner приходит к выводу, что энigmatит является простым метасиликатом главным образом железа. Пересчет анализов Gossner производится таким образом, что  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  просто суммируются со всеми метасиликатами, часть Al вводится в состав компонента  $\text{Si}_2\text{O}_6 \text{ Al Na}$ , также изоморфно замещающего  $\text{FeSiO}_3$ . Состав энigmatита, по мнению Gossner, ближе отвечает понятию двойной соли типа  $6 \text{ FeSiO}_3 \cdot \text{FeTiO}_3$ . Для вывода этой формулы, недостающее для указанного кратного отношения 6:1 количество компонента  $\text{FeTiO}_3$  Gossner дополняет, взяв частично от компонента  $\text{FeSiO}_3$  и подбирая для этого искусственно коэффициенты.

Приведенные выше анализы энigmatита Хибинских Тундр не все допускают такого рода пересчет. Анализы II и III таблицы 1 содержат по сравнению с приводимыми у Gossner излишек компонента  $\text{FeTiO}_3$  и для вывода формулы  $6 \text{ FeSiO}_3 \cdot \text{FeTiO}_3$  часть  $\text{FeTiO}_3$  приходится причислять к другому компоненту. Относительно структуры и положения энigmatита в систематике Gossner приходит к следующим выводам: энigmatит принадлежит к самостоятельной группе; близость его к роговым обманкам заключается в размерах основной частички типа  $\text{Me}_2\text{Si}_2\text{O}_6$ , лежащей в составе обеих групп; разница заключается в различной их группировке и количестве в элементарной молекуле.

### Месторождения и парагенезис энigmatитов в Хибинских Тундрах

Помимо незначительного выделения в породах, главное количество энigmatита связано в Хибинских Тундрах с пегматитовыми выделениями. Территориально, месторождения, содержащие энigmatит, относятся главным образом к периферической полукольцевой зоне массива, где развиты

<sup>1</sup> Gossner u. Mussgnug. Über den Aenigmatit... Cbl. f. Min., Geol. u. Pal., 1923, Abt. A, 5—11.

<sup>2</sup> B. Gossner u. T. Spielberger. Chemische u. röntgenographische Untersuchungen an Silikaten. — Z. f. Krist., 1929, 72, 111—142.



наиболее ранние по возрасту породы: крупнозернистый нефелиновый сиенит — хибинит и крупнозернистый трахитоидный или лейстовый нефелиновый сиенит. В центральной кольцевой части массива, сложенной мелкозернистым нефелиновым сиенитом, роговообманковыми и слюдяными его разностями, энигматит наблюдался редко.

На основании парагенетических соотношений жильные типы, содержащие энигматит, можно сгруппировать следующим образом:

#### А. Месторождения энигматита во внешней кольцевой зоне массива, связанные с хибинитом

Сюда относятся следующие крупные типы:

Эвдиалито-энигматитовый тип (2а).<sup>1</sup> В количественном отношении является главным типом, содержащим энигматит. Принадлежащие сюда жильные выделения образуют часто мощные коренные и элювиальные осыпи или жилоподобные выделения характера линз и гнезд до 1—2 м длиной, 0,5 м мощности в хибините. Главные минералы: энигматит, мезопхалит,<sup>2</sup> эгирин 1-й и 2-й генераций, полевой шпат, нефелин. Энигматит образует очень крупные выделения, часто сплошные, до нескольких килограмм весом, глыбы; очень часто энигматит образует правильные крупные кристаллы, окруженные более поздним эвдиалитом и волокнистым эгирином. Из включений энигматит содержит: мелкие включения полевого шпата, нефелина, блестки астрофиллита, редкие кристаллы сфена, многочисленные прожилки волокнистого эгирина.

Данный тип распространен главным образом на массиве Часначорра, почему при полевых работах назывался также Часначоррским типом. Главные его месторождения: эвдиалит-энигматитовые жилы Южного Часначорра (№ 18), Северного Часначорра и его западных отрогов (№ 17), Тахтарвумчорра (№ 9), Айкуайвентчорра и Ловчорра (№ 93), восточных склонов Поачвумчорра (№ 21), жилы 4-й речки северных контактов (№ 101), выделения восточных склонов Путеличорра и наконец наиболее крупное месторождение на южном склоне горы Петрелиуса, найденное в 1929 г.,<sup>3</sup> а также осыпи эвдиалито-энигматитовых жил на склонах Поачвумчорра у западного конца ущелья Рамзая (№ 22), энигматитовые осыпи южного склона Валенахка (№ 37).

<sup>1</sup> Подразделение месторождений на типы, так же как и №№ месторождения — см.: Хибинские и Ловозерские Тундры (под ред. А. Е. Ферсмана), т. II, гл. V. Т. Инст. из. Сев., М. 1928, вып. 89.

<sup>2</sup> Промежуточный член в изоморфном ряде эвдиалит-эвквалит. Е. Е. Костылева. Изоморфный эвдиалито-эвквалитовый ряд в Хибинских и Ловозерских Тундрах. Т. Мин. муз., 1929, 3, 169—222.

<sup>3</sup> А. Н. Лабунцов. Б. КЭИ, 1929 г., № 21.

Ринколито-эвдиалито-эгириновый тип (1) представлен 2 крупными месторождениями: эвдиалитовая жила Лявоюока (№ 38) и ринколито-эвдиалитовое месторождение югозападного склона Иидичвумчорра (№ 15). Парагенезис главных минералов близок к предыдущему типу, отличается от него присутствием минералов ринколита и лампрофиллита, заключенных в эгирине, в полевом шпате, эвдиалите и энigmatите. Энigmatит, как и в Часначоррском типе, образует крупные выделения очень ранней кристаллизации до эгирина 2-й генерации и эвдиалита.

Помимо приведенных типов, энigmatит, как второстепенная составная часть, встречается еще в нижеследующих типах, близких по времени выделения и по парагенезисным соотношениям к приведенным выше типам 1 и 2а.

Эгирино-амазонитовый тип (14). Минералогически очень бедный тип, сильно распространенный в хибините. Главные минералы: эгирин, амазонит. Второстепенные: эвдиалит, роговая обманка, энigmatит. Последний встречается в незначительном количестве или отсутствует.

Буро-сфеновый тип (9). Очень распространенный в виде выделений в хибините жильный тип. Выделения этого типа можно характеризовать как сфеновые нефелиновые сиениты, сложенные полевым шпатом, нефелином и сфеном и меньшим количеством эгирина и эгирин-авгитом. Вместе с эвдиалитом, апатитом, биотитом, энigmatит встречается в сильно подчиненном количестве.

Лампрофиллитово-эвдиалитовый тип с эгирином 2-м. В данном типе энigmatит не встречается. Лишь в одном месторождении лампрофиллитовой жилы Ущелья Географов (№ 11) находится энigmatит. Ближе к зальбандам жилы, в парагенезисе с эвдиалитом, нефелином, эгирином, энigmatит образует не крупные неправильные выделения.

В хибините несколько особо от перечисленных выше типов стоят месторождения, в которых энigmatит сопровождается астрофиллитом; это месторождения двух типов: эвдиалито-энigmatитовые с оторочками астрофиллита (тип 2в) и астрофиллитовые с эвдиалитом и роговой обманкой (тип 4).

Парагенезис энigmatита в обоих типах: астрофиллит, эгирин 2-й генерации, полевой шпат, мало эвдиалита. По времени выделения, эвдиалито-энigmatитовые месторождения с оторочками астрофиллита относятся к концу магматической стадии, астрофиллитовые — к стадии пегматитовой. Энigmatит в обоих этих типах является ранним по своему выделению, заключен или в эгирин или астрофиллит; последний, очень близкий по составу к энigmatиту, носит характер замещения энigmatита, образуя оторочки вокруг энigmatита, псевдоморфозы обрастания по энigmatиту или неправильные включения листоватых агрегатов с ясным характером замещения энigmatита иногда нацело. Объяснение этого процесса<sup>1</sup> дано

<sup>1</sup> А. Е. Ферсман. Закономерные сростания минералов в Хибинских и Ловозерских Тундрах. ИАН, 1923, 285—290.

А. Е. Ферсманом для коронитов, оно связано с усиленной деятельностью  $O, Na$ , отчасти  $H_2O$  и  $F$  в стадию пегматоидную, которая характеризуется обильным выделением эгирина 2-го, появлением астрофиллита, эвдиалита, альбита и т. д. Энигматит, близкий по составу к астрофиллиту, является неустойчивым в условиях пегматоидной стадии и перегруппировывается в астрофиллит. Подробное описание относящихся к этим типам месторождений сделано во II томе „Хибинских и Ловозерских Тундр“.<sup>1</sup> Главное месторождение типа 2в: Астрофиллитовые оторочки западных отрогов Партомчорра (№ 40), представляющего собой богатую элювиальную россыпь на югозападном склоне гребня. Случайные находки коронитов встречены: на склонах Маннепахка, в верховьях Индицока, во второй северной ложине Партомчорра и др.

К типу 4-му относятся месторождения: Астрофиллитовая жила Хибинпахчорра (№ 4), Астрофиллитовая россыпь перемычки между Большим и Малым Маннепахком (маршр. 1926 г.), Астрофиллитовое месторождение западного ущелья Ньоркпахка (№ 85), Перевала Лопарского (маршр. 1926 г., где как случайная находка в осыпи, найден кристалл энигматита, обрастающий со всех сторон пластинчатым астрофиллитом). Повидимому, примеры обрастания энигматита астрофиллитом являются довольно обычными, и астрофиллит во многих месторождениях в хибините является вторичным по энигматиту.

#### В. Месторождения энигматита, находящиеся в эндоконтактной зоне

Сюда относятся месторождения следующих типов: полевошпатовый с эгирином и лопаритом (16), полевошпатово-анальцимовый с нептунитом и эльпидитом (21а), полевошпатово-эгириновый с рамзаитом (21). Парагенезис энигматита в этой подгруппе в общих чертах: эгирин I и II генерации, полевошпат, лопарит, рамзаит, нептунит, эльпидит, анальцим, содалит, эвдиалит. За исключением типа 26а, месторождения принадлежат к магматической стадии и сильно затронуты гидротермальной стадией; тип 26а, полевошпатово-анальцимовый с эльпидитом.

Энигматит в месторождениях эндоконтактной зоны не является главным минералом, хотя и образует нередко крупные выделения, заключенные в полевошпате и в волокнистый эгирин: в последнем случае выделения энигматита обычно окружены оторочками эгирина. Хорошо образованные крупные кристаллы не наблюдались. Лопарит, рамзаит, нептунит и др. заключены в полевошпате и эгирине, редко в энигматите. Наиболее значительными месторождениями, содержащими энигматит, являются полевошпатовые с эгирином и рамзаитом выделения верхних контактов

<sup>1</sup> Т. Инст. изуч. Сев., 1929, вып. 39.

Маннепахка, югозападных контактов Тахтарвумчорра (№ 90), эгирино-лопаритовое месторождение с роговой обманкой и эвдиалитом контактов Маннепахка (1 b), альбито-анальцимовая жила с нептунитом и эльпидитом западных контактов Маннепахка (1 d). Кроме того, энigmatит в приведенном выше парагенезисе встречался в Нептунитовой ложине (маршр. 1926) и др.

Особо от перечисленных выше месторождений стоят месторождения эвколи-альбитовой жилы перевала Лопарского, относящиеся к эвколито-альбитовому типу (тип 5). Здесь энigmatит в тесном парагенезисе с эгирином и астрофиллитом образует не крупные выделения в эвколите и альбите, причем астрофиллит превращается в энigmatит. В этом месторождении был найден прекрасный мелкий кристалл энigmatита, послуживший для измерения.

Во всех упомянутых месторождениях в Хибинских Тундрах энigmatит является минералом магматической стадии образования.

Парагенезис и последовательность его выделения сведены в следующей таблице:

Полевой шпат	_____
Нефелин	_____
Эгирин	_____
Лопарит	_____
Рамзаит	_____
Лампрофиллит	_____
Ривколит	_____
Энigmatит	_____
Эвдиалит	_____
Эвколит	_____
Астрофиллит	_____
Нептунит	_____
Анальцим	_____

### Месторождения энigmatита по литературным данным

В литературе имеется довольно много указаний на нахождение энigmatита и энigmatитоподобных минералов. Большинство месторождений относятся к щелочным породам, реже базальтам. В настоящей статье отмечаются месторождения лишь энigmatитов. Месторождения энigmatитоподобных минералов, отмеченных лишь микроскопически, здесь не перечисляются.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Исчерпывающий список литературы энigmatитоподобных минералов см. I. Soellner. Über Rhönit, ein neues aenigmatitähnliches Mineral. N. Jb. Min., 1911. Beil.-Bd., 24, 478—483.

Гренландия. В содалитовых сиенитах Южной Гренландии, в районе Julianehaab энигматит встречается в большом количестве как породообразующий минерал, так и в пегматитовых жилах в парагенезисе с эгирином, арфведсонитом, полевым шпатом и эвдиалитом.<sup>1</sup> С эгирином и арфведсонитом он дает параллельное срастание по (010). По своему парагенезису, кристаллографическим, химическим и оптическим свойствам очень близок к энигматиту Хибинских Тундр. Вместе с месторождением Хибинских Тундр месторождение Гренландии является самыми крупными месторождениями энигматита.

Мадагаскар. В нефелиновых сиенитах и в содержащих кварц эгириновых сиенитах, в массивах Bezavona и Ambongo встречается энигматит черными мелкими кристалликами, отмечен микроскопически как побочная составная часть в указанных породах.<sup>2</sup> Отмечен кроме того в жилах рибекитового гранита, пересекающего метаморфизованные кварциты в Amprasibitika и в нефелиновых сиенитах с эгирином около Nosy Kivonjy как микроскопические выделения.

Франция: Puy de Dôme. В нефелинах долерита месторождения Saint-Sandoux Lacroix отмечает кристаллики энигматита, в сопровождении титанита, достигающие 2 мм.<sup>3</sup> Кристаллики энигматита показывают в шлифе полисинтетические двойники и оптические свойства, типичные для энигматита.

Италия: о. Пантеллерия. В пантеллеритах описаны Förstner и позже Soellner<sup>4</sup> многочисленные мелкие кристаллики коссирита по химическим (табл. 4 и 5) своим свойствам, оптическим и кристаллографическим близкие к энигматиту. Кристаллы очень хорошо образованы, измерения и вычисления их приводятся как кристаллографические константы всей группы энигматита.

<sup>1</sup> N. Ussing. Mineralogisch-petrographische Untersuchungen von grönländischen Nephelinsyeniten u. verwandten Gesteinen, Kopenhagen, 1893—1894. — W. Brögger, loc. cit.

<sup>2</sup> A. Lacroix. Minéralogie de Madagascar, Paris, 1922, 1, 543.

<sup>3</sup> A. Lacroix. Minéralogie de la France, Paris, 1893—95, 1, 709—710.

<sup>4</sup> I. Soellner, loc. cit.

## E. Kostyleva. Aenigmatit der Chibina-Tundren (Halbinsel Kol

### Résumé

Aenigmatit ist in den Chibina-Tundren sehr verbreitet, er bildet Blöcke und öfters auch grosse Kristalle. Kleine, gut messbare, Kristalle dagegen sind höchst selten und nur an kleinen Kristallen war es möglich Messungen auf dem zweikreisigen Goniometer Goldschmidt's auszuführen (Tab. 1), doch sind die Flächen uneben, erlaubten keine genauen Messungen und war es unmöglich die Axenverhältnisse zu berechnen. An verschiedenen Kristallen wurden folgende Formen beobachtet: a {100}, b {010}, m {110}, M {110}, e {130}, ζ {021}, r {111}, R {111}, o {331}, v {131}, e {151}, σ {151}, ρ {151}, t {351}, τ {351}, θ {551}, k {771}, γ {212}, x {322}, z {332}. Kristalle sind vorwiegend Zwillinge nach (100). In Tab. 2 werden die Formen des Aenigmatit der Chibina-Tundren mit denen des grönländischen Aenigmatits und des Cossyrits der Insel Pantelleria verglichen.

Die optischen Eigenschaften von chibinaer und grönländischem Aenigmatit sind die gleichen.

In d. Tab. 4 u. 5 werden Analysen des Aenigmatits aus 7 verschiedenen Vorkommen der Chibina-Tundren angeführt. Analysen I, IV, V, VI von I. Kurbatov, II—von I. Starynkevič, III—von N. Vlodevec. Man sieht einen im allgemeinen beständigen Gehalt an Oxyden RO und R<sub>2</sub>O, u. einen wechselnden Gehalt an FeO und Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Der Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt liegt zwischen 1.6 und 9.97% und ist durch Oxydation von FeO bald nach der Bildung erklärbar.

Deshalb wurde bei der Berechnung der Analysen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zu FeO umgerechnet. Der Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehalt ist niedrig, wird im Einklang mit den Messungen von Gossner, Winchell und Kunitz (S. 100), bei der Berechnung nicht in Betracht gezogen und als isomorphe Vertretung der Metasilikate MgSiO<sub>3</sub> und CaSiO<sub>3</sub> angesehen. Aus allen Analysen der chibinaer Aenigmatit kann man die Formel eines einfachen Metasilikats ableiten (Tab. 6). Selbige lautet: p RSi(Ti)O<sub>3</sub>. q R<sub>2</sub>SiO<sub>3</sub>, wobei R = Fe, Mn, Ca, Mg; R<sub>2</sub> = Na<sub>2</sub>, K<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>. Das Verhältnis p:q ist verschieden (Tab. 7). Demzufolge muss man den Aenigmatit als ein Mineral betrachten, welches einer einfachen Formel entspricht, die von derjenigen der Hornblende unterschiedlich ist. Die Verschiedenheit der kristallographischen und optischen Eigenschaften bestätigt diese Auffassung.