

ПЕТРОЛОГИЯ, ВУЛКАНОЛОГИЯ

УДК 552.63+523.681.2

Вещественный состав метеорита Северный Колчим

Ю.В. Ерохин, В.А. Коротеев, В.В. Хиллер, К.С. Иванов, А.В. Захаров

Институт геологии и геохимии УрО РАН, 620016, г. Екатеринбург, ул. Академика

Вонсовского, д. 15. E-mail: erokhin-yu@yandex.ru

(Статья поступила в редакцию 25 апреля 2019 г.)

Приведены современные данные о вещественном составе метеорита Северный Колчим, найденного на территории Пермского края в 1965 г. Установлено, что космическое вещество сложено форстеритом, энстатитом, диопсидом, плагиоклазами (олигоклазом, битовнитом), стеклом, хромитом, магнетитом, ильменитом, рутилом, металлами железа и никеля (камаситом, тэнитом и тетратэнитом), сульфидами (троилитом, пентландитом), хлорапатитом и мерриллитом. При этом диопсид, тетратэнит, хлорапатит и мерриллит определены в метеорите Северный Колчим впервые. Приведены данные о химическом составе минералов и микроэлементном составе породы. Сам метеорит является неравновесным каменным хондритом и относится к петрологическому типу НЗ.

Ключевые слова: *метеорит, Северный Колчим, Н-тип, минералогия, геохимия.*

DOI: 10.17072/psu.geol.18.3.194

Введение

Метеорит Северный Колчим был найден в 1965 г. в Красновишерском районе Пермской области (ныне Пермский край) геологом В.А. Сиговым в 8,5 км юго-восточнее пос. Северный Колчим и в 8,5 км северо-восточнее д. Коноваловой (Иванов, 1969). Место находки расположено в окрестностях речки Язьва, левого притока р. Вишера. Камень найден в корнях вывороченной ветром ели, на высоте около 1,5 м над землей. Время падения метеорита оценивается от 10-15 тыс. лет (по возрасту покровных суглинков) (Иванов, 1969) до 100 лет (по возрасту упавшего дерева) (Логинов, 1991, 2004). Его размер составлял 9×11×12 см, форма овальная с ровной поверхностью и сглаженными гранями, общий вес около 2 кг, при этом до исследователей дошло всего 1,39 кг космического вещества. В частности, три фрагмента (общей массой до 0,66 кг) хранятся в Уральском геологическом музее. Небольшой кусочек от одного из этих фрагментов был передан нам для детального изучения (рис. 1).

Кроме того, некоторую часть метеоритного вещества мы получили от первого исследователя данного хондрита, доктора геол.-мин. наук О.К. Иванова.

Рис. 1. Фрагмент хондрита Северный Колчим, переданный нам для изучения

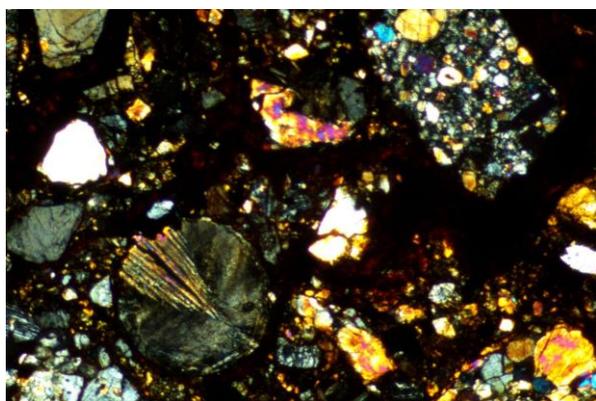


Рис. 1. Фрагмент хондрита Северный Колчим, переданный нам для изучения

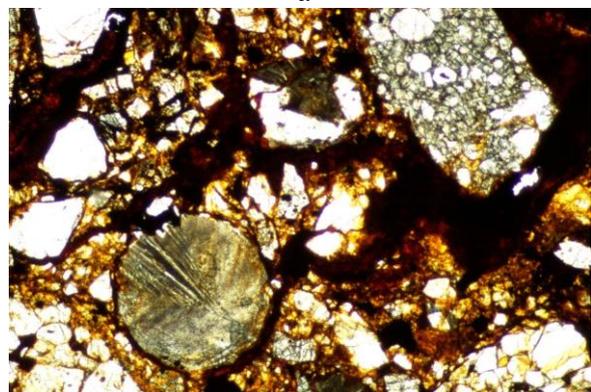
Краткие сведения о метеорите Северный Колчим

Метеорит определяется как обычный, неравновесный, хондрит класса НЗ с брекчированной структурой и присутствием мономинеральных обломков и ахондритов, различных хондр и стеклянных шариков (см. рис. 2). Он подвергся значительному вывет-

риванию (W3 по В.В. Шарыгину, С.В. Колисниченко, 2017) с интенсивным развитием гидроокислов железа, за счет чего приобрел коричневую окраску, хотя местами на поверхности камня сохранились зоны оплавления и регмаглипты (застывшие капли расплава). Минеральный состав: оливин, ортопироксен, плагиоклаз, хромит, ильменит, рутил, камасит, тэнит, шрейберзит, троилит, пентландит, медь, стекло, а также вторичные и гипергенные минералы (гетит, бравоит, халькозин, ковеллин, пирит, магнетит и глинистое вещество) (Иванов, 1969; Логинов, 1991, 2004; Назаров и др., 1983; Юдин, 1970а, 1970б; Юдин, Коломенский, 1987). К сожалению, диагностика минералов проводилась в разное время и практически всегда на основании лишь петрографических (оптических) определений, поэтому получился такой разнообразный минеральный состав. Нами проведена ревизия и получены новые данные о вещественном составе хондрита Северный Колчим, существенно дополняющие прежние литературные сведения.



а



б

Рис. 2. Строение метеорита Северный Колчим. Фотография шлифа с анализатором (а) и без анализатора (б). Размер поля 1,5 мм

Методы исследования

Химический состав породообразующих и аксессуарных минералов определен с полированных шлифов метеорита в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) на электронно-зондовом микроанализаторе САМЕСА SX 100 с пятью волновыми спектрометрами и с использованием стандартных образцов эталонных минералов (аналитик В.В. Хиллер).

Микроэлементный состав метеорита изучен в ИГГ УрО РАН (г. Екатеринбург) по стандартной методике. Рассеянные элементы измерены на масс-спектрометре ICP-MS ELAN-9000 с предварительным растворением истертой пробы в кислотах (аналитики Д.В. Киселева, Н.В. Чередниченко).

Химический и микроэлементный состав метеорита

Первая попытка определить химический состав метеорита Северный Колчим была предпринята еще в 1969 г. (Иванов, 1969). Был получен частичный анализ хондрита (в %): Fe – 22,23; Al₂O₃ – 3,83; Ni – 1,34; S – 1,79; Cu – 0,04; Pb – 0,02.

Таблица 1. Микроэлементный состав метеорита Северный Колчим, г/т

Li	0,28	La	0,30	Hf	0,10
Be	0,01	Ce	0,73	Ta	0,03
Sc	4,41	Pr	0,11	W	0,09
Ti	319,6	Nd	0,50	Pb	0,15
V	26,27	Sm	0,17	Th	0,04
Cr	975,4	Eu	0,05	U	0,01
Mn	2186,6	Gd	0,18	Te	0,14
Co	1002,5	Tb	0,03	Cs	0,06
Ni	16357	Dy	0,21	Ba	7,17
Cu	65,25	Ho	0,04	Y	2,31
Zn	50,39	Er	0,14	Zr	7,26
Ga	5,11	Tm	0,02	Nb	0,45
Ge	5,96	Yb	0,15	Mo	4,37
Rb	4,54	Lu	0,02	Sb	0,05
Sr	8,38	Ag	0,04	Sn	0,37

Полный и единственный анализ метеорита был приведен только в 1983 г. (Назаров и др., 1983). Химический состав хондрита следующий (в мас.%): SiO₂–32,36; TiO₂–0,09;

Al_2O_3 –2,01; Cr_2O_3 –0,39; Fe_2O_3 – 21,72; FeO –7,57; NiO –1,79; MnO –0,22; MgO – 21,39; CaO –1,62; Na_2O –0,39; K_2O –0,08; P_2O_5 – 0,37; H_2O –4,01; S –2,06; Fe –0,74; C –0,27. Нормативный состав, пересчитанный по данному анализу, показал, что хондрит состоит из следующих минералов: гидроокислы железа – 27.6 %, оливин – 25.3 %, пироксены – 32.4 %, плагиоклаз – 7.2 %, сульфиды – 5.7 %, акцессории (хромит, ильменит, апатит) – 1.8 %.

По содержанию микроэлементов (табл. 1) метеорит достаточно близок к обыкновенным хондритам H-, L- и LL-типов, средний состав которых приводится J.T. Wasson, G.W. Kallemeyn (1988).

Строение метеорита

Визуально в метеорите можно выделить три основные генетические ассоциации минералов: первичного вещества, коры плавления и зоны окисления.

Метеорит имеет неоднородный общий цвет – от темно- до светло-зеленого, текстура его брекчиевая мелко- и микрообломочная. Структура хондритовая. Обломки встречаются трех типов: крупнее хондр, того же размера с хондрами и микрообломочный материал.

Наиболее крупные обломки достигают 0,8 см и имеют прямоугольную или вытянутую форму. Обычно они черного или серого цвета, микропорфировой структуры, скелетные кристаллы оливина как бы «залиты» стекловатой массой, содержащей микровключения хромита, троилита и камасита. Кроме силикатных обломков, встречаются сульфидные, которые несколько меньше, до 0,6 см, сложенные в основном троилитом, реже пентландитом (Иванов, 1969).

Хондры, обломки хондр и обломки, равновеликие хондрам, имеют средний диаметр 0,4-0,6 мм, иногда 1,5 мм. Хондры сферической, реже овальной формы и разнообразного минерального состава. При этом целиком сохранившиеся хондры относительно редки. По данным М.А. Назарова с коллегами (1983), хондры делятся на 5 групп по соотношению оливина, пироксена и стекла: 1) преимущественно пироксеновые; 2) пи-

роксен-оливиновые; 3) оливин-пироксеновые; 4) преимущественно оливиновые; 5) оливиновые хондры, обогащенные стеклом. Редко попадаются хондры, сложенные троилитом, и троилит-камаситовые. Наиболее распространены в метеорите пироксеновые хондры, хотя в отдельных фрагментах породы оливиновые образования иногда преобладают.

Структура хондр при этом отличается разнообразием, встречаются микропорфировые и микропорфирово-лучистые, колосниковые и сложноколосниковые, а также призматически-зернистые и эксцентрически-радиальные образования. Обломки, близкие по размерам к хондрам, имеют округлую и неправильно-округлую форму. В основном они сложены стеклом с микровкрапленниками оливина. Изредка встречаются тонкозернистые обломки с полосовидной и пятнистой текстурой.

Промежутки между обломками первой и второй величины заполнены более мелкими обломками, представляющими кристаллики оливина и пироксена (см. рис. 3), а также их обломки. Эти мономинеральные зерна иногда несут следы ударного воздействия, т.к. имеют мозаичное и волнистое погасание. Здесь же встречаются мелкие, ясно различимые полигональные, неправильные и амёбовидные обломки хондр, всегда с очень неровными очертаниями, а также зерна троилита и никелистого железа, часто в сростании друг с другом. Изредка наблюдаются обломки и идиоморфные кристаллики хромита, а также шарики девитрифицированного стекла. Распределение обломков разного состава неравномерное, что особенно хорошо видно по троилиту и камаситу. Некоторое повышение концентрации этих минералов наблюдается на поверхности хондр и обломков, что выражается в появлении кайм из троилита и никелистого железа (Иванов, 1969).

Интересна находка обломка полевошпатового ахондрита размером до 0,8 мм (Назаров и др., 1983). Плагиоклаз в этом фрагменте породы содержится до 19 об.% и представлен четкими лейстовидными кристаллами. Структура обломка субофитовая, размер зерен 50-70 мкм. С точки зрения земной пет-

рографической систематики данный обломок определяется как меланократовый оливинно-вольтинит.

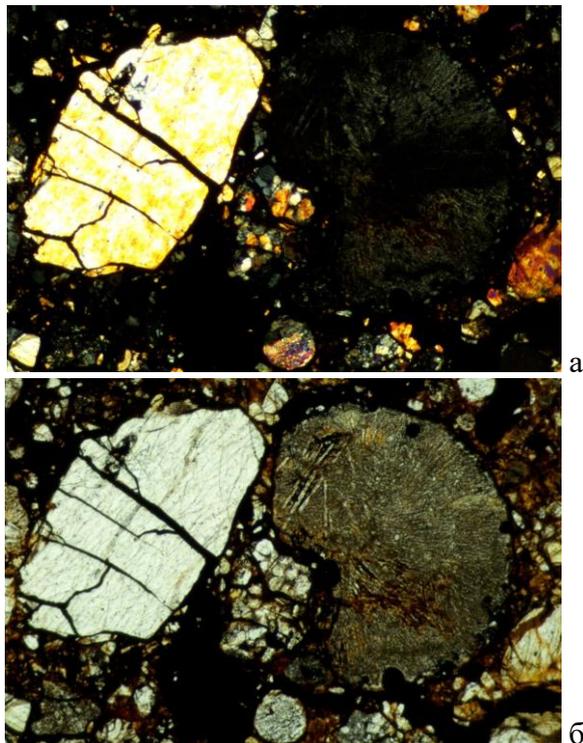


Рис. 3. Энстантитовый обломок и хондра в метеорите Северный Колчим. Фотография шлифа с анализатором (а) и без анализатора (б). Размер поля 1 мм

Кора плавления хондрита развита в виде тонкой плёнки черного цвета, состоящей из сильномагнитного материала. Вблизи коры плавления от некоторых зерен троилита отходят жилки, видимо, переотложенного сульфидного вещества (при разогреве метеорита троилит расплавился и перетек в открытые трещины). В центральной части хондрита таких жилок вокруг зерен троилита не отмечалось. В целом корка плавления сильно затушевана процессами выветривания.

Периферическая часть образца имеет в разрезе отчетливую зональность. Внешняя часть (за исключением коры плавления) светлого цвета, хондры потеряли крепость и прозрачность. Они рассечены прожилками гетита и легко рассыпаются при физическом воздействии. На расстоянии 0,5-0,7 см от поверхности метеорита хондры имеют белый цвет лишь с краев. Такое изменение наблюдается по всей поверхности хондрита и про-

никает на 2-3 см вглубь вдоль крупных радиальных трещин, постепенно выклиниваясь.

Внутренняя зона мощностью около 2 мм темного цвета из-за гидрогетитизации сульфидов и никелистого железа при отсутствии изменения породообразующих силикатов. Интересно, что металлическое железо более интенсивно замещается гидроокислами, нежели сульфиды. Часть железа при этом замещении выносилось по трещинам и перетлагалось в виде гетитовых прожилков.

Минеральный состав метеорита

Оливин в матрице хондрита – главный породообразующий минерал, слагает хондры и зерна размером до 1 мм (рис. 4). В основной массе характеризуется устойчивым химическим составом (табл. 2) и относится к форстериту с 17-20 % фаялитового минала. При этом в метеорите также отмечались хондры с более магниезиальным оливином от $Fe_{15.5-16.5}$ до $Fe_{6.2}$ (Назаров и др., 1983) и отдельные микроксенолиты с чистым форстеритом $Fe_{0.5-1}$ (Берзин, 2017; Berzin, 2018).

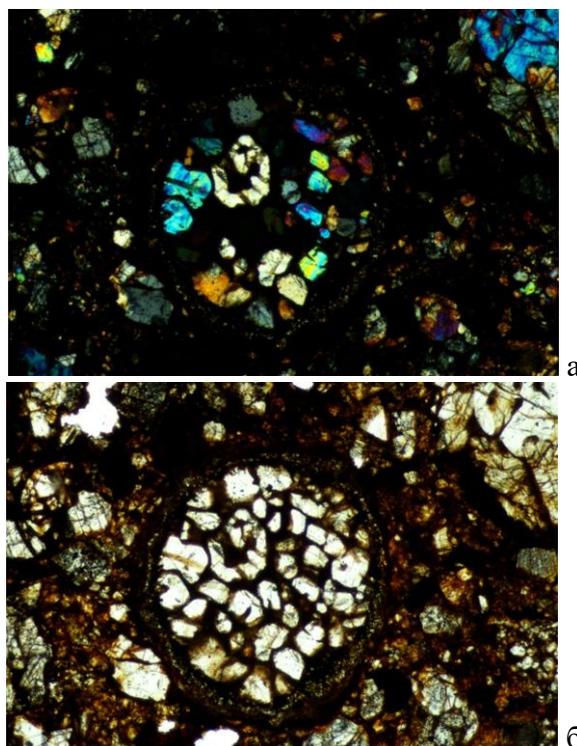
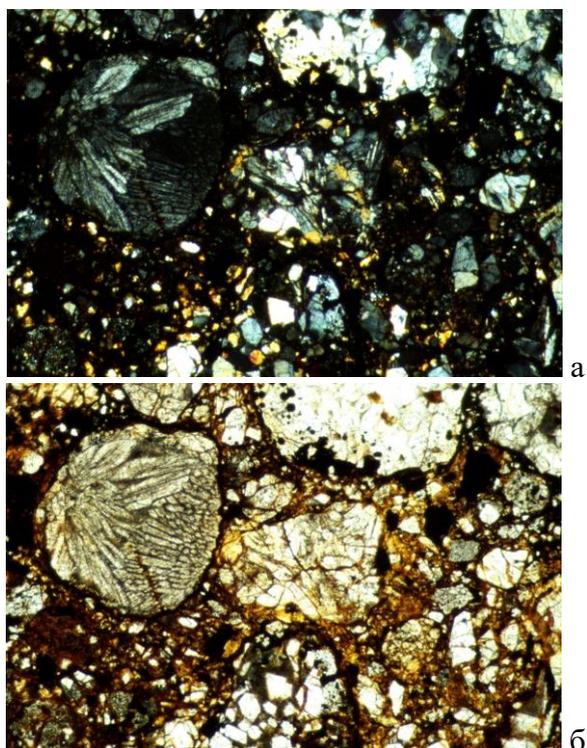


Рис. 4. Форстеритовая хондра в метеорите Северный Колчим. Фотография шлифа с анализатором (а) и без анализатора (б). Размер поля 1 мм

Таблица 2. Химический состав оливина в метеорите Северный Колчим, масс. %

Компонент	Анализ				
	1	2	3	4	5
SiO ₂	39,90	39,46	39,63	39,45	39,84
TiO ₂	0,01	0,01	0,03	0,01	0,01
Cr ₂ O ₃	0,03	0,01	0,03	0,03	-
NiO	0,06	-	0,03	0,02	0,04
FeO	17,75	17,58	16,66	16,19	17,69
MnO	0,43	0,41	0,42	0,37	0,48
MgO	42,05	42,10	43,14	43,35	41,93
CaO	-	-	0,03	0,03	0,01
Сумма	100,23	99,56	99,97	99,45	99,99

Ортопироксен, встречающийся как в хондрах (до 1,5 мм в диаметре, рис. 5), так и в матрице породы (зерна размером до 0,2 мм), в основном относится к энстатиту с 17-19 % минала ферросилита (табл. 3). При этом в метеорите также отмечались хондры с более магнезиальным ортопироксеном Fs_{8,5-14} (Назаров и др., 1983) и отдельные микроксернолиты с чистым энстатитом (Берзин, 2017).

**Рис. 5.** Энстатитовые хондры и обломки в метеорите Северный Колчим. Фотография шлифа с анализатором (а) и без анализатора (б). Размер поля 1,5 мм**Таблица 3.** Химический состав энстатита в метеорите Северный Колчим, мас. %

Компонент	Анализ				
	1	2	3	4	5
SiO ₂	55,64	55,77	55,05	54,75	55,68
TiO ₂	0,13	0,15	0,33	0,06	0,10
Al ₂ O ₃	0,13	0,16	0,40	0,80	0,12
Cr ₂ O ₃	0,09	0,13	0,26	0,81	0,21
NiO	0,06	0,04	0,09	0,33	0,11
FeO	11,25	11,32	12,41	12,53	11,07
MnO	0,42	0,60	0,46	0,5	0,43
MgO	30,87	30,48	29,95	29,00	30,50
CaO	0,55	0,69	0,75	0,64	0,68
Na ₂ O	-	0,02	-	0,22	0,03
K ₂ O	0,01	-	-	0,02	-
Сумма	99,15	99,36	99,70	99,66	98,93

Клинопироксен (ранее в метеорите не определялся) встречается значительно реже оливина и ортопироксена. Зерна моноклинного пироксена размером до 50 мкм приурочены к зонам дробления породы или к контактам оливина с ортопироксеном. Клинопироксен имеет вполне устойчивый химический состав (табл. 4, ан. 1-2), все анализы попадают в поле диопсида (En₄₇₋₄₉Wo₄₅₋₄₈Fs₆), практически на границе с полем авгита.

Таблица 4. Состав диопсида и плагиоклаза в метеорите Северный Колчим, масс. %

Компонент	Анализ, минерал				
	1	2	3	4	5
	диопсид		плагиоклаз		
SiO ₂	53,41	53,41	65,55	65,38	46,57
TiO ₂	0,27	0,4	0,4	0,04	0,12
Al ₂ O ₃	0,98	0,86	19,97	21,06	31,51
Cr ₂ O ₃	0,51	0,74	0,09	0,01	0,24
NiO	0,09	0,07	-	-	-
FeO	3,53	3,60	1,02	0,66	0,54
MnO	0,09	0,2	0,05	-	0,03
MgO	17,32	16,18	0,14	0,04	0,15
CaO	22,46	22,91	2,71	2,28	16,90
Na ₂ O	0,50	0,65	9,28	10,16	2,53
K ₂ O	0,03	0,01	1,15	0,86	0,06
Сумма	99,19	99,03	100,1	100,5	98,65

Примечание: ан. 1-4 – наши данные, ан. 5 – Назарова и др. (1983).

Плагиоклаз слагает мелкие зерна размером до 0,1 мм и выполняет ксеноморфные интерстиции между зернами породообразующих минералов, в том числе и в хондрах. По химическому составу минерал относится к олигоклазу (табл. 4, ан. 3-4) с присутствием минералов анортита (11-13 %) и ортоклаза (5-6 %). В обломках ахондрита установлен более кальциевый плагиоклаз, битовнит с небольшой вариацией состава Ap_{78-83} (табл. 4, ан. 5) (Назаров и др., 1983).

Стекло в хондрах в большинстве случаев частично раскристаллизовано и неоднородно по составу, что хорошо определяется не только микросондовым анализом, но и в изображениях отраженных электронов. По химическому составу (табл. 5) стекло разнообразно и характеризуется то преобладанием плагиоклазовой составляющей, то пироксеновой.

Таблица 5. Химический состав стекла в метеорите Северный Колчим, мас. %

Компонент	Анализ				
	1	2	3	4	5
SiO ₂	61,15	57,84	58,04	55,24	62,72
TiO ₂	0,54	0,51	0,17	0,16	0,36
Al ₂ O ₃	10,36	10,13	11,01	21,55	15,32
Cr ₂ O ₃	0,94	0,79	0,29	0,81	0,29
NiO	-	0,07	0,06	-	-
FeO	2,11	8,97	4,49	8,05	1,35
MnO	0,28	0,15	0,15	0,02	0,07
MgO	8,27	6,76	11,07	0,26	4,41
CaO	11,52	9,41	8,01	4,14	8,13
Na ₂ O	5,09	3,69	6,07	8,19	7,85
K ₂ O	0,12	0,07	0,49	0,27	0,33
Сумма	100,4	98,39	99,86	98,69	100,8

Примечание: ан. 1-3 – наши данные, ан. 4-5 – Назарова и др. (1983).

Хромшпинелид присутствует по всей матрице метеорита и в хондрах в виде изометричных зерен размером до 100 мкм (рис. 6). Обычно он слагает идиоморфные октаэдрические кристаллы и их обломки. По данным микросондового анализа хромшпинелид (табл. 6) относится к хромиту с примесью минералов герцинита (до 14 %), магнезиохромита (до 11 %) и ульвошпинели (до 6 %). При профилировании зерен оказалось, что

никакой зональности в кристаллах не отмечается. Местами, в зонах интенсивного выветривания, хромит замещается магнетитом и даже гетитом.

Таблица 6. Химический состав хромшпинелида в метеорите Северный Колчим, мас. %

Компонент	Анализ				
	1	2	3	4	5
TiO ₂	2,15	2,16	2,17	2,17	2,14
Al ₂ O ₃	6,25	6,26	6,36	6,17	6,15
Cr ₂ O ₃	57,97	58,56	58,45	58,27	57,81
NiO	0,03	-	-	0,02	-
FeO	28,24	27,50	27,37	27,50	27,67
MnO	0,59	0,65	0,64	0,65	0,61
MgO	4,04	3,95	3,99	3,92	4,02
CaO	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04
Сумма	99,30	99,10	99,00	98,74	98,44

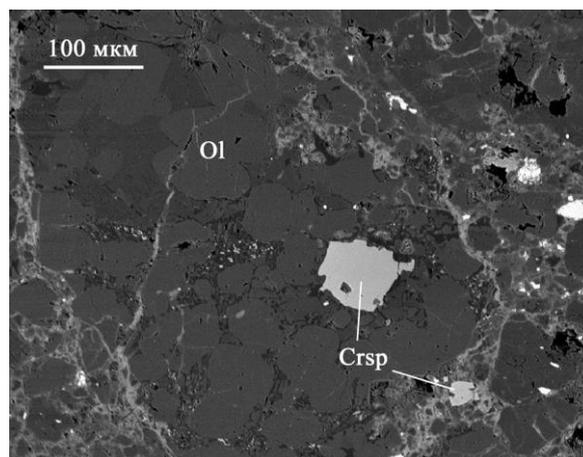


Рис. 6. Включения хромита (Crsp) в оливиновой (Ol) хондре в матрице метеорита Северный Колчим. Фотография в отраженных электронах, САМЕСА SX 100

Хлорапатит (ранее в метеорите не определялся) распылен по всей матрице хондрита и слагает редкие ксеноморфные зерна размером до 100 мкм. Индивиды фосфата с краев и по трещинам замещаются агрегатом гетита. Минерал отличается устойчивым химическим составом (табл. 7) и относится к хлорапатиту.

Кристаллохимический пересчет показывает вариацию в анионной группировке $(Cl_{0.65}OH_{0.28}F_{0.07}) - (Cl_{0.82}F_{0.09}OH_{0.09})$, т.е. количество минерала хлорапатита изменяется в пределах 65-82 %. Фосфат по своему составу

вполне сопоставим с апатитами из хондритов Н-типа (Jones, McCubbin, 2012 и др.).

Таблица 7. Химический состав апатита в метеорите Северный Колчим, мас. %

Компонент	Анализ			
	1	2	3	4
P ₂ O ₅	41,51	40,84	40,79	40,83
SiO ₂	0,35	0,34	0,50	0,59
Cr ₂ O ₃	0,01	0,04	-	0,08
FeO	0,65	0,80	1,01	0,94
MnO	0,04	0,06	0,06	0,03
MgO	0,04	0,02	0,03	0,03
CaO	53,58	53,58	53,44	53,28
Na ₂ O	0,33	0,32	0,40	0,34
Cl	4,41	4,68	5,58	5,17
F	0,26	0,51	0,31	0,28
2Cl≡O	-1,00	-1,06	-1,26	-1,17
2F≡O	-0,11	-0,21	-0,13	-0,12
Сумма	100,07	99,92	100,73	100,28

Мерриллит (ранее в метеорите не определялся) образует мелкие и многочисленные ксеноморфные зерна размером до 50 мкм и распылен по всей матрице породы, но к апатиту не тяготеет. Индивиды фосфата с краев и по трещинам замещаются агрегатом гетита. Минерал отличается устойчивым химическим составом (табл. 8) и уверенно определяется как мерриллит. Он часто встречается в обычных хондритах и характеризуется примерно одинаковым составом (Lozano, Martin-Crespo, 2004 и др.). Присутствие данного фосфата в хондрите является типоморфным и говорит о низком содержании фосфора в окружающих металлах, а его отсутствие предполагает наличие в породе шрейберзита или любых других фосфидов железа (Ruzicka et al., 2005). Собственно этот факт и подтвердился, шрейберзита мы при детальном изучении метеорита не обнаружили.

Камасит слагает наиболее крупные неправильные и округлые зерна размером до 0,6 мм и характеризуется переменными содержаниями Ni в пределах 3-19 мас. % (табл. 9). Местами в зернах камасита отмечался плессит (совместное тонкое срастание камасита с тэнитом) (Иванов, 1969) и просто включения **тэнита** (Назаров и др., 1983). Последний слагает мелкие округлые зерна

размером до 50 мкм и характеризуется более высоким содержанием Ni – в пределах 29-38 мас. % (табл. 10, ан. 1-3).

Таблица 8. Химический состав мерриллита в метеорите Северный Колчим, мас. %

Компонент	Анализ			
	1	2	3	4
P ₂ O ₅	46,82	46,39	46,93	46,84
SiO ₂	0,04	0,08	0,04	0,04
Cr ₂ O ₃	0,02	0,04	0,01	0,03
FeO	0,62	0,84	0,69	0,62
MnO	0,06	0,04	-	0,01
MgO	3,45	3,43	3,50	3,51
CaO	46,01	45,93	46,64	46,63
Na ₂ O	2,88	2,79	2,78	2,78
Cl	0,01	0,01	0,02	0,01
F	-	0,06	0,43	0,19
Сумма	99,92	99,62	101,06	100,66

Таблица 9. Химический состав камасита в метеорите Северный Колчим, мас. %

Компонент	Анализ				
	1	2	3	4	5
Cr	0,08	0,03	0,07	0,04	0,03
Fe	96,35	89,12	86,33	84,38	79,22
Co	0,42	0,36	0,32	0,28	0,38
Ni	2,77	9,46	13,18	14,39	19,35
Mn	-	0,07	0,03	0,03	0,04
Cu	-	0,03	0,05	0,09	0,07
S	0,01	0,01	0,01	0,02	0,01
Сумма	99,63	99,08	99,99	99,22	99,10

Таблица 10. Химический состав тэнитов в метеорите Северный Колчим, мас. %

Компонент	Анализ, минерал				
	1	2	3	4	5
	тэнит			тетратэнит	
Cr	-	0,07	0,05	0,03	0,05
Fe	70,70	67,58	61,33	46,12	43,05
Co	0,14	0,13	0,16	0,01	0,03
Ni	28,80	31,14	38,19	52,38	56,14
Mn	-	0,02	0,03	-	0,01
Cu	-	0,12	0,09	0,09	0,14
S	-	-	0,01	0,01	-
Сумма	99,64	99,06	99,86	98,64	99,42

Примечание: ан. 1 – по Назарову и др., (1983), ан. 2-5 – наши данные.

Тетратэнит установлен для данного метеорита впервые. Он образует тонкие каймы размером до 5 мкм вокруг некоторых зерен тэнита. По составу тетратэнит еще более никелистый в сравнении с тэнитом (содержание Ni в металле варьирует в пределах 52-56 мас. %, см. табл. 10, ан. 4-5). Интересно, что ранее эти каймы оптическими методами определяли как бравоит (Юдин, 1970а) или пентландит (Логинов, 1991).

Троилит является главным сульфидным минералом породы и слагает отдельные зерна и их скопления размером до 0,5 мм без сростания с металлами. Минерал иногда образует каймы вокруг хондр (см. рис. 7), как бы бронируя их. Химический состав троилита немного различается в матрице породы, крупные зерна не содержат каких-либо примесей, а мелкие характеризуются заметным присутствием Ni, до 2-3 мас. % (табл. 11).

Таблица 11. Химический состав троилита в метеорите Северный Колчим, мас. %

Компонент	Анализ				
	1	2	3	4	5
Cr	0,02	0,02	0,05	0,04	0,04
Fe	63,60	63,38	62,05	61,77	60,34
Co	-	-	-	0,01	-
Ni	0,14	0,12	0,67	1,94	3,08
Mn	0,01	-	0,04	-	0,05
S	35,94	36,17	36,31	35,64	35,57
Сумма	99,71	99,69	99,11	99,40	99,09

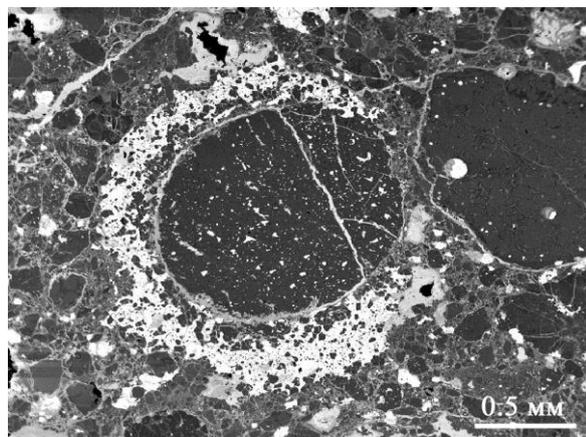


Рис. 7. Кайма троилита вокруг стекловатой хондры в матрице метеорита Северный Колчим. Фотография в отраженных электронах, САМЕСА SX 100

Пентландит отмечается в виде тонких кайм мощностью до 5 мкм в краевых частях крупных зерен троилита. По химическому составу (табл. 12) сульфид относится к никелистой разновидности и содержит заметную примесь кобальта – до 2,2 мас. % (Ерохин и др., 2013). Ранее эти каймы ошибочно оптически определяли как пирит (Юдин, 1970а). Интересно, что в метеорите также находили обломок и более железистого пентландита (табл. 12, ан. 4) (Назаров и др., 1983).

Таблица 12. Состав пентландита в метеорите Северный Колчим, мас. %

Компонент	Анализ			
	1	2	3	4
Cr	0,02	0,08	0,23	-
Fe	24,53	27,32	25,41	44,70
Co	1,22	2,18	1,47	0,80
Ni	40,23	36,07	38,30	21,40
Mn	-	-	0,05	-
Cu	-	-	0,08	-
S	33,02	33,63	33,54	33,60
Сумма	99,02	99,28	99,08	100,50

Примечание: ан. 1-3 – наши данные, ан. 4 – Назарова и др. (1983).

Рутил и **ильменит** были обнаружены, как акцессорные минералы, в полевошпатовом ахондрите (Назаров и др., 1983). Рутил слагает мельчайшие зерна до 3 мкм в матрице пироксена, а вкрапленность ильменита отмечается в мезостазисе ахондрита.

Самородная медь, а также вторичные минералы (халькозин, ковеллин), определенные оптическими методами (Юдин, 1970б), нами обнаружены не были.

Вся матрица метеорита частично замещена агрегатами гидроокислов железа и «разбита» мелкой сеткой просечек гетита, которые, по всей видимости, по аналогии с более «свежими» метеоритами Челябинск (Коротев и др., 2013) и Кунашак (Ерохин и др., 2015), ранее представляли собой прожилки троилита. В просечках гетит содержит до 2,2 мас. % NiO, в крупных прожилках и скоплениях количество никеля резко падает, вплоть до следовых значений.

Петрологический тип метеорита

На классификационной диаграмме железистости оливина и ортопироксена для каменных хондритов (Bearley, Jones, 1998) метеорит Северный Колчим уверенно попадает в поле Н-типа. С учетом средней концентрации кобальта в камасите (в пределах 0.3-0,4 мас. %) данный метеорит также можно отнести к Н-типу по известной классификации (Reisener, Goldstein, 2003). Визуально хондры на фоне общей матрицы породы выделяются отчетливо (рис. 8) и петрологический тип уверенно определяется как НЗ. Из этого следует, что вещество метеорита не испытало интенсивного термального метаморфизма.

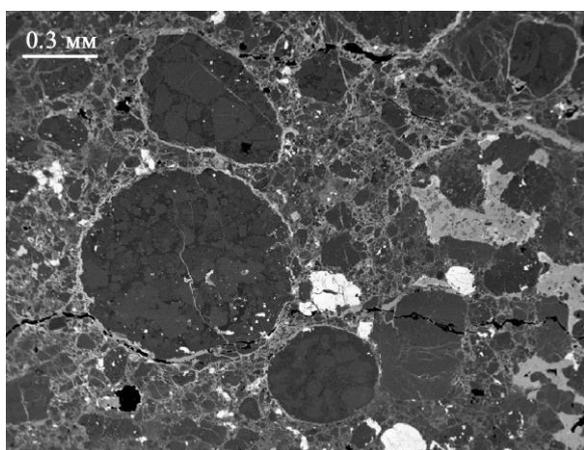


Рис. 8. Отчетливые хондры в брекчированной матрице метеорита Северный Колчим. Фотография в отраженных электронах, САМЕСА SX 100

Заключение

Детально изучены минералогия и геохимия неравновесного хондрита «Северный Колчим». Установлены новые минералы для данного метеорита – диопсид, тетратэнит, хлорапатит и мерриллит. При этом нами показано, что пирит, шрейберзит, халькозин, ковеллин и бравоит ранее определялись в метеорите ошибочно. По содержанию микроэлементов метеорит достаточно близок к обыкновенным хондритам Н-, L- и LL-типов. Петрологический тип метеорита определяется нами, вслед за другими исследователями, как НЗ.

Авторы выражают глубокую благодарность д.г.-м.н. О.К. Иванову и к.г.-м.н. Д.А.

Клейменову за предоставленный каменный материал.

Работа выполнена при поддержке проекта РФФИ № 17-05-00297-а «Минералогия, петрология и структурные особенности каменных метеоритов России».

Библиографический список

Берзин С.В. Ксенолит и микроксенолиты в метеорите Северный Колчим (НЗ) // Материалы V конференции «Метеориты. Астероиды. Кометы». Екатеринбург: Форт Диалог-Исеть, 2017. С. 26–29.

Ерохин Ю.В., Берзин С.В., Хиллер В.В., Иванов К.С. Пентландит из обыкновенных хондритов Урала // Литосфера. 2016. № 3. С. 139–146.

Ерохин Ю.В., Коротеев В.А., Хиллер В.В., Бурлаков Е.В., Иванов К.С., Клейменов Д.А. Метеорит «Кунашак»: новые данные по минералогии // Доклады АН. 2015. Т. 464, № 5. С. 599–602.

Иванов О.К. Хондрит Северный Колчим // Метеоритика. 1969, Вып. 29. С. 48–56.

Коротеев В.А., Берзин С.В., Ерохин Ю.В., Иванов К.С., Хиллер В.В. Состав и строение метеорита «Челябинск» // Доклады АН. 2013. Т. 451, № 4. С. 446–450.

Логинов В.Н. Сравнительное исследование вещественного состава метеоритов разных петрологических типов: Автореф. дис... докт. геол.-мин. наук. Екатеринбург, 1991. 66 с.

Логинов В.Н. Метеориты Урала // Урал. гос. ун-т. Екатеринбург, 2004. 80 с.

Назаров М.А., Барсукова Л.Д., Харитонова В.Я., Ульянов А.А., Шевалеевский И.Д. Минералогия, петрография и химический состав метеорита Северный Колчим // Метеоритика. 1983. Вып. 42. С. 40–48.

Шарыгин В.В., Колисниченко С.В. Яраткулово – новый Н-хондрит на Урале: минералогические данные // Минералогия. 2017. № 1. С. 3–15.

Юдин И.А. Микроскопическое исследование вторичных минералов метеоритов // Метеоритика. 1970а. Вып. 30. С. 158–168.

Юдин И.А. К минералогии метеорита Северный Колчим // Труды Института геологии

и геохимии УФАН СССР. 19706. Вып. 86. С. 157–161.

Юдин И.А., Коломенский В.Д. Минералогия метеоритов/ УНЦ АН СССР. Свердловск, 1987. 200 с.

Brearley A.J., Jones R.H. Chondritic meteorites // In Planetary Materials, Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America. 1998. Vol. 36. P. 96–398.

Berzin S.V. Refractory forsterite-rich objects in the meteorite Severny Kolchim (H3) // Meteoritics & Planetary Science, 2018. Vol. 53(S1). 81st Annual Meeting of the Meteoritical Society (2018). #6019.

Jones R.H., McCubbin J.A. Phosphate mineralogy and the bulk chlorine/fluorine ratio of ordinary chondrites // XLIII Lunar and Planetary Science. Conf. Abstr. № 2029. Woodlands (TX), 2012.

Lozano R.P., Martin-Crespo T. Petrography and mineral chemistry of the Reliegos chondrite // Meteoritics and Planet. Sci., 2004. Vol. 39, № 8. P. 157–162.

Reisener R.J., Goldstein J.I. Ordinary chondrite metallography: Part 2. Formation of zoned and unzoned metal particles in relatively unshocked H, L, and LL chondrites // Meteoritics and Planet. Sci. 2003. Vol. 38. № 11. P. 1679–1696.

Ruzicka A., Killgore M., Mittlefehldt D.W., Fries M.D. Portales Valley: Petrology of a metallic-melt meteorite breccia // Meteoritics and Planet. Sci. 2005. Vol. 40, № 2. P. 261–295.

Wasson J.T., Kallemeyn G.W. Composition of Chondrites // Philos. Trans. R. Soc. Lond., 1988. A325. P. 535–544.

Material composition of the Severnyy Kolchim meteorite

Yu.V. Erokhin, V.A. Koroteev, V.V. Khiller, K.S. Ivanov, A.V. Zakharov

Institute of Geology and Geochemistry, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences, 15 Akad. Vonsovskogo Str., Ekaterinburg 620016, Russia. E-mail: erokhin-yu@yandex.ru

New data on the material composition of the Severnyy Kolchim meteorite, found in the Perm region territory in 1965, is presented. It is established that the cosmic substance is composed of forsterite, enstatite, diopside, plagioclase (oligoclase, bitovnite), glass, chromite, magnetite, ilmenite, rutile, iron and nickel metals (kamasite, taenite and tetraetaenite), sulphides (troilite, pentlandite), chlorapatite and merrillite. Some minerals, namely the diopside, tetraetaenite, chlorapatite and merrillite, were determined in the Severnyy Kolchim meteorite first time. The data on the chemical composition of minerals and the trace element composition are given. It was verified that this meteorite is a non-equilibrium stone chondrite and belongs to the petrological type H3.

Key words: *meteorite, Severnyy Kolchim, H-type, mineralogy, geochemistry.*

References

Berzin S.V. 2017. Ksenolit i mikroksenolity v meteorite Severnyy Kolchim (H3) [Xenolith and microxenoliths in the Severnyy Kolchim meteorite (H3)]. In: Meteority. Asteroidy. Comety. Proc. of the V Conference. Ekaterinburg, Fort Dialog-Iset, pp. 26–29. (in Russian)

Berzin S.V. 2018. Refractory forsterite-rich objects in the meteorite Severnyy Kolchim (H3). In: Meteoritics & Planetary Science, 53(S1). Proc. 81st Annual Meeting of the Meteoritical Society (2018). #6019.

Brearley A.J., Jones R.H. 1998. Chondritic meteorites. Planetary Materials, Reviews in Mineralogy, Mineralogical Society of America, 36:XV–XVI.

Jones R.H., McCubbin J.A. 2012. Phosphate mineralogy and the bulk chlorine/fluorine ratio of ordinary chondrites. In: XLIII Lunar and Planetary Science. Conf. Abstr. № 2029. Woodlands (TX).

Erokhin Yu.V., Berzin S.V., Khiller V.V., Ivanov K.S. 2016. Pentlandit iz obyknovennykh khondritov Urala [Pentlandite from ordinary chondrites of the Urals]. Litosfera. 3:139–146. (in Russian)

- Erokhin Yu.V., Koroteev V.A., Khiller V.V., Burlakov E.V., Ivanov K.S., Kleymenov D.A.* 2015. The Kunashak meteorite: new mineralogical data. *Doklady Earth Sciences*, 464(2): 1058–1061.
- Ivanov O.K.* 1969. Khondrit Severnyy Kolchim [Severny Kolchim chondrite]. *Meteoritika*, 29: 48–56. (in Russian)
- Koroteev V.A., Berzin S.V., Erokhin Yu.V., Ivanov K.S., Khiller V.V.* 2013. Composition and structure of the Chelyabinsk meteorite. *Doklady Earth Sciences*, 451(2): 839–842.
- Loginov V.N.* 1991. Sravnitelnoye issledovaniye veshchestvennogo sostava meteoritov raznykh petrologicheskikh tipov [Comparative study of the material composition of meteorites of different petrological types]. Diss. Dr. geol.-min. sci., Ekaterinburg. (in Russian)
- Loginov V.N.* 2004. Meteority Urala [The Urals meteorites]. USMU, Ekaterinburg, p. 80. (in Russian)
- Lozano R.P., Martin-Crespo T.* 2004. Petrography and mineral chemistry of the Reliegos chondrite. *Meteoritics and Planet. Sci.*, 39(8): A157–A162. doi: 0.1111/j.1945-5100.2004.tb00352.x
- Nazarov M.A., Barsukova L.D., Kharitonova V.Ya., Uliyanov A.A., Shevaleevsky I.D.* 1983. Mineralogiya, petrografiya i khimicheskiy sostav meteorita Severnyy Kolchim [Mineralogy, petrography, and chemical composition of the meteorite Severnyy Kolchim]. *Meteoritika*, 42: 40–48. (in Russian)
- Reisener R.J., Goldstein J.I.* 2003. Ordinary chondrite metallography: Part 2. Formation of zoned and unzoned metal particles in relatively unshocked H, L, and LL chondrites. *Meteoritics and Planet. Sci.*, 38(11): 1679–1696.
- Ruzicka A., Killgore M., Mittlefehldt D.W., Fries M.D.* 2005. Portales Valley: Petrology of a metallic-melt meteorite breccia. *Meteoritics and Planet. Sci.*, 40(2): 261–295.
- Sharygin V.V., Kolisnichenko S.V.* 2017. Yaratkulovo – novyy H-khondrit na Urale: mineralogicheskiye dannyye [Yaratkulovo – a new H-chondrite in the Urals: mineralogical data]. *Mineralogy*, 1: 3–15. (in Russian)
- Wasson J.T., Kallemeyn G.W.* 1988. Composition of chondrites. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A325*, 535–544.
- Yudin I.A.* 1970a. Mikroskopicheskoye issledovaniye vtorichnykh mineralov meteoritov [Microscopic examination of the meteorites secondary minerals]. *Meteoritika*, 30: 158–168. (in Russian)
- Yudin I.A.* 1970b. K mineralogii meteorita Severnyy Kolchim [To the mineralogy of the Severnyy Kolchim meteorite]. *In: Proc. of the Institute of Geology and Geochemistry UFAS USSR*, 86: 157–161. (in Russian)
- Yudin I.A., Kolomensky V.D.* 1987. Mineralogiya meteoritov [Meteorite mineralogy]. UNTs AN SSSR, Sverdlovsk, p. 200. (in Russian)