

Ep. 5.12

EESTI NSV TEADUSTE AKADEEMIA GEOLOGIA INSTITUUDI UURIMUSED
ТРУДЫ ИНСТИТУТА ГЕОЛОГИИ АКАДЕМИИ НАУК ЭСТОНСКОЙ ССР

XI

МЕТЕОРИТИКА

ТАЛЛИН 1963 TALLINN

МИНЕРАГРАФИЧЕСКОЕ И ХИМИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОГО МЕТЕОРИТА КААЛИ

И. А. ЮДИН, С. И. СМЫШЛЯЕВ

Железный метеорит Каали, впервые найденный в 1927 г. И. А. Рейнвальдом (Reinwaldt, 1928), уже был объектом ряда исследований (Аалое, 1958; Заварицкий и Кваша, 1952; Aaloe, 1958).

Целью нашего исследования было изучить структуру, химико-минералогический состав метеорита и сопутствующих ему минеральных образований, найденных в метеоритном кратере, и дать их описание.

Для нашего исследования А. О. Аалое от Комиссии по метеоритам АН Эстонской ССР было предоставлено девять осколков метеорита, магнетитовые шарики, кусок шлака, найденного в шурфе вблизи метеоритного кратера № 5, а также образец горной породы, заполняющей кратер.

Вес метеоритных осколков (в граммах) составлял: 0,87; 0,75; 0,62; 0,67; 0,35; 0,22; 0,81; 2,02 и 0,15.

Все они имеют неправильную кусковатую форму и с поверхности в значительной степени перешли в гидроокислы железа (табл. 1, фиг. 1). Эти метеоритные осколки взяты из кратера № 5.

Для минераграфического изучения из этих осколков были изготовлены полированные шлифы общей площадью 220 мм². Три из них — № 195, 248, 248а — после минералогического изучения были подвергнуты химическому исследованию; были также проанализированы метеоритная ржавчина, шлак и магнетитовые шарики.

В результате минераграфического исследования в метеорите были установлены камасит, тэнит, шрейберзит и вторичный минерал, образовавшийся в земных условиях, — гётит. Количественный подсчет этих минералов, произведенный линейным методом, приводится в табл. 1.

Таблица 1

Минералы	Процентное содержание минералов в метеорите								
	Номера полированных шлифов								
	195 $\left(\frac{51}{76}\right)$ *	245 $\left(\frac{48}{72}\right)$	246 $\left(\frac{21}{36}\right)$	247 $\left(\frac{16}{26}\right)$	247а $\left(\frac{15}{24}\right)$	248 $\left(\frac{12}{22}\right)$	248а $\left(\frac{15}{26}\right)$	249 $\left(\frac{36}{27}\right)$	250 $\left(\frac{6}{34}\right)$
Камасит	97,8	97,1	90,4	94,5	94,6	96,8	97,4	95,8	97,5
Тэнит	0,8	1,7	1,1	2,7	0,8	1,8	1,6	2,9	2,0
Шрейберзит	1,4	1,2	8,5	2,8	4,6	1,4	1,0	1,3	0,5

* В скобках в числителе указана измеренная площадь в квадратных миллиметрах, в знаменателе — количество замеров.

Камасит. Основная масса осколков метеорита состоит из камасита, среднее содержание которого 96,8% по объему. Камасит выявляется травлением в виде балок шириной 1,5—2,5 мм, между которыми зажаты полосы, состоящие из тэнита или же плессита. Все они подверглись смятию, особенно в периферической части кусков метеорита, образовав волнисто-изогнутые формы (табл. 1, фиг. 2), очевидно в результате деформации при дроблении метеорита на поверхности земли.

Тэнит. Количественное содержание тэнита в исследуемых осколках метеорита в среднем 1,8% по объему. Под микроскопом, в отраженном свете, тэнит отличается от камасита по более высокому рельефу, обусловленному большей твердостью, а также более высоким коэффициентом отражения света. Особенно хорошо выявляется тэнит при травлении 5%-ным раствором азотной кислоты. Обычно основная масса тэнита наблюдается в камасите в виде одной, а чаще всего в виде нескольких параллельно ориентированных узких полос (лент) шириной от 1—4 μ до 0,15 мм и длиной до нескольких миллиметров (табл. II, фиг. 1). Почти всегда эти полосы тэнита изогнутые, смятые и образуют текстуры, похожие на плейчатые.

С увеличением размеров (ширины) тэнитовые полосы раздваиваются, образуя окаймленные плесситовые поля линзовидно-вытянутой, треугольной, прямоугольной и квадратной формы. Структура плессита балочная, пертитовидная и фельзитовидная. Чаще всего полосы имеют линзовидные или неправильной формы раздувы, сложенные плесситом и окаймленные тэнитом (табл. II, фиг. 2). Ширина тэнитовых каемок 0,01—0,02 мм.

Микроструктура плессита чаще микропертитовидная, представляет собой тонкие волосоподобные образования тэнита, включенные в камасит (табл. III, фиг. 1). Ширина таких тэнитовых форм — от десятых долей микрона до 3—5 μ , длина — несколько микронов. В различных плесситовых полях прослеживается постепенный переход от микропертитовидных к фельзитовидным структурам. Иногда ленты тэнита плавно огибают зерна шрейберзита.

В полированном шлифе № 248 наблюдалось плесситовое поле квадратной формы, размером 0,9×0,8 мм, окруженное тонкой, местами прерывающейся каемкой тэнита. Само поле состоит из плессита пертитовидной структуры (табл. III, фиг. 2). Пертитовидные образования тэнита шириной 0,005—0,01 мм подверглись слабому смятию — деформированы.

В другом полированном шлифе, № 245, в метеоритной ржавчине, окружающей никелистое железо, наблюдается интересная структура замещения плессита гётитом. Пертитовидные зерна тэнита размером 0,5—2 μ и тэнитовые каемки остались без изменения, а вмещающий их камасит перешел в минерал гётит (табл. III, фиг. 3).

Количественное содержание тэнита в этом плесситовом участке достигает 25—30%. Точно такие же микропертитовидные структуры были выявлены в этом полированном шлифе и в никелистом железе. В других полированных шлифах в гётите встречались также тэнитовые полосы, более устойчивые к процессам химического выветривания.

Кусочки метеорита для химического анализа тщательно очищали от метеоритной ржавчины. Навески растворяли в разбавленной серной кислоте. По окончании растворения раствор окисляли крепкой азотной кислотой. Навески метеорита растворялись нацело. Результаты химического анализа по определению железа, никеля и кобальта приведены в табл. 2.

Таблица 2

Образец	Процентное содержание в образце		
	Fe	Ni	Co
Кусочек метеорита Каали весом 81,0 мг; шлиф № 195	91,3	5,55	0,43
Осколок метеорита весом 134,4 мг; шлиф № 248	91,92	6,40	0,38
Проба метеорита весом 126,2 мг, шлиф № 248а.	92,1	6,80	0,44

Спектральный анализ метеорита и доломитовой муки, выполненный в Уральском филиале Академии наук СССР Н. А. Ярош, дал следующие результаты, приведенные в табл. 3.

Таблица 3

Элементы	Никелистое железо из кратера № 5	Доломитовая мука из главного кратера
Mn	—	Следы
Pb	—	—
Mg	Слаб.	Оч. сильн.
Si	—	Выше средн.
Fe	Оч. сильн.	Сильн.
Al	Слаб.	Выше средн.
Cu	Следы	Следы
Co	Выше средн.	—
Ni	Сильн.	—
Ca	Средн.	Оч. сильн.
Sr	—	Слаб.
Cr	—	Следы
Ba	—	—

Шрейберзит. Этот минерал имеет в метеорите повсеместное распространение, иногда в значительных количествах. Так, в полированном шлифе № 246 его содержание достигает 8,5% по объему, в среднем (исключая шлиф 246) около 1,7%. Встречающиеся более крупные выделения шрейберзита чаще всего имеют вытянутую форму, а иногда и форму жилок длиной до нескольких миллиметров и раздроблены на остроугольные обломки. Обычно в крупных выделениях шрейберзита, часто в мелких трещинах, наблюдается вторичный минерал, очевидно гётит.

Значительное распространение в метеорите имеет рабдит, представляющий собой мелкие квадратики размером 0,03—0,15 мм, иногда равномерно рассеянные в камасите (табл. I, фиг. 2). Кроме того, в некоторых участках камасита шрейберзит имеет форму игл толщиной 0,01 мм и длиной до 0,5 мм. В полированном шлифе № 195 в метеоритной ржавчине была встречена псевдоморфоза вторичного минерала по рабдиту (табл. IV, фиг. 1).

Гётит. Этот минерал определяется в полированных шлифах по серовато-белому цвету с коэффициентом отражения $R \approx 20\%$. Анизотропен. Внутренние рефлексы красно-бурые. Действие химических реагентов отрицательное. Характерны колломорфные текстуры. Гётит обра-

зовался за счет никелистого железа в результате экзогенных процессов, происходивших на поверхности Земли. Часто гётит имеет здесь коллоидную текстуру (табл. IV, фиг. 1), подобную гётиту, образовавшемуся за счет других земных минералов. Иногда в нем имеются мелкие включения глинистого вещества. Кроме того, как уже указывалось выше, в гётите встречаются иногда остаточные зерна тэнита, камасита и шрейберзита.

Порошок метеоритной ржавчины, в значительной степени состоящий из гётита, подвергался качественному и количественному анализу.

Растворением пробы ржавчины в соляной кислоте с помощью капельного метода качественного анализа обнаружены большие количества окисного железа, малые количества закисного железа и установлено наличие никеля.

При обработке метеоритной ржавчины кислотой на дне пробирки остается нерастворимый силикатный остаток.

Количественный химический анализ показал, что навеска метеоритной ржавчины в 100 мг содержала в пересчете на окислы Fe_2O_3 — 43,37%, NiO — 1,9%, CoO — 0,18% и остальных компонентов (силикаты + H_2O и др.) — 54,54%.*

Магнетито-силикатные шарики были найдены в метеоритных кратерах совместно с метеоритными осколками. Диаметр этих шариков колеблется от сотых долей миллиметра до нескольких миллиметров.

Встречаются шарики матовые и с блестящей поверхностью (табл. IV, фиг. 2).

Шарики взяты из метеоритных кратеров № 5 и 3. Два таких шарика — один плотный, диаметром 1,0 мм, и второй пустотелый, размером 0,77 мм, — мы запрессовали в цементную массу и изготовили полированный шлиф. Минераграфическое изучение шариков показывает, что они состоят из силикатного вещества и минерала магнетита. Зерна магнетита в плотном шарике представлены двумя формами: изометричной (размером до 0,05 мм) и в виде мелких скелетных кристаллов, похожих на дендриты (размером до 1—2 μ) (табл. IV, фиг. 3). Редко совместно с магнетитом встречается в виде единичных зерен минерал с более высоким коэффициентом отражения, по-видимому сульфид, вероятно троилит. Размер зерен последнего не превышает 1—2 μ , поэтому точно определить его невозможно. Второй пустотелый шарик состоит

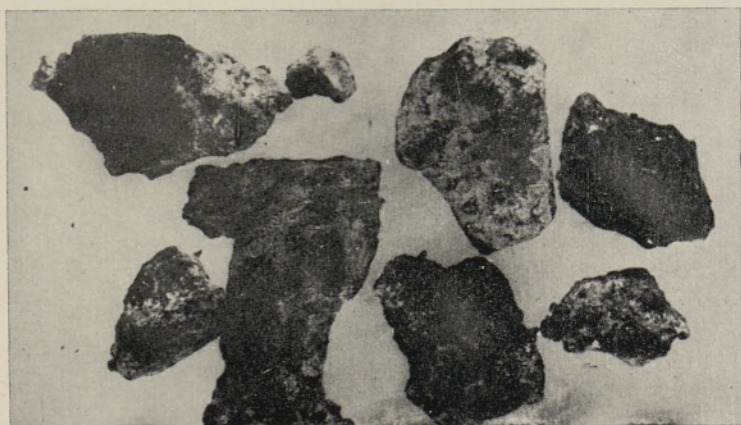
* Из ржавчины перед анализом магнитом удалены маленькие кусочки метеоритного железа. Произведен анализ немагнитной фракции.

ТАБЛИЦА I

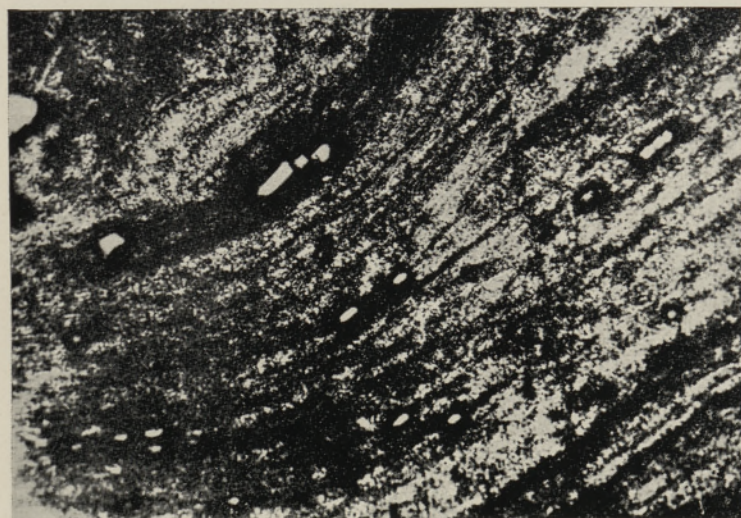
Фиг. 1. Осколки железного метеорита, собранные в кратере № 5. \times около 2,5.
Фиг. 2. Деформированный камасит с включениями рабдита. Отраженный свет. \times 210.

ТАБЛИЦА II

Фиг. 1. Тонкие ленты тэнита (белое), зажатые между балками камасита (серое). В середине снимка гётит, образовавшийся за счет плессита (серое). Камасит и тэнит деформированы. Отраженный свет. \times 210.
Фиг. 2. Фельзитовидный плессит (черное), окаймленный тэнитом (белое). Серый — камасит. Отраженный свет. \times 120.



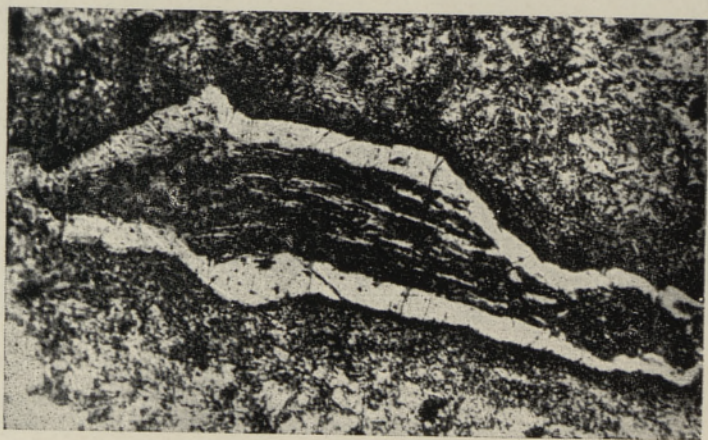
1



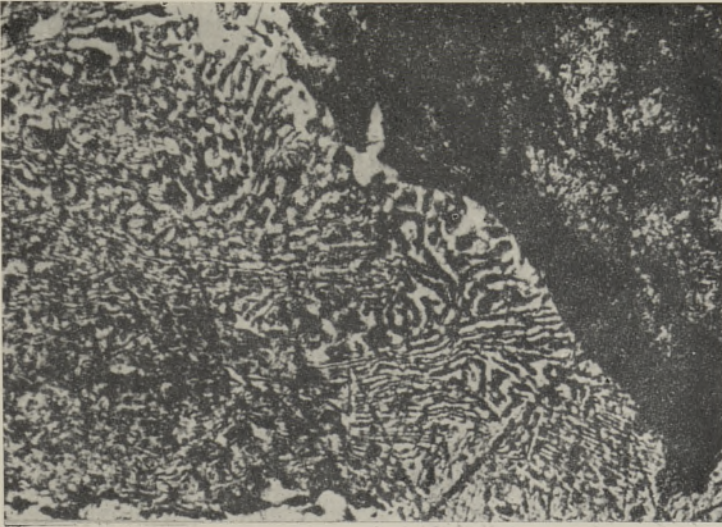
2



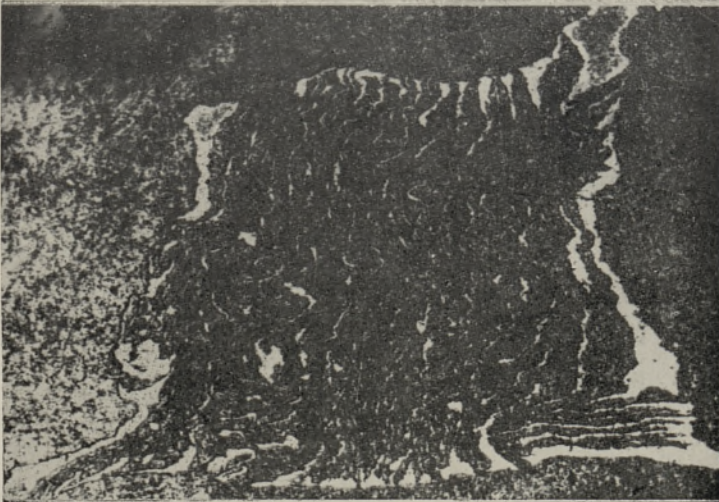
1



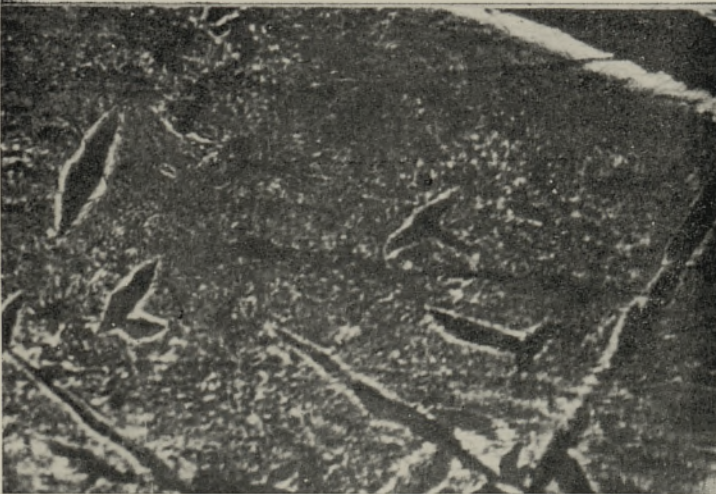
2



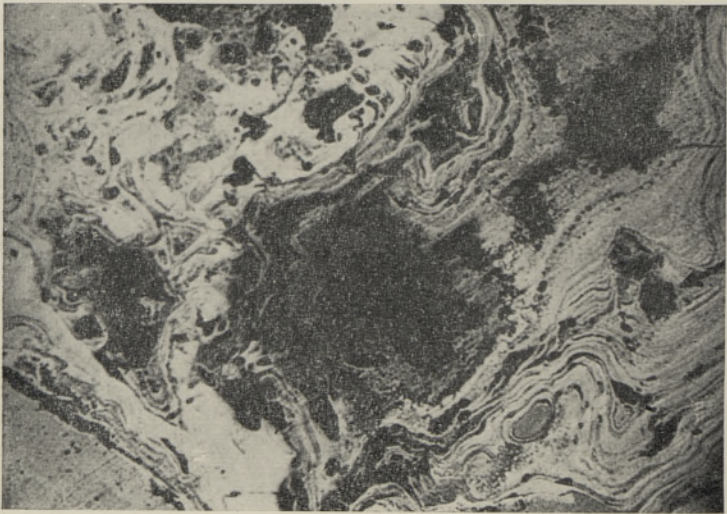
1.



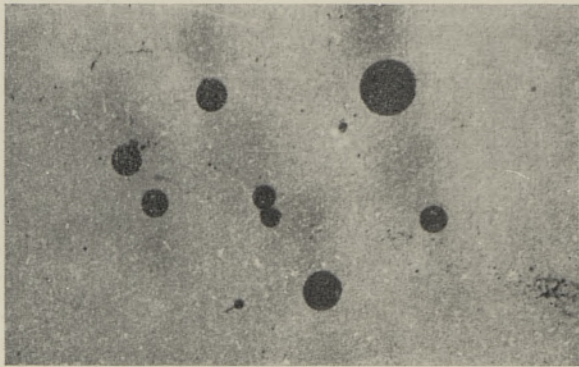
2.



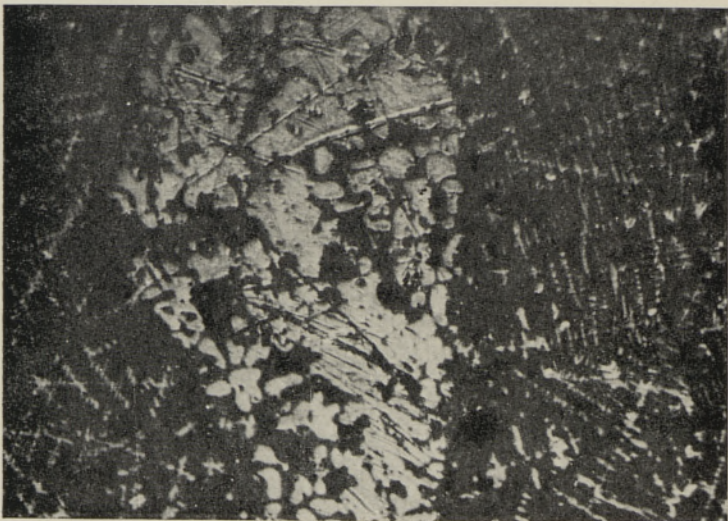
3.



1



2



3

Минералы	Процентное содержание	
	Шарик плотный 1,57 мм ²	Шарик пустотелый 0,54 мм ²
Магнетит	30	20
Троилит?	Редкие зерна	—
Силикатное вещество	70	80

также из силикатов с включением скелетных кристаллов магнетита. Количественное содержание магнетита в шариках приводится в табл. 4.

Качественный химический анализ шести шариков из метеоритных кратеров № 3 и 5 показал следующее. Шарики хорошо растворяются в соляной кислоте только при нагревании. В серной кислоте растворяются плохо — в пробирке на дне остается силикатный осадок. В растворе обнаруживается много окисного и мало закисного железа. Никель не обнаружен.

Шлак. При микроскопическом просмотре шлифа видно, что шлак состоит в основном из хорошо выраженных призматических кристаллов псевдоволластонита, изометричных зерен мелилита и пироксена, по-видимому фоггита. В очень незначительных количествах встречаются магнетит, троилит и гидроокислы железа.

Качественным химическим анализом установлено наличие больших количеств кальция, закисного железа, кремния, алюминия. Никель не обнаружен.

Порода, заполняющая метеоритный кратер № 5, представляет собой сцементированные глинистым веществом обломки глинистого доломита. Растворение в кислоте характерно для карбонатов. В растворе обнаруживаются большие количества кальция, алюминия, немного железа. Никель отсутствует.

Заключение

Куски метеорита Каали, состоящие из камасита, тэнита и шрейберзита, деформированы. Полосы тэнита или плессита, зажатые между балками камасита, сильно измятые, иногда с текстурой, похожей на плейчатость. Структура плессита в метеорите — балочная, микропертитовидная и фельзитовидная и аналогична структуре плессита в ме-

ТАБЛИЦА III

- Фиг. 1. Плессит микропертитовидной структуры. Белое — тэнит; черное — камасит. Отраженный свет. $\times 450$.
- Фиг. 2. Плессит пертитовидной структуры, деформирован. Белое — тэнит. Черное — камасит. Отраженный свет. $\times 77$.
- Фиг. 3. Микропертитовидные зерна и полосы тэнита (белое) в гётите (черное). Отраженный свет. $\times 600$.

ТАБЛИЦА IV

- Фиг. 1. Гётит колломорфной текстуры. Стрелкой показана псевдоморфоза вторичного минерала по рабдиту. Отраженный свет. $\times 210$.
- Фиг. 2. Магнетито-силикатные шарики из кратера № 5. \times около 5.
- Фиг. 3. Микроструктура магнетито-силикатного шарика. Светло-серые зерна — магнетит. Черное — силикаты. Отраженный свет. $\times 450$.

теорите Ярдымлинский. Количественное содержание тэнита в метеорите в среднем около 1,8%.

Химические исследования показывают, что тэнит богат никелем. Тэнит более устойчив к процессам химического выветривания, чем камасит. Образовавшийся за счет тэнита и камасита гётит в земных условиях также содержит никель, тогда как заполняющая кратер горная порода его не содержит.

Магнетитовые шарики, состоящие из магнетита и силикатов, не содержат никеля. По своему происхождению они не относятся к метеорной пыли. Шлак, найденный в шурфе, по данным минералогического и химического исследования, имеет земное происхождение.

*Уральский политехнический институт
им. С. М. Кирова*

ЛИТЕРАТУРА

- Аалоз, А. О. 1958. Новые данные о метеоритных кратерах на острове Саарема Эстонской ССР. Метеоритика, вып. XVI.
Заварицкий А. Н. и Кваша Л. Г. 1952. Метеориты СССР. Изд-во АН СССР.
Кринов Е. Л. 1955. Основы метеоритики. Гостехиздат.
Аалое, А. 1958. Kaalijärve meteoriidikraatri nr. 5 uurimisest 1955. aastal. Тр. ин-та геол. АН ЭССР, II.
Reinwaldt, I. A. 1928. Bericht über geologische Untersuchungen am Kaalijärv (Kratер von Sall) auf Osel. Tartu Ülikooli juures oleva Loodusuurijate Seltsi aruanded, nr. 35.

KAALI RAUDMETEORIIDI MINERAGRAAFILINE JA KEEMILINE UURIMINE

I. JUDIN, S. SMÖSLJAEV

Resümee

Kaali raudmeteoriidi mineragraafilisel uurimisel konstateeriti selles kamasiidi, teniidi, šreibersiidi ja sekundaarse mineraalina götiidi esinemist. Kaali meteoriit, milles kamasiidikepikeste laius on 1,5—2,5 mm, on jämedastruktuuriline oktaedriit. Kamasiidi keskmine mahuline sisaldus on 96,4%.

Teniit, mida raudmeteoriidis leidub keskmiselt mahu järgi 1,8%, moodustab kamasiidikepikeste vahele surutud 1—0,15 mm laiuse paelu. Harve mini moodustavad kamasiit ja teniit pertiitja ja felsiitja struktuuriga plessiidivälju. Teniit ja plessiidiväli on tugevasti muljutud. Keemilise analüüsi järgi on meteoriidis niklit keskmiselt 6,6% ja koobaltit 0,41%. Kamasiidis ei ületa niklisisaldus 5,5%. Teniit on niklirikas, sisaldades seda kuni 50%. Šreibersiiti, enamikel juhtudel rabdiidi kujul, leidub meteoriidis kõigjal, keskmiselt 1,7%. Maa pealse tekkega mineraal — götiit — esineb meteoriidi roostes, moodustades seal tihti kollomorfeid tekstuure. Maa pealsetes tingimustes põhiliselt kamasiidi ja teniidi arvel tekkinud meteoriidi rooste sisaldab peamiselt götiiti, savikat materjali ja kohati pseudomorfoose šreibersiidi (rabdiidi) järgi. Keemiline analüüs näitab peale ferooksüüdide veel suurt nikli- ja koobaltisisaldust (1,91% NiO ja 0,18% CoO).

Kraatritest kogutud magnetilised kerakesed koosnevad silikaatsest ainesest (kuni 70—80% mahuliselt) ja magnetiidist. Nikli olemasolu keemiline analüüs ei näidanud. Kraatri nr. 5 lähedalt šurfiist leitud šlakk koosneb pseudovollastoniidist, meliliidist ja pürokseenist vähese magnetiidi, troiliidi ja ferrooksüüdide lisandiga. Nikkel puudub.

*S. M. Kirovi nimeline
Uraali Polütehniline Instituut*

MINERAGRAPHIC AND CHEMICAL STUDIES OF KAALI IRON METEORITE

I. YUDIN, S. SMYSHLYAYEV

Summary

At the mineragraphic study of Kaali iron meteorite the occurrence of kamacite, taenite, schreibersite and, as a secondary mineral, goethite was stated. The Kaali meteorite, the width of whose kamacite pillars is 1.5—2.5 mm, is a coarse octahedrite. The average volume content of kamacite is 96.4%.

Taenite, whose average volume content is 1.8%, occurs in the form of 1—0.15 mm-wide bands pressed in between the kamacite pillars. Less frequently, kamacite and taenite form a plessite field of a perthitic and felsitic structure. Taenite and the plessite fields are considerably pressed in. According to chemical analysis, the meteorite contains, on the average, 6.60% nickel and 0.41% cobalt. In kamacite, the nickel content does not exceed 5.5%. Taenite is rich in nickel, containing up to 50% of it. Schreibersite occurs in the meteorite all over, in most cases in the form of rhabdite. Its average content is 1.7%. Mineral goethite, which has been formed during the stay of the meteorite on the surface of the earth, occurs in the iron-shale crust of the meteorite, forming there colloform textures. The iron-shale crust, which was formed in terrestrial conditions, mainly on account of kamacite and taenite, chiefly contains goethite, argillaceous matter and sometimes pseudomorphoses after schreibersite (rhabdite). The chemical analysis also shows, besides ferroxides, a great content of nickel and cobalt (1.91% NiO and 0.18% CoO, respectively).

The tiny balls of magnetite found in the crater consist of silicate matter (up to 70—80% in volume) and magnetite. The chemical analysis revealed no nickel. The slag found in the excavation near Crater No. 5 consists mainly of pseudowollastonite, melilite and pyroxene with an inconsiderable addition of magnetite, troilite and ferrooxide. No traces of nickel were found in the slag.

*Ural Polytechnical Institute
named after S. Kirov*