Российская академия наук
Институт геологии Уфимского научного центра

С.Ш.Юсупов, Д.Н.Салихов, Э.З.Гареев, А.В.Бурдаков, Г.А.Перминов

МЕТЕОРИТ СТЕРЛИТАМАК

Российская Академия наук
Институт геологии Уфимского научного центра

С.Ш.Юсупов, Д.Н.Салихов, Э.З.Гареев,
А.В.Бурдаков, Г.А.Перминов

Метеорит СТЕРЛИТАМАК

Уфа-2002

УДК 549:523.681
ББК 22.655
М54

М54 С.Ш.Юсупов, Д.Н.Салихов, Э.З.Гареев, А.В.Бурдаков, Г.А.Перминов. МЕТЕОРИТ «СТЕРЛИТАМАК». - Уфа: РА «Информреклама», 2002. 105 с. с илл.

ISBN 5-94780-009-8

Книга содержит первое обобщение исследований вещества железного метеорита «Стерлитамак» падения 1990 г. в районе г. Стерлитамак Республики Башкортостан. Дана общая характеристика обломков. Основное внимание уделено выяснению химического и минерального состава метеорита. Показаны характерные особенности внутренней структуры, его коры плавления и вторичных железоокисных минералов.

Для специалистов, занимающихся исследованием метеоритов, а также для минералогов и широкого круга читателей, интересующихся метеоритикой.

Библиогр. 121 назв. Табл. 11. Илл. 39.

Публикация работы выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ и Академии наук Республики Башкортостан

Ответственный редактор: доктор геол.-минерал. наук Д.Н.Салихов
Рецензент: член-корреспондент РАН В.Н. Пучков

ISBN 5-94780-009-8

© С.Ш.Юсупов, Д.Н.Салихов, Э.З.Гареев, А.В.Бурдаков, Г.А.Перминов, 2002
© Институт геологии УНЦ РАН, 2002
© РА «Информреклама», 2002

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ 4

1. МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ 7

2. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТЕОРИТНОГО КРАТЕРА И РАЗБРОСА ГРУНТА 10

3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛОМКОВ МЕТЕОРИТА «СТЕРЛИТАМАК» 13

4. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МЕТЕОРИТА «СТЕРЛИТАМАК» 19

5. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА 25

6. КОРА ПЛАВЛЕНИЯ И ВТОРИЧНЫЕ МИНЕРАЛЫ 42

6.1. Кора плавления 42

6.2. Магнитные шарики 47

7. ОЦЕНКА ОБЩЕЙ МАССЫ МЕТЕОРИТА «СТЕРЛИТАМАК» 50

8. ОБЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И НЕРЕШЕННЫЕ ВОПРОСЫ 52

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ 57

ВВЕДЕНИЕ

Железный метеорит «Стерлитамак», которому присвоен номер 180 в Кадастре метеоритов СССР, упал на Землю 17 мая 1990 года в 20 км к западу от города Стерлитамак Республики Башкортостан на ровное пахотное поле в 1,5 км к северо-западу от села Октябрьское (главной усадьбы совхоза Стерлитамакский). Географические координаты: 55°36'50" с.ш., 55°36'50" в.д. (рис. 1). Кратер метеорита (рис. 2) был обнаружен лишь через два дня, о чем директор Стерлитамакского совхоза Е.Ф. Калашников сообщил 19 мая в Уфу главному ученому секретарю Президиума БНЦ УрО АН СССР (с 1992 г. УНЦ РАН) к.г.-м.н. Э.З. Гарееву. В Москве, в Комитете по метеоритам АН СССР, на данное известие из БНЦ откликнулись весьма оперативно и уже 23 мая на место падения метеорита к Э.З. Гарееву на помощь прибыли двое сотрудников Комитета - к.г.-м.н. М.И. Петаев и н.с. Р.Л. Хотинок, при непосредственном участии и консультации которых, силами Института геологии УрО АН СССР, были начаты первые полевые, в т.ч. открытые горные работы (с помощью экскаватора) по поискам обломков и основного тела метеорита. Также оперативно, распоряжением Председателя Президиума Башкирского научного центра академика РАН Г.А.Толстикова от 28.06.1990 г. № 17101-32 была создана научная группа из числа сотрудников ИГ БНЦ в составе: Гареева Э.З. (руководитель), СалиховаД.Н., Кисарева Ю.Д., Юсупова С.Ш., Мустафина Ш.А., Шакурова Р.К.

Следует особо отметить, что проведение полевых физических объемов работ на объекте в 1990-1991 гг. финансировалось Уральским Отделением Академии Наук СССР, главным результатом которых было карьерное вскрытие (рис. 3) до глубины 15-16 м, позволившее извлечь пять наиболее весомых обломков метеорита, в т.ч. крупного экземпляра массой 315 кг (рис 4), предположительно на глубине около 12 м. Кроме того, здесь предварительно была проведена инструментальная съемка кратера и ситуации

его окрестностей, сбор мелких осколков с помощью миноискателя, ручное бурение в кратере, геофизические и другие изыскания. Эти работы, организованные бывшим директором ИГ БНЦ д.г.-м.н., ныне академиком Академии наук Республики Башкортостан М.А. Камалетдиновым, проводились полевым отрядом геологов в составе Ш.А. Мустафина (нач. отряда), Р.К. Шакурова, А.В. Павлова и И.М. Евдокимова с привлечением землеройной техники и бригады механизаторов из г. Стерлитамака. Однако вышеуказанный индивидуальный экземпляр метеорита массой 315 кг, названный нами МС-5, в процессе долгих зимних (1990-1991 гг.) раскопок грунта экскаватором (объем ковша 0,25 $м^3$) ни мастером, ни бульдозеристом не были замечены, а обнаружены в начале июня 1991 г. двумя юношами села Октябрьского на значительном расстоянии от борта карьера - в отвале глины (рис. 3). Об этом, в частности, красочно писала журналистка Р. Краснова в своей большой статье «Камень преткновения» в газете «Вечерняя Уфа» от 19 июня 1991 г.

Основные результаты полевых исследований метеорита Стерлитамак изложены в статьях М.И. Петаева, Э.З. Гареева, Р.Л. Хотинка, Ш.А. Мустафина и др., освещались в ряде газетных статей, в т.ч. в «Науке Урала» и по телевидению.

К сожалению, после обнаружения вышеуказанного обломка метеорита МС-5, полевые работы на объекте были приостановлены и более уже не возобновлялись. С одной стороны - из-за финансовых затруднений, с другой - после специального постановления Совета Министров БССР-Башкортостан в начале июня 1991 г. метеорит Стерлитамак берется под государственную (республиканскую) охрану, основное тело (МС-5) передается Институту истории языка и литературы и размещается в Музее археологии и этнографии Центра этнологических исследований УНЦ РАН (где и находится в настоящее время). Эти обстоятельства, дополненные запретом на отпиливание образцов от обломка метеорита весом 315 кг, сразу исключили возможность надлежащего изучения внутренней структуры этого крупного и, по-видимому, менее деформированного экземпляра, равно как исследования его минерального и химического состава, не говоря уже о возможности обмена отпиленными образцами метеоритов с другими Российскими и международными научно-исследовательскими институтами, несмотря на ряд запросов руководства УрО АН СССР, РАН, Комитета по

метеоритам, Института ядерной физики им. Макса Планка в г. Гейдельберге и других организаций.

С первых дней падения метеорита Стерлитамак было начато изучение мишени и вещественного состава его по малым обломкам, которое проводилось в 1990-1994 гг. другой группой сотрудников Института геологии: С.Ш. Юсуповым, Д.Н. Салиховым, А.В. Бурдаковым и Г.А. Перминовым, при участии Э.З. Гареева, инженеров-химиков Н.Г. Христофоровой, С.А. Ягудиной и др. Промежуточные результаты этих исследований опубликованы в ряде статей и докладывались Президиуму УНЦ РАН. Работы выполнялись исключительно по личной инициативе самих исследователей и, не поддержанные финансово, с 1995 г. были остановлены.

Тем не менее, мы решили обобщить и закрепить все результаты проведенных в те годы исследований, которым и посвящены следующие главы данной книги. Все что в ней изложено, является лишь первым опытом и начальным этапом изучения метеоритного вещества в Институте геологии УНЦ РАН, поэтому любые критические замечания, пожелания и предложения о дальнейшем сотрудничестве не только по возобновлению полевых работ на кратере и детальных исследований вещества метеорита Стерлитамак, но и других метеоритов Урало-Поволжского и других регионов России, нами будут приняты с благодарностью.

1. МЕТОДИКА ПОЛЕВЫХ И ЛАБОРАТОРНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

На начальном этапе исследований были проведены: опрос очевидцев, рекогносцировка и топографическая съемка местности, поиски и сбор осколков метеорита миноискателем, геологическое картирование кратера и выбросов из него, заложение карьера по поиску и извлечению из-под кратера основного тела метеорита. Об этом уже сообщалось в печати (Зоткин И.Т., Хотинок Р.Л., 1990; Петаев М.И., Гареев Э.З., 1992).

В дальнейшем, в течение 1990 г. и в зимне-весенний период 1991 г., под наблюдением Ш.А. Мустафина и его группы осуществлялось углубление кратера бригадой механизаторов.

Наша группа в составе Д.Н. Салихова, С.Ш. Юсупова, А.В. Бурдакова основной своей задачей ставила изучение вещества метеорита, изменения его, связанные с условиями пребывания в космическом пространстве, при преодолении атмосферы Земли (сопровождавшемся «горением») и конечным ударным процессом. В связи с этим было освоено искусство подготовки препаратов и выделения микровключений, методы выявления внутренней структуры и диагностики минеральных фаз под оптическим и электронным микроскопами, проведения физических и химических методов анализа вещества и др. Опыт исследований закреплялся полученными результатами, сравнением их с имеющимися у нас образцами железного метеорита Сихотэ-Алинь.

Но, прежде всего, на месте падения метеорита, по свежим следам, была обследована площадь рассеяния вокруг мишени легкоплавких шлаков и комков обожженной глины, аллогенный материал с прикратерного вала и

в самом кратере, а в узкой полосе непосредственного сближения (с юга) метеорита с поверхностью Земли - профильные (через 100 м, с шагом в 20 м) поиски железоокисных магнитных сферул на почве с помощью магнита Сочнева.

Кроме того, нами была поставлена видеосъемка, запечатлевшая организацию и проведение работ Э.З. Гареевым, М.И. Петаевым, Р.Л. Хотинком и всей группой Ш.А. Мустафина по поискам осколков метеорита в кратере и вокруг него методом ручного бурения и магнитометрии, начальной стадии карьерного вскрытия. Видеосъемкой были охвачены зимние эпизоды производства механизированных работ на карьере.

При изучении минерального и химического составов метеоритного вещества использовались методы, общепринятые в минералогии и в практике исследования состава собственно метеоритов.

Подготовительные операции заключались: а) в тщательном осмотре и описании особенностей поверхности обломков метеорита: характера абляции и признаков деформаций, форм и размеров ячеек регмаглиптов, кристаллической структуры свежеоторванных поверхностей, характера развития и строения коры плавления, форм проявления железоокислых микросферул, шлаков и обожженной глинки и др; б) в распиловке осколков на пластинки толщиной от 1,5 до 3-3,5 мм, изготовлении из них полированных (с одной или с двух сторон) аншлифов с доводкой их до безрельефного состояния; в) в выделении мономинеральных фракций, в основном для изучения методами дифрактометрии, нейтронно-активационного и атомно-абсорбционного анализов; оно осуществлялось различными способами: путем селективного выделения весьма тонких листовых частиц тэнита из общей массы никелистого железа (стружка) - растворением камаситовой основы последнего в концентрированной H_2SO_4 в течении 25-30 ч; путем выборки под бинокулярным микроскопом выкрошенных частиц троилита из общей массы железной стружки; выделением из массы глины, либо механическим отделением от поверхности осколков метеорита: коры плавления, шлаков и микросферул с последующей очисткой.

Применялись методы:

Микроскопия (и микрофотография) полированных, либо протравленных аншлифов в отраженном свете с помощью универсального рудного фотомикроскопа Neophot-21 фирмы Карл Цейс Йена при увеличениях

от 100 до 2000^{x}. Дополнительно применялось диагностическое травление ниталом (концентрации 2-5 %), растворение в HCl, HNO_3 и H_2SO_4.

Электронный микрозондовый анализ (МЗА) элементного состава минералов проводился на аншлифах и шайбах (из сплава ВУДа) на сканирующем электронном микроскопе JSM-840M с энергодисперсионным спектрометром Link-860 в Институте проблем сверхпластичности металлов УНЦ РАН (г. Уфа). Ускоряющее напряжение - 20 kV. Диаметр пучка 1 мкм при точечных и от 10×10 до 50×50 мкм при площадных анализах. Внутренний эталон - Co. Дополнительно, для коррекции содержаний элементов платиновой группы, применялись: поликсен и осмирид.

Нейтронно-активационные анализы (НАА) проводились в Институте ядерной физики АН Узбекистана (г. Ташкент) инструментальным (ИНАА) и радиохимическим (РХАА) методами (аналитики Х.Р. Рахимов, Д.У. Каримкулов, М. Насыров, Г.Г. Мингалеев, руководитель А.Г. Ганиев). При определении всего комплекса элементов вес пробы составлял 30 мг, для элементов платиновой группы - 10 мг. Анализы проводились по методике, принятой в ИЯФ. Пределы обнаружения при ИНАА методе 10^{-5}–10^{-3} масс %, при РХАА методе - 5 нг/л.

Атомно-абсорбционная спектрофотометрия двух проб метеорита проводилась в Институте геологии УНЦ РАН по принятой методике. Анализировалась стружка из осколков МС-1 и МС-3 на следующие элементы: Co, Ni, Cr, Cu, Pb, Zn (аналитик Н.Г. Христофорова).

Дифрактометрия. Исследования межплоскостных расстояний основных, акцессорных и вторичных минералов проводились методом дифрактометрии порошков и поверхности полированных пластинок на установке ДРОН-3. Условия съемки: излучение Cu, Ni - фильтр, монохроматор графитовый (МГП-РД), скорость 1 град/мин, лента 720 мм/ч (аналитик А.Г. Саматов).

Кроме того: в Научно-исследовательском институте металлургии (НИИМ) в г. Челябинске проводились единичные анализы вещества метеорита методом площадного сканирования на Fe, Ni, P, Cr, Co; в НИИ «Нефтеотдача» (г. Уфа) - порометрия никелистого железа МС-1; в Институте геологии УНЦ РАН - декрепитационные анализы легкоплавких шлаков и коры плавления; дериватография стружки никелистого железа МС-1, коры плавления и обожженной глинки с поверхности МС-5.

2. ХАРАКТЕРИСТИКА МЕТЕОРИТНОГО КРАТЕРА И РАЗБРОСА ГРУНТА

Важной информацией в метеоритике является характеристика кратеров и разброс грунтов в месте падения метеоритов. В XX столетии Стерлитамакское падение метеорита является вторым на планете, после Сихотэ-Алиньского, когда наблюдались болид, кратер, характер разброса грунтов и само метеоритное вещество. В этом заключается уникальность Стерлитамакского метеорита.

Авторами совместно с представителями Комитета по метеоритам АН СССР были установлены очевидцы падения метеорита и приняты меры по сохранению кратера.

С 24 мая начались опрос очевидцев, топографическая съемка прилегающей территории, детальное геологическое картирование кратера и выбросов и, наконец, работы по поиску и извлечению из кратера основной массы метеорита. Один из очевидцев Р.К. Ибрагимов, в течение 4 секунд наблюдал в созвездии Дева болид нарастающей яркости (вплоть до 5-й звездной величины), движение которого завершилось яркой вспышкой и появлением болида с хвостом.

Анализ сообщений других очевидцев показал, что болид двигался с юга на север под углом примерно 40° к горизонту, оставляя светлый зигзагообразный след. Причем, некоторые очевидцы утверждали, будто болид светился вплоть до его столкновения с земной поверхностью. Все явление продолжалось 7-8 секунд. По этим наблюдениям сотрудник Комитета по метеоритам Р.Л. Хотинок определил азимут полета болида (350°) и угловую высоту его (47°) над горизонтом (Зоткин И.Т., Хотинок Р.Л., 1990).

Несколько секунд спустя после исчезновения болида жители поселка Стерлитамакский, расположенного всего в 1,5 км от места падения, услышали несколько взрывов, сопровождавшихся сотрясением почвы и дребезжанием стекол.

Метеоритный кратер образовался на ровной поверхности, имеющей незначительный уклон к югу, и был окружен сплошными и радиально-лучевыми выбросами бурых суглинков, хорошо заметными на черной почве. Уже через несколько дней наблюдать эту специфическую форму кратера было невозможно, поэтому важны показания первых очевидцев.

Судя по их рассказам, кромка кратера была ровной и круглой, обрамленной валом высотой 0,5-1 м, по форме кратер напоминал перевернутый конус глубиной 4,5-5 м, в центре которого зияло трубообразное углубление диаметром около 0,5 м. На дне были видны крупные глыбы красноватых суглинков. В плане кратер имел неправильную эллипсообразную форму с наибольшей вытянутостью в направлении юго-юго-запад – северо-северо-восток, где его диаметр достигал 9 м. Если принять самые высокие точки вала за его гребень, то максимальный диаметр кратера составит 10 м.

В кратере наблюдались раздробленные при ударе метеорита породы и оползший блок пород в северо-восточном его борту. Вокруг кратера возникла характерная для ударных структур система кольцевых нарушений, которая при раскопках кратера дала серию кольцевых оползней. Именно они предохранили кратер от заполнения грунтовыми водами и превращения его в заболоченную кольцевую депрессию.

В пределах кратерных выбросов хорошо различимы три зоны - сплошных, лучевых и дальних выбросов (рис. 5). Хотя центром каждой из зон был кратер, располагались они асимметрично и относительно кратера, и относительно друг друга. В зоне сплошных выбросов выделялся прикратерный вал шириной около 2 м и высотой до 0,7 м, за пределами которого выбросы распределялись радиально-волнообразно, а максимальная их мощность не превышала 0,3-0,4 м. Для зоны радиальных выбросов характерно радиально-лучевое распределение обломков. Всего отмечено 20-25 лучей, южный из которых короче и массивнее, чем северные и северо-восточные (в причинах такого распределения материала еще предстоит разобраться баллистикам).

О дальних выбросах в силу их необычного распределения стоит рассказать подробнее. Они были закартированы по единичным обломкам суглинков и относительно крупным (10-15 см) комкам почвы, которые, как правило, находились в образовавшихся при ударе лунках. Общий контур зоны дальних выбросов напоминал «бабочку» с несколько вытянутым восточным крылом. Невольно напрашивалось сравнение со знаменитым вывалом леса в форме бабочки, возникшим при взрыве Тунгусского метеорного тела, с той, правда, существенной разницей, что «крылья» той бабочки были направлены навстречу движению тела.

Исходя из известной эмпирической зависимости между максимальными размерами регмаглиптов и самого метеорита, поперечник Стерлитамакского метеорита можно приблизительно оценить в 1-1,5 м; если сопоставить эти результаты с морфологическими характеристиками самого крупного из найденных образцов, можно предположить, что метеорит представлял собой плитообразное тело, расколовшееся на части у самой поверхности земли. Удар этого метеоритного роя и привел к образованию кратера.

Сейчас уже нет сомнений, что найденные образцы составляют лишь треть или даже четверть первоначальной массы, многие обломки которой все еще находятся в кратере. Подтверждают это и магнитные аномалии, фиксируемые в окрестностях кратера.

3. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛОМКОВ МЕТЕОРИТА «СТЕРЛИТАМАК»

Известно, что при поисках метеоритных тел, особенно, распадающихся при ударе об землю на рой обломков, большое значение приобретает своевременная и правильная оценка параметров мишени (кратера) с учетом геологической обстановки, форм и размеров ячеек регмаглиптов и некоторые другие элементы строения поверхности самих обломков, часто обнаруживаемых на первых же, но меньших, как в нашем случае, по массе обломках. Эти оценочные признаки, в основном, и были использованы М.И. Петаевым и другими геологами при поисках основного тела метеорита «Стерлитамак» в 1990-1991 годах. Они уже описывались в нескольких ранних статьях, в т.ч. наших (см. литературу).

Однако по ряду причин поисковые работы на объекте после извлечения крупного обломка МС-5 (315 кг) остались незавершенными, ведь по разным расчетам и оценкам специалистов-геологов из Москвы (М.И. Петаев, Р.Л. Хотинок) и Екатеринбурга (В.Н. Логинов), а также нашим, общая масса метеорита была примерно в 3 раза больше, чем извлечено (~ 326 кг). То есть весьма значительная часть его («основное» тело) еще остается в земле.

Поэтому прежде чем перейти к описанию результатов изучения внутреннего строения, минерального и химического составов метеорита, необходимо еще раз вернуться к характеристике внешних оценочных и других признаков извлеченных обломков, которые ранее не удавалось учесть в полной мере. Можно надеяться, что это будет способствовать планированию и дальнейшему продолжению поисковых работ на данном объекте, а с учетом пока еще совершенно недостаточной изученности вещества самого метеорита, появится и стимул для возобновления более детальных исследований.

Приведем ниже регистрационные данные о всех извлеченных обломках метеорита, занесенных в каталог метеоритов Уфимского Научного Центра РАН (ведется Институтом геологии УНЦ с 1990 г.).

№ 180. СТЕРЛИТАМАК (STERLITAMAK) (по Каталогу Комитета по метеоритам РАН). Россия. Башкортостан. Стерлитамакский район. Координаты: 53°36'33" с.ш., 55°36'50" в.д. Падение 17 мая 1990 г., находка 19 мая 1990 г. Класс - железные; подкласс - сидериты; группа IAOgOm-IIIAOm (грубо-среднеструктурные).

Индивидуальные экземпляры (обломки):

МС-1. Масса 363 г, первоначальные размеры 6,5×3,5×3 см. Обнаружен 23 мая 1990 г. на поверхности, вблизи кратера. Распилен на пластинки. Почти весь (кроме 2 пластинок) использован на анализы и на аншлифы.

МС-2. Масса 6600 г. ~ 25×6×5 см. Обнаружен 27 мая в разведочном карьере, в глинистой массе, на глубине ~ 8 м. Находится у академика АН РБ М.А. Камалетдинова.

МС-3. Масса 865 г. ~ 8×5×3 см. Обнаружен 23 мая 1990 г. на поверхности, вблизи кратера. Половина распилена на пластинки и частично использована на анализы и на аншлифы. Другая половина передана в краеведческий музей г. Стерлитамак.

МС-4. (Рис.6). Масса 3060 г. Размеры 21×6–4×3 см. Обнаружен 27 мая 1990 г. в разведочном карьере, в глине, на глубине ~ 8 м. Разрезан (в сентябре 2001 г.) на две неравные части. Обе хранятся в Институте геологии УНЦ РАН.

МС-5. (Рис. 4). Масса 315 кг. Размеры около 50×47×27 см. Обнаружен 1 июня 1991 г. в разведочном карьере, предположительно на глубине 12 м. Хранится в Музее археологии и этнографии Центра этнологических исследований УНЦ РАН. Объявлен национальным достоянием Республики Башкортостан (равно как и другие экземпляры).

Из числа перечисленных внешние особенности и некоторые физические характеристики метеорита изучались по трем обломкам: МС-1, МС-2 и МС-5, а внутреннее строение и вещественный состав - только по первым двум. В этом отношении крупные обломки МС-2 и МС-5 оказались нам недоступными. Однако, еще в полевых условиях, нам удалось визуально обследовать поверхность наиболее информативного обломка МС-5, описание которого приводим ниже.

Этот, наиболее крупный из всех обломок метеорита «Стерлитамак» был обнаружен не в разведочном карьере, а через год (после долгих зимних разработок), в восточном отвале, на глубине 0,2-0,5 м от поверхности отвала, почти на уровне земной поверхности. И, поэтому, по-видимому, он был легко обнаружен двумя юношами-школьниками 9-10 классов Радиком Салиховым и Славой Никифоровым в 60 м от центра карьера (рис. 3) 1 июня 1991 г. Об этом они сообщили директору совхоза Е.Ф. Калашникову, который и организовал доставку метеорита на центральную усадьбу совхоза.

Уже 6-10 июня 1991 года нам удалось детальнее изучить место «лежанки» МС-5, опробовать глины на присутствие железоокисных микросферул (магнитных шариков), которые и были обнаружены: обильно (в кусочках обожженной глинки) на месте находки МС-5 и на месте его мойки. Отобраны также пробы обожженной глины из углублений регмаглиптовых ячеек, из трещинок на поверхности метеорита, черной коры плавления на поверхности тела, произведены фото- и видеосъемки.

Экземпляр МС-5 имеет несколько уплощенную (субпараллелепипедальную) форму и очень неровную поверхность. Размеры двух «субпараллельных» сторон ~ 50×40 и 47×35 см, а третьей ~ 27×25 см (максимальный размер по диагонали ~ 65 см) (рис. 4).

При визуальном осмотре тела хорошо заметны два места отрыва других обломков. Одно из них примечательно тем, что выделяется характерным углублением (от 1 до 3 см) и контурами размером в длину 21-23 см и шириной от 5 до 9 см. Снятый с него слепок (калька) почти в точности совпадает с контурами обломка весом 3060 г (рис. 6). По-видимому, это место отрыва обломка МС-4, который составлял резко выступающую реберную часть тела МС-5. В последнем, на продолжении одной из сторон «оторванного» обломка МС-5 проходит протяженная трещина длиной более 25 см. Можно предположить, что при сильном ударе метеорита о землю по этой трещине оторвался другой, более крупный обломок. Смежная площадь здесь составляла около 25×20 см, а место отрыва несколько помято, возможно, при ударе и движении тел во вмещающей породе.

За исключением упомянутых мест отрыва обломков, около 70-80 % площади поверхности МС-5 сильно скульптурирована - ноздревата, имеет многочисленные каверны округлой, овальной и ромбовидной форм (рис. 4).

В частности, примечательна поверхность стороны размером 50×40 см, которая явно испытывала максимальное нагревание при полете в атмосфере Земли. В отличие от других сторон тела она более темная и имеет хорошо развитую кору плавления почти черного цвета. Кроме того, на всей ее площади четко выделяются ребра - крутые, либо слегка сглаженные выступы высотой 5-10 мм, которыми образована сложная сеть регмаглиптовых ячеек (рис. 4) ромбовидной, пятиугольной и других форм с варьирующими размерами от 3×4 (редко) до 6×8 см (преимущественно). Некоторые из них достигают 8×10 см, имея максимальную глубину около 2 см. Ребра многих ячеек имеют ширину по верху от 4 до 6 мм, свободны от коры плавления и им характерно продольное (вдоль ребер) тонкобороздчатое (глубиной до 0,5-1 мм) строение серебристо-белых блестящих полосок металла на склонах ребер и нечеткие формы, постепенно покрываемые корой плавления вглубь ячеек (рис. 7). Эта особенность микрополосок металла также выражена (при рассмотрении под 20$^{\times}$ лупой) симметрично U-образными углублениями в поперечном сечении, и по-видимому, они соответствуют М-образным профилям диффузии в тэнитах при росте пластинок камасита в условиях падения температуры (Патнис, Макконел, 1983, С. 193), с той лишь разницей, что при горении поверхности метеорита этому процессу более всего подверглись зоны камасита и плессита, образуя углубления, а более жаропрочные ленты тэнита сохранились в виде выступов.

Кора плавления (КП) имеет разную толщину на разных участках и, в особенности, подчиняется рельефу регмаглиптовых ячеек. Как правило, толщина КП очень тонкая (менее 0,1 мм) или отсутствует на гребнях ребер и их склонах, но более мощная, до 0,5-1,2 мм, внутри ячеек. Местами выступы оголены от остывшей коры плавления и тогда хорошо видна уже описанная выше блестящая бороздчатая поверхность никелистого железа. Вообще кора плавления чаще всего относительно легко отрывается от поверхности тела при простукивании и расклинивании ножом. Именно таким образом была собрана проба КП МС5/4 в количестве ~ 10 г для анализов. Но на участке сильного утонения она оказывается трудноотделимой от материнского тела.

Внешняя поверхность коры плавления либо микробугорчатая, напоминающая валообразно застывшие базальтовые лавы (рис. 8), либо она относительно гладкая, на фоне которой можно наблюдать блестящие застыв-

шие струйки и шарики (рис. 8) магнетитизированного железо-никелевого сплава. Кроме того, в процессе торможения раскаленного тела метеорита в песчано-глинистом грунте сама кора плавления иногда на значительной ее поверхности оказалась пропитанной тонким слоем обожженной буроватой глинки, содержащей пылевидные частицы металла, магнетита, песчинок и мелкие магнитные шарики. Особенности строения, минерального и химического состава коры плавления и магнитных шариков подробнее рассматриваются в главе 6.

На разных участках поверхности тела МС-5 обнаружено более полутора десятков относительно хорошо выраженных лунок округлой, овальной, ромбовидной и корытообразной форм, образовавшихся вследствие выгорания кристаллическизернистых включений троилита в никелистом железе. Размеры округлых лунок чаще варьируют от 9 до 12 мм в диаметре и 5-12 мм в глубину. Овальные и продолговатые лунки имеют длину 7-16 мм, ширину до 10 мм и глубину 4-6 мм. Со дна отдельных лунок удалось извлечь магнетитизированные (троилит + магнетит) реликты троилитовых включений. В общем наличие значительного количества этих включений свидетельствует о том, что вещество метеорита заметно обогащено сульфидами железа. Важно отметить и другую особенность, связанную с присутствием троилитовых включений - трещины, обнаруженные на поверхности тела МС-5, иногда проходили через несколько близрасположенных троилитовых лунок.

Другой обломок метеорита - МС-4 (масса 3060 г), по всей вероятности, был оторван от более крупного экземпляра МС-5. Вещественный состав его еще не изучался. На нем, как и на МС-5, имеются регмаглиптовые ячейки с хорошо выраженной корой плавления, но их мало. Более впечатляющим является наличие на двух его свежих разрывных поверхностях четко выраженной октаэдрической структуры со средним размером ячеек 2×2 см (рис. 9).

На одной из площадок, в поле камасита, обнаружено включение троилита в виде лунки округлой формы, диаметром 10 мм и глубиной 3-5 мм. Троилит темно-коричневый, занимает дно ямки, сильно раскрошен и по микротрещинкам обожжен до черных окислов железа.

Под бинокулярной лупой на поверхности коры плавления на дне регмаглиптовых ячеек встречено множество мелких темно-серых металло-

видных застывших капелек длиной от 2 до 3,5 мм и шириной до 1 мм. Некоторые из них берут начало от трещинок на дне этих ячеек. Кроме того, на дне и по бокам одной из ячеек встречены щели по выгоревшим троилитовым включениям неправильной и жилковидной формы размерами: 8×1 мм, 16×1–2 мм, 6×1,5 мм, 12×3–4 мм. Вокруг них разбросаны магнитные шарики, частицы троилита и шлаковые корочки.

Получены еще некоторые физические характеристики метеорита «Стерлитамак».

В частности, установлены:

а) методом дифрактометрии (ДРОН-3) полированной пластинки (площадь 1×1 см) из обломка МС-1 определен фазовый состав железа:

альфа-Fe = 98,76 %

гамма-Fe = 1,24 %

б) объемным методом определен объемный вес двух образцов метеорита:

МС-1 =7,57 г/см^3

МС-3 = 7,30 г/см^3

в) на приборе Porosimeter (Carlo Erba Strumentazione, Microstrukture Lab) в образце из МС-1 определены:

объем пор = 1,43 мм^3/г

радиус пор = 7991 микрон.

4. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ МЕТЕОРИТА «СТЕРЛИТАМАК»

Химический состав метеоритов является важнейшим показателем, позволяющим, прежде всего, по содержанию главных элементов выяснить принадлежность их к определенному классу и типу, «в то время, как минеральный состав и структура являются последующими важными признаками». «Общий химический состав, по существу, определяет соотношение и состав главных минералов» (А.А. Явнель, Г.М. Колесов, 1977). В частности, для железных метеоритов соотношение основных фаз камасита и тэнита определяется, главным образом, содержанием никеля, а для химической классификации, кроме того, имеют значение концентрации Ga, Ge и некоторых других элементов (Явнель, 1961, 1972, 1982; Лаврухина и др., 1971, 1972; Виноградов и др., 1972; Scott, 1972; Wasson, 1974; Колесов и др., 1982; и др.).

Химический состав метеорита «Стерлитамак» (МС) изучался по его обломкам МС-1 и МС-3 методами атомно-абсорбционного и активационного (инструментального и радиохимического) анализов и электронным микрозондированием аншлифов.

В эту начальную стадию исследования вещества МС указанными выше методами пока выполнено небольшое количество анализов, которыми охвачено 52 элемента, в основном за счет трех анализов, проведенных в известной лаборатории Института ядерной физики в г. Ташкенте. При микрозондовых анализах площадь сканирования поверхности аншлифа составляла 50×50 мкм. Результаты всех анализов отражены в табл. 1. Приведенные в ней содержания основных и некоторых примесных элементов сопоставлены в табл. 2 с литературными данными по другим железным метеоритам.

Таблица 1

Химический состав железного метеорита Стерлитамак, установленный различными методами анализа (масс. %%, мкг/г)

Элемент	Электронно-зондовые анализы				Атомно-абсорбционный анализ		Нейтронно-активационные методы			Средние содержания (количест. анализов)
	Обр. МС-16	МС-3(9-3)		Обр. МС-1			Обр. МС-1			
		1	2		а	б	а	б	Радиохимический метод, мкг/г	
Fe*	90,483	89,917	91,076	91,300						90,69 (4)
Ni*	7,923	7,484	7,087	7,040	7,390	7,360				7,38 (6)
Co*		1,037	1,076	1,196	0,440	0,517	0,70	0,68		0,95 (7)
S*	0,216	0,000	0,000	0,042						0,06 (4)
P*	0,105	0,061	0,070							0,08 (3)
Cl*	0,104	0,000								0,05 (2)
Cr*	0,167	0,069	0,000	0,078	0,0026	0,0028				0,056 (5)
Ti*							0,11	0,069		0,09 (2)
V*	-	0,000	0,071				0,0007	0,0025		0,02 (2)
Mn*	0,214									0,21 (1)
Au							0,10	0,11	0,39 3x	0,27 (5)
Fe									2,34 3x	2,34 (3)
Ga							200?	300?		250? (2)
Ge							500?	200?	600	433? (3)
Jr							7,5	5,8?	6,15 3x	6,35 (5)
Os							6,8	4,1?	5,91 3x	5,72 (5)
Ru							2,7	4,2?	2,43 3x	2,84 (5)
Pd									0,80 3x	0,80 (3)
Cu					150	160				155 (2)
Zn					48	48				48 (2)
Pb					0,0	20				10 (2)
As							7,4	7,8		7,6 (2)
Sb							6,5	2,8		4,75 (2)
Se							30	26		28 (2)
Te							14			14 (1)
Tl							9,4	0,0		4,7 (2)
Cd							1,6	5,1		3,35 (2)
In							0,29	0,086		0,19 (2)
Si*	0,650	0,029	0,048							0,24 (3)

Продолжение таблицы 1

Элемент	Электронно-зондовые анализы				Атомно-абсорбционный анализ		Нейтронно-активационные методы			Средние содержания (количеств, анализов)
	Обр. МС-16	МС-3(9-3)		Обр. МС-1	а	б	Обр. МС-1			
		1	2				а	б	Радиохимический метод, мкг/г	
Al*	0,037	0,084	0,034							0,05 (3)
Ca*	0,159	0,000	0,048							0,07 (3)
Mg*	0,093	0,246	0,051							0,13 (3)
Na*		0,884	0,421				0,0007	0,0004		0,33 (4)
K*	0,051	0,040	0,023				0,018	0,120		0,05 (5)
Rb*							0,028	0,045		0,037 (2)
Cs*							0,0029	0,0003		0,0016 (2)
Sr*							0,0015	0,0030		0,0022 (2)
Ba*								0,056		0,056 (1)
W							0,81	0,94		0,87 (2)
Mo							0,30	0,23		0,26 (2)
Ta							0,00	0,089		0,04 (2)
Sc							0,57	0,014		0,29 (2)
Th							16	18		17 (2)
Ce							3200	0,0		1600 (2)
La							0,004	0,0		0,002 (2)
Yb							54	3,1		28 (2)
Hf							0,0	62		31 (2)
Tb							0,0	6,7		3,3 (2)
Lu							4,9	3,6		4,2 (2)
Nd							120	140		130 (2)
Eu							0,74	0,0		37 (2)
Dy							2,9			3,5 (2)

Примечание: *) содержания этих элементов - в масс. %; остальные значения - в мкг/г; 3х - среднее из трех проб. 200? - данные предварительные.

Таблица 2

Сопоставление валовых содержаний элементов в металлической фазе метеорита Стерлитамак и других железных метеоритов. Fe, Ni, Co, P — в масс. %, остальные — в мкг/г

Метеорит	Fe	Ni	Co	P	Ga	Ge	Jr	Os	Ru	Pd	Pt	Au	Sb	As	Cu	Группа	Тип	Л-ра
Стерлитамак	*90,69*	*7,38*	*0,95*	*0,08*	*250*	*433*	*6,35*	*5,72*	*2,84*	*0,80*	*2,34*	*0,27*	*4,75*	*7,6*	*155*	*IA-An*		*99, 101, 122*
Группа		IA-IIIA	An	IIIA	An	IA	IIIA-An	I-III	An	An	IAn	An	An	IAn	I-III		Og-Om Og	2, 120
Каньон-Дьябло	89,5	7,40	0,39				2,2	1,9	10,1	3,8	5,9	1,7						
Сихотэ-Алинь	93,32	6,00	0,48	0,28	53,5	141	0,02	0,02	5,6	2,5	4,3	1,2	0,1	9,0	113	IIIB-A	Ogg	16, 32, 155
Ярдымлинский	92,20 93,19	6,86 6,30	0,41 0,42	0,29 0,10		400 140									100	oOg IIA	Og	16, 25, 33
Landes		6,30			89,0	414	2,90									IIAB		108
Linwood		6,40			90,4	374	2,70									IIAB		108
Campo del Cielo		6,62			90,0	392	3,20									IIAB		108
Бургавли	92,58	6,65	0,65	0,12			1,1	9,6		3,3	8,7	2,1			300	IIA	Og	16, 33
Сарепта	92,50	7,08	0,43	0,17											200	IIA	Og	16, 18
Odessa		7,20			74,7	285	2,20									IAB	Og	33, 108
Voundegin		7,40			85,0	346	1,50									IAB	Og	33, 108
Rine River		7,40			76,9	234	2,60									IAB		108
Mundrabella		7,72			59,5	196	0,87									IA-A	Om	27, 108
Henbury		7,94	0,49		60	209	0,02	2	7,9	2,1	7,0	0,70	0,03	3,1	156	IIIA	Om	32, 99
Кифкахсяган	91,80	7,56	0,49	0,12											240	IIIA	Om	16, 30
Тобычан	92	7,60	0,45	0,17	26	80	2,1	0,1	10		6,0	1,0	0,2	6,0	200	IIIA (IIE)	Og	16, 24, (73)
Ниро	91,77	7,81	0,40	0,14											200	IIIA	Om (Og)	16, 18, 33
Сусуман	91,18	7,87	0,47	0,15											200	IIIA	Om	16, 33
Абакан	91,45	7,87	0,53	0,23											200	IIIA	Og	16, 18
Тубил	91,59	7,81	0,55	0,13											200	IIIIIA	Om	16, 18
Баку	92,00	7,40	0,37		1,9	1,0	2,3	0,07	5,6		8,0	1,1	0,05	4	150	IVA	Of	20
	91,54	7,91	0,39	0,14	2,0	0,12	2,3	2,52	4,7	4,0	8,0	0,94	0,01	3	200	IVA	Of	16, 32

Опираясь на данные табл. 1 и 2 рассмотрим далее характерные особенности химического состава метеорита «Стерлитамак», определяющие его групповую принадлежность и отличия от других железных метеоритов.

Как видно из табл. 1, содержания двух главных элементов МС, железа и никеля, колеблются, в масс. %%: Fe от 89,22 до 91,30 и в среднем по 4 анализам составляет 90,69%; Ni от 7,04 до 7,92 и в среднем по 6 анализам составляет 7,38%. В общем этим подтверждается принадлежность метеорита «Стерлитамак» к типичному подклассу сидеритов (Fe >75%). Но, как следует из таблицы 2, по содержанию Ni, Co, Ga, Ge и благородных металлов он заметно отличается, например, от Сихотэ-Алинского и, отчасти, от других метеоритов. Поэтому, воспользуясь литературными данными по детально исследованному Сихотэ-Алинскому железному метеориту, сравним с ним содержания основных и ряда примесных элементов метеорита «Стерлитамак».

Среднее содержание Ni 7,38 % в МС заметно превышает таковое в метеорите «Сихотэ-Алинь» (СХА), равное 6,40 %. В соответствии с классификациями это обстоятельство должно сказаться на изменении кристаллической структуры метеорита «Стерлитамак» по сравнению с СХА, что (как показано в главе 5) в действительности отражено в утоньшении балок камасита МС относительно очень грубоструктурного камасита СХА.

Кроме того, важные для классификации (а равно и для суждения о генетических особенностях) примесные элементы в метеорите «Стерлитамак» ведут себя следующим образом: относительно метеорита СХА (в скобках даются содержания по нему) в МС: а) резко повышены содержания: Co 0,95 (0,48) масс. %; Ga 250 (53,5) мкг/г; Ge 433 (141) мкг/г; Jr 6,35 (0,02) мкг/г; Os 5,72 (0,02) мкг/г; б) резко снижены содержания: P 0,08 (0,28); Ru 2,84 (5,6) мкг/г; Pd 0,80 (2,5) мкг/г; Pt 2,34 (4,3) мкг/г; Au 0,27 (1,2) мкг/г.

Содержания других примесных элементов в метеорите «Стерлитамак» либо близки к содержаниям в метеорите СХА (Cu, As, Cr, Si, Al, K, Ca, Ba, Ti, V, Cl), либо повышены (Mg, Na, Zn, Cd, Jn) или понижены (Sr, W, Mo).

Редкоземельные элементы (La, Ce, Eu, Tb, Yb, Lu, Nd, Dy) обнаружены в широком диапазоне содержаний. Обращает внимание очень низкое содержание лантана - 0,002 мкг/г, а в цериевой группе - аномально высокая концентрация Ce (1600 мкг/г) и Nd (130 мкг/г). Редкие земли самариевой группы распределены неодинаково, с максимумом на уровне мкг/г. Тяже-

лые редкие земли присутствуют в повышенных количествах, а содержание иттербия в одном определении составило 54 мкг/г. Количество радиоактивного тория также повышенное - 17 мкг/г.

Интересно, что, несмотря на почти одинаковое с метеоритом «Стерлитамак» содержание Ni (7,40 %) в железных метеоритах: Каньон-Дьябло, Voundegin, Pine River и Баку, относящихся к группе IA, содержания в них Co, P, Ga, Ge и благородных металлов ведут себя аналогично метеориту «Сихотэ-Алинь» (табл. 2). Этот факт остается пока не раскрытым: либо при дальнейших исследованиях у МС действительно обнаружатся особенные черты, либо он связан с ошибкой в анализах. Но на данной стадии изучения вышеупомянутые отклонения в МС показаны как аномальные и, в целом, метеорит «Стерлитамак» предварительно отнесен к группе IA - An (IIIA - An). Они также вытекают из сопоставления содержаний Ga, Ge и благородных металлов в МС с положением их на диаграммах E.R.D. Scott (1972). По другим железным метеоритам, приведенным в таблице 2, само содержание в них никеля заметно отклоняется от содержаний в МС, что также отражено, например, в принадлежности к группе IIIA Om и IVA Of. Тем не менее, близости содержаний Ga, Ge и благородных элементов в них к содержаниям таковых в метеорите «Стерлитамак» тоже не отмечается. По-видимому, эти несовпадения связаны с особыми условиями формирования вещества метеорита «Стерлитамак». Ведь, как отмечал еще А.А. Явнель (1967) со ссылкой на Goldberg, Ucijama, Broun (1951) и Lowering et all. (1957), железные метеориты по концентрации, например, галлия и германия, разделяются на четыре группы, не совпадающие с никелевыми группами. И объяснялось это изменениями PT-условий, скоростью охлаждения сплава и диффузионными процессами при росте α фазы, резко зависящими от температуры, ширина балок которой уменьшается с увеличением содержания никеля, что, в свою очередь, понижает температуру превращения α - γ.

5. МИНЕРАЛЬНЫЙ СОСТАВ И СТРУКТУРА

Минеральный состав и структура железного метеорита «Стерлитамак», как и его химический состав, изучены пока совершенно недостаточно. Проведены лишь первые, самые необходимые, исследования по небольшому количеству полированных пластин металла и проб стружек от распилов малых обломков МС-1 и МС-3. Результаты их излагаются в данной главе. Кроме того, некоторая информация получена при визуальном изучении обломков МС-4 и МС-5, сопровождавшемся опробованием и анализами вторичных минералов коры плавления. Данные по ним приводятся в следующей главе.

К настоящему времени в достоверно изученный различными методами списочный состав минералов входят:

Главные:

камасит α-(Fe, Ni)
тэнит γ-$(Fe, Ni, Co)_3P$
добреелит $FeCr_2S_4$
троилит FeS.

Акцессорные и вторичные:

пирротин FeS
пирит FeS_2
халькопирит Cu FeS_2
виоларит $(Fe, Ni)_9S_8$
кубанит $CuFe_2S_3$
лавренсит $FeCl_2$
молизит $FeCl_3$
магнетит Fe_3O_4

маггемит γFe_2O_3
магнезиоферрит $MgFe_2O_4$
гематит Fe_2O_3
иоцит FeO (?)
сомольнокит $FeSO_4 \cdot H_2O$

Но еще ждут своей очереди детальных исследований (главным образом методом электронного микрозондирования) микровключения силикатных минералов в камасите, предварительно определенные как: оливин, пироксены, плагиоклазы и кварц; а также хромит и другие рудные и нерудные акцессорные минералы.

Главные минералы составляют, по-видимому, около 98-99 % объема метеорита. Из них резко преобладают камасит и тэнит. Визуально на свежих разрывных поверхностях некоторых обломков они создают четкую кристаллическую октаэдритовую структуру (рис. 9) со средним размером ячеек около 2×2 см. Под микроскопом, на протравленных ниталом поверхностях аншлифов, октаэдритовая видманштеттенова структура четко выделяется тремя системами параллельных камаситовых балок, пересекающихся под углами в 60°.

В зависимости от угла сечения, как известно, видимая ширина балок колеблется, в нашем случае - от 0,8 до 2,5 мм. Поэтому истинная ширина балок вычислялась статистически на поверхностях пяти разных аншлифов, а также на свежей разрывной поверхности обломка МС-4 (рис. 6). По 192 замерам эта ширина составляет 1,30-1,57 мм. Таким образом, метеорит Стерлитамак структурно относится к переходному OgOm типу грубо-среднеструктурных октаэдритов (Юдин, Коломенский, 1987, табл. 5, с. 15).

Промежутки между системами балок в сечении часто представляют собой «окна» треугольной, трапецеидальной и ромбовидной форм, ширина которых колеблется от 0,5-0,8 до 1,5-2 мм и более (рис. 10). Как правило, они отличаются характерной микрогранулярной структурой выделений и взаимосрастаний тэнита, шрейберзита и добреелита в камаситовом матриксе, с характерными пертитовидными, грануловидными субграфическими и другими более сложными микроструктурами плессита, показанными на рис. 11-15.

Далее приводится краткая характеристика главных и второстепенных минералов.

Камасит, α-(Fe, Ni) образует пластинчатые балки длиной до 10-16 мм и, как отмечалось (со средневзвешенной по 192 замерам), шириной 1,30-1,57 мм. Для него характерны все известные внешние и внутренние физические свойства: серебристо-белый цвет, металлический блеск, сильная магнитность, средняя твердость (~ 4), ковкость и большая вязкость, обнаруживаемая при распиловке; под микроскопом, в отраженном свете, изотропен; после травления полированной поверхности пластин 2-5 % нейталом в нем обнаруживаются вышеупомянутые структуры, тэнитовые ленты и включения второстепенных минералов, а также неймановы линии. Плотность колеблется от 7,3 до 7,57 г/см^3, микропористость установлена в 1,43 мм^3/г.

Дифрактометрией тонкой фракции металлической стружки никелистого железа, а также полированной пластинки металла на установке ДРОН-3 установлены межплоскостные расстояния камасита, тэнита и других второстепенных и акцессорных минералов. Значения их вместе с эталонными данными приведены в таблице 3. Как видно из последней, и в аншлифе и в порошках проявлены все сильные, средние и ряд слабых линий камасита.

Химический состав камасита изучался методом электронного зондирования аншлифов по 19 элементам в 8 точках. Данные по ним приведены в табл. 4. Из нее следует, что в составе α-железа резко преобладает само железо, в среднем составляющее 89,27 масс. %, при колебаниях от 87,46 % до 91,3 %; затем идут: никель, среднее 6,83 % (колебания от 6,41 до 7,55 %); кобальт, ср. 1,165 % (0,88-1,38 %); сера, ср. 0,24 % (0,04-0,55 %); хлор, ср. 0,22 %; фосфор, ср. 0,01 %; хром, ср. 0,29%; марганец, ср. 0,13 %; кремний, ср. 0,17 %; алюминий, ср. 0,14 %; калий, ср. 0,20 %; а также сотые доли процента: Ti, V, Ca, Mg, Cu, Zn и, в одном определении, натрия 1,18 %. Сравнение с литературными данными показывает, что камасит метеорита «Стерлитамак», по-видимому, относится к кобальт-камаситам, весьма близким к лунным (Фрондел, 1978) и хондриту Бахмут (69). Но, поскольку содержание кобальта в метеорите «Стерлитамак», таким образом, оказывается аномально высоким по сравнению со многими другими октаэдритами, эти данные еще требуют дополнительных исследований.

Изучение пяти дифрактограмм аншлифов и стружек металла из обломков МС-1 и МС-3 показало (табл. 3), что в четырех из них, кроме линий камасита, тэнита и шрейберзита, присутствуют ряд характерных для

Таблица 3

Межплоскостные расстояния камасита (Км), тэнита (Тэ) и др. в метеорите Стерлитамак (МС)

МС-1/2		МС-1		МС-1 Тэ		МС-1 Тэ		МС-3			
аншлиф		стружка		ленты+Км		Ленты Тэ		аншлиф		16. Мих., 1957	
J	d/n	J	d/n	J	d/n	J	d/n	J	d/n	J	d/n
		2	6,02	3ш	6,32						
2	5,10	1	5,15					5	5,10		
2	4,72	2	4,74								
								3	2,94		
						3	2,784				
				10	2,68						
				5	2,47			3	2,51		
		3	2,225							3	2,333
							2,193				
							2,175				
				20ш	2,068	80	2,069				
100	2,025	100	2,023	40ш	2,027			100	2,035	9	2,022
				6	2,003						
				15ш	1,790	25ш	1,792				
1	1,623	2	1,622							3	1,578
5	1,438	7ш	1,432	10	1,429			60	1,438	7	
				5	1,347	2	1,364				
				3	1,266	20ш	1,268		4	(1,289)	
37	1,171	30ш	1,169	4ш	1,169	1	1,179	100	1,175	10	1,168
1	1,152										
1	1,082			6ш	1,079	15ш	1,080				
				5ш	1,038	6ш	1,034				
25		8ш	1,015								
		10ш	1,012							7	1,012
				5ш	0,987						
								15	0,909		

Продолжение таблицы 3

Камасит		Тэнит		Тэнит		Шрбз		Рабдит		Лавренсит		Молизит	
17. Мих., 1957		18. Мих., 1957		Scott, 1973		Стулов, 1960		Heide, 1932		Berry, 1974		Юдин, 1987	
J	d/n	J	d/n	J	d/n	J	d/n	J	d/n	J	d/n	J	d/n
										63	5,90	32	5,90
												5	5,10
												<6	4,74
						2	2,998			30	3,07	3	3,03
						1	2,765						
												1,0	2,68
						6	2,506	2	(2,49)	100	2,54	2	2,52
6	2,237									7	2,32	2	2,23
						10	2,190	2	2,198				
						7	2,137	10	2,18				
		8	2,083	ш	2,069	7	2,104	8	2,10	7	2,09	40	2,08
10	2,028					8	2,028	8	2,01			2	1,02
						10	1,973	10	1,959	13	1,953	3	1,96
		8	1,803	wk-ш	1,792	7	1,829	6	1,823	63	1,800		
				8	1,779	9	1,755			32	1,75		
						1	1,578			2	1,633	16	1,63
4	1,432					4	1,433	1	1,428	20	1,467	6	1,46
						1	1,370					5	1,34
		8	1,275	v-wk	1,266	9	1,277	9	1,268	5	1,272	2	1,30
10	1,170					7	1,197	9	1,184	5	1,173	3	1,19
						7	1,148	7	1,146	18	1,138	5	1,12
		8	1,089	wk	1,080	4	1,088	7	1,091	2	1,068	2	1,08
				v-wk	1,033	3	1,038	3	1,046	8	1,040	3	
						8	1,030	5	1,021				
						4	1,012					2	1,01
										1	0,982	3	0,99
				v-wk	0,908					2	0,901		

Примечания: Шрбз - шрейберзит; d/n Fe 16. Мих - по В.И. Михееву, 1957; ш - широкая линия: аншл. - аншлиф; Км - камасит.

Таблица 4

Химический состав камаситов железного метеорита Стерлитамак, хондрита Бахмут (69) и лунных (79) по данным электронного зондирования, масс. %

Элемент	Метеорит Стерлитамак (МС)									Со - камаситы				
	Обр. МС-1, точки зондирования на аншлифах								Среднее МС-1 и МС-5	Лунные (79) (Фрондел Дж., 1978)			Хондрит Бахмут (69)	
	4	5	6	2	7	1	3к	МС-5		3	4	6	1	3
Fe	90,379	89,541	90,202	88,328	87,629	87,465	91,300	89,345	89,273	79,54	95,70	88,40	93,3	91,7
Ni	7,064	6,980	6,658	6,513	6,449	6,417	7,040	7,554	6,834	0,61	1,72	4,70	5,9	6,0
Co	1,288	1,275	1,382	0,985	1,339	0,979	1,196	0,881	1,165	1,24	2,52	6,90	1,0	1,2
S	0,164	0,284	0,210		0,550		0,042	0,210	0,245				сл.	0,0
Cl	0,307	0,330	0,187	0,172	0,130	0,222		0,222	0,224					
P	0,000	0,000	0,140	0,231	0,091	0,189	0,070	0,154	0,097			0,02	сл.	0,0
Ti	0,000	0,000	0,125	0,000	0,092	0,000			0,036			0,13		
V		0,078			0,183	0,000		0,000	0,065					
Cr		0,040	0,114	0,847	0,083	0,872	0,078	0,000	0,289			0,005	0,0	0,0
Mn	0,311	0,309	0,095	0,037	0,096	0,034		0,032	0,130			0,07	0,0	0,0
Si	0,092	0,089	0,328	0,102	0,320	0,098		0,179	0,172			0,16	0,0	0,0
Al	0,059	0,058	0,190	0,245	0,183	0,242		0,048	0,146					
Ca	0,285	0,244	0,043	0,000	0,043	0,000		0,000	0,088					
Mg	0,000	0,000	0,000	0,122	0,000	0,121		0,075	0,045					
K		0,222	0,326		0,321	0,000		0,118	0,197					
Na								1,183						
Cu		0,007			0,126	0,000			0,044				0,1	0,0
Zn		0,217			0,000	0,005			0,074					
Pb					2,368	0,436								

молизита ($FeCl_3$) линий, но с меньшей, по сравнению с эталонными, интенсивностью, в A(J): 5,10 (2;5); 4,72 и 4,74 (2 и 2); 2,68 (10); 1,62 (1,2); 1,347 (5; 2); 0,987 (5ш). Присутствуют еще несколько меньшее количество рефлексов **лавренсита** ($FeCl_2$), A (J): 6,02 (2); 2,51 (3); 1,622 (1). Кроме того, на некоторые линии обоих названных минералов, по-видимому, накладываются более интенсивные рефлексы камасита и тэнита. Учитывая это, а также то, что линии их присутствуют и там, где линий металлов нет, можно считать, что в FeNi сплаве МС кристаллические хлориды железа действительно присутствуют. Поэтому было бы весьма важным обнаружение их под микроскопом, в частности, для изучения в них других микровключений (в темном поле, для микрозондовых анализов и др.).

Характерный элемент внутренней структуры метеорита «Стерлитамак» - наличие довольно сложной сети разновозрастных тонких неймановых линий, которые четко выступают на протравленной ниналом полированной поверхности аншлифов (рис. 16-21), образуя параллельные линии, очевидно, подчиненных двойниковым направлениям кристаллов камасита.

По И.А. Юдину и В.Д. Коломенскому (1987) они «представляют собой пластинки механически сдвойникованного металла, возникшие благодаря двойникованию объемно-центрированного металла кубической структуры камасита вдоль плоскости». Б. Мейсон (1965), А.К. Лаврухина и Г.В. Барышникова (1978, 1980) считают, что неймановы линии являются результатом ударных воздействий.

В метеорите «Стерлитамак» установлено до четырех фаз (поколений) проявлений неймановых линий в полях разных зерен камасита, которые определяются по взаимопересечениям и смещениям, преимущественной ориентировке, относительной толщине, а также по нарушениям тэнитовых лент (рис. 21). Линейным сканированием на Fe, Ni и S под электронным микроскопом (рис. 18) никаких изменений в составе камасита не обнаружено.

Тэнит, γ-(Fe, Ni) обычно представлен тончайшими ленточками серебристо-белого цвета, находящимися в тесном срастании с камаситом. Занимает межбалочные промежутки и участвует в образовании видманштеттеновой структуры. Имея несколько большую твердость (~ 5) и более высокую никелистость, чем камасит, хорошо выделяется на его фоне,

особенно после травления поверхности аншлифов. При этом обнажаются многие структурные особенности камасит-тэнитовых прорастаний (рис. 22-24).

Ленточки тэнита чаще всего имеют ширину от 0,01 до 0,2 мм, а длина их вдоль камаситовых балок может достигать нескольких мм (рис. 14, 15, 22). Характерная особенность - зональное строение отдельных ленточек, проявленное в поперечном их сечении (нередко достигающее ширины до 0,5 мм). В этом случае между тонкими краевыми зонами - лентами часто проявлена внутренняя зона, выполненная плесситом - тонкокристаллической смесью тэнита и камасита (рис. 13, 14). Не менее характерны косые и продольные сечения, когда у тэнитов обнаруживается колониальное строение - сращивание множества отдельных его язычков в одну протяженную краевую ленту (рис. 15, 22). Именно в виде таких «медузовидных» ансамблей были получены монокристаллы тэнита путем растворения камаситовой основы стружек в соляной кислоте. Масса монокристаллического порошка использовалась для дифрактометрических, а отдельные ленты - для микрозондовых исследований.

На дифрактограммах двух проб тэнита, приведенных в табл. 3, достаточно хорошо выражены (в сравнении с эталонными) ряд линий тэнита, d/n Å: 2,068; 1,790; 1,266; 1,080; 1,038.

Химический состав тэнитов по данным микрозондовых анализов приводится в табл. 5. Из нее видно, что содержание никеля в минерале колеблется в широком интервале от 12,16 до 48,33 масс. %; кобальта - от 0,22 до 2,16 % и, в общем, по ним тэниты МС сравнимы с тэнитами из метеоритов Бахмут, Пилиствере и Алискерово. По остальным элементам (S, Cl, P, Cu, Cr, Mn, Si, Al, Ca, K, Na) виден значительный разброс содержаний в пределах от 0,00 до долей процента, не имеющих особого значения и лишь содержание Mg в одном случае повышено до 3,54 %.

Шрейберзит $(Fe, Ni, Co)_3P$. Встречен в тесном срастании с тэнитом между дроблеными зернами камасита (рис. 23) в виде лентовидных выделений длиной 20-30 мкм и шириной 3-5 мкм. Под микроскопом несколько сходен с тэнитом, но отличается от него более темным цветом и меньшим отражением. По данным микрозондового анализа двух зерен установлен следующий химический состав шрейберзита (табл. 6), в масс. %%: Fe 35,97 и

Таблица 5

Химический состав тэнитов и срастающихся с ними камаситов в железном метеорите Стерлитамак и других (17, 68, 69, 79). Данные электронного зондирования, масс. %

Элемент	Метеорит Стерлитамак						
	Тэниты					Обр. МС-1	
	Обр. МС-1				Обр. МС-5	Камасит	Тэнит
	ТЭ	шр	р5	р7	45	ЗК	ЗТ
Fe	85,222	60,156	66,420	66,509	44,033	91,300	66,723
Ni	12,161	37,682	32,672	31,963	48,337	7,040	32,852
Co		0,647	0,578	0,758	2,159	1,196	0,219
S	1,062		0,023	0,000	0,150	0,042	0,0,3
Cl	0,483	0,030			0,421		
P		0,332	0,003	0,021	0,166	0,070	0,000
Cu			0,306	0,260			
Cr		0,050	0,000	0,014	0,112	0,078	0,000
Mn	0,2249	0,103			0,091		
Si	0,145	0,117			0,249		
Al	0,158	0,123			0,000		
Ca	0,108	0,039			0,243		
Mg	0,000	0,700			3,546		
Na					0,162		
K	0,410	0,021			0,330		

Продолжение таблицы 5

Элемент	Лунное железо (79)		Хондрит Бахмут (69)		Пилиствере (68)		Алискерово (17)	
	Со-камасит 7	Тэнит 14	Сросток		Тэнит		Тэнит	
			камасит 1	тэнит	центр	край	2	1
Fe	82,74	37,80	93,3	72,3	89,2	80,1	65,78	45,62
Ni	5,00	60,00	5,9	27,6	9,6	19,5	33,06	54,91
Co	11,80	1,30	1,0	0,5	0,5	0,1	0,58	0,14
S			сл.	0,0				
P	0,02	0,02	сл.	сл.	0,0	0,0		
Cu			0,0	0,0				
Cr	0,46		0,0	0,0	0,0	0,0		
Mn			0,0	0,0				
Si			0,0	сл.	0,9	0,9		

Примечание: обр. МС-5/45 - из коры плавления; тэ, шр, р 5, р 7, 45 - точки зондирования.

Таблица 6

Химический состав шрейберзита из железного метеорита Стерлитамак и других (17, 61, 68, 74, 76)
Данные электронного зондирования, масс, %

Элемент	Стерлитамак		Алискерово (17)	Пилиствере (68)	Билибино (61)	Сихотэ-Алинь (74)	Лунные шрейберзиты Фрондел Дж., 1978 (79)				
	1	2					1	2	4	5	6
Fe	35,698	36,889	44,41	62,00	65,9	69,73	75,10	70,25	66,70	61,20	5,90
Ni	47,846	46,565	41,47	23,1	18,2	14,64	9,40	14,10	17,10	22,00	32,70
S	0,000	0,000			0,1					0,10	0,06
P	15,542	15,565	14,45	15,8	15,5	15,64	15,70	15,50	14,80	15,30	15,40
Co	0,380	0,598	0,12	0,2	0,2	0,18	0,40	0,25	0,09	0,50	0,10
Cr	0,000	0,000		0,0	0,0						
Mn					0,1						
Cu	0,167										

Таблица 7

Химический состав добреелита из железного метеорита Стерлитамак и других (17, 41, 61, 68, 87).
Данные электронного зондирования, масс., %

Элемент	Стерлитамак Обр. МС-1	Хондрит Daniels Kuil (87)	Пилиствере (68)	Сихотэ-Алинь (41)	Богуславка (41)	Билибино (61)	Алискерово (17)	
							1	2
Fe	13,341	15,6	17,2	18,46	19,26	20,3	23,23	24,51
Ni	0,100		0,0	не обн.	не обн.	0,0	0,49	0,19
S	42,863	44,3	45,0	43,90	43,80	43,3	42,04	42,83
P	0,000					0,0		
Co	0,333		0,0	не обн.	не обн.	0,0		
Cr	43,365	36,8	36,7	36,24	36,65	34,6	34,43	34,45
Mn		3,50	2.3	0,53	0,37	0,6		
Ti		0,08	0,3					
Zn		0,33						
Mo		0,04						

36,89; Ni 46,56 и 47,84; P 15,54 и 15,56; Co 0,38 и 0,60; Cu 0,167; S 0,00; Cr 0,00. Как видно из табл. 6 эти значения хорошо сравнимы с шрейберзитами метеоритов: Сихотэ-Алинь, Алискерово, Пилиствере, Билибино, а также с лунными. Кроме собственно шрейберзита, встречена и его разновидность - рабдиит, в поперечном сечении выраженный ромбиками и параллелограммами размером в первые десятки мкм.

Добреелит Cr_2FeS_4. Встречается очень редко в виде темно-серых, почти черных (в темном поле) микровключений в камасите: тускло-белый в отраженном свете, R ~ 30 % изотропен. Одно из микрозерен полуовальной формы размером 40×45 мкм было обнаружено в аншлифе МС-1, в срастании с ленточкой тэнита в поле камасита (рис. 23). Оно и анализировано электронным зондированием, а результаты приведены в табл. 7.

Как видно из таблицы, добреелит содержит, в масс. %%: Cr 43,36; Fe 13,34; S 42,86; Ni 0,10; Co 0,33; не обнаружены: P, Jr, Ga, Ge. Эти данные показывают, что от добреелитов других метеоритов (Сихотэ-Алинь, Билибино, Пилиствере, Богуславка, Алискерово и хондрита Daniels Kuil) добреелит метеорита «Стерлитамак» отличается повышенным (на 6-9%) содержанием хрома, в основном за счет понижения концентрации железа. При этом содержание серы в добреелите МС (42,86 %) и других метеоритов (42,04-45,00 %), приведенных в табл. 7, остается примерно на одном уровне.

Троилит FeS. В главе 2 уже упоминалось о том, что на поверхности крупного обломка МС-5 проявлено около полутора десятков лунок размером до 1 см, оставшихся от сгорания троилитовых нодулей. В нескольких полированных пластинках из обломков МС-1 и МС-3 также удалось обнаружить и изучить детальнее 15-20 включений троилита в камасите, имеющих различные формы и размеры. Кроме того, из массы стружек были выделены крошки троилита, использовавшиеся для дифрактометрии и других анализов.

Троилит в изученных пластинках образует, чаще всего, округлой, полуограненной и пластинчато-ограненной формы включения в камасите размером от долей мм до 2-3 мм (рис. 25-32). При наземной ударной деформации метеорита троилитовые нодули иногда выжимаются в трещины, дробятся (рис. 25-32), перекристаллизовываются и, воспламеняясь,

частично переходят в пирротин и другие минералы (гл. 6). Визуально - бронзово-желтый, хрупок, немагнитен. Под микроскопом в отраженном свете - розовато-бурый, анизотропен, вскипает при травлении азотной и соляной кислотами.

Дифрактометрией нескольких порошков на установке ДРОН-3 (табл. 8) зафиксированы почти все линии, характерные для троилитов, что четко видно из сравнения с эталонными троилитами (Михеев, № 92; Стулов, № 6). На дифрактограммах проявлены также характерные для троилитов расщепления вершин наиболее интенсивных рефлексов. В пробе МС-1 зафиксировано несколько линий, отличных от троилитовых (3,427; 3,250; 2,493; 1,824). Они принадлежат **сульфату железа $FeSO_4 \cdot H_2O$ (сомольнокиту)**, по-видимому, образовавшемуся в процессе частичного изменения троилита при окислительном обжиге, сопровождавшемся появлением и коры плавления (гл. 6). Следует еще отметить, что в двух других дифрактограммах (не приводятся) наряду с троилитом зафиксированы четкие линии **кубанита ($CuFe_2S_3$)**, d/n Å: 3,84; 3,50; 3,23; 2,499; 1,70; 1,30.

Химический состав троилитовых включений в камасите, определенный методом электронного зондирования в 7 точках разных пластин, приведен в табл. 9. Из нее видно, что анализы минерала в первых трех точках, определенных по содержанию Fe (62,80-63,56 %) и S (33,08-35,69 %), аналогичны троилитам метеоритов: Сихотэ-Алинь, Богуславка, Пилиствере, Тобычан и лунным. Но, в отличие от последних, троилиты МС в точках 4, 5, 6, 7 содержат существенно повышенные количества хрома, масс. %%: 0,89; 2,57; 6,49 и 15,50 %. Данный факт, как оказалось, связан с присутствием в ряде нодулей троилита пластинок добреелита. Обнаружена и явно выраженная структура распада твердого раствора двух минералов (рис. 25). Это подтверждено и линейным сканированием троилитового нодуля на Fe, Cr, Ni, S и P (рис. 26), выявившим резкий скачок (повышение) содержания хрома при пересечении ламеллей в троилите. Содержания элементов-примесей в троилите по данным микрозондового анализа незначительны. Но почти постоянно в нем присутствуют: Ni до 0,4 %; Co до 0,35 %; Mn 0,14-0,70 %; Zn 0,3-0,26 %; Si 0,02-0,79 %; Al до 0,38 %; Ca 0,03-1,86 %; Mg до 0,29 %; Na 1,07-1,05 %; K до 0,04 %; эпизодически появляются: Cl, Cu, Pb, Ti, P.

Таблица 8

Межплоскостные расстояния троилитов из метеорита Стерлитамак (МС)

Троилиты										Сомольнокит	
МС-1		МС-3/1		МС-3/2		92. Мих. (40)		6. Стулов (72)		488. Мих. (39)	
J	d/n	J	d/n	J	d/n	J	d/n	J	d/n	J	d/n
5	5,37							1	5,31		
3	5,09					2	5,11				
4	4,95									6	4,85
4	4,70					3	4,72				
40	3,83					3	3,82				
100	3,427									10	3,42
60	3,250	5	3,24	15	3,24	1	3,294			3	3,25
20	2,998	20	2,965	30	2,976	6	2,968	6	2,965		
15	2,788			15	2,779			2	(2,772)		
5	2,644	50	2,659	50	2,657	7	2,644	8	2,658		
		10	2,531			1	2,531			5	2,57
		10	2,521	20	2,522			8	2,522		
		10	2,430	15	2,493					5	2,50
		10	2,322	15	2,270		2,304)	6	(2,307)	3	2,24
5ш	2,085	100	2,094	100	2,090	10	2,085	10	2,090	4	2,07
5	1,952	15	.941			1	1,945				
		15	,921	15	1,929	4	1,921	2	1,927	3	1,93
3	1.824					0,5	1,809)	1	1,771	3	1,82
7ш	1.712	30	,723	40	1,723	9	1,720	8	1,720	3	1,71
		15	,633	15	1,630			5	1,629		
		7	,613	10	1,590			7	1,607	8	1,60
				10	1,503			1	1,502	2	1,50
2	1,475					7	1,475	5	1,472	3	1,45
2	1.375							1	1,383		
2ш	1,327	10	1,329			8	1,328	5	1,329		

Примечание: ш - широкие линии; в скобках - литература.

Таблица 9

Химический состав троилитов железного метеорита Стерлитамак и других (24, 41, 68, 79). Данные электронного микрозондирования, масс., %

Элемент	Метеорит Стерлитамак							Сихотэ-Алинь (41)	Богуславка (41)	Пилиствере (68)	Тобычан (24)	Лунный (79)
	МС-3		МС-1		МС-1 а							
	1	2	3	4	5	6	7					
Fe	62,80	63,55	62,796	58,094	56,437	57,439	45,564	62,31	62,78	62,6	63,44	63,10
Ni			0,303	0,1	0,000	0,397	0,147	0,02	не обн.	0,0	0,53	0,08
S	34,48	33,07	35,688	33,553	34,893	34,247	37,859	36,48	36,28	36,6	35,38	35,80
P			0,000	0,298	1,143	0,000	0,000				0,12	0,01
Cl	0,000	0,053		0,232	0,056	0,000	0,000					
Cr*			0,357	0,896	2,576	6,491	15,498	1,01	0,30	0,9		
Co			0,348	0,083	0,000	0,320	0,000	0,09	0,10	0,1	0,016	0,09
Mn	0,174	0,243		0,147	0,145	0,190	0,698	не обн.	не обн.			
Ti	0,042	0,052		0,000	0,127	0,000	0,110			0,6		
V	0,124	0,251		0,034	0,000							
Cu			0,000	0,000	0,157							
Zn				0,263	0,027							
Pb				0,861	0,000							
Si	0,105	0,181		0,025	0,795	0,272	0,067					
Al	0,086	0,062		0,0330	0,222	0,387	0,000					
Ca	0,749	1,330		1,865	1,005	0,119	0,037					
Mg	0,289	0,092		0,093	0,267	0,145	0,000					
Na	1,156	1,076										
K	0,000	0,033		0,027	0,041							

Примечания: *) Высокие содержания хрома обусловлены, по-видимому, присутствием в троилите микрочастиц добреелита; в скобках - ссылка на литературу.

Другие минеральные включения

Следует особо отметить, что в объеме камасита, кроме вышеописанных, зафиксирован ряд других минеральных включений. Изучение их, начатое в девяностые годы, приостановлено из-за отсутствия финансовой поддержки и более не возобновлялось.

В этой группе, насчитывающей около двадцати еще детально не изученных минеральных видов, можно выделить две подгруппы. В первую входят те, которые установлены методом дифрактометрии порошковых проб или полированных пластин, а также начатые изучением другими методами. Ко второй подгруппе относятся минеральные включения, лишь предварительно оцененные в аншлифах и в микрозернах из нерастворимых остатков кислотной обработки камасита.

Некоторые данные о минералах первой подгруппы уже приводились при описании главных минералов (лавренсит и молизит - в камасите, кубанит и сомольнокит - в троилите). Характеристика других (вторичных) минералов: магнетита, магнезиоферрита, гематита, пирита, пирротина, халькопирита рассматривается в следующей главе. Из этой подгруппы ниже приведем краткую характеристику одного из интересных включений в камасите, детальнее еще не изученного.

Это округлое включение диаметром около 50 мкм, показанное на рис. 33, состоит из трех фаз (зон). Краевая зона его, шириной 5-10 мкм, ярко-белая с бледно-желтоватым оттенком, отличается высоким отражением, как и окружающее поле камасита. Она изотропна, имеет весьма неровные, но контрастные языковидно-каплевидные, вдающиеся внутрь, очертания и еле заметный плавный внешний контакт с минералом-хозяином. Средняя зона имеет бледно-кремовый цвет и меньшее отражение, чем краевая зона; она слабо анизотропна и не выделяется рельефно, как по отношению к соседним зонам, так и относительно камасита. По-видимому, это тоже троилит, но образовавшийся вследствие ликвации расплава железа. При ознакомлении с этими материалами академик А.А. Маракушев согласился с нашим заключением. Внутреннее ядро включения по отражению особо не отличимо от средней, но в косом освещении в нем заметна мирмекитоподобная (или микрографическая) структура взаимопрорастания другой светлой фазы с фазой средней зоны. На рис. 33 две последние зоны включения имеют серую и темно-серую окраску и границы между

ними почти не различимы. Ни одна из трех фаз не анализирована.

Во вторую подгруппу входят: оливин?, пироксены?, плагиоклазы?, кварц (α? β?), хромит? и некоторые другие минералы, которые ждут своей очереди детальных исследований.

Нет никакого сомнения, что дальнейшее продолжение исследований химического и минерального состава, внутренней структуры и других особенностей метеорита «Стерлитамак», особенно вскрытием (отпилом) крупных его обломков МС-5, МС-4 и МС-2, принесут новые более существенные научные результаты в области метеоритики.

6. КОРА ПЛАВЛЕНИЯ И ВТОРИЧНЫЕ МИНЕРАЛЫ

6.1. Кора плавления

Предварительные данные о коре плавления уже приводились при общей характеристике метеорита (гл. 3). Здесь детальнее рассмотрим строение и состав КП.

В очень тонких, «прикипевших» к телу метеорита корочках плавления зональность почти не обнаруживается. Но корочки средней и большей толщины (0,5-1,2 мм) имеют двухзональное строение.

Внутренняя зона (КП-1), покрывающая тело метеорита, имеет тусклый железо-черный цвет и толщину от 0,05 до 0,5 мм, в среднем 0,2-0,3 мм. Нижняя ее поверхность бывает либо ровной, однородно-гладкой и блестящей, либо скульптурированной. В этом случае рисунок представляет собой прямые, либо извилистые, блестящие бороздочки-слепки от ребер различно ориентированных ленточек тэнита, выступавших над камаситовым полем. На нижней поверхности некоторых корок иногда видны овально-сплющенные застывшие капельки металла размером до 30×50 мкм, которые четко накрывают скульптурный рисунок этой поверхности. И ясно, что это поздние порции расплава материнского тела, заклинившиеся между частично отрывающейся коркой и материнской поверхностью метеорита. На нижней поверхности также отмечались тонкие (первые мкм) пленки (площадь до 0,1×0,2 мм) сульфидов: пирита, пирротина и халькопирита, по-видимому, образовавшиеся за счет плавления троилита. Верхняя граница КП-1 с внешней зоной КП-2, хорошо видимая в торцах корок, почти всегда неровная, бугорчатая.

Внешняя зона (КП-2) имеет сероватый, желтовато-бурый и темно-серый цвет и толщину от 0,1 до 0,7 (реже до 1) мм. Отличается заметной пористостью и часто содержит пылевидные (менее 1-2 мкм) частицы магнетита, других железистых окислов, а иногда и листочки тэнита, поэтому слабо магнитна. Рельеф внешней поверхности КП-2 часто бугорчатый, нередко осложнен наложением поздних узловато-застывших струек с блестящими, вытянутыми до 1-2 мм каплями и шариками диаметром от 30 мкм до 0,1-0,15 мм (рис. 7, 8). Иногда встречаются перекрещивающиеся друг с другом капли-нитки.

Коре плавления в общем характерны хрупкость, пористость и шлаковидность, безусловно, связанные с высокотемпературным окислением поверхностного слоя расплавленного металла и перекристаллизацией при охлаждении до железистых окислов.

Порошковые пробы коры плавления МС-5/4 исследовались методом дифрактометрии на установке ДРОН-3. Результаты приведены в табл. 10. Как видно из сравнения с эталонными образцами (Михеев, 1957; Юдин, Коломенский, 1987), материал пробы представлен смесью четырех минералов-окислов железа: магнетита, магнезиоферрита, маггемита и гематита. Преобладают в ней магнетит, магнезиоферрит и гематит и в небольшом количестве присутствует маггемит. Это же подтверждается в пришлифовках под микроскопом. Магнезиоферрит оптически не отличим от магнетита, но, как видно из дифрактограммы (табл. 10), не только все главные, но и многие другие межплоскостные отражения его проявлены весьма четко.

Проводилось электронное микрозондирование торцевых сколовых поверхностей двух обломочков КП-1, в каждом из которых, кроме неправильных выделений (розового в темном поле) гематита, явно различаются две изотропные фазы: а) светло-желтая с отражением ниже пирита - в форме вытянутых до $0,5 \times 0,1$ мм полос; б) серая, количественно резко преобладающая, с рельефом, несколько пониженным. Анализы выполнены по 15 компонентам и приведены в табл. 11.

Как видно из результатов анализов, **фаза а** оказалась сильно обогащенной никелем (до 45-55 %) и названа никелистой (1а и 2а). Кроме того, она обогащена двуокисью магния: 3,943 % и 2,706 %. **В фазе б** (1б и 2б), напротив, резко преобладает окись железа (82,22 % и 90,46 %), меньше

Таблица 10

Межплоскостные расстояния минералов из коры плавления (проба МС 5/4) метеорита Стерлитамак

Проба МС 5/4		Эталонные							
		Магнетит 319 Мих. (39)		Магнезиоферрит 318 Мих. (39)		Маггемит Юдин, 1987		Гематит 243а Мих. (39)	
J	d/n	J	d/n	J	d/n	J	d/n	J	d/n
6	4,82	1	4,21	0,5	4,82	1	4,82		
4	3,338	3	(3,31)			1	3,40	3	3,65
30	2,978	6	2,99	5	2,96	3	2,95	2	(2,98)
4	2,722	5	(2,807)					3	(2,759)
4	2,694							10	2,694
100	2,521	10	2,541	10	2,514	10	2,514	10	2,513
7	2,429	3	2,428					3	2,438
2ш	2,206							6	2,203
5ш	2,151			6	2,17				
7	2,094	7	2,098	7	2,09	2	2,086	1	2,030
3ш	1,841	2	(1,884)					7	1,842
10ш	1,707	5	1,710	4	1,710	1	1,701	8	1,692
		2	(1,632)					2	(1,638)
27	1,613	9	1,612	8	1,609	2	1,604	3	1,602
40	1,481	9	1,479	10	1,479	1	1,477	7	1,481
2	1,454	2	(1,411)	4	1,410			7	1,455
3	1,322	3	1,325	3	1,321			2	1,308
9	1,277	5	1,277	4	1,273				
3ш	1,265	2	1,264	4	1,258			3	1,258
2ш	1,208	3	(1,209)	6	1,204			2	1,224
		1	1,174	4	1,169			1	1,161
3ш	1,120	4	1,119	4	1,117				
11	1,092	8	1,091	6	1,088			6	1,010
3ш	1,048	6	1,047	4	1,045			3	1,054

Примечания: ш - широкие линии; в скобках - ссылка на литературу.

Таблица 11

Химический состав коры плавления (КПЛ) железных метеоритов: Стерлитамак, Августиновка и Сихотэ-Алинь, %

Окислы	Стерлитамак. Обр. МС-5. КПЛ. Электрон. зондиров., масс., %				Августиновка, Алексеев, 1893 г.	Сихотэ-Алинь, Колесов, 1976 г.
	Зона Ni-окислов		Зона Fe-окислов			
	1а	2а	1б	2б		
Fe_2O_3	46,861	37,966	90,466	82,221	80,20	Fe=76,5
NiO	45,122	54,893	6,639	6,736	6,00	Ni=4,0
CoO	2,036	1,719	0,795	0,702	0,25	Co=0,52
Cr_2O_3	0,122	0,077	0,000	0,109		Cr=0,023
V_2O_5	0,000	0,000	0,000	0,111		
P_2O_5	0,202	0,349	0,179	0,867		
SO_2	0,130	0,157	0,174	0,058	S=0,26	
Cl_2O	0,430	0,412	0,217	0,536		
SiO_2	0,361	0,461	0,247	0,214		
Al_2O_3	0,000	0,251	0,058	0,280		
MgO	3,943	2,706	0,078	0,632		
CaO	0,246	0,668	0,000	0,373		
K_2O	0,286	0,285	0,098	0,297		K=0,29
Na_2O	0,148	0,000	1,017	6,831		Na=1,1
MnO_2	0,107	0,050	0,036	0,036		Mn=0,007

NiO (6,64 и 6,73 %) и незначительное количество (0,08-0,6 %) окиси магния. Как видим, есть достаточные основания для того, чтобы магнезиоферритовые отражения на дифрактограмме идентифицировать со светло-желтой фазой, наблюдаемой оптически.

Данные табл. 11 дают и другую информацию. В частности, вполне закономерно обогащение **фазы а**: 1) кобальтом (CoO 1,719 и 2,036 %), более чем в два раза превышающим содержание его в **фазе б** - CoO 0,702 и 0,795 %, что, по-видимому, объясняется унаследованием от Co-камасита; кремнеземом (0,36 и 0,46 против 0,21 и 0,24 %); 3) окисью кальция. В **фазе б**, напротив, установлено повышенное содержание двуокиси натрия (1,017 и 6,83 %) по сравнению с **фазой а** (Na_2O 0,00 и 0,148 %) и пониженное - NiO (6,73 %). Примерно одинаково повышенные содержания в обеих фазах двуокиси хлора и пятиокиси фосфора (Cl_2O 0,217 и 0,536 %, P_2O_5 0,179 и 0,867 %).

Следует еще отметить, что ни оптически, ни рентгенографически в коре плавления не было установлено явного присутствия камасита или тэнита, несмотря на высокие содержания никеля в обеих его фазах. То же самое отмечалось Г.М. Колесовым и Н.И. Заславской (1976) по коре плавления метеорита «Сихотэ-Алинь» и В.В. Алексеевым (1893) по коре плавления Августиновки (табл. 11). По-видимому, следует согласиться с предположением указанных авторов о том, что никель в коре плавления входит в решетку магнетита, кристаллики которого иногда обнаруживаются в микротрещинках на поверхности обломков МС-4 и МС-5 (рис. 34). В связи с этим весьма интересен для термобарогеохимии вопрос о характере изоморфизма никеля и железа в решетке вторичных железоокисных минералов метеоритов и РТХ-условия их образования. Собственные температурные условия кристаллизации коры плавления метеорита «Стерлитамак» (по КП обломка МС-5) были прослежены методом термозвуковой декрепитации до 1000°С. На двух декрептограммах установлены следующие значения декрептоэффектов, в °С: 130-140°; 420-440°; 710-750° (наиболее интенсивные). То есть кристаллизация коры плавления МС начиналась с 750° С и далее прослеживается до 130° С.

6.2. Магнитные шарики

Магнитные шарики (МШ) представляют собой генетически тесно связанные с корой плавления микросферулы, образовавшиеся в процессе окислительного обжига и подплавления металла метеорита при торможении его в плотных слоях атмосферы Земли. Естественно, поэтому они часто сопровождаются угловатыми частицами корочек плавления. Стекание и отрыв железоокисного расплава от материнского тела в виде черных капелек, резкая закалка в воздухе либо в грунте, способствовали, в отличие от шлаковидных корочек плавления, оформлению этих частиц преимущественно в многочисленные магнитные шарики - микросферулы диаметром от сотых долей до 1-1,5 мм, реже - в формы «кувшинок», сплющенных или слипшихся капелек и других форм. Внутреннее строение различно: либо «однородное» тонкозернистое, либо слабозональное, с тонкошестоватой приповерхностной и зернистой внутренней. Часто МШ пористые шлаковидные, переходящие в полую сферу (рис. 35), в формы полых капелек - кувшинок и др.

Поверхности индивидов МШ часто тонко раскристаллизованы и имеют очень богатую микроскульптуру (рис. 36-39), в общем отражающую начало быстротечного акта скоростной кристаллизации капель железоокисного расплава. Микрокристаллики в приповерхностной зоне чаще всего представлены черными дендритами и гранями октаэдрических индивидов изотропного магнетита, голубоватого маггемита и анизотропными гексагональными кристаллами вишнево-красного гематита размерами от 2-3 до 15-20 мкм (рис. 39).

Интересно, что в магнитных сферулах метеорита «Стерлитамак», нередко в их протолочках, реже на поверхности шариков, встречаются ярко-белые «реликтовые» металлические микрочастицы тэнита в виде тонких листочков длиной около 1-10 мкм, занимающих чаще всего промежутки между дендритными кристалликами магнетита либо гематита. Вероятное объяснение данного факта - большая устойчивость богатого никелем тэнита (в отличие от камасита) в процессе высокотемпературного окислительного обжига. Эти и другие особенности магнитных шариков метеорита «Стерлитамак» во многом аналогичны описанным в литературе по

железному метеориту «Сихотэ-Алинь» (Колесов, Заславская, 1976) и другим метеоритам (Лазаренков, Малич, 1990).

Необходимо коснуться еще одного факта - аналогии физико-химических условий и форм проявления вышеописанных метеоритных кор плавления и магнитных шариков с одной стороны, и шлаковых корочек и магнитных шариков на многих месторождениях сульфидных руд и в техногенных продуктах сгорания углей в топках бесчисленных котельных, с другой.

Вообще проблеме магнитных шариков в последние 20-25 лет уделялось значительное внимание. Им посвящалась Якутская конференция (Самородное минералообразование…, 1981), монографии и статьи М.И. Новгородовой (1981 и др.), Б.В. Олейникова (1985) и других авторов. Первые данные о коре плавления и магнитных шариках по метеориту «Стерлитамак» сообщались нами (Юсупов, Салихов, Бурдаков, 1996; Юсупов, 1996). В последние годы были выяснены также причины распространения и относительной легкости возникновения магнитных шариков (МШ) и шлаковых корочек (ШЛ) на колчеданных месторождениях и в зонах Башкирского Зауралья и в Приуралье (Юсупов, 1996, 1998; Юсупов, Масагутов, 2000).

В частности, установлена пострудная обжиговая природа появления МШ и ШЛ в сульфидных рудах, связанная с проработкой последних высокотемпературными вулканогенными газовыми флюидами вдоль стенок прижерловых (кальдерных) разрывных нарушений, вплоть до образования магнетитовых тел на Сибайском и некоторых других Уральских месторождениях и в зонах крупных разломов Башкирского Зауралья и Приуралья, установлены полуобожженные магнетитизированные кристаллики пирита в сопровождении магнитных сульфидных шариков. По всей вероятности, процесс обжига и плавления сульфидных минералов связан не только с первично высокой температурой флюидов, но и выделением (после воспламенения) значительного количества дополнительного тепла за счет экзотермического эффекта при сгорании самих сульфидов (для пирита он составляет 1550 Ккал/кг).

Этот же механизм образования МШ и ШЛ вследствие обжига сульфидных минералов в земной коре весьма сходен с образованием МШ на теле метеоритов, о прямых признаках проявления которых в деформационных трещинках и регмалиптовых ячейках метеорита «Стерлитамак» за счет

обжига вскрытых ими троилитовых модулей, сопровождаемых образованием коры плавления и МШ, уже отмечалось выше (гл. 3). Следует отметить, что об образовании магнитных шариков за счет сгорания пирита сообщал еще академик А.Г. Бетехтин (Минералогия, 1950, С. 277), обратив особенное внимание на то, что перед паяльной трубкой пирит, «растрескиваясь, плавится в магнитный шарик».

7. ОЦЕНКА ОБЩЕЙ МАССЫ МЕТЕОРИТА «СТЕРЛИТАМАК»

Метеорит «Стерлитамак» (МС) представляет собой, очевидно, компактный метеоритный рой, по крайней мере, на площади данной мишени, в пределах кратера которой извлечены пять известных его обломков (МС 1 - МС 5), а в непосредственной близости от него, на поверхности, собраны лишь мелкие осколки (~ 0,8 кг). По «роевому» признаку МС аналогичен известному железному метеоритному рою «Сихотэ-Алинь» с той лишь разницей, что по ряду признаков общая масса МС и радиус разброса его обломков должны быть значительно меньшими, чем у Сихотэ-Алинского, что и подтверждается.

Вот как оценивает массу МС М.И. Петаев (19.06.1991 г). «На основании эмпирической зависимости между диаметром кратера и массой метеорита, полученной для малых кратеров «Сихотэ-Алиня», масса метеорита «Стерлитамак» должна составлять 1000-1200 кг. Теоретический анализ условий образования Стерлитамакского кратера дает размер ударника 0,8-0,9 м при скорости удара 2-3 км/сек, что соответствует массе 2-3 тонны для сферического и примерно 1-1,5 тонны для полусферического или уплощенного тела. Поэтому можно заключить, что метеорит «Стерлитамак» представлял собой тело, расколовшееся на части перед самой поверхностью Земли. Сейчас нет сомнений, что найденные образцы представляют лишь 1/3 или даже 1/4 первоначальной массы, обломки которой все еще находятся в кратере и окружающих его отвалах. Не полностью собраны и осколки: они либо в нижних горизонтах отвалов, либо унесены местными жителями». Эту оценку М.И. Петаев и Э.З. Гареев в 1992 г. («Природа», № 5) подтверждают снова. Можно себе представить, как метеорит «Стерлитамак», внедряясь в относительно «мягкие» песчано-глинистые отложения с огромной скоростью, не только ушел на значительную глубину, но и, испытывая резкое и огромное сопротивление в прессуемых им породах, на-

чал разваливаться, последовательно оставляя за собой обломки, отрывающиеся по мере углубления в грунт, сначала до глубины 5 м мелкие (МС-1, МС-3), затем до глубины 8-8,5 м, средней величины (МС-2, МС-4) и на глубине около 12 м (?) - крупный экземпляр МС-5; превращаясь, таким образом, в компактный рой обломков, но уже в земле.

Можно оценить массу метеорита «Стерлитамак» и по регмаглиптам, изученным нами на МС-5 и описанным выше.

Как известно, по Е.Л. Кринову (1955, 1979) размер регмаглиптов (РГ) «составляет в среднем 0,09 от диаметра метеорита. Это отношение убывает с ростом диаметра тела: от 0,20 до 0,04». Изученные на индивидуальном экземпляре МС-5 регмаглиптовые ячейки по размерам варьируют, в основном, в пределах от 3×4 до 6×8 см. Среди них статистически преобладают размеры (их «диаметры») в 5 и 6 см. По ним и определим минимально ($X_1 = 5$) и максимально ($X_2 = 6$) возможные диаметры тела метеорита.

При РГ = 5 см, $X_1 = 50:0{,}09 = 55$ см,

при РГ = 6 см, $X_2 = 60:0{,}09 = 66$ см.

При плотности никелистого железа равной 7,3 г/см^3: масса

$$X_1 = 4/3\ \pi R^3 \cdot 7{,}3 = (1{,}333 \cdot 3{,}14 \cdot 27{,}5^3) \cdot 7{,}3 > 635 \text{ кг};$$

$$X_2 = (1{,}333 \cdot 3{,}14 \cdot 33^3) \cdot 7{,}3 > 1100 \text{ кг}.$$

Как видим, минимально и максимально возможные значения массы метеорита «Стерлитамак» колеблются в пределах 635-1100 кг. Они близки к оценкам М.И. Петаева и Э.З. Гареева, т.е. в 2-3 раза превышают ту массу обломков метеорита, которые уже извлечены.

Таким образом, несомненно, что поиски «основного тела» метеорита «Стерлитамак» далеко не завершены и работы на объекте необходимо возобновить.

Расчеты, основанные на зависимости глубины отрыва обломков метеорита от их масс на различной глубине показывают, что «основное тело» или 2-3 крупных обломка метеорита должны находиться на глубине в пределах 22-25 м, на расстоянии около 10-11 м от центра кратера (в 5-6 м от его бывшего северного борта) т.е. в пределах существующего карьера. Поэтому для завершения поисковых работ на данном объекте необходимо сделать последние усилия. Представляется, что лучше всего начинать с проведения магнитометрии и малометражного (15-20 м) бурения и завершить вскрытием горными разработками в северном секторе карьера.

8. ОБЩИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И НЕРЕШЕННЫЕ ВОПРОСЫ

Завершая описание проведенных исследований по метеориту «Стерлитамак» (МС) следует отметить, прежде всего, что они с самого начала преследовали основную цель - получение минимально необходимой информации о нем для выяснения, во-первых, соответствующего места среди семейства железо-каменных и железных метеоритов и, во-вторых, оценку физико-химических условий его образования и метаморфизма.

На основе изучения внешней и внутренней структуры обломков, небольшого количества химико-аналитических и минералогических исследований вещества была проделана попытка сравнения и оценки ряда признаков МС с другими железными метеоритами, что отчасти уже показано в таблицах. Кратко разберем, как согласуется этот фактический материал по метеориту «Стерлитамак» с теоретическими, экспериментальными и эмпирически установленными данными по другам однотипным метеоритам.

По химическому составу метеорит «Стерлитамак» относится к типичным железо-никелевым сидеритам. Как видно из табл. 2, содержание никеля (7,38 масс. %) в его составе заметно выше, чем в железном метеорите «Сихотэ-Алинь» (Ni 6,00 масс. %), представляющем II группу. Оно близко или даже совпадает с содержаниями никеля (7,40 %) в метеоритах I группы: Canyon Diablo, Voundegin, Pine River. Однако по содержанию примесных элементов (ПЭ), особенно Co, Ga, Ge, платиноидов, Au, P, Sb и As МС значительно отличается от вышеупомянутых метеоритов данного подкласса (А.А. Явнель, 1956). Фигуративные точки содержаний при наложении на вариационные Ni-ПЭ диаграммы (E.R.D. Scott, 1972 и др.) для дополнительного определения групповой принадлежности, показывают, что по некоторым из перечисленных элементов - примесей метеорит «Стерлитамак»

занимает промежуточное положение между группами I и III, а по содержаниям Ga, Ge и Co отклоняется от них весьма значительно и полностью еще не объяснимо. Таким образом, имеющиеся данные о химическом составе метеорита «Стерлитамак» позволяют отвести ему место пока промежуточное между I и III группами. В дальнейшем химический состав МС необходимо уточнить, как по Fe и Ni, так и по всем примесным элементам большим количеством высокоточных анализов.

Кроме того, особенно ценным для науки было бы проведение анализа остаточных (первично-космических) газов в железо-никелевом сплаве метеорита «Стерлитамак», в частности: H_2, He, N_2, CO, CO_2, CH_4 и др., окклюдированные в том количестве пор, которое пока по единственному анализу составляет 1,43 мм^3/г (при радиусе 7991 мкм). Однако газовый анализ необходимо ставить не на мелких, сильно смятых и трещиноватых осколках и мелких обломках (лишенных значительной части газов), отколовшихся с краев крупных обломков типа МС-5, а по материалу внутренней зоны последнего.

Минеральный состав МС типичен для железных метеоритов. По главным минералам он изучен лучше (чем общий химический состав), с привлечением различных методов. Взаимоотношения камасита и тэнита, показанные на ряде рисунков, а также выделение тэнита из камасита (путем растворения) дают представление о значительной дифференциации железа и никеля в виде камасит-тэнитового твердого раствора. Результаты химических анализов камасита, тэнита, шрейберзита, добреелита и троилита, а также вторичных минералов коры плавления, при сравнении с данными по другим метеоритам, в общем показывают хорошую аналогию. Но в минералах МС выявлены и некоторые аномалии в содержаниях примесных элементов. В частности, в ряде анализов установлены повышенные содержания кобальта, соответствующие уровню содержаний в Co-камаситах хондрита Бахмут и в лунных камаситах. По-видимому, именно этим объясняется повышенная (аномальная) кобальтоносность метеорита «Стерлитамак». Другой пример - троилитовые нодули. В некоторых из них обнаружены значительно повышенные содержания хрома (Cr от 0,89 до 15,5 масс. %), что подтверждено и микроскопически по наличию в его нодулях троилит-добреелитового твердого раствора и электронно-зондовым сканированием.

В то же время остаются детально совершенно не изученными многие акцессорные минералы метеорита, большей частью силикатные, присутствующие в виде микровключений в камасите или такие минералы, как молизит ($FeCl_3$) и лавренсит ($FeCl_2$), обнаруженные в нем только методом дифрактометрии.

Кристаллическое строение, внутренняя структура метеорита на данном этапе изучены в достаточной мере. Хорошо проявлена и внешне и внутренне октаэдрическая видманштеттенова структура (средний размер ячеек 2×2 см). Статистически установлена ширина камаситовых балок, которая (по 92 замерам) колеблется в пределах 1,30-1,57 мм. Все это говорит о типично октаэдритовой структуре метеорита, по известным классификационным схемам (Юдин, Коломенский, 1987) являющейся переходной от средне- (Om) к грубоструктурным (Og).

Таким образом, по химическому и минеральному составу, а также по кристаллическому строению, железный метеорит «Стерлитамак» относится к переходному средне-грубоструктурному октаэдриту группы IA-IIIA OgOm.

На основе изложенного фактического материала, известных диаграмм состояния системы Fe-Ni, экспериментальных и других исследований по метеоритам представляется возможным предварительно судить о природе, физико-химических условиях образования и метаморфизма метеорита «Стерлитамак».

Рассмотрим, прежде всего, работу А.А. Явнеля (1967). Из диаграммы состояния системы Fe-Ni следует, что фазовые превращения в ней происходят при охлаждении. При этом после кристаллизации сплава из жидкого состояния (1500-1400 °С) образуется γ-фаза - твердый раствор Ni в гранецентрированной кубической решетке железа, устойчивая при высоких температурах (1500-900 °С). Начиная с 900 °С и ниже, из нее выделяется «α-фаза - твердый раствор Ni в объемно-центрированной кубической решетке железа и сплав переходит в двухфазную область α + γ. Поскольку рост кристаллов α-фазы - диффузионный процесс, резко зависящий от температуры, то ширина балок этой фазы уменьшается с увеличением содержания никеля, которое понижает температуру превращения γ → α. Кроме состава FeNi, на структуру метеоритов оказывают влияние условия кристаллизации и перекристаллизации сплава». При детальном изучении

фазового состава и структуры железных метеоритов у отдельных Ga-Ge-групп А.А. Явнелем (1967) обнаруживается разная зависимость структуры от содержания никеля, объяснимая различием условий их кристаллизации. С учетом исследований А.А. Явнель приходит к выводу, что минимальная равновесная температура, достигнутая сплавом, составляет около 600 °С, что было подтверждено и другими авторами.

По данным Дж.И. Голштейна (1972), проводившего эксперименты по устойчивости фаз в тройной системе Fe-Ni-P в интервале 550-1100 °С «образование камасита происходит раньше, нежели тэнита при небольшом, практически отсутствующем переохлаждении. Образование видманштеттеновой фигуры в сплавах описанного состава наблюдалось только после переохлаждения на 30-100° ниже равновесной температуры образования». Исходя из этого автор приходит к выводу о том, что: 1) значительное переохлаждение (50-100°С) необходимо для образования видманштеттеновых фигур в железных метеоритах и 2) химическое равновесие в различных фазах медленно охлаждающихся железных метеоритов сохраняется и, возможно, до 600°С и, что влияние давления на скорость охлаждения железных метеоритов не велика.

По другой работе Гольштейна и Огильвиа (1963) образование шрейберзита и рабдита связано с медленным охлаждением метеоритов при невысоких давлениях (не более нескольких сотен МПа). При этом наличие более крупных (более 1 мм) зерен шрейберзита в камасите характерны для высоких температур их зарождения, их мелкие (до 10 мкм) же высоконикелистые (до 50 % Ni) выделения его они относят к поздней стадии зарождения. Разности, «выделяющиеся в твердом состоянии в тэните или на границе тэнита и камасита при низкотемпературном $\gamma - \alpha$ переходе Ni-Fe, приводят к образованию видманштеттеновой структуры».

Приведенные выше ссылки и другие данные, касающиеся разной зависимости структуры метеоритов от содержания Ni и других примесных элементов, а также наблюдений и выводов относительно мелкозернистых выделений шрейберзита и видманштеттеновых структур, полностью согласуются с нашими данными по метеориту «Стерлитамак». Следовательно, формирование внутренних структур его соответствует уже установленным ранее упомянутыми и другими исследователями закономерностям.

Космическая история метаморфизма (столкновений) метеорита «Стерлитамак» отражена в характере проявления нескольких поколений неймановых линий. Последний акт приземных термальных изменений и ударного метаморфизма, как уже описывалось, четко отражен и в характере внутренних деформаций: изогнутости тэнитовых лент, дробленности (и плавлению) нодулей троилита, развитии коры плавления, вторичных железо-окисных сферул. Температурные условия при полете в атмосфере Земли, по-видимому, достигали 1500-2000 °С. Кристаллизация коры плавления МС с момента охлаждения, определенная методом декрепитации, началась с 750 °С и ниже.

Таковы первые прослеженные результаты исследований метеорита «Стерлитамак». Чтобы полностью воссоздать физико-химические условия формирования его необходимо дальнейшее продолжение исследований.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Астапович Н.С.** О выпадении каменного града вблизи г. Стерлитамака в 1824 г. - Метеоритика, вып. X, 1952, с. 137-153.

2. **Вдовыкин Г.П.** Метеорит Каньон-Дьябло. М.: Наука, 1971, 176 с.

3. **Виноградов А.П.** О происхождении вещества земной коры. - Геохимия, 1961, № 1, с. 3-29.

4. **Виноградов А.П., Лаврухина А.К., Ганиев А.Г., Сильванович Ю.А., Рахимов Х.Р.** Распределение платиноидов и золота между разными фазами метеоритного вещества. - Геохимия, 1972, № 12, с. 1461-1469 (сообщ. 1).

5. **Виноградов А.П., Лаврухина А.К., Ганиев А.Г., Сильванович Ю.А., Рахимов Х.Р.** Распределение платиноидов и золота между разными фазами метеоритного вещества. - Геохимия, 1973, № 7, с. 963-974 (сообщ. 2).

6. **Воган Д., Крейг Дж.** Химия сульфидных минералов. - М.: Мир, 1981, 576 с.

7. **Войткевич Г.В.** Основы теории происхождения Земли. - М.: Недра, 1988, 112 с.

8. **Воронский Б.И.** О находке железного метеорита Сусуман. - Метеоритика, 1960, вып. XIX, с. 135-142.

9. **Ганиев А.Г., Каримкулов Д.У., Рахимов Х.Р.** Методы активационного анализа благородных и редких металлов. - Ташкент: ФАН, 1977, 134 с.

10. XIX Всесоюзная конференция по метеоритике и космохимии, 7-9 февр. 1984 г. пос. Черноголовка Москов. обл.: Тез. докл. - М.: 1984, 147 с.

11. **Гетман В.С.** Внуки Солнца. - М.: Наука, 1989, 176 с.

12. **Григорьев Д.П.** Космическая минералогия - новая ветвь науки. Вестник АН СССР, 1962, № 4, с. 21-24.

13. **Григорьев Д.П., Крецер Ю.Л.** К онтогении шрейберзита и рабдита в метеорите Сихотэ-Алинь. - ДАН СССР, 1983, т. 270, № 5, с. 1192-1195.

14. **Додд Р.Т.** Метеориты. Петрология и геохимия. - М.: Мир, 1986, 384 с.

15. **Дьяконова М.И.** Химический состав Сихотэ-Алинского метеорита. - В кн.: Сихотэ-Алинский метеоритный железный дождь. - М.: 1963, т. 2, с. 345-350.

16. **Дьяконова М.И., Харитонова В.Я., Явнель А.А.** Химический состав метеоритов. - М.: Наука, 1979, 68 с.

17. **Желнин С.Г., Пляшкевич А.А., Пляшкевич Л.Н., Синдомирская С.М.** Железный метеорит Алискерово. - В кн.: Космическая минералогия. - Л.: Наука, 1980, с. 73-85.

18. **Заварицкий А.Н., Кваша Л.Г.** Метеориты СССР. - М.: Изд-во АН СССР, 1952, 247 с.

19. **Заварицкий А.Н.** О структурных особенностях железных метеоритов. - Метеоритика, 1954, вып. XI, с. 64-75.

20. **Заславская Н.И., Барсукова Л.Л., Харитонова В.Я., Колесов Г.М.** Исследование железного метеорита Баку из коллекции Комитета по метеоритам АН СССР. - Метеоритика: вып. 38, 1979, с. 50-54.

21. **Заславская Н.И., Дьяконова М.И., Харитонова В.Л., Хотинок Р.Л.** Исследование железного метеорита Эвгекинот. - Метеоритика, 1977, вып. 36, с. 53-58.

22. **Заславская Н.И., Колесов Г.М., Осадчий Е.Г.** Химико-минералогическое исследование железных метеоритов Юдома, Репеев Хутор и Норин-Шибир. - Метеоритика, 1982, вып. 40, с. 34-40.

23. **Зоткин И.Т., Хотинок Р.Л.** Новый метеорит Стерлитамак. - Земля и Вселенная, 1990, № 5, с. 37-38,

24. **Иванова Г.М., Кузнецова И.К.** Железный метеорит Тобычан. - Метеоритика, 1976, вып. 35, с. 47-52.

25. **Кашкай М.А., Алиев В.Н.** Структура и вещественный состав Ярдымлинского железного метеоритного дождя. - Метеоритика, 1961, вып. 20, с. 137-162.

26. **Кваша Л.Г.** Строение Сихоте-Алинского метеорита. - В кн.: Сихотэ-алинский железный метеоритный дождь. - М.: 1963, т. 2, с. 280-344.

27. **Кваша Л.Г.** О минералогическом составе и структуре метеоритов. - Метеоритика, вып. 36, 1977, с. 31-39.

28. **Кирова О.А.** Минеральный состав и структура железного метеорита Сусуман. - Метеоритика, 1962, вып. 22, с. 61-70.

29. **Кирова О.А., Дьяконова М.И.** Железный метеорит Сеймчан. - Метеоритика, 1972, вып. 31, с. 104-108.

30. **Кирова О.А., Дьяконова М.И.** Железный метеорит Кифкахсяган. - Метеоритика, 1976, вып. 35, с. 40-42.

31. **Колесов Г.М., Заславская Н.И.** Состав и структура магнитных шариков с места падения Сихотэ-Алинского метеорита. - Метеоритика, вып. 35, 1976, с. 73-77.

32. **Колесов Г.М., Заславская Н.И., Машталка А., Франа Я.** Определение содержания микроэлементов в железных метеоритах нейтронно-активационным методом с использованием пневмопочты. - Метеоритика, 1982, вып. 40, с. 45-48.

33. **Коломенский В.Д., Гуськова Е.Г.** Каталог метеоритов Ленинградского горного музея на 1 января 1979. - Метеоритика, 1982, вып. 40, с. 134-157.

34. **Краснова Р.** Стерлитамакский метеорит. - Наука Урала, 1990, 28 июня, № 25.

35. **Краснова Р.** Камень преткновения. - Вечерняя Уфа. 19 июня 1991 г.

36. **Кринов Е.Л.** Итоги четырехлетних полевых работ по изучению падения и сбору Сихотэ-Алинского железного метеоритного дождя. - Метеоритика, 1952, вып. X, с. 83-99.

37. **Кринов Е.Л.** Метеориты. - М.: Изд-во АН СССР, 1948, 336 с.

38. **Кринов Е.Л.** Классификация поверхностной структуры коры плавления метеоритов. - Докл. АН СССР, 1953, 92, № 3, с. 503-505.

39. **Кринов Е.Л.** Основы метеоритики. - М.: Гостехиздат, 1955, 392 с.

40. **Кринов Е.Л., Цветков В.И.** Сихотэ-Алинский метеоритный дождь как классическое метеоритное падение. - Метеоритика, 1979, вып. 38, с. 19-26.

41. **Кудрявцева Г.П., Сошкина Л.Т., Заславская Н.И.** Добреелит и его ассоциации в железных метеоритах Сихотэ-Алинь и Богуславка. - Метеоритика № 40. - М.: Наука, 1982, с. 131-133.

42. **Лаврухина А.К., Акользина Л.Д., Колесов Г.М.** Изучение распределения Ga и Pt в метеоритном веществе нейтронно-активационным методом. - Геохимия, 1971, № 2, с. 155-159.

43. **Лаврухина А.К., Сажина Н.К., Чайка М.В., Сабо Э., Догадкин Н.Н., Барышникова Г.В.** Распределение Al, Mn, Ni, Co в металлической и сульфидной фазах метеоритов. - Геохимия, 1971, № 12, с. 1449-1457.

44. **Лаврухина А.К., Эрдог М., Сабо Э., Кашкарова В.Г.** Распространенность Na, K, Ca, Mg, Cl в воднорастворимых фракциях железных метеоритов. - Геохимия, 1972, № 10, с. 1205-1214.

45. **Лаврухина А.К., Ревина Л.Д., Сажина Р.К., Юкина Л.В., Сильванович Х.Р., Худайбергенов У., Чайка М., Эрдог М.** Распределение элементов между металлической и сульфидной фазами железного метеорита Сихотэ-Алинь. - Геохимия, 1973, № 4, с. 484-490.

46. **Лаврухина А.К., Барышникова Г.В.** Минералы метеоритов. - ЗВМО, 1978, ч. 107, вып. 44, с. 416-430.

47. **Лаврухина А.К., Барышникова Г.В.** Минералы метеоритов - индикаторы космических событий. - В кн.: Космическая минералогия. - Л.: Наука, 1980, с. 53-62.

48. **Лазаренков В.Г., Малич К.Н.** Содержание элементов платиновой группы в силикатно-оксидно-железных сферулах как критерий их земного происхождения. - ДАН СССР, 1990, т. 311, № 2, с. 466-468.

49. **Левин Б.Ю., Козловская С.В., Старкова А.Г.** Средний химический состав метеоритов. - Метеоритика, вып. 14, 1956, с. 38-53.

50. **Маракушев А.А., Безмен Н.И.** Эволюция метеоритного вещества, планет и магматических серий. - М.: Наука, 1983, 185 с.

51. **Маракушев А.А.** Происхождение и эволюция Земли и других планет солнечной системы. - М.: Наука, 1992, 208 с.

52. **Маракушев А.А. и др.** Космическая петрология. - М.: Изд-во МГУ, 1992, 325 с.

53. **Маракушев А.А.** Происхождение метеоритов в общей эволюции планет солнечной системы. - Минерал. журнал, 1996, 18, № 1, с. 3-23.

54. **Мейсон Б.** Метеориты. - М.: Мир, 1965, 306 с.

55. **Мейсон Б.** Геохимическое поведение некоторых элементов в метеоритах. - В кн.: Проблемы геохимии. Юбилейный сб., посвящ. 70-летию акад. А.П. Виноградова. - М.: Наука, 1965, с. 72-80.

56. Минералы. Справочник. М.: Изд-во АН СССР, 1960, 618 с.

57. **Михеев В.И.** Рентгенометрический определитель минералов. - М.: Госгеолтехиздат, 1957, 868 с.

58. **Михеев В.И., Калинин А.И.** Применение рентгенометрического метода к исследованию вещественного состава метеоритов. - Метеоритика, 1958, вып. 15, с. 156-179.

59. **Муталов М.Г.** Волшебные минералы. - Уфа: Баш. Книж. Изд-во, 1988, 176 с.

60. **Назаров М.А., Ульянов А.А., Колесов Г.М.** Состав металлической

фазы в белых включениях метеорита Ефремовка. - В кн.: XX Всесос. метеорит. конферен. 10-12 февр. 1987, г. Таллин, тез. Докл. - М.: 1987, с. 142-144.

61. **Павлов Г.Ф., Пляшкевич А.А., Савва Н.Е., Бохордоев В.Я.** Эволюция космического вещества в земных условия (на примере железного метеорита Билибино). - Метеоритика, 1985, вып. 44, с. 46-51.

62. **Патнис А., Мак-Коннелл Дж**. Основные черты поведения минералов. - М.: Мир, 1983, 304 с.

63. **Петаев М.И.** Метеорит Стерлитамак год спустя. - Наука Урала, 1991, июль, № 25.

64. **Петаев М.И., Гареев Э.З.** Стерлитамакское падение - Природа, 1992, № 5, с. 52-55.

65. **Салихов Д.Н., Юсупов С.Ш., Гареев Э.З.** Предварительные данные о вещественном составе Стерлитамакского метеорита. - В кн.: Геодинамика и металлогения Урала. Свердловск: ИГГ УО АН СССР, 1991, с. 206.

66. **Семененко В.П., Стеценко Н.С., Мельников В.С.** О троилите хондритов. - Метеоритика, 1977, вып. 36 с. 91-97.

67. **Семененко В.П Самойлович Л.Г., Егорова Л.Н., Козлов И.С.** Состав и строение фаз никелистого железа в атаксите Чинге. - Метеоритика, 1982, вып. 41, с. 93-100.

68. **Семененко В.П., Самойлович Л.Г.** Метеорит Пилиствере. - Метеоритика, № 40, 1982, с. 28-33.

69. **Семененко В.П., Самойлович Л.Г., Тертычная Б.В.** Два типа частиц в метеорите Бахмут. - Метеоритика, 1985, вып. 44, с. 39-45.

70. **Семененко В.П., Самойлович Л.Г., Тертычная Б.В.** Структуры неоднородности в камасите как один из признаков ударного метаморфизма. - В кн.: XX Всесоюзная метеоритная конференция, 10-12 февр. 1987, г. Таллин. Тезисы докл. - М.: 1987, с. 89-90.

71. **Сильванович Ю.А., Рахимов Х.Р., Ганиев А.Г., Лаврухина А.К.** Изучение распределения благородных металлов в железных метеоритах методом нейтронно-активационного анализа. - Геохимия, 1973, № 10, с. 1577-1582.

72. Справочник по изотопной геохимии / Э.В. Соботович и др. / - М.: Энергоиздат, 1982, 240 с.

73. **Старик И.Е., Шац М.М.** Определение урана в каменных и железных метеоритах. - Геохимия, 1956, № 2, с. 19-26.

74. **Стулов Н.Н.** Рентгенометрическое исследование вещественного состава некоторых метеоритов. - Метеоритика, 1960, вып. 19, с. 63-85.

75. Типоморфизм минералов: Справочник / Под ред. Л.В. Чернышевой / - М.: Недра, 1989, 560 с.

76. **Фесенков В.Г.** Успехи метеоритики за 1950 г. - Метеоритика, 1952, вып. 10, с. 26-36.

77. **Фисенко А.В., Игнатенко К.И., Семенова Л.Ф., Лаврухина А.К.** Исследование Fe-Ni фазы углистого хондрита Каинсаз. - Геохимия, 1985, № 11, с. 1672-1678.

78. **Фотон С.С.** Результаты работ четвертой (последней) экспедиции по изучению падения Сихотэ-Алинского метеоритного дождя. - Метеоритика, вып. X, 1952, с. 74-82.

79. **Фрондел Дж.** Минералогия Луны. - М.: Мир, 1978, 334 с.

80. **Харитонова В.Я., Барсукова Л.Д.** Химический состав метеоритов Алискерово, Ветлуга и Кулешовка. - Метеоритика, 1982, вып. 40, с. 41-44.

81. **Хрянина Л.П.** Метеоритные кратеры на Земле. - М.: Недра, 1987, 112 с.

82. **Цветков В.И.** Сихотэ-Алинский метеорит // Природа. 1989. № 8. С. 78-85.

83. **Шур А.С., Елькина Н.Т., Юдин И.А.** Ультра- и микропористость железных метеоритов. - Метеоритика, 1969, вып. 29, с. 110-115.

84. **Щербаков Ю.Г., Пережогин Г.А.** К геохимии золота. - Геохимия, 1964, № 6, с. 518-528.

85. **Юдин И.А., Смышляев С.И.** Химико-минераграфическое исследование пирротина и троилита в метеоритах. - Изв. ВУЗов. Геология и разведка, 1966, № 8, с. 59-63.

84. **Юдин И.А., Логинов В.Н., Гмыра В.Г., Коваль В.И., Оботнин Н.Ф.** Вторичные минералы и структуры железных осколков метеорита Каали. - Астрономический вестник. 1982, т. 16, № 4, с. 231-237.

85. **Юдин И.А., Логинов В.Н., Гмыра В.Г., Коваль В.И., Оботнин Н.Ф.** Вторичные минералы и структуры метеорита Царев. - Метеоритика, 1983, вып. 42, с. 55-65.

86. **Юдин И.А., Коломенский В.Д.** Минералогия метеоритов. - Свердловск: УНЦ АН СССР, 1987, 200 с.

87. **Юсупов С.Ш., Салихов Д.Н., Бурдаков А.В.** О структуре, минеральном и химическом составе метеорита Стерлитамак. - Ежегодник-1995. Информационные материалы / УНЦ РАН, 1996, с. 178-181.

88. **Юсупов С.Ш.** Метеорит Стерлитамак. - Башкортостан. Краткая энциклопедия. - Уфа: Научное издательство «Башкирская энциклопедия», 1996, с. 396.

89. **Юсупов С.Ш.** Микросферулы космического, земного и техногенного происхождения. Новое направление минералогических и термобарогеохимических исследований. - Ежегодник-1996 (Институт геологии УНЦ РАН). Информационные материалы. - Уфа: УНЦ РАН, 1998, с. 190-202.

90. **Юсупов С.Ш., Сатаева Э.М.** Микросферулы в колчеданных месторождениях и зонах разломов Урала. - В кн.: Минералогия Урала. Материалы III-го регионального совещания (12-14 мая 1998 г.), т. II. - Миасс: ИМин УрО РАН, 1998, с. 176-178.

91. **Явнель А.А.** Относительно однородности химического состава Сихотэ-Алинского железного метеорита. - Метеоритика, 1954, вып. 11, с. 107-116.

92. **Явнель А.А.** Закономерности состава железных метеоритов и проблемы происхождения метеоритов. - ДАН СССР, 1955, т. 102, № 3, с. 477-480.

93. **Явнель А.А.** Закономерности в составе метеоритного вещества и классификация железных метеоритов. - Геохимия, 1956, № 2, с. 78-92.

94. **Явнель А.А.** О примесях и некоторых минералах Сихотэ-Алинского железного метеорита. - Метеоритика, 1956, вып. 14, с. 87-91.

95. **Явнель А.А., Боровский И.Б., Ильин Н., Марчукова И.Д.** Изучение состава фаз метеоритного железа методом рентгеноспектрального анализа. - ДАН СССР, 1958, т. 123, № 2, с. 256-258.

96. **Явнель А.А.** Классификация метеоритов по вещественному составу. - Метеоритика, 1958, вып. 15, с. 115-135.

97. **Явнель А.А., Дьяконова М.И.** Химический состав метеоритов. - Метеоритика, 1958, вып. 15, с. 136-151.

98. **Явнель А.А.** О зависимости структуры железных метеоритов от химического состава и условий кристаллизации. - Метеоритика, 1961, вып. 20, с. 114-120.

99. **Явнель А.А.** Содержание некоторых микроэлементов в Сихотэ-Алинском метеорите. - В кн.: Сихотэ-Алинский железный метеоритный дождь. - М.: Наука, 1963, т. 2, с. 351-361.

100. **Явнель А.А.** Генетические закономерности химического состава, некоторые особенности структуры и происхождение метеоритов. - В кн.: Физика Планет. - Алма-Ата, 1967, с. 139-150.

101. **Явнель А.А.** Распределение элементов платиновой группы и рения в веществе железных метеоритов. - Геохимия, 1970, № 2, с. 228-242.

102. **Явнель А.А.** Химические группы железных метеоритов и их особенности. - Метеоритика, 1972, вып. 31, с. 141-148.

103. **Явнель А.А.** Классификация метеоритов и ее значение для проблемы происхождения метеоритов. - Метеоритика, 1973, вып. 32, с. 25-36.

104. **Явнель А.А., Колесов Г.М.** Классификация железных метеоритов Эгвекинот и Тобычан по содержанию никеля и микроэлементов. - Метеоритика, вып. 36, 1977, с. 162-164.

105. **Явнель А.А.** Закономерности распределения элементов в железных метеоритах. - Геохимия, 1975, № 2, с. 178-189.

106. **Явнель А.А.** Некоторые вопросы химии метеоритов. - Метеоритика, 1960, вып. XIX, с. 12-25.

107. **Явнель А.А.** Химико-структурная классификация железных метеоритов. - Метеоритика, 1978, вып. 37, с. 101-105.

108. **Явнель А.А.** О классификации каменных и железокаменных метеоритов. - Метеоритика, 1980, вып. 39, с. 19-27.

109. **Явнель А.А.** О составе силикатных минералов в железных метеоритах. - Метеоритика, № 40, - М.: Наука, 1982, с. 49-56.

110. **Явнель А.А.** Упорядоченная структура Fe Ni в метеоритах и диаграмма состояния системы железо-никель. - Метеоритика, 1983, вып. 42, с. 66-71.

111. **Berry E.L.Y.** Selected Powder Diffraction Data for Minerals, search Manual Swarthmore, Pennsylvania 19081, USA, 1974, 262 p.

112. **Buchwald Vagn F.** A new Danish iron meteorite, Felsted, and a new Danish law, involving meteorites: [Abstr.] 53 Meet. Meteor. Soc., Perth, 17-21 Sept., 1990 // Meteoritics. - 1990. - 25, N 4. - p. 351-352.

113. **Choi B.G., Wasson J.T.** Formation of IAB - IIICD iron meteorites // Lunar an Planet. Sci. Vol. 25. Abstr. Pap: 25th Lunar and Planet. Sci. Conf., March 14-18, 1994. Pt. 1. - Houston (Tex). s.a. - 255 p.

114. **Choi Bycon Gak, Ouyang Xinwei, Wasson John T.** Classification and origin of IAB and IIICD iron meteorites // Geochim. et cosmochim. Acta. - 1995. - 59, № 3. - p. 503-512.

115. **Heide F., Herschkowitsch E., Preuss E.** - Chemie der Erde, 1932, 7, 483.

116. **Hoashi Maki, Varela-Alvarez Hugo, Brooks Robert R., Reeves Roger D., Ryan Douglas E., Holzbecher Jiri.** Revised classification of some iron meteorites buy use of statistical procedures // Chem. Geol. - 1992.- 98. № 1-2. p. 1-10.

117. **Petaev M.I., Kisarov Yu.J., Mustafin Sh.A., Shakurov R.K., Pavlov A.V., Ivanov B.A.** Meteorite Sterlitamak - a new crater forming fall // Lunar and Planet. Sci. Conf. March 18-22.1991. 22. Pt 3. - Houston (Tex.). 1991. - p. 1059-1060.

118. **Romig A.D., Goldstein J.I.** Low temperature phase equilibrium the Fe-Ni and Fe-Ni-P systems: application to the thermal history of metallic phases in meteorites. - Geochemica et Cosmochemica Acta. 1981, vol. 45, № 7, p. 1187-1197.

119. **Scott E.R.D.** Chemical fractionation in iron meteorites and its interpretation. - Geochemica et Cosmochemica Acta. 1972, vol. 36, № 11, p. 1205-1236.

120. **Scott E.R.D.** The nature of dark-etching rims in meteoritic taenite. - Geochemica et Cosmochemica Acta. 1973, vol. 37, p. 2283-2294.

121. **Zhang J., Williams D.B., Goldstein J.I.** Plessite-like microstructures in laboratory Fe-Ni (P) alloys: Abstr. 53 Meet. Meteor. Soc., Perth. 17-21 Sept., 1990 // Meteoritics. - 1990. - 25, № 4. - 423 p.

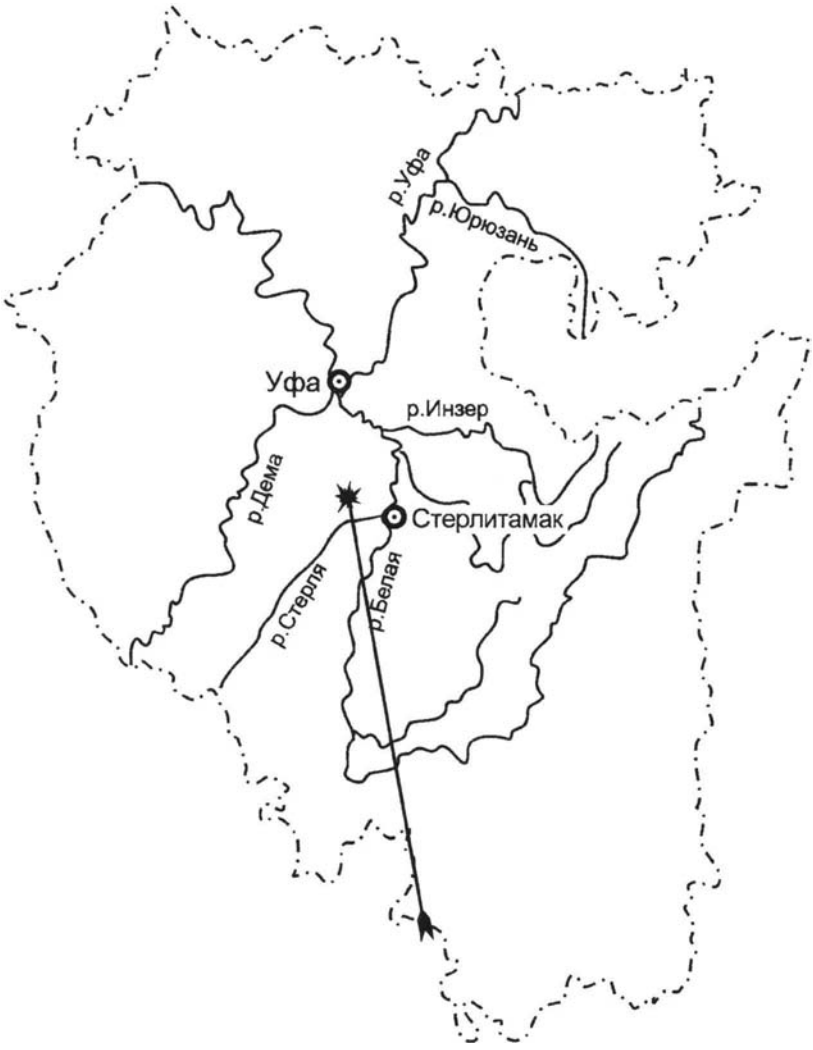


Рис. 1. Схема направления и места падения метеорита Стерлитамак

Рис. 2. Кратер метеорита Стерлитамак
Фото М.И. Петаева

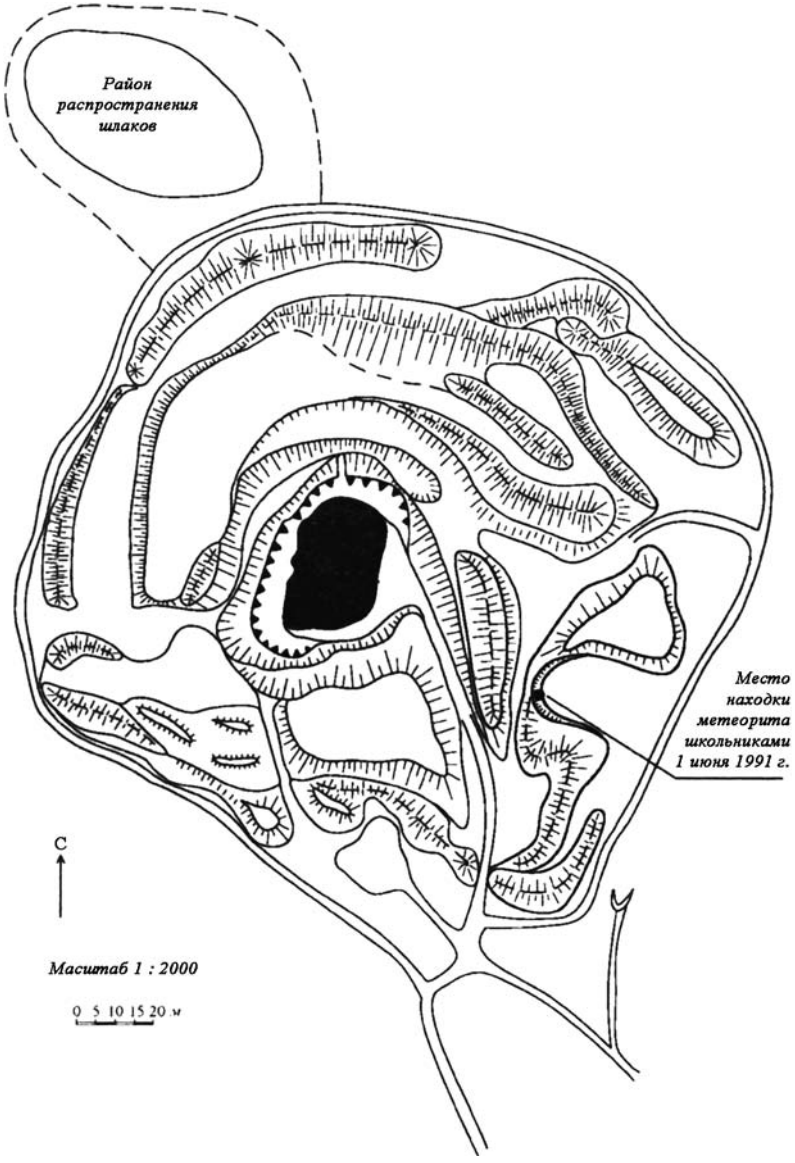


Рис. 3. План карьера на месте кратера метеорита Стерлитамак. Вид после извлечения обломка МС-5 (вес 315 кг). Июнь 1992 г.

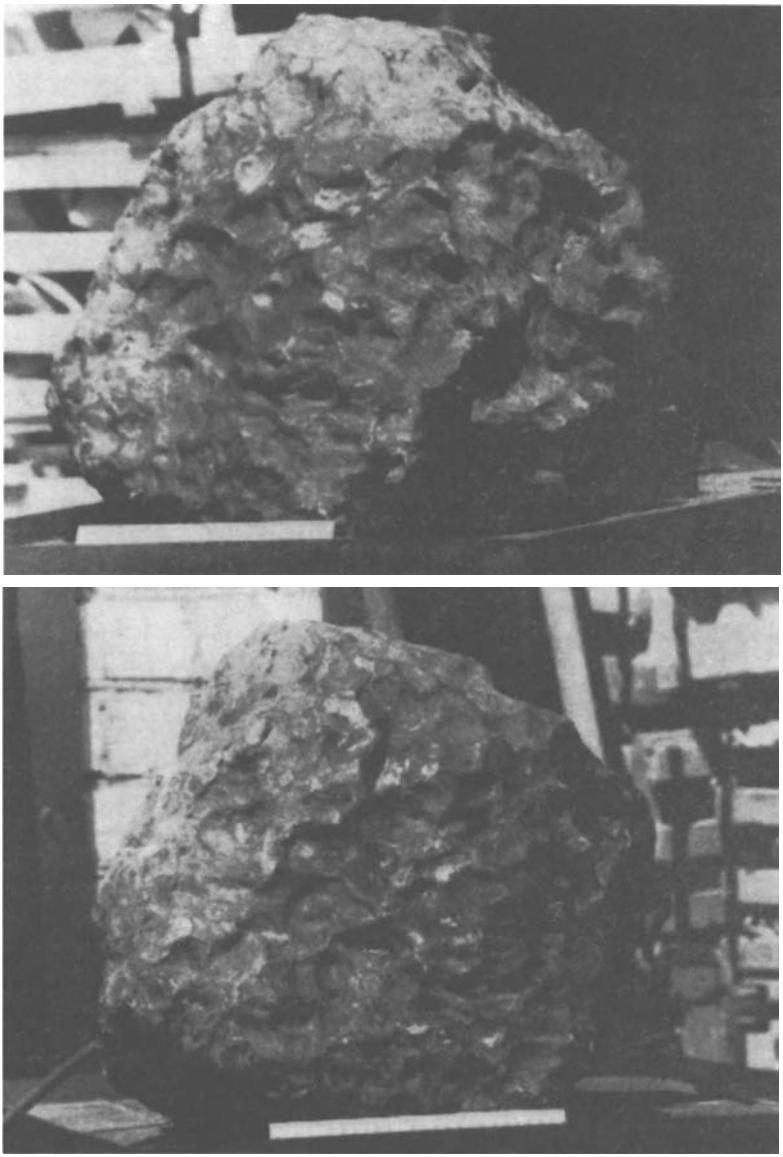


Рис. 4. Крупнейший извлеченный из глинистых пород мишени обломок МС-5 метеорита Стерлитамак. Внешний вид с двух сторон.

Размеры: 50×47×27 см. Вес 315 кг.

На поверхности осколка видны множество углублений - регмалиптов

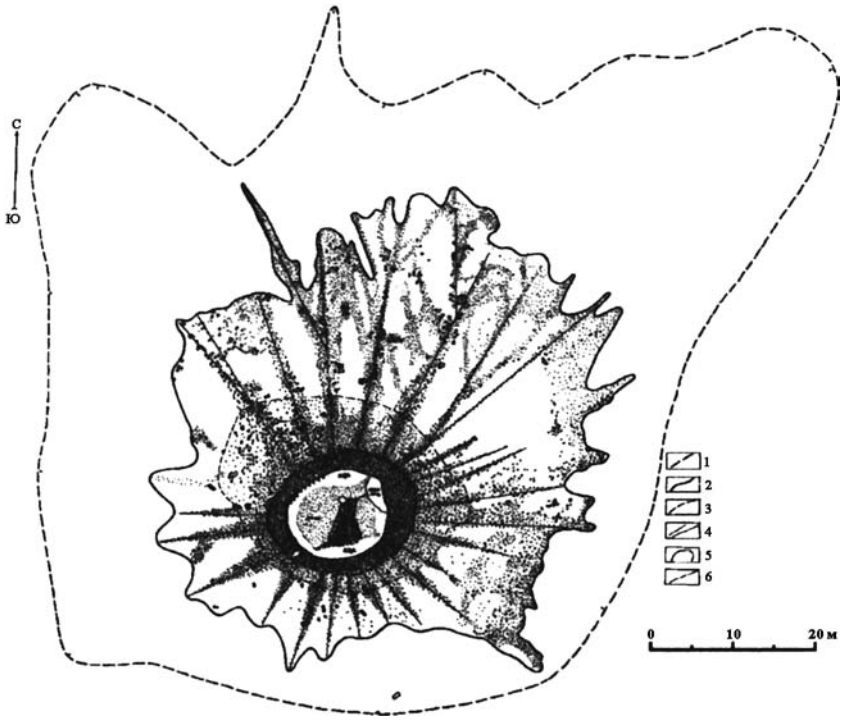


Рис. 5. План кратера метеорита Стерлитамак и характер выброса грунта. Масштаб 1:1000 (в 1 см - 10 м)

1 - зона дальних выбросов, 2 - зона лучевых выбросов, 3 - зона сплошных выбросов, 4 - прикратерный вал, 5 - бровка кратера, 6 - оси отдельных радиусов

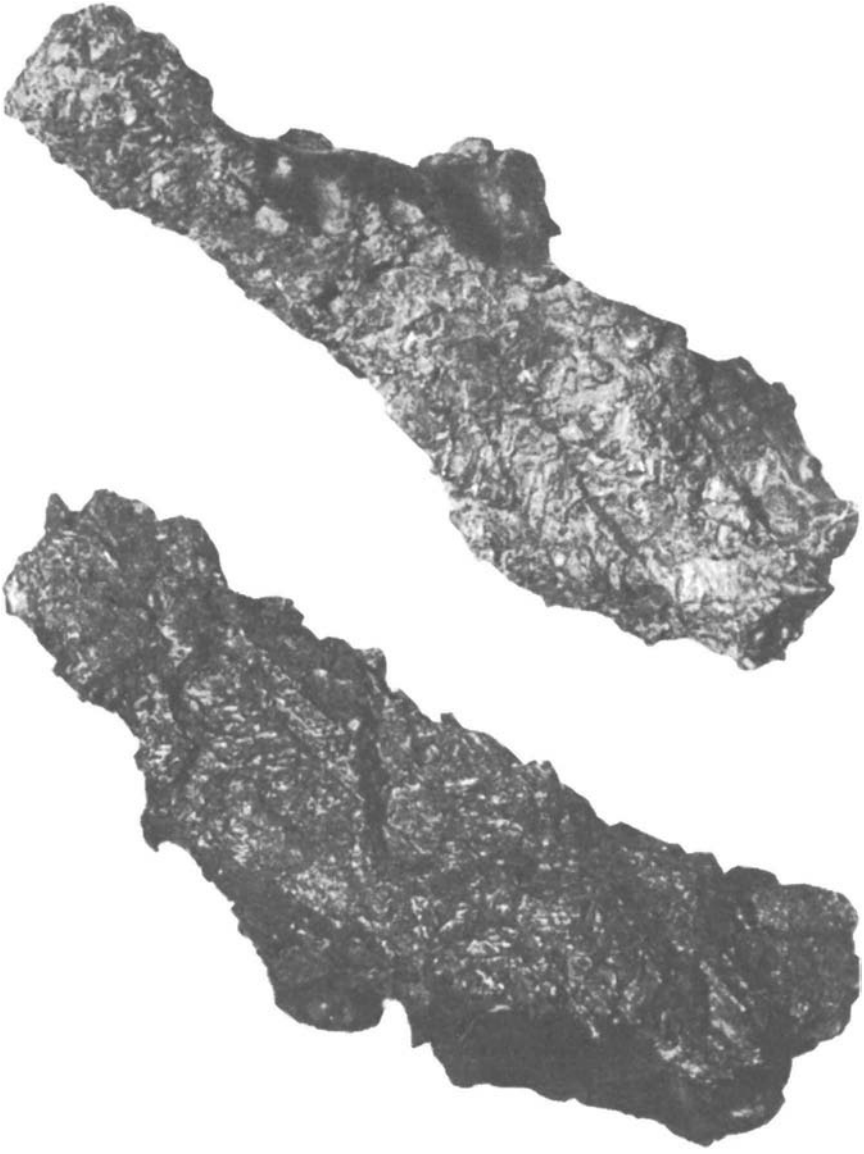


Рис. 6. Осколок метеорита МС-4. Внешний вид свежих изломов с двух сторон. Размеры: 21×6-3×3 см. Вес 3060 г

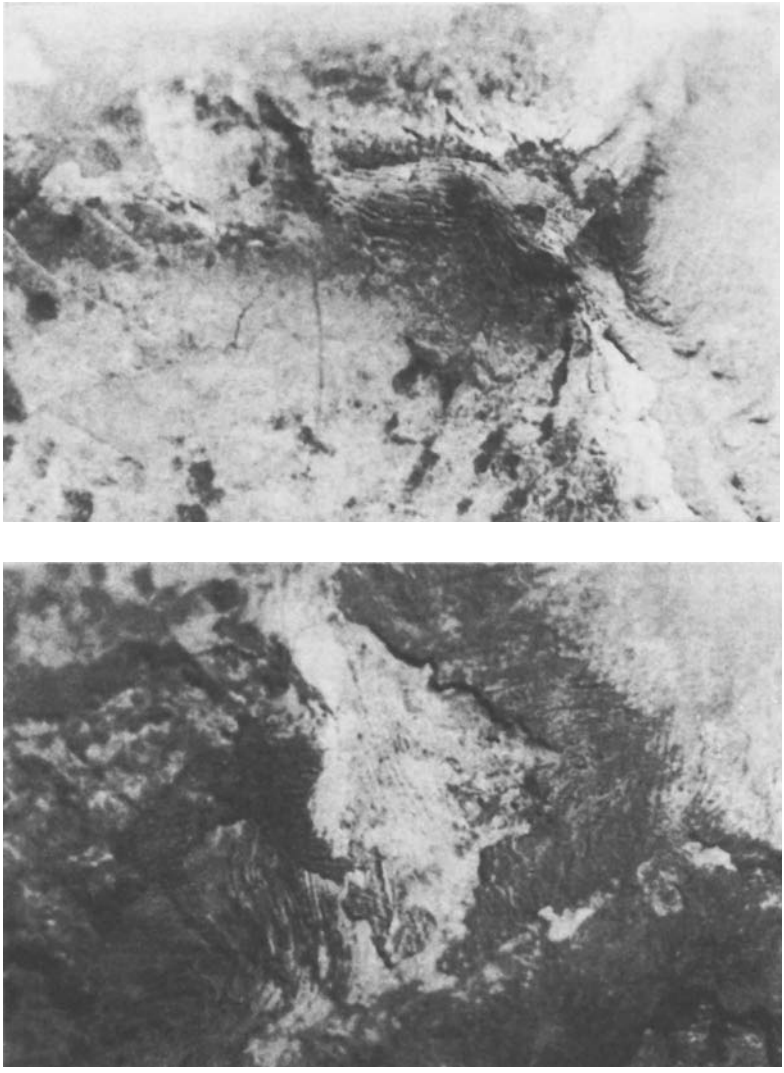
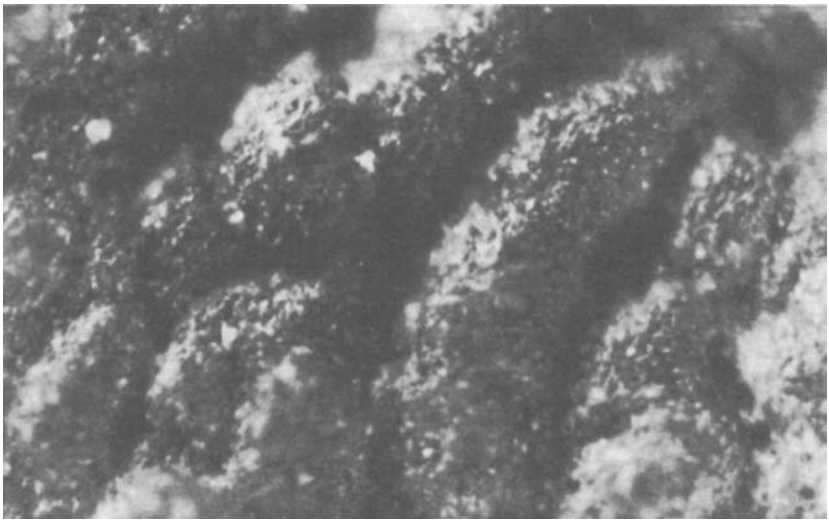


Рис. 7. Кора плавления на поверхности осколка МС-5 метеорита Стерлитамак.

Видны выступающие из под серых и темно-серых корок белые поля не окисленного металла, бороздчато исштрихованного сдвижениями полурасплавленной коры при вхождении осколка в породу мишени.

Уменьшено в 3×



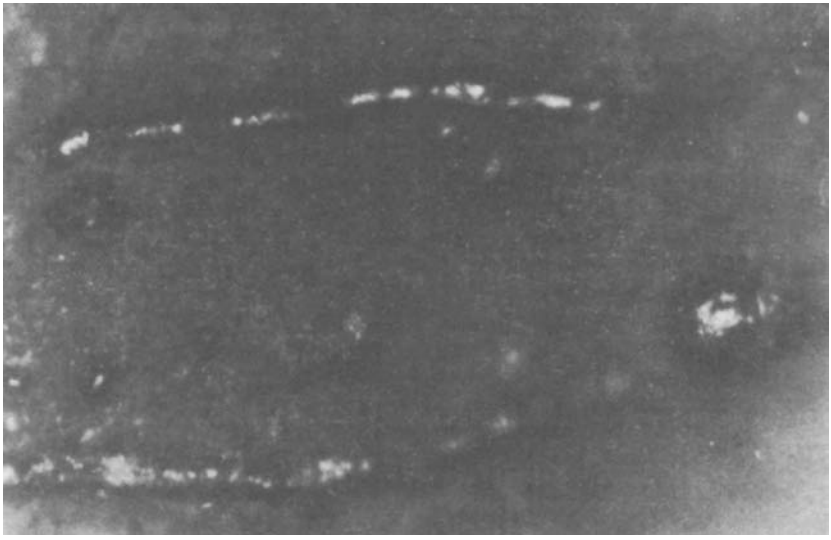


Рис. 8. Поверхность коры плавления (верхний снимок) и капли полуокисленного металла (нижний снимок), застывшие на обогревшей поверхности осколка МС-5. Увел. 100×

Рис. 9. Крупнокристаллическая (октаэдритовая) структура, выступающая на свежем изломе осколка метеорита МС-4.

Увелечение $10^{\times}$

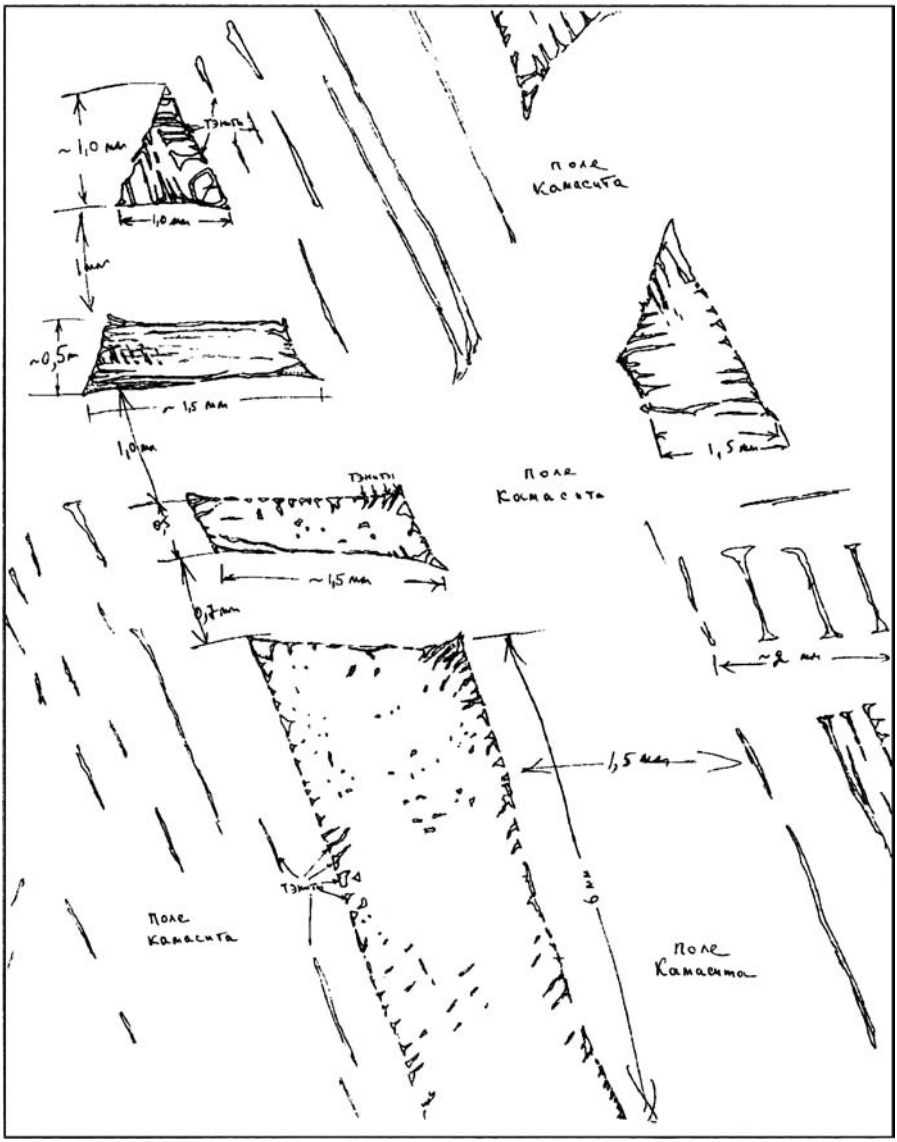
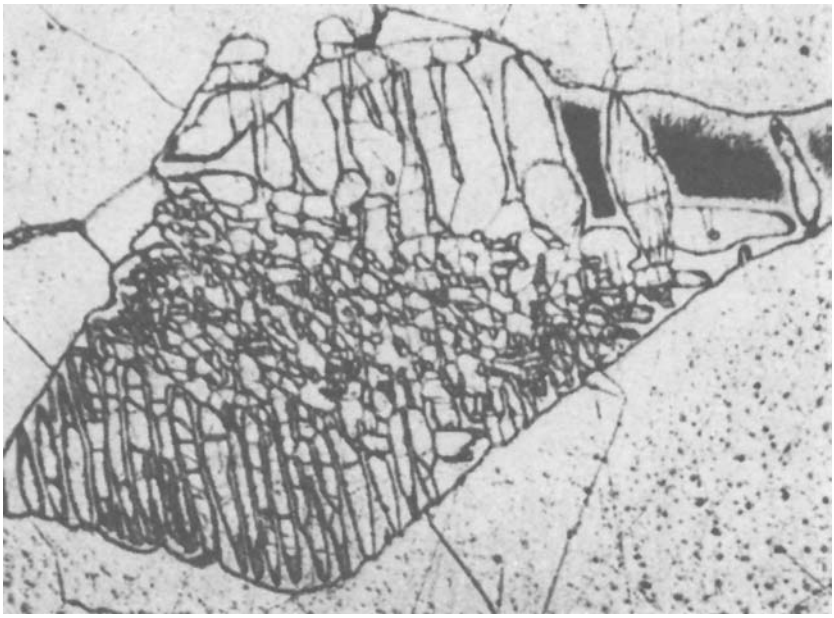


Рис. 10. Балочная структура распада камасит-тэнитового твердого раствора

Обломок МС-1. Зарисовка с аншлифа



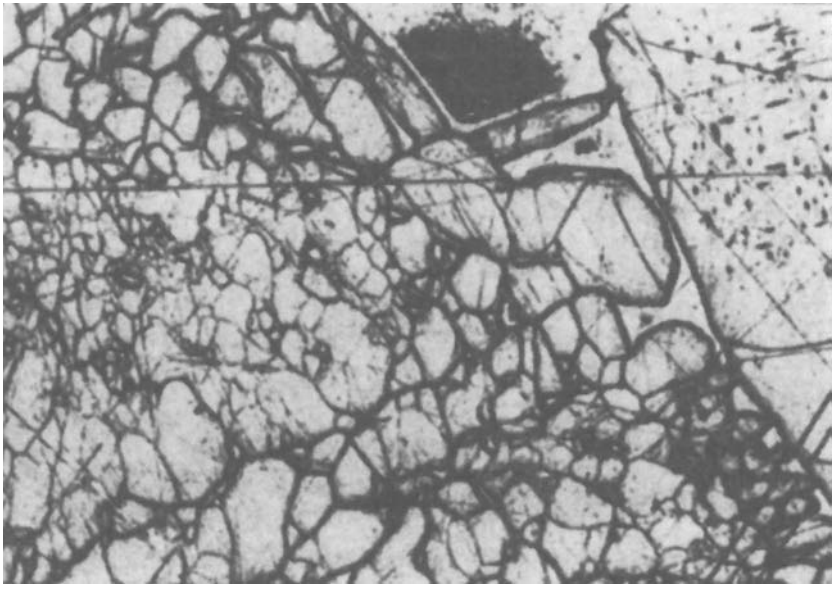


Рис. 11. Межбалочные выделения гранулированных фаз камасита и тэнита. Осколок МС-3. Аншл. протравл., увел. 50×

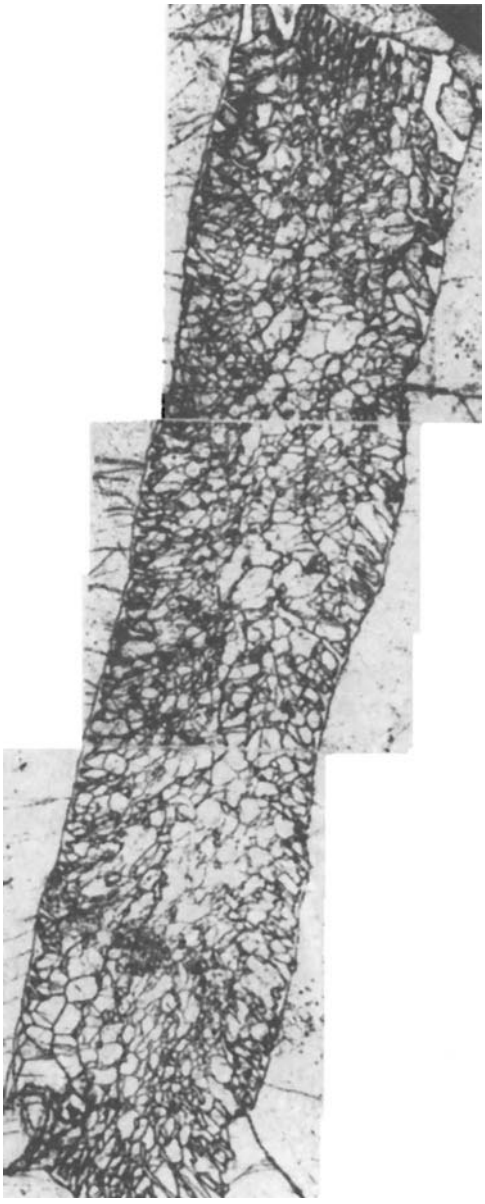


Рис. 12. Межбалочное выделение (разм. ~0,5×2,5 мм) гранулированных фаз камасита и тэнита. Осколок МС-3. Аншл. протравл.

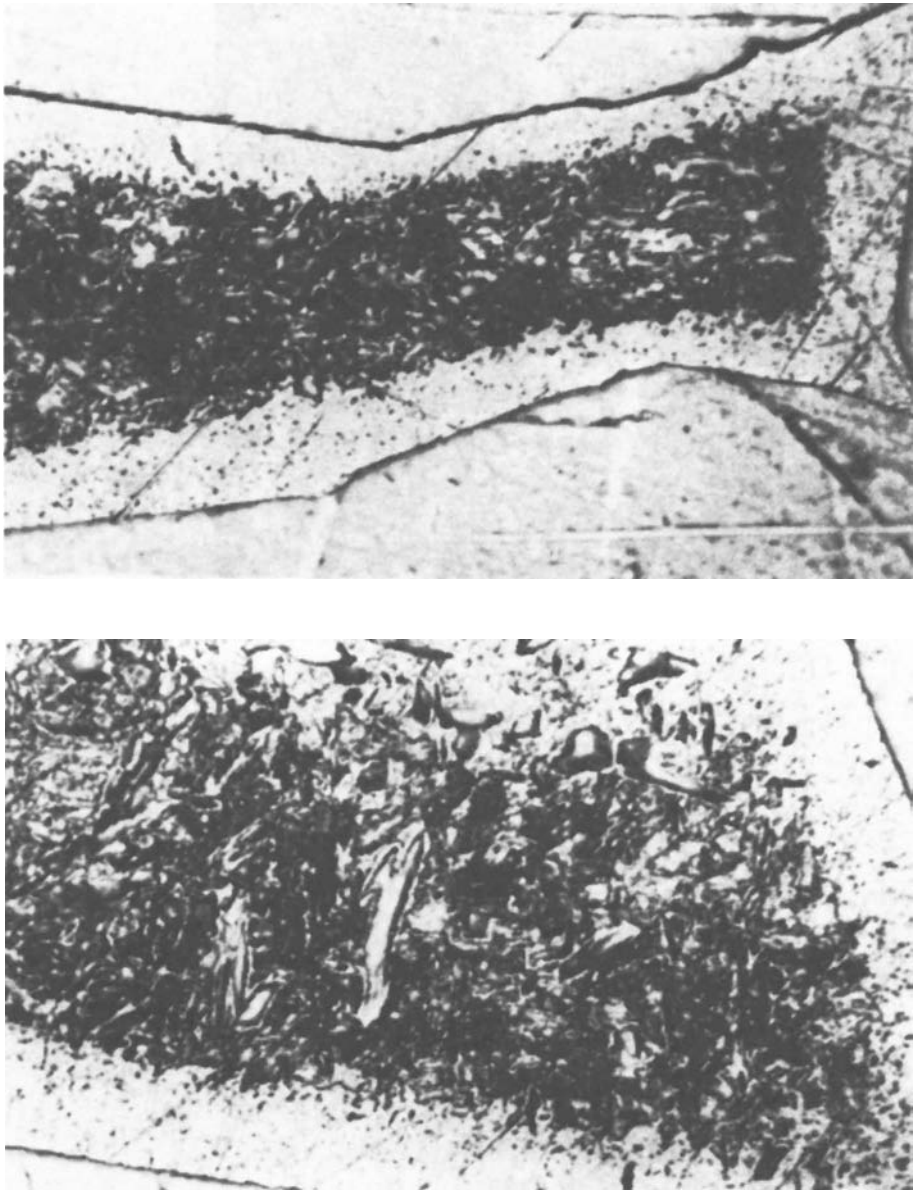


Рис. 13. Плесситовые структуры в межблочных обособлениях. Осколок МС-3. Аншл. протр., увел. 800$^{\times}$

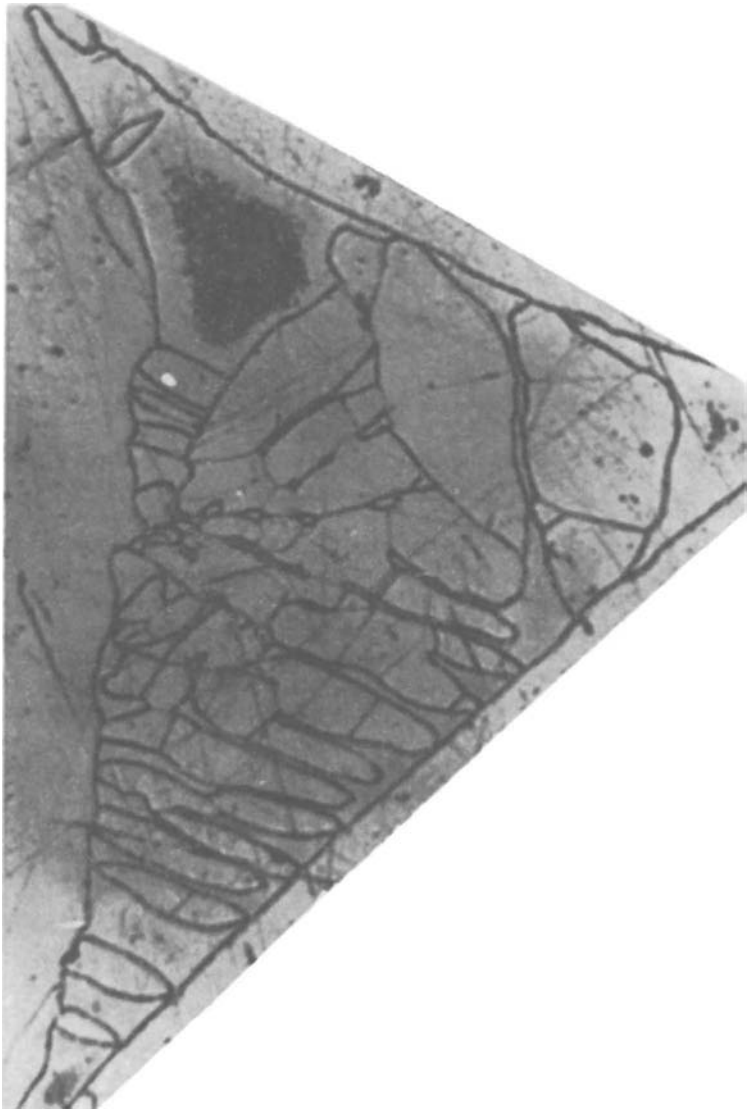
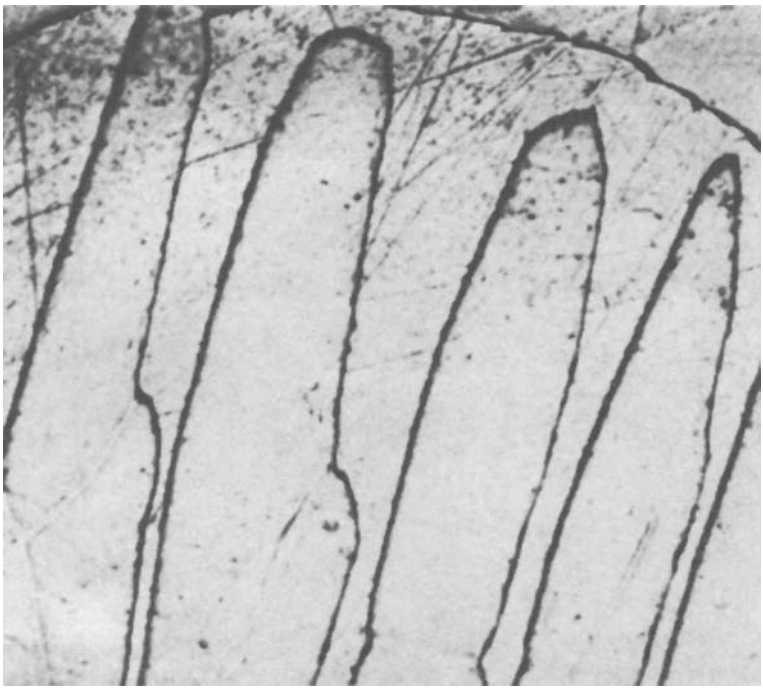


Рис. 14. Треугольная форма сечения межблочного обособления негранулированных фаз тэнита и камасита с реликтовым участком плесситовой структуры. Осколок МС-3. Аншл. протр., ув. ?



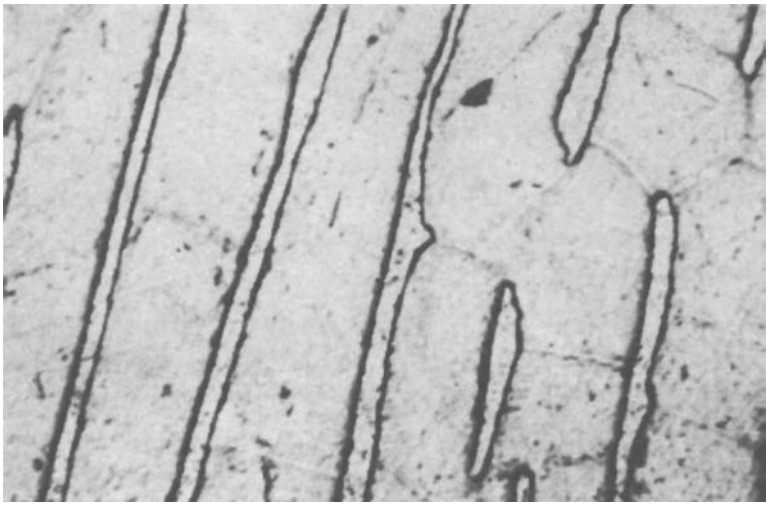
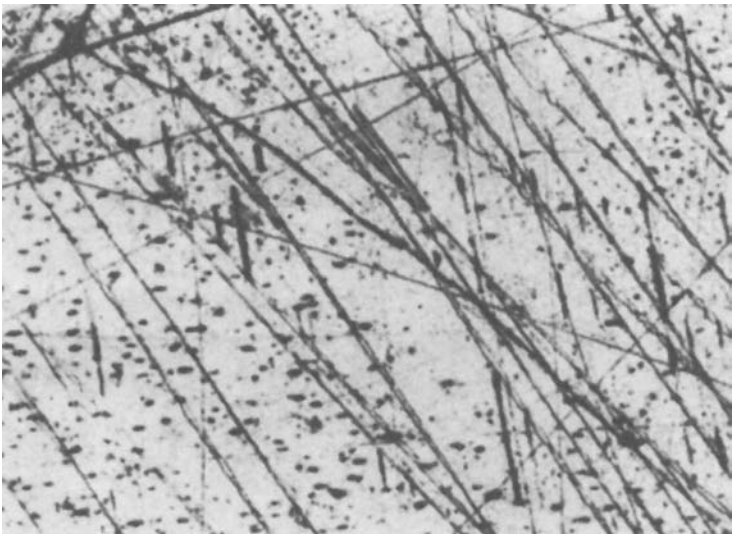


Рис. 15. Ламелли тэнита в поле камасита.
Осколок МС-3. Аншл. протр., увел. 800×



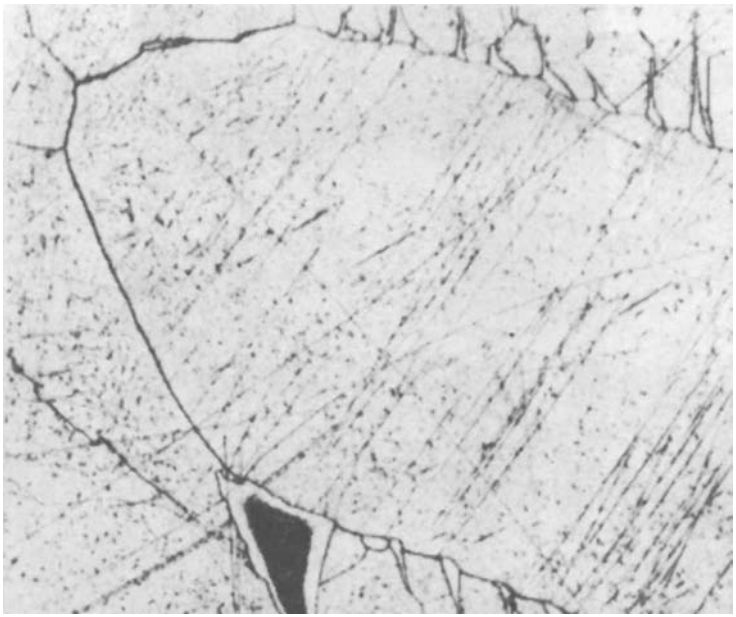


Рис. 16. Неймановы линии при малых увеличениях оптического микроскопа

Осколок МС-3. Аншл. протр., увел. 100×

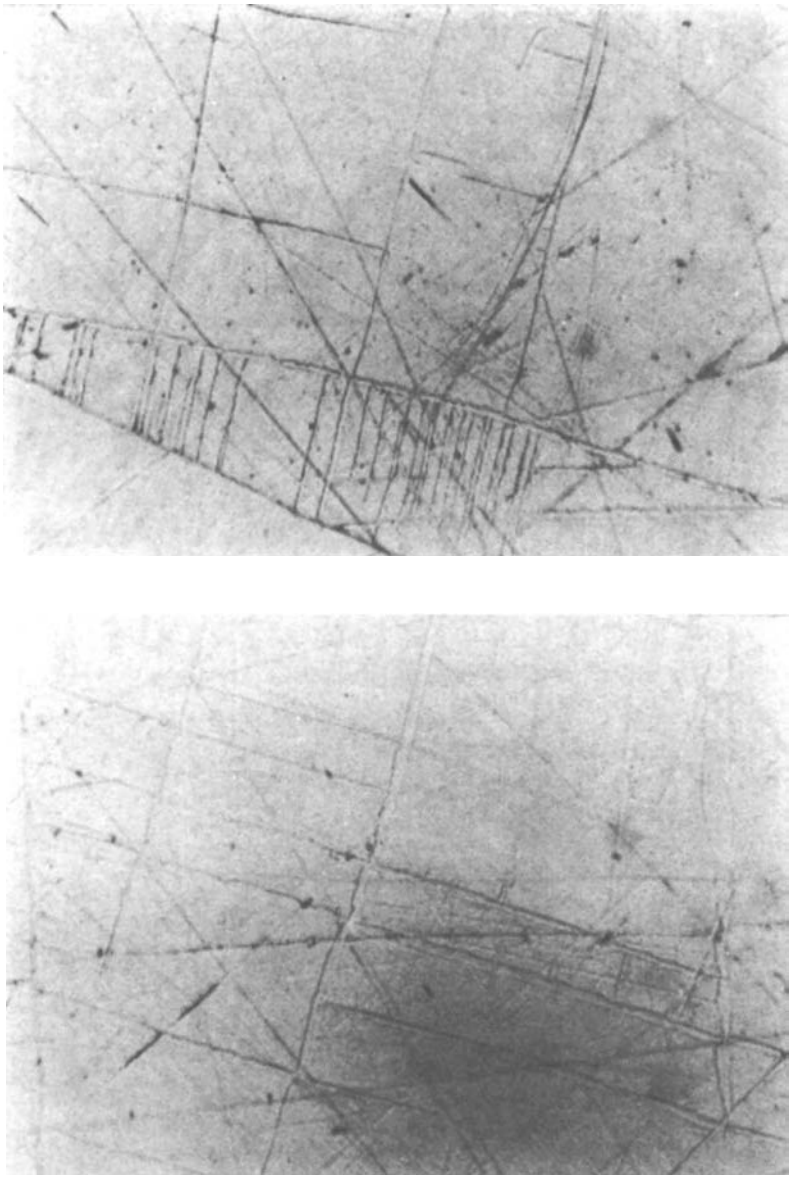


Рис. 17. Неймановы линии при средних увеличениях. Осколок МС-3. Аншл., увел. 500×

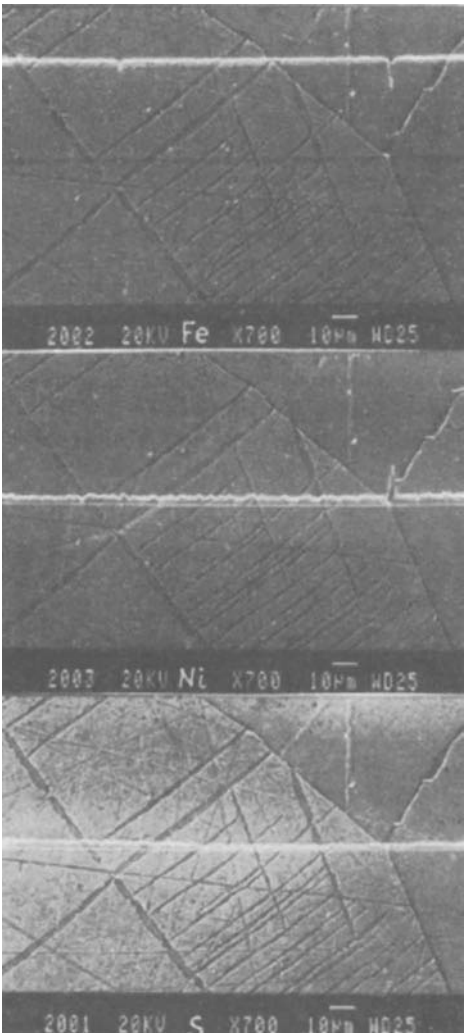
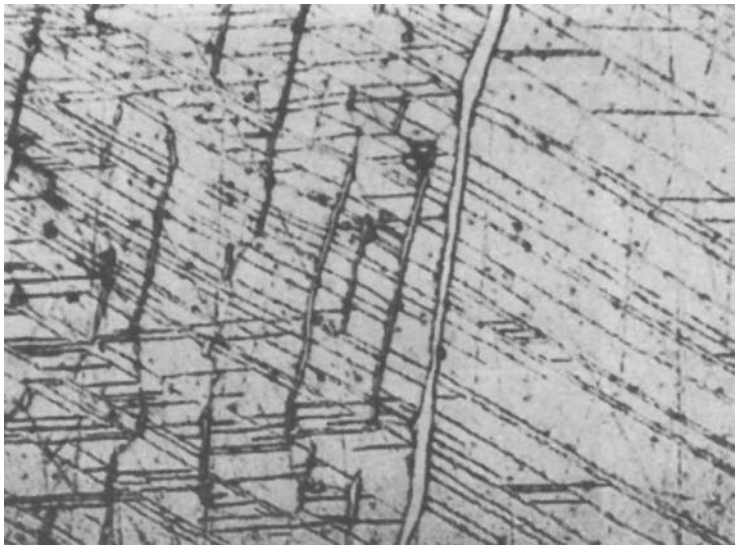


Рис. 18. Картины линейного сканирования предыдущей ситуации (верхний снимок) на Fe, Ni, S. Как видно, при пересечении электронным лучом неймановых линий изменений в содержаниях этих элементов не обнаруживается. Ясно, что неймановы линии отражают лишь четкие следы сдвижений в объеме октаэдрических кристаллов камасита по их плоскостям спайности. Осколок МС-3. Аншл. протр., увел. 700$^{\times}$



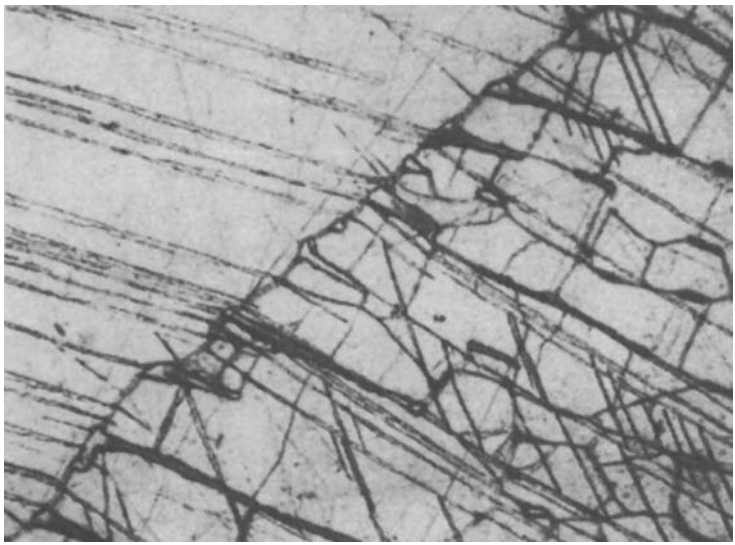


Рис. 19. Картины неймановых линий 2-3 генераций, отражающих сдвижения как по нескольким плоскостям спайности октаэдра камасита (верхний снимок), так и на границе разноориентированных его зерен, трассируемой выделением ламеллей тэнита (нижний снимок)

Осколок МС-3. Аншл. протр., увел. 500$^{\times}$ и 800$^{\times}$

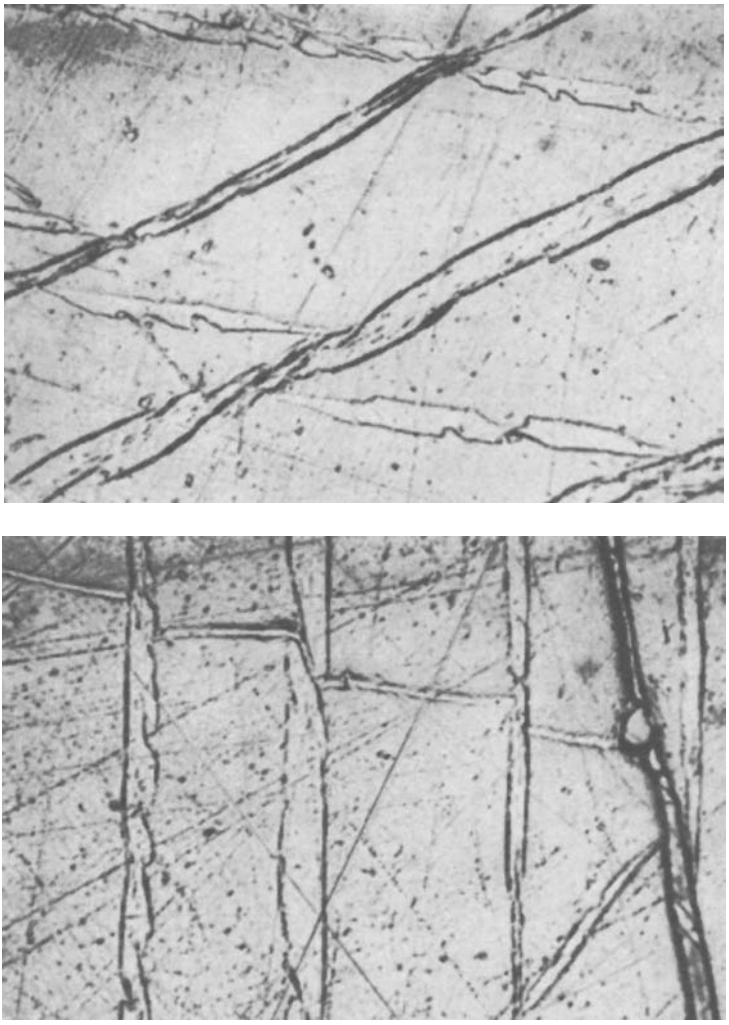


Рис. 20. Картины неймановых линий (НЛ), четко отражающие сдвижения в кристаллах камасита. На нижнем снимке виден перегиб (вязкое течение) атериала ранней генерации НЛ, нарушаемый сдвижениями по линиям поздней генерации НЛ (вертикальные). Причем обе генерации НЛ прерываются на барьере плотной ламелли тэнита (справа, субвертик. рельефный). Осколок МС-3. Аншл. протр., увел. 1000×

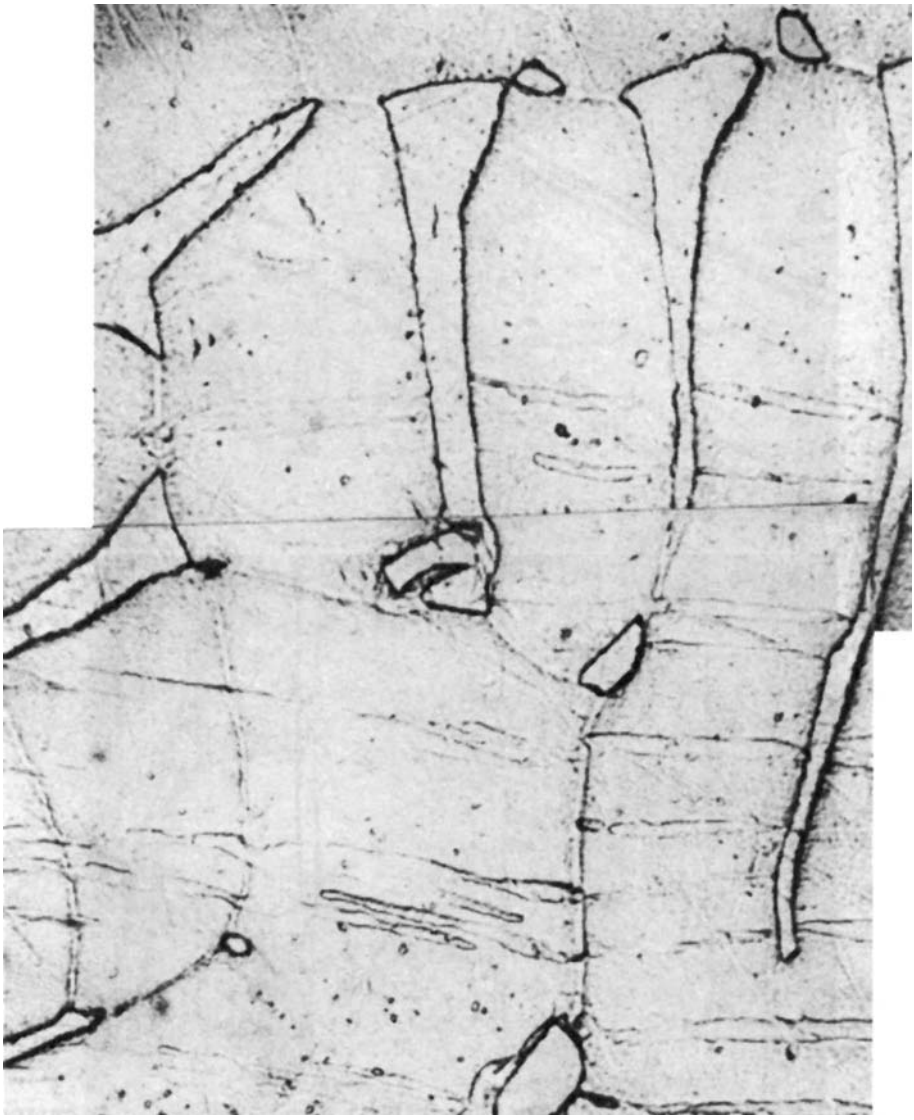
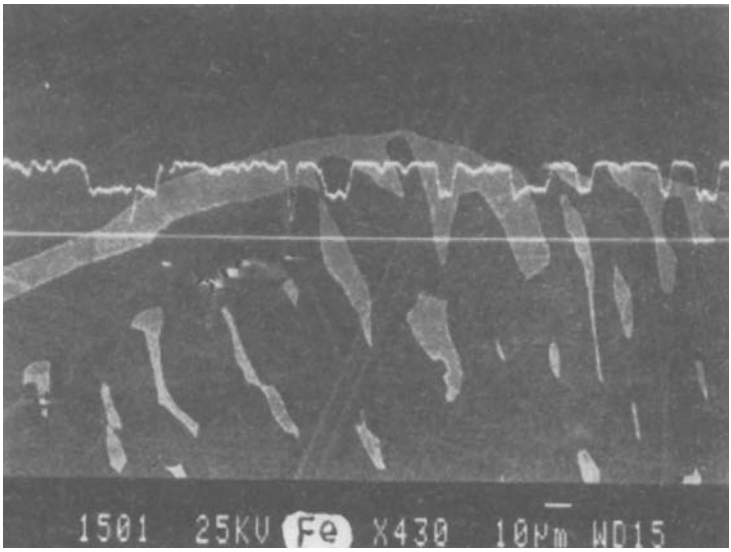


Рис. 21. Видны заметные искривления ламеллей тэнита (рельефные) в поле камасита, трассируемые субвертикальными белыми следами неймановых линий и совпадающие с последними

Осколок МС-3. Аншл., увел. 1000×



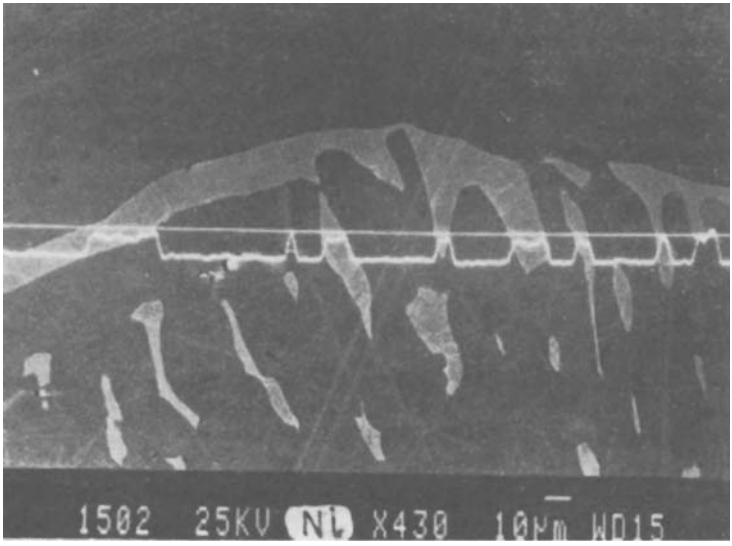
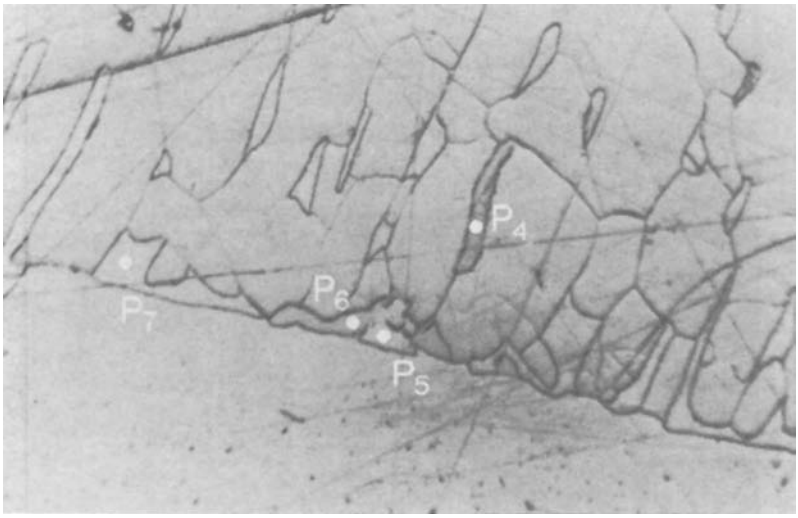


Рис. 22. Картины линейного сканирования на Fe и Ni через ламелли тэнита в камасите (ЭМ JSM 840, приставка Link 860). Видны резкие повышения содержаний Fe и Ni, сответственно в полях камасита и тэнита

Осколок МС-3. Аншл. протр., увел. 430$^{\times}$



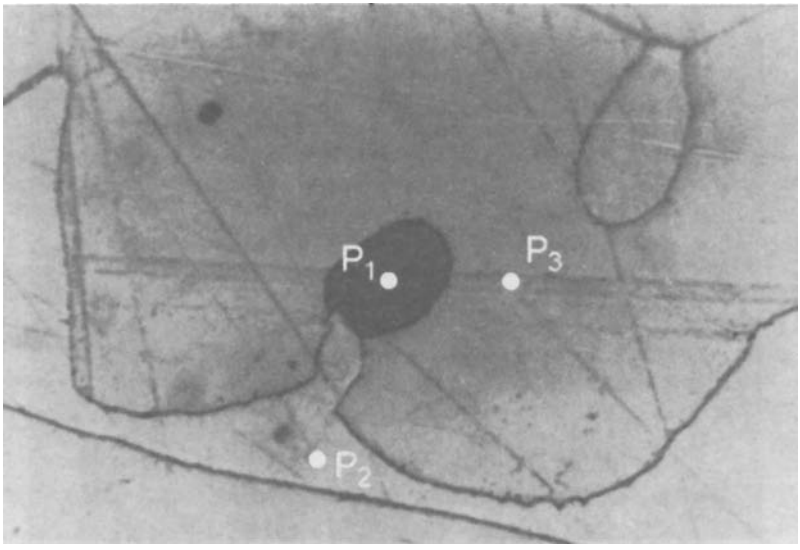


Рис. 23. Схемы электронно-микрозондового анализа минералов в пунктах: P_1-добреелит, P_2, P_5, P_7-тэниты; P_3-камасит; P_4, P_6-шрейберзиты (анализы приведены в таблицах 5, 6 и 7)

Осколки МС-1 и МС-3. Аншл. протр., увел. 400$^{\times}$, 800$^{\times}$

Рис. 24. Сечение «хвостовых» окончаний ламеллей тэнита в камасите. Осколок МС-3. Аншл. протр., увел. 1250×

Рис. 25. Овальное (0,8×0,5 мм) включение троилита (светло-серое) в поле камасита (белое). Белые клиновидные выделения в троилите - пластинки добреелита (?!) (см. также рис. 17); черные - пустотки раскрашивания

Осколок МС-1. Аншл. протр., увел. 100$^{\times}$

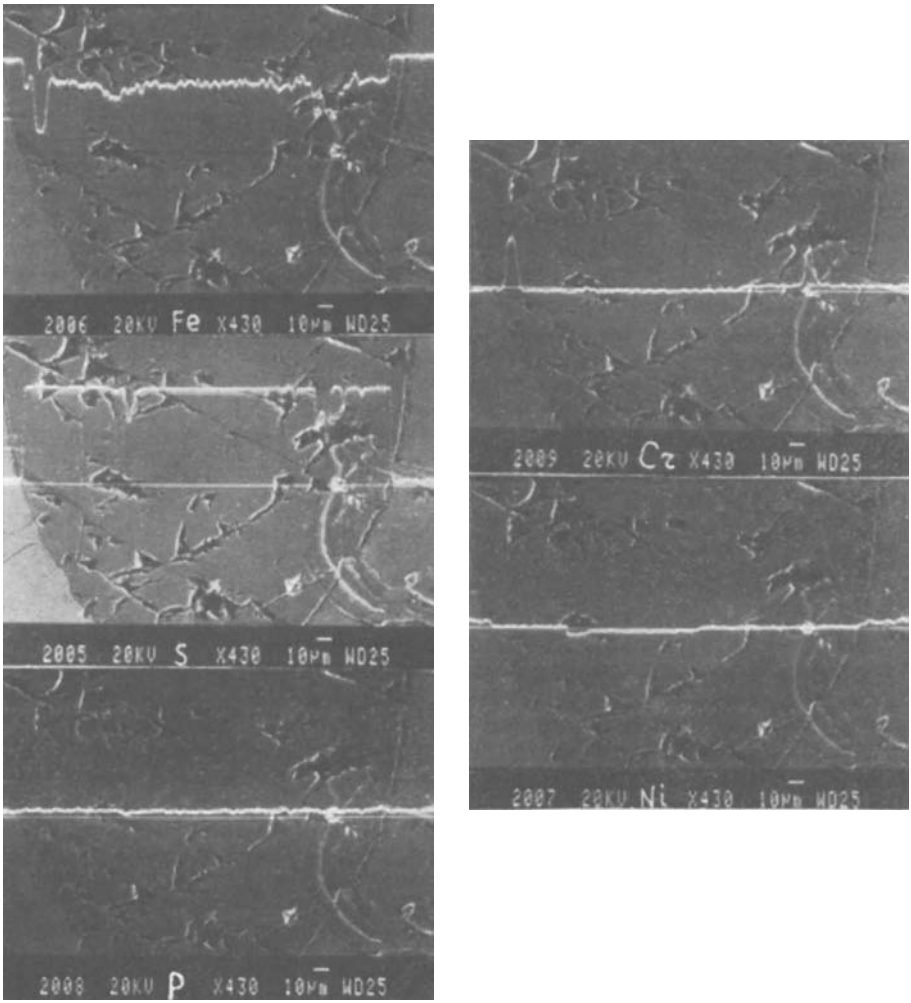


Рис. 26. Картинки линейного сканирования включений троилита в камасите на Fe, S, P, Cr, Ni (ЭМ JSM 840, приставка Link 860). Кроме высокого уровня содержаний Fe и S в троилите, в клиновидных выделениях в нем (см. рис. 18) зафиксированы высокие содержания Cr и S и пониженное Fe (при отсутствии Ni и P), очевидно соответствующие добреелиту ($FeCr_2S_4$). Осколок МС-3. Аншл. протр., увел. 430$^{\times}$

Рис. 27. Сечение ограненного кристалла троилита (серое) в камасите (белое поле)

Осколок МС-3. Аншл. протр., увел. 430×

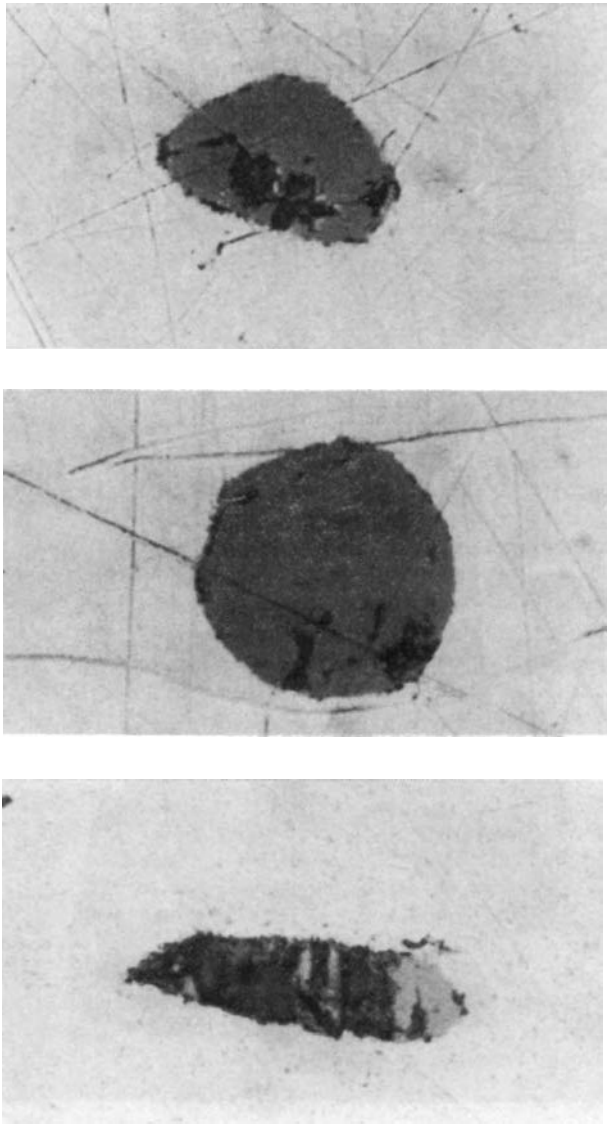


Рис. 28. Сечения полуограненных кристаллов троилита (серые) в поле камасита (светло серое)

Осколок МС-3. Аншл. протр., увел. 250$^{\times}$

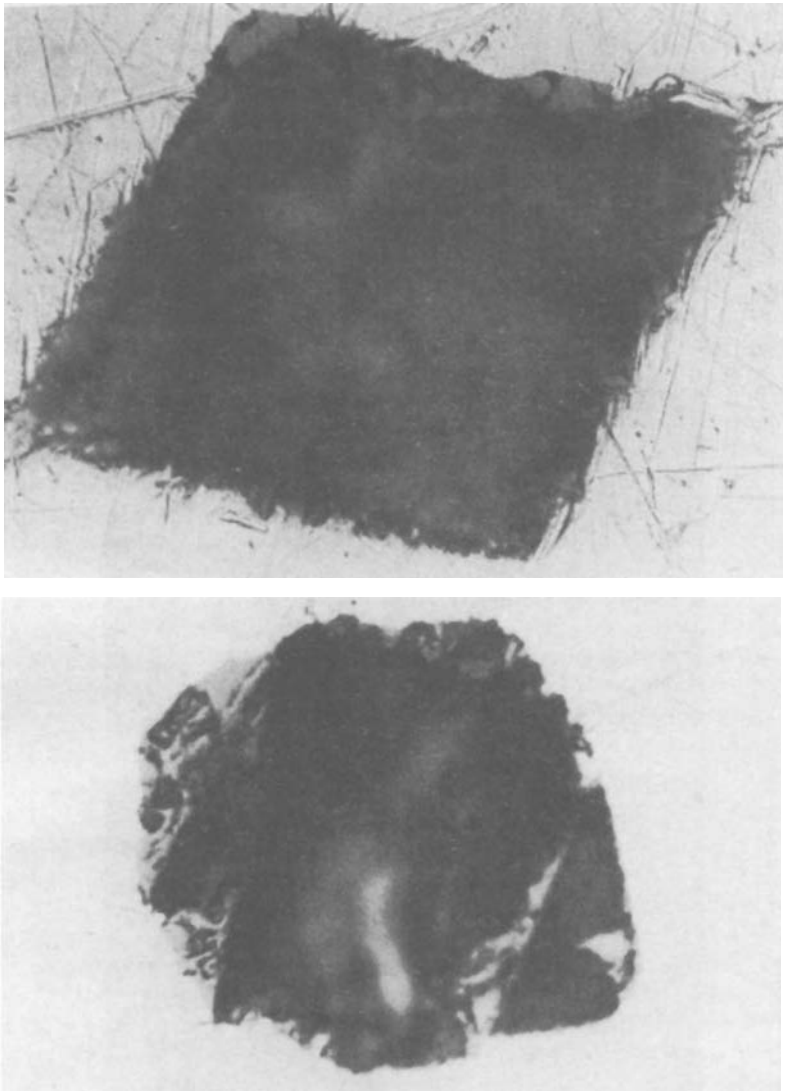


Рис. 29. Сечения (темно-серые пустоты) раскрашенных при распиловке ромбовидных включений троилита в камасите. По-видимому эти формы подчинены кристаллической структуре последнего

Осколок МС-3. Аншл., увел. 250×

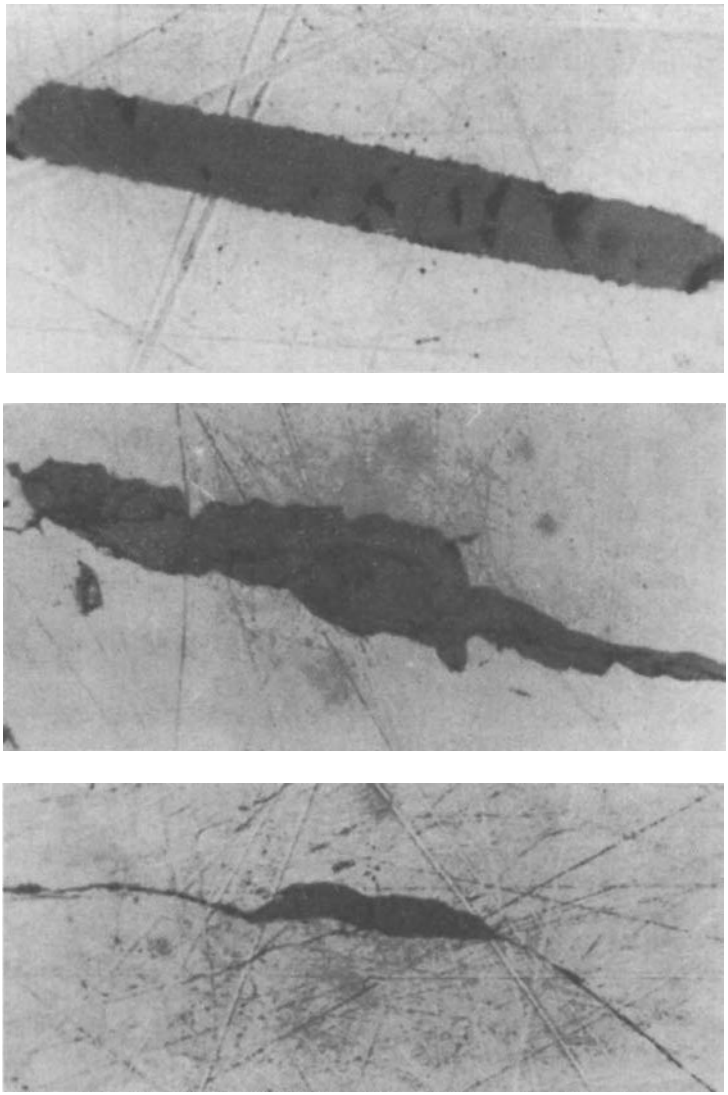
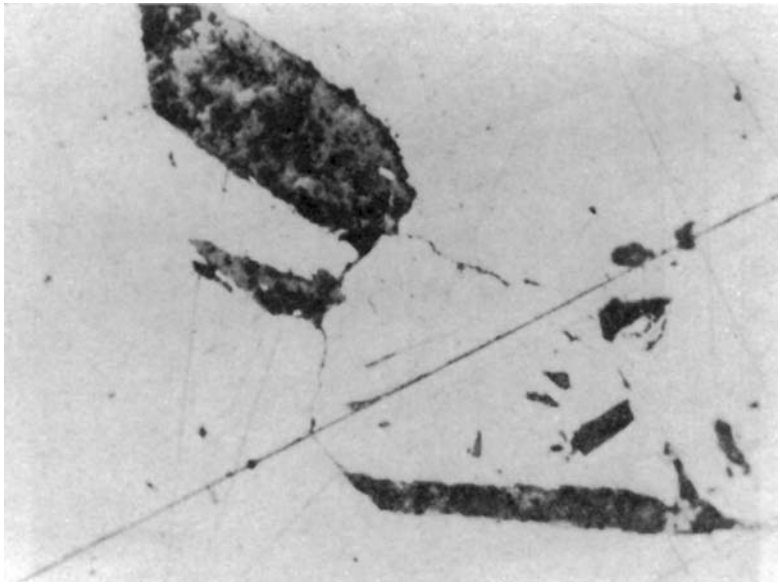


Рис. 30. Удлиненные включения троилита (серые) в камасите (светло-серый). Верхнее - «ограненный» (подчиненный ? структуре камасита) кристалл; среднее и нижнее - выполняют трещинки (поры) и частично раздроблены. Осколок МС-3. Аншл., увел. 250$^{\times}$



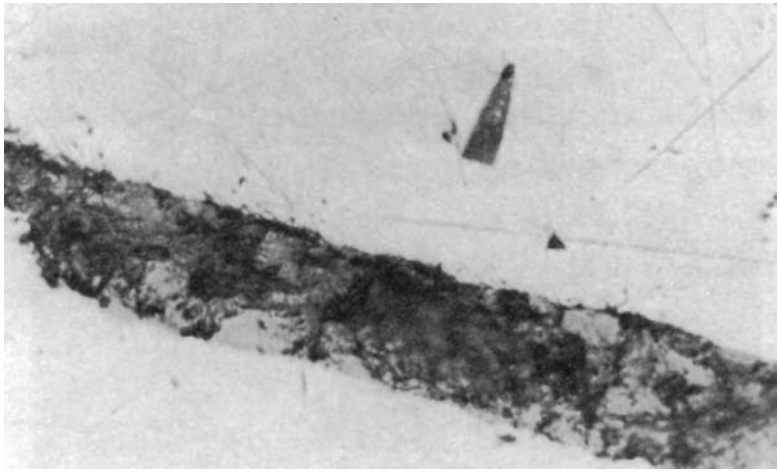


Рис. 31. Вверху - включения троилита (светло- и темно-серые) в камасите (белое поле), дробленные внутри и связанные причленением поздних трещинок; внизу - фрагмент нижнего включения

Осколок МС-3. Аншл., увел. 250$^{\times}$ и 800$^{\times}$

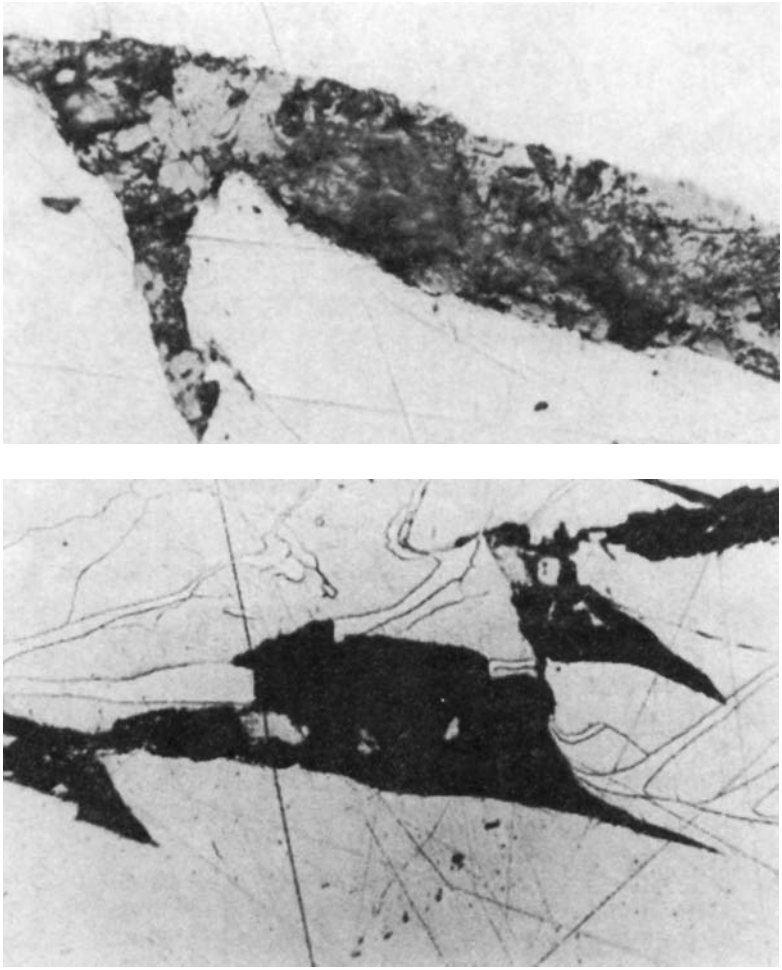


Рис. 32. Вверху - продолжение с рис. 29 нижнего дробленного включения троилита, вдающегося в другую трещинку; внизу - фрагмент другого включения дробленного троилита, растащенного по системе трещинок и сгоревшего в них до магнетита (черные); хорошо видны белые ленточки тэнита, изогнутые вблизи этой поздней системы трещин ударной природы. Осколок МС-3. Аншл., увел. 800$^{\times}$

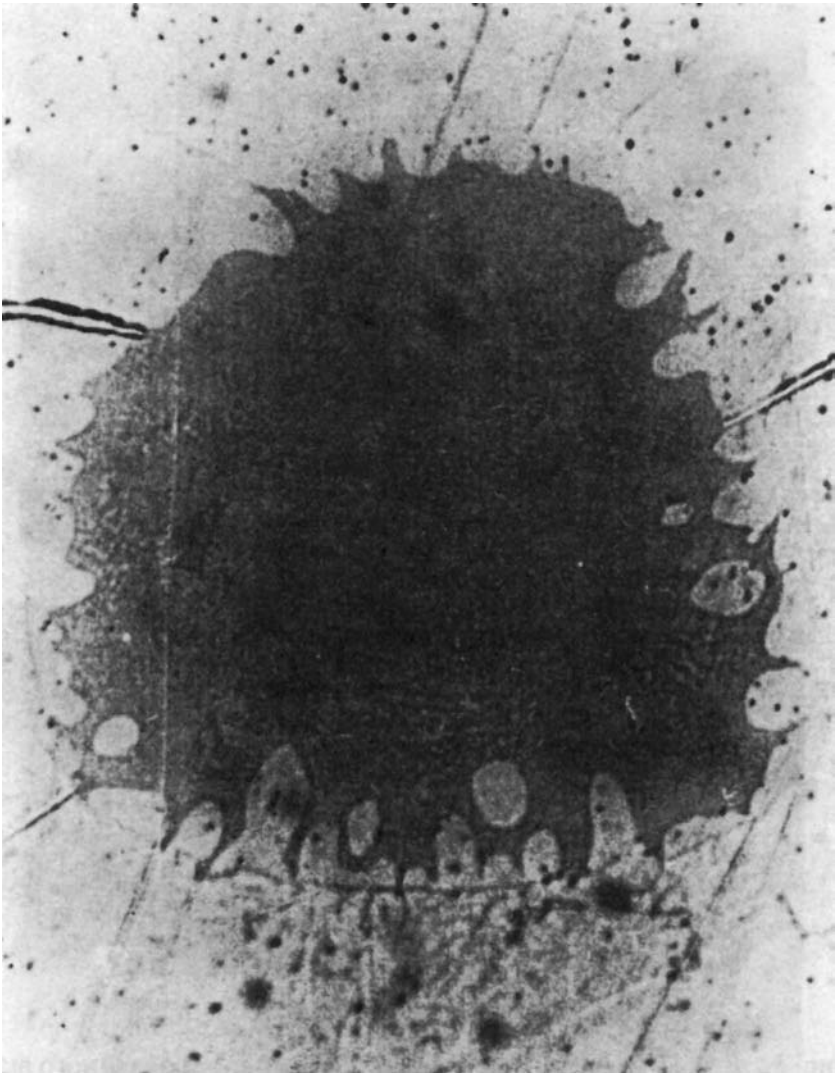


Рис. 33. Трехфазное ликвационного типа включение в камасите. Состав фаз не анализировался

Осколок МС-3. Аншл. протр., увел. 1000$^{\times}$

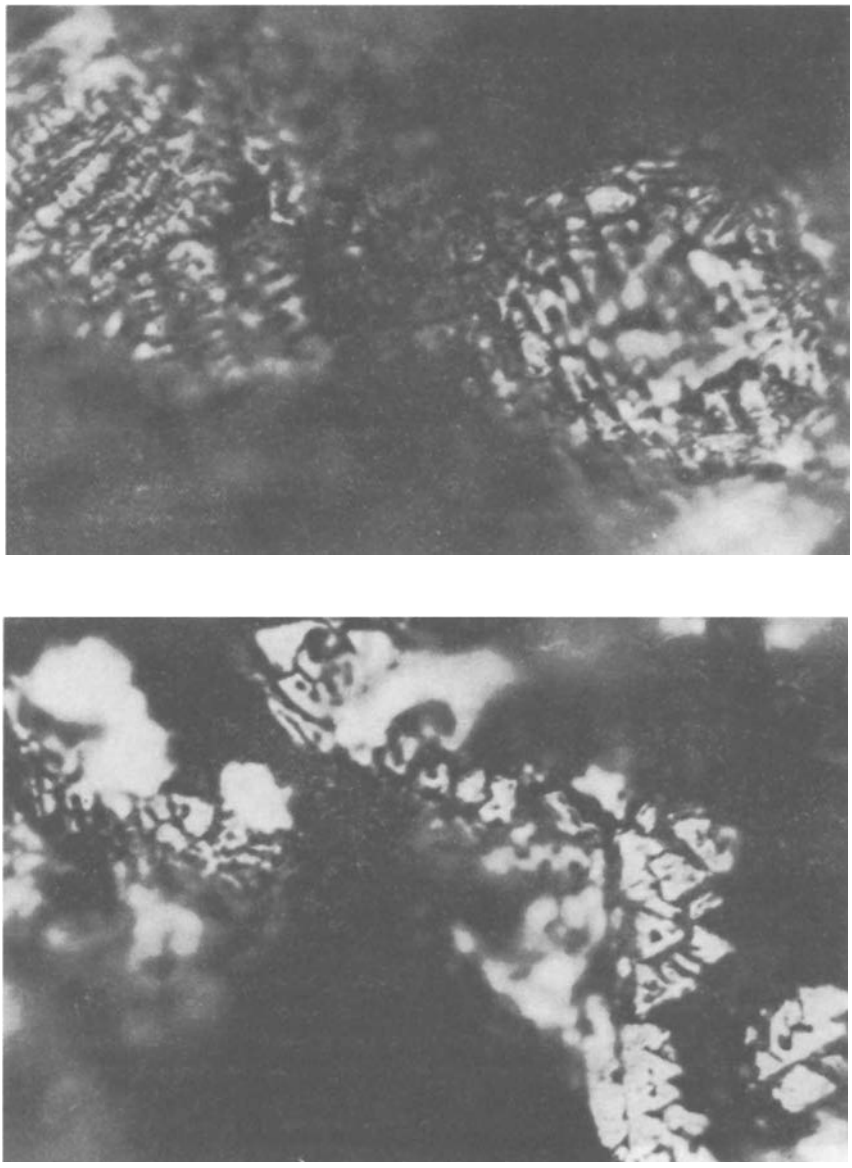
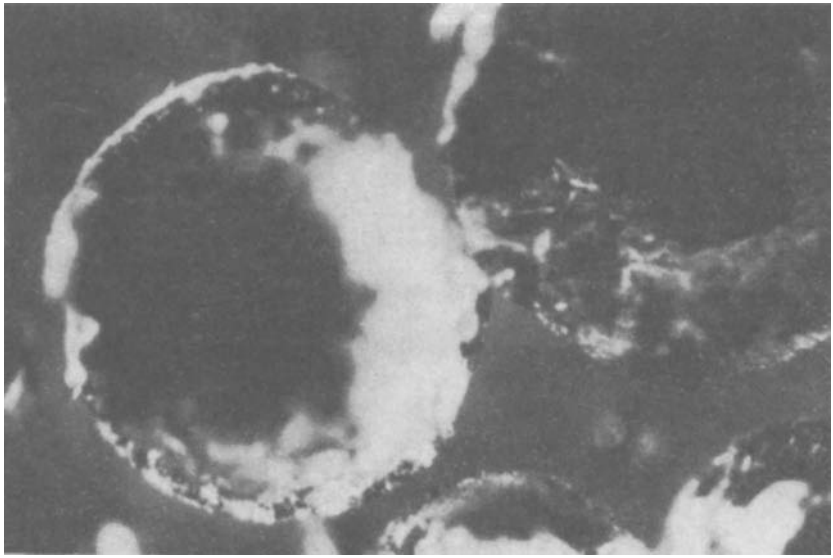


Рис. 34. Микрокристаллические агрегаты магнетита в трещинках обгоревшей поверхности осколка МС-3. Увел. 250$^{\times}$



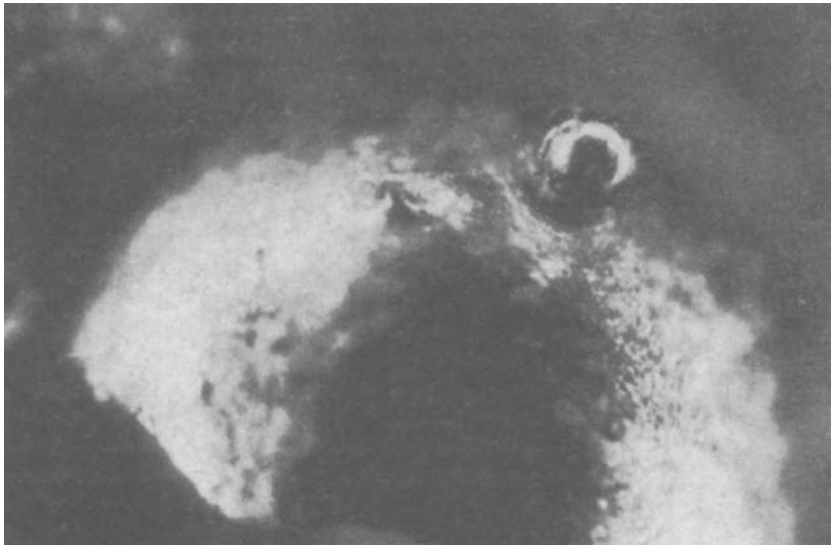
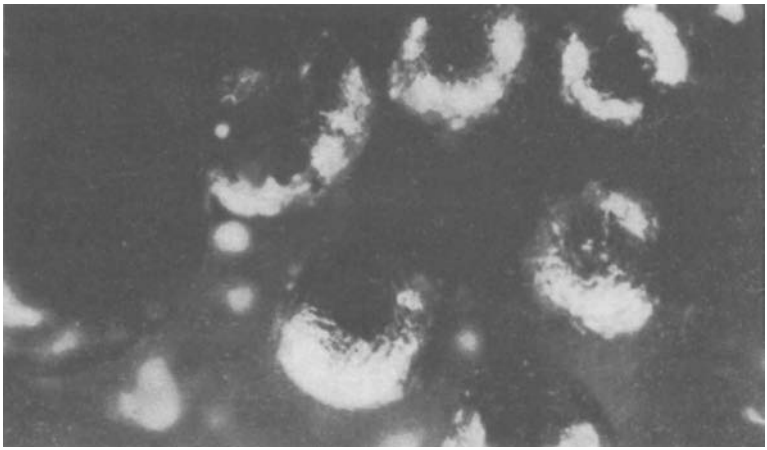


Рис. 35. Полые миксферулы расплавленных окислов железа, задержавшихся в обожженной глине на поверхности осколка МС-5. Диаметр сферул от 0,05 мм до 0,3 мм



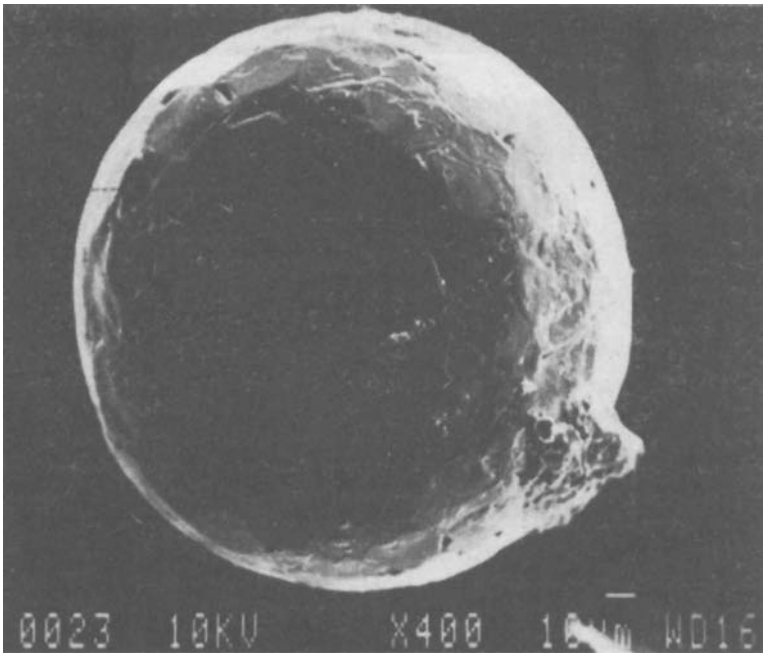
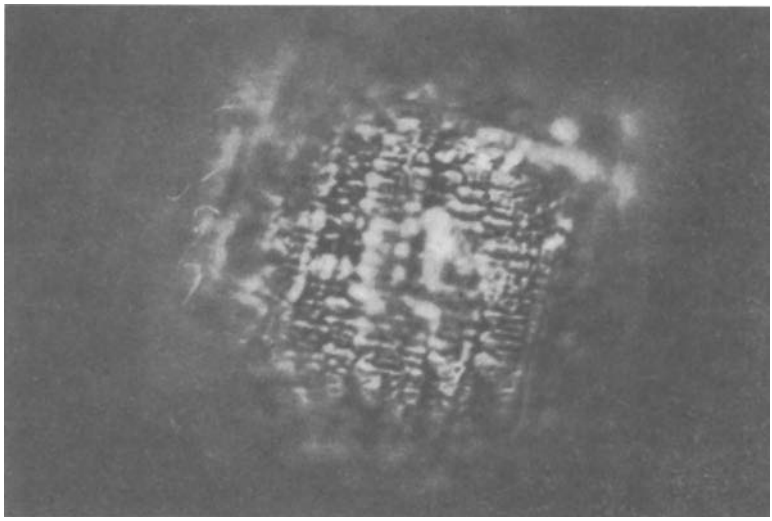


Рис. 36. Микросферулы иоцита (?) и магнетита из обожженной глины на поверхности осколка МС-5. На сферулах заметна слабая раскристаллизация расплава. Увел. 100× и 400×



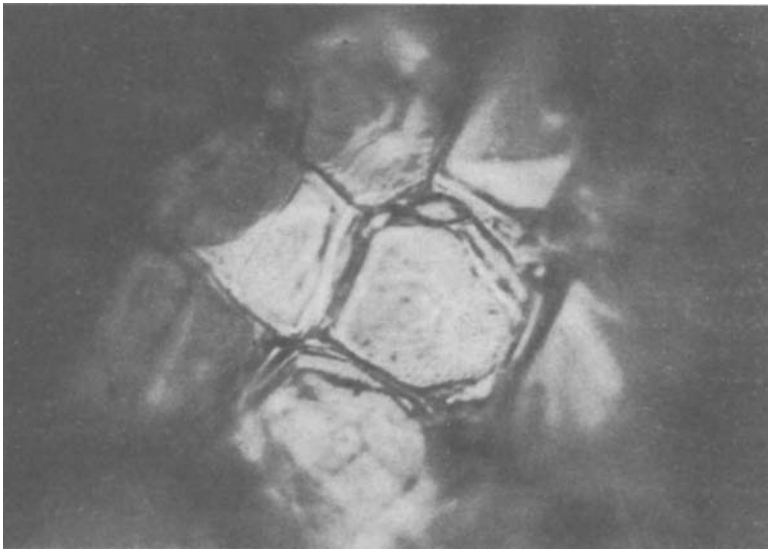


Рис. 37. Микрокристаллические скульптуры поверхности магнитных микросферул из обожженной глины на осколке МС-5

Увел. 800× и 1600×

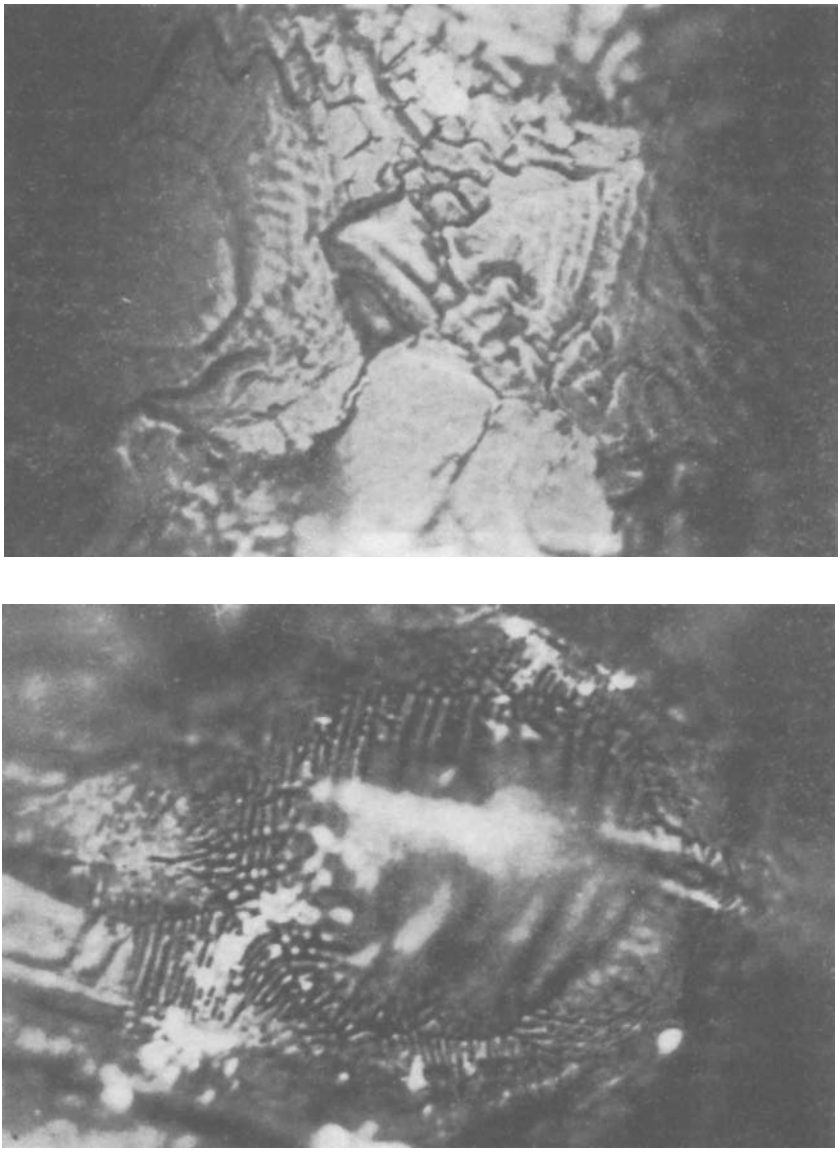


Рис. 38. Микрокристаллические скульптуры поверхности магнитных микросферул из обожженной глины на осколке МС-5. Увел. 1000$^{\times}$

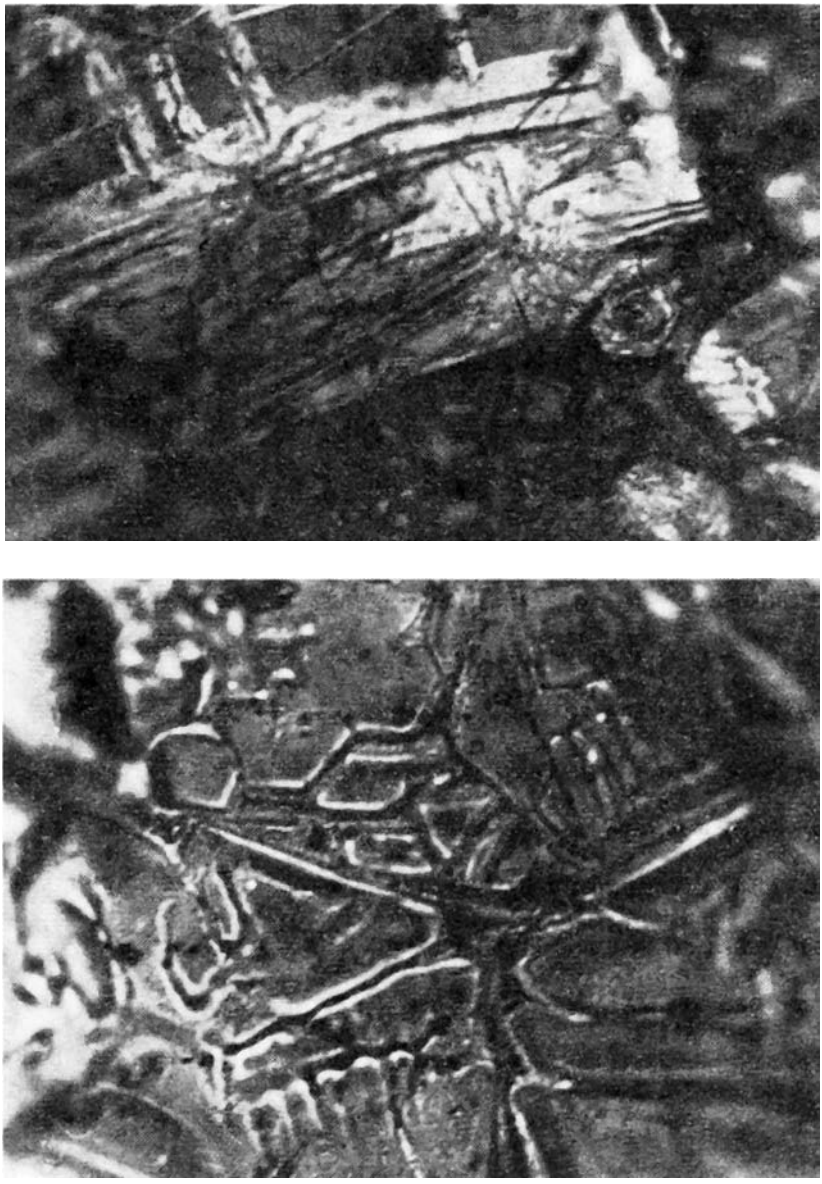


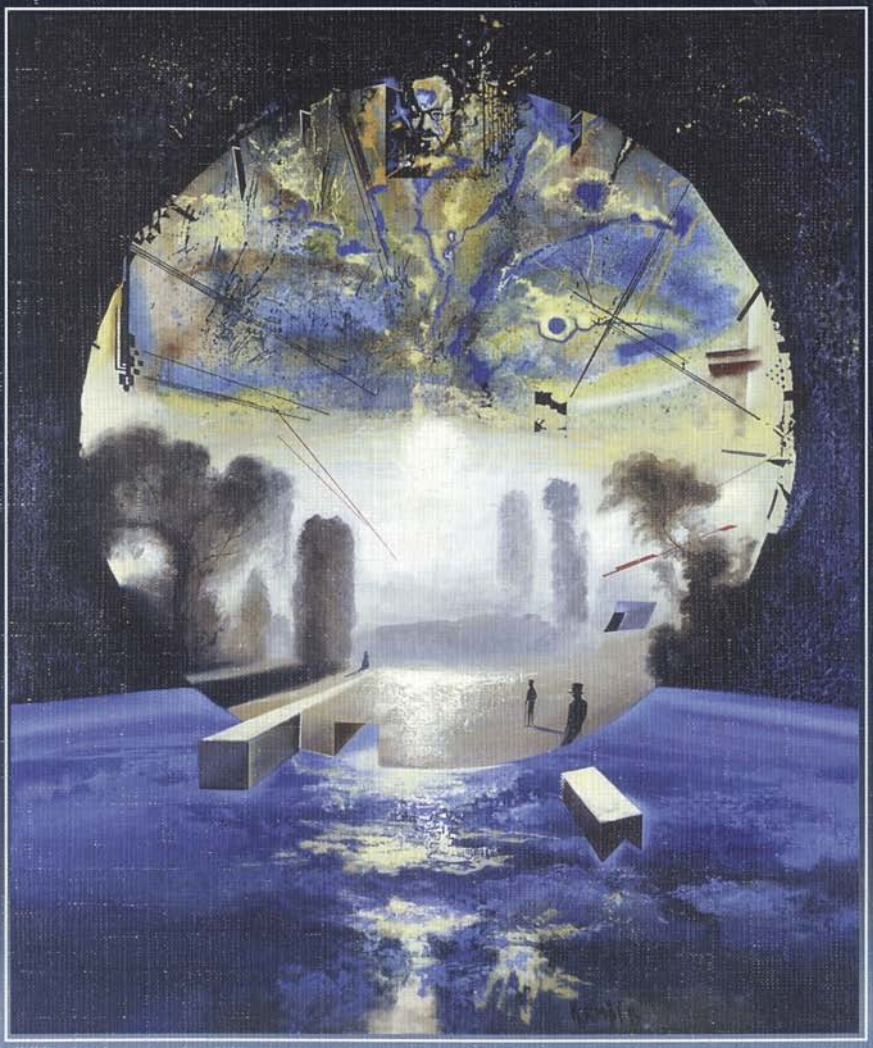
Рис. 39. Микрокристаллические скульптуры поверхности магнитных микросферул из обожженной глины на осколке МС-5. Увел. 1250×

Сагит Шарипович Юсупов
Делир Нурзадаевич Салихов
Эмир Зуфарович Гареев
Александр Владимирович Бурдаков
Геннадий Александрович Перминов

МЕТЕОРИТ «СТЕРЛИТАМАК»

Оригинал-макет подготовлен в Институте геологии УНЦ РАН
А.В. Бурдаковым

На обложке репродукции картин
члена-корреспондента Российской Академии художеств,
заслуженного художника РБ Краснова С.Б.
(На первой странице обложки «Романтический лунный дом»,
на последней странице обложки «НЛО с автопортретом неизвестного»)

Рекомендовано к изданию Ученым советом
Института геологии Уфимского научного центра РАН
№ 6 от 7 мая 2002 г.

Отпечатано в тип. «Информреклама». Тир. 150. Зак. 407.
450077, г.Уфа, ул. Ветошникова, 97. Тел.: (3472) 520-194. E-mail: reklama@ufacom.ru