

ВАНКОРСКИЙ МЕТЕОРИТ

Н. Ф. Столбова*, В. И. Сиротин**

*Национальный исследовательский Томский политехнический университет

**Воронежский государственный университет

Поступила в редакцию 10 сентября 2012 г.

Аннотация. Ванкорский метеорит, обнаруженный в керне скважины в Красноярском крае, был изучен комплексом методов (петрографическим, электронно-микроскопическим, рентгенофлуоресцентным, атомно-эмиссионно-спектроскопическим и др.), отнесен к подклассу углистых хондритов – СIII и к его подтипу СIII 3. Его образование, скорее всего, произошло напрямую из протопланетного облака на наиболее ранней горячей стадии его эволюции.

Ключевые слова: метеориты, хондриты, петрография, минералы, люминесценция, классификация.

Abstract. Vancor meteorite, founded in kern of well in Krasnoyarsk Territory, was investigated by the complex of methods (petrographical, electron microscopic, X-ray fluorescence, atomic emission spectroscopic et al.), classified as "carbonaceous chondrites" subclass – СIII and his subtype – СIII 3. Likely, his forming was occurred from protoplanet cloud at the earliest hot stage of evolution of the cloud.

Key words: meteorite, chondrite, petrography, minerals, luminescence, classification

В ходе выполнения научно-исследовательских литолого-геохимических работ на нефтяных месторождениях Красноярского края был найден обломок метеорита. Он был извлечен из керна скважины Северо-Ванкорская-1 с глубины 1001 м. Обломок находился в слабо сцементированных песчаниках на границе верхнего и нижнего отделов меловой системы. Возраст этих отложений составляет 97 млн лет. Исследования обломка метеорита проводились в лабораториях Национального исследовательского Томского политехнического университета, а их результаты детально обсуждались авторами в Воронежском государственном университете.

Из литифицированных псаммитовых пород объект свободно выкатился, не оставив на себе частиц песчаника. Удивил абсолютно черный цвет, яркий блеск, натечные формы сверху и приплюснутые снизу (рис. 1а, б, в). Погруженная в песок часть метеорита оказалась матовой и шероховатой, а нижняя поверхность кратерирована: наблюдается беспорядочное распределение микрократеров размером от 1.0–15 мк до 8 мм (рис. 1в). В атмосфере Земли метеориты – хондриты, как известно, приобретают отчетливые формы [1, 2, 3], чаще всего – это коническая форма, обеспечивающая ему аэродинамическую устойчивость, при этом передовой (ведущий) край испытывает абляцию и

плавление с образованием гладкой поверхности корочки со структурой стекла, капли расплава при этом образуют тонкие струйки, текущие по бокам метеорита, придающие ему неровную морщинистую поверхность.

Часть космического объекта, погруженная в слабо сцементированный песчаник (рис. 1в), снизу приобрела матовый блеск, в то время как верхняя, оказавшаяся на поверхности, остывая, приобрела интенсивный металлический блеск (рис. 1а, б). Блеск обусловлен тонкой (доли мм) стекловидной корочкой черного (углистого) цвета. Не исключено возможное присутствие в ней углеродистого вещества (рис. 1а, в).

Метеорит был обрезан буровым инструментом и имел диаметр около 70 мм, высота равна 35–40 мм, объем составил ~ 40 см³, а вес ~ 150 грамм. Замеренный удельный вес имеет величину – 3,8 г/см³, твердость соответствует 7 (по шкале Мооса). Магнитность, установленная на магнитометре, имеет величину $\chi = 26,9 \cdot 10^{-5}$ ед. си.

Из метеорита были изготовлены четыре петрографических шлифа и один аншлиф. Все они изучены под микроскопом системы Полам – Л 213 М и под люминесцентным микроскопом МикМед-2.

Исследование шлифов под микроскопом в поляризованном проходящем свете обнаружило в основном однородное распределение тонкокристаллического вещества в темном непрозрачном

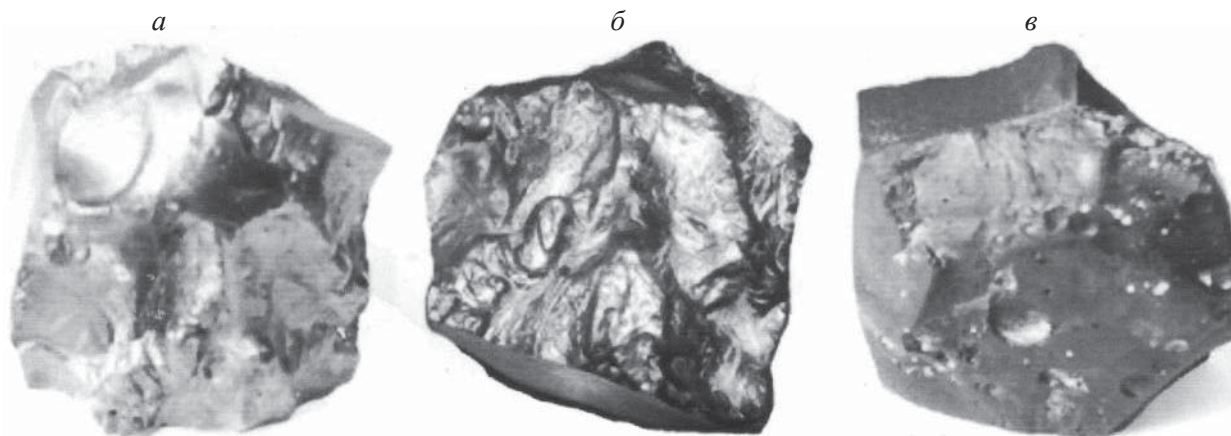


Рис. 1. Фотографии метеорита сверху (а), сбоку (б) и снизу (в)

агрегате (рис. 2а, б). Отмечены более крупные прозрачные удлиненные кристаллы размером до 2 мм. Обращает на себя внимание несколько ориентированное расположение призматических форм (рис. 2а) и своеобразное зазубренное строение призматических граней минералов (рис. 2б). Просматривается тенденция к ориентировке кристаллов в направлении от нижней части метеорита к верхней.

Оптические свойства кристаллов под микроскопом в скрещенных николях имеют следующие особенности: показатель преломления минералов около 1,7; двойное лучепреломление $\sim 0,030$ (о чем можно судить по интерференционной окраске продольных сечений); знак зоны положительный; углы погасания косые до 45° . Эти оптические данные указывают на наличие среди них моноклинных пироксенов.

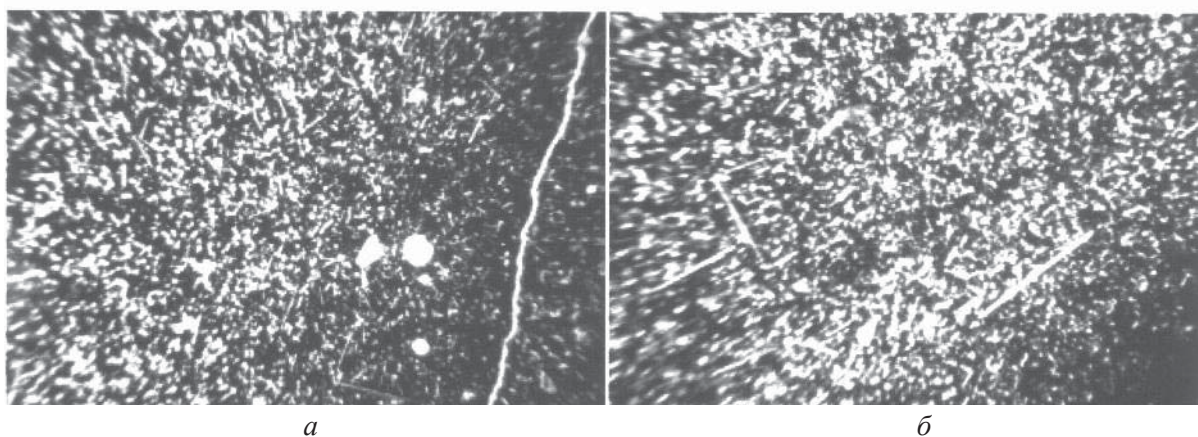


Рис. 2. Фотографии петрографического шлифа в поляризованном свете при одном (а) и двух (б) николях. Видны (рис. 2а) удлиненные призматические кристаллы и их зазубренные грани, а также поры и трещины (белое). Интерференционные окраски минералов (рис. 2б) соответствуют второму порядку шкалы Мишельеви

Отмечается наличие пор с каймой кристаллов, образующих кольцо из призматических форм с четкими идиоморфными гранями призм (рис. 3а, б).

В шлифах на фоне мелких и одинаковых по размерам кристаллов видны и более крупные – порфирированные выделения (рис. 4а, б). Хорошо просматривается их зональное неоднородное строение, наличие полостей внутри кристаллов и внешние зазубренные скелетные очертания (рис. 4а, б).

В шлифах встречаются и другие минералы, часть из них имеет решетчатое строение (рис. 5а, б)

Встречен в шлифе и своеобразный кристалл, имеющий трубчатый вид (рис. 6а) при большем увеличении он также обнаруживает элементы решетчатой спайности или отдельности, ориентированной под углом 45° к удлинению минерала (рис. 6б). Не исключено, что это тот же минерал, что и на рисунке 5а, б.

В одном из срезов метеорита было выявлено небольшое черное включение. Попытки его уда-

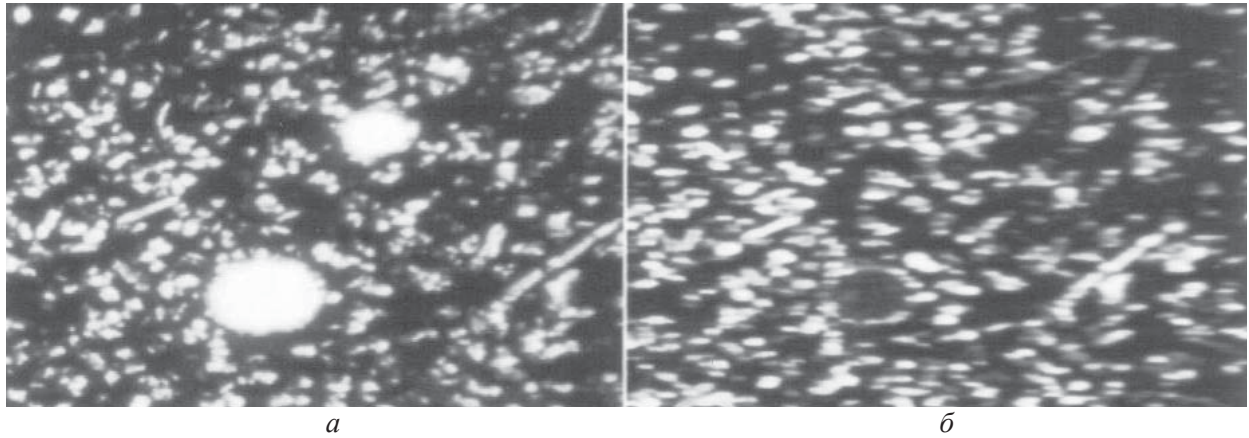


Рис. 3. В петрографическом шлифе видны поры, окаймленные призмами пироксенов (рис. 3а – белое при одном николе, рис. 3б – черное в скрещенных николях)

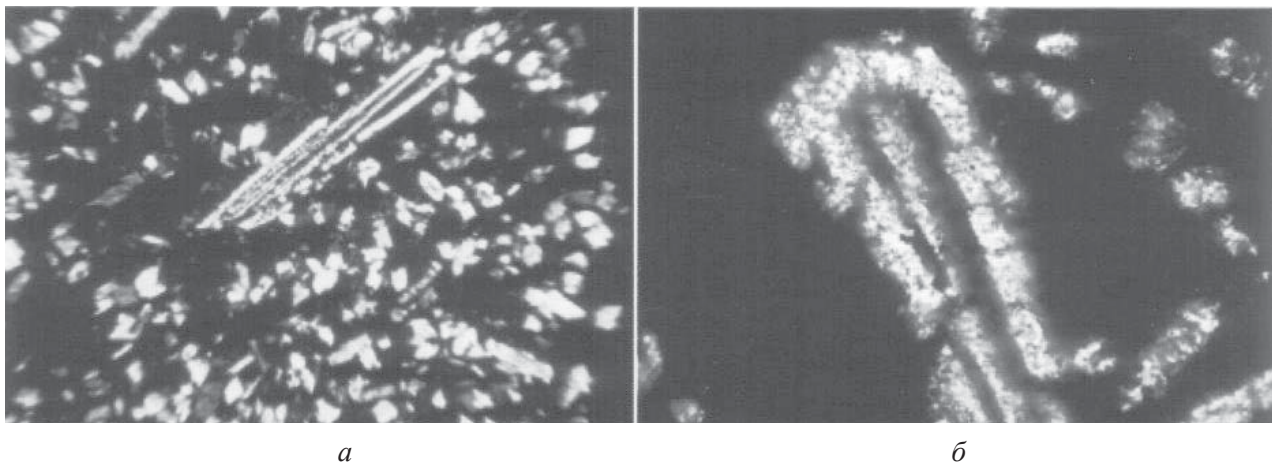


Рис. 4. Фотографии порфировых выделений в шлифе. Видны зональные пустоты в продольных сечениях кристалла (а). Просматривается скелетное строение кристаллов (б)

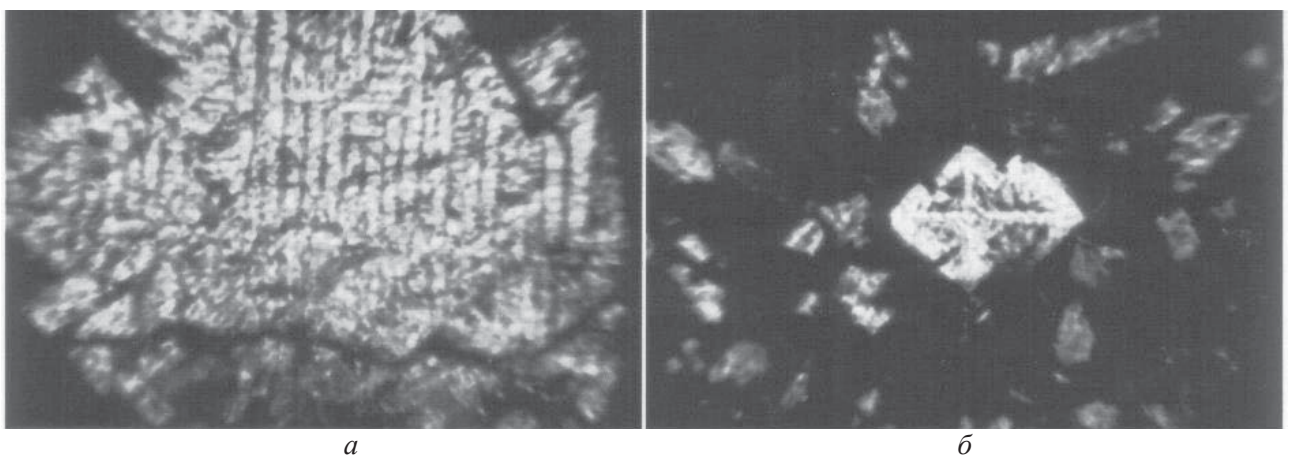


Рис. 5. Фотографии минерала, имеющего решетчатое строение. Очертания кристалла не округлые, но близкие к сферичным. Они имеют ступенчато-угловые формы (рис. 5а) и ромбовидные сечения (рис. 5б). В последних просматриваются внутренние полости и скелет роста

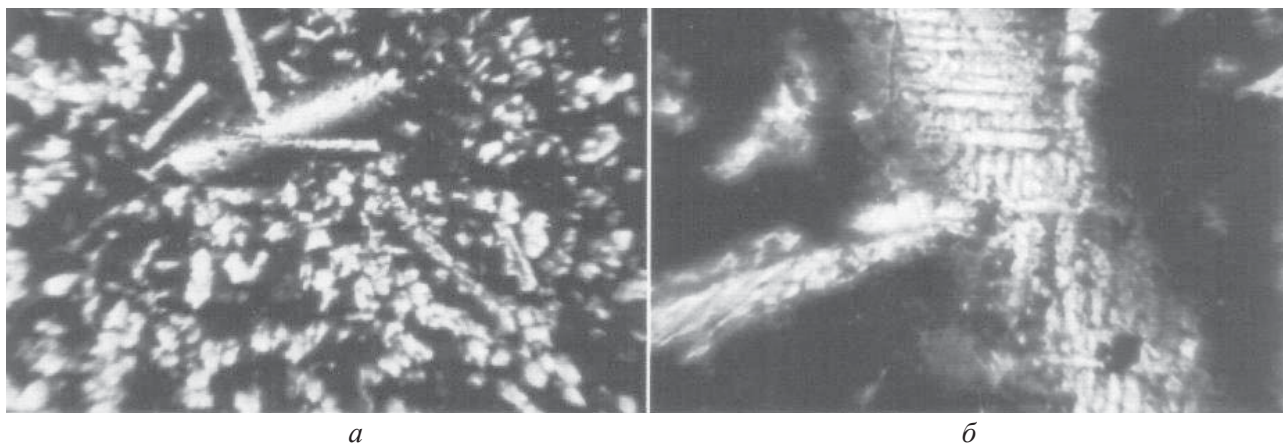


Рис. 6. Фотографии минералов, имеющих вид округлых, удлинённых форм (рис. 6а), с решетчатым и колосковым строением (рис. 6б). Увеличение объектива: а – х20; б – х40

лечь не увенчались успехом. При различных увеличениях микроскопа (х10, х25) оно обнаружило правильную сферическую форму, более высокой, чем у основной массы метеорита, показатель преломления (~2,0), а также металловидный блеск и несколько буроватый оттенок окраски. Интересной оказалась поверхность этой частицы – она имеет вид растрескавшейся остывшей корочки (рис. 7а, 7б). Включение представляет собой хондру [1, 2,

3, 4]. Распиленная часть хондры встречена в другом шлифе. Она представляет собой округлое, четко ограниченное сферическое выделение, размером ~1,5мм, сложенное кристаллами оливина, плотно прилегающими друг к другу. Кристаллы короткопризматические, но округленные, с сглаженными углами. В них едва заметна спайность, а сила двойного лучепреломления достигает величины – 0,035.

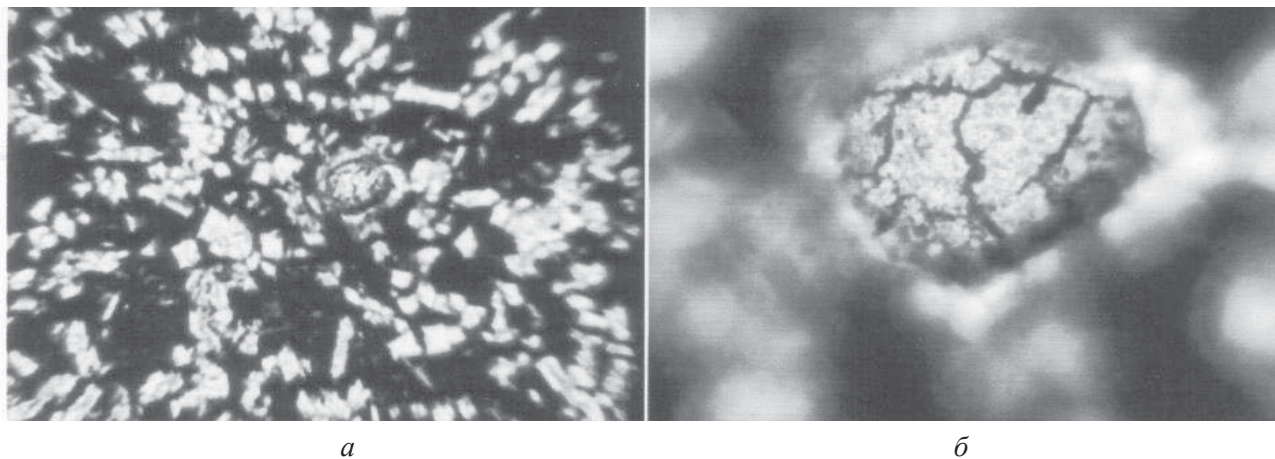


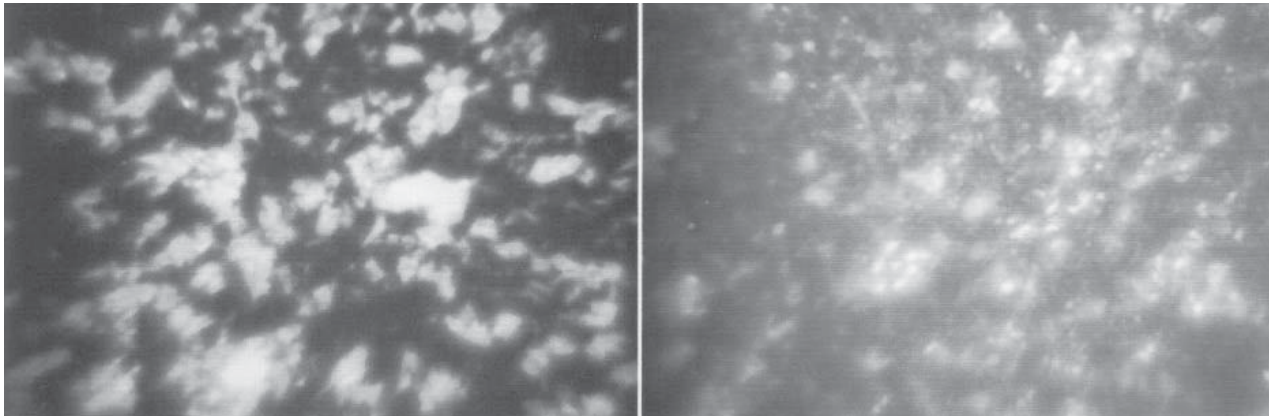
Рис. 7. Фотографии сферического включения, имеющего растрескавшийся вид и представляющего собой оливиновую хондру. Увеличение объектива: а – х20; б – х40

Исследование метеорита под люминесцентным микроскопом Мик-Мед-2 обнаружили своеобразное свечение в ультрафиолетовом свете при использовании разных фильтров (рис. 8а, б). Свечение неоднородное с пятнистым распространением люминесцирующего вещества. Видны разные цветовые эффекты – яркие желтые – четкие; обрамляющие их – буроватые; голубые – расплывающиеся и принадлежащие основной массе, что

свидетельствует о неоднородном составе метеорита.

Изучение метеорита под микроскопом в отраженном свете показало следующее (рис. 9а, б; 10а, б):

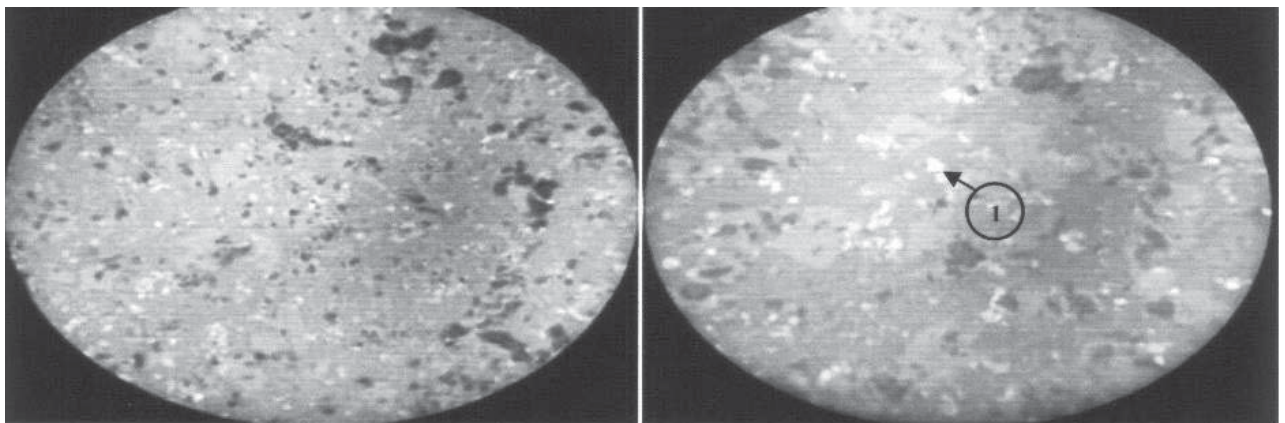
– наличие пяти компонентов с разными эффектами отражения света: в темно-серых, светло-серых, желтых и ярко-желтых тонах (рис. 9а, б);



а

б

Рис. 8. Особенности свечения метеорита в ультрафиолетовых лучах света под люминесцентным микроскопом



а

б

Рис. 9. Фотографии метеорита в отраженном свете микроскопа в разных частях аншлифа при увеличении объективов: а – 10х, б – 20х. Видны разные типы компонентов по эффектам отражения света: темно-серые, серые, светло-серые, желтоватые. Одно из зерен имеет ярко-желтый цвет (1)

– неравномерное распределение компонентов в породе;

– приблизительно одинаковые размеры минералов;

– наличие некоторой ориентированности зерен, проявление цепочек минералов с желтым цветом отражения (троилит).

Диагностика минералов осуществлялась рентгеноструктурным методом анализа. В результате были выявлены следующие минералы (табл. 1).

Таблица 1

Результаты рентгеноструктурного анализа метеорита

Основная фаза	Примеси	
	значительные	второстепенные
фаялит, диопсид, авгит	ессенит, треворит	бунзенит, саркопсид, ферросилит

Анализ метеорита на электронном микроскопе подтвердил присутствие оливина (фаялит Fe_2SiO_4), моноклинных пироксенов – диопсида $\text{Ca,Mg}(\text{Si}_2\text{O}_6)$, авгита $\text{Ca}(\text{Mg,Al,Fe})\text{Si}_2\text{O}_6$, наблюдаемых и в проходящем свете (шлифах), а также обнаружил ряд других минералов, часто встречаемых в метеоритах: эссенит $(\text{Ca,Na})(\text{Fe,Mn,Zn})\text{Si}_2\text{O}_6$, треворит NiFe_2O_4 , бунзенит NiO , саркопсид $\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2$, ферросилит $\text{Fe}^{2+}_2[\text{Si}_2\text{O}_6]$, марказит FeS_2 .

Результаты рентгенофлюоресцентного анализа показали высокие концентрации железа в образце – $33,43 \pm 0,68 \%$, повышенные содержания кальция – $7,19 \pm 0,17 \%$, серы – $2,59 \pm 0,51 \%$, калия $2,13 \pm 0,11 \%$, примесь титана – $0,37 \%$, марганца – $0,11 \%$, а так же следы хрома, меди, стронция, бария, сурьмы, свинца, циркона, рубидия, серебра, палладия (элементы, расположены в порядке убывания их содержания в пробе).

Образец метеорита был проанализирован в научно-аналитическом центре методом атомно-

эмиссионной спектроскопии на оборудовании iCAP 6300 Duo, Thermo Scientific, Великобритания, 2007. Результаты анализа приведены в таблице 2. Они показали максимально высокое количество железа и кремния, гораздо меньшее, почти на порядок, содержания кальция и алюминия и пониженные концентрации магния, калия, натрия.

По результатам анализа видно, что присутствует значительное количество характерных для хондритов металлов. Такие металлы как W, Ti, Cu, Pb, Co имеют содержания, превышающее 1000 мг/кг. Среди металлов, приближающихся к этой величине по содержанию, присутствуют Ni, Mn, Cr, Zn. Обнаружены также элементы и в малых количествах. Они показаны в порядке убывания – Ba, V, Ag, Li, Se, Cd, Sb. Отмечено присутствие Tl, Te, As, Sn, Mo, Be.

Таблица 2
Результаты атомно-эмиссионной спектроскопии и ИСП метеорита

№ п/п	Элемент	Метеорит, мг/кг	Погрешность, %
1	Ag	82,9	40
2	Al	10740,0	26
3	As	7,6	50
4	B	–	30
5	Ba	124,6	30
6	Be	1,3	40
7	Bi	–	50
8	Ca	20210,0	30
9	Cd	25,90	50
10	Co	1178,0	40
11	Cr	527,0	20
12	Cu	2973,0	20
13	Fe	203900,0	28
14	K	7337,0	40
15	Li	48,61	40
16	Mg	6825,0	30
17	Mn	788,7	30
18	Mo	1,001	40
19	Na	6425,0	40
20	Ni	885,0	35
21	Pb	1349,0	25
22	Sb	16,2	50
23	Se	34,9	50
24	Si	158000,0	н/у
25	Sn	6,7	40
26	Sr	142,7	30
27	Te	9,7	50
28	Ti	2655,0	32
29	Tl	5,1	25
30	V	99,0	25
31	W	4897,0	50
32	Zn	233,6	20

н/у – нормальные условия

На исследовательском ядерном реакторе был выполнен анализ метеорита нейтронно-активационным методом. Результаты анализа приведены в таблице 3.

Таблица 3
Результаты исследования метеорита нейтронно-активационным методом

Sm	Ce	Ca	Lu	U	Th	Cr	Yb	Au	Hf
2,83	31,7	2,4	0,3	1,02	4,5	649,3	1,86	0,34	2,9

Ba	Sr	Nd	As	Ag	Br	Cs	Tb	Sc	Rb
76	<100	23,0	214,2	<1	<2	0,61	0,35	10,1	58,6

Fe	Zn	Ta	Co	Na	Eu	La	Sb
36,2	162,7	1,6	494,2	0,75	0,59	19,9	9,4

Примечание: содержания кальция, железа и натрия даны в–%, остальные – г/т

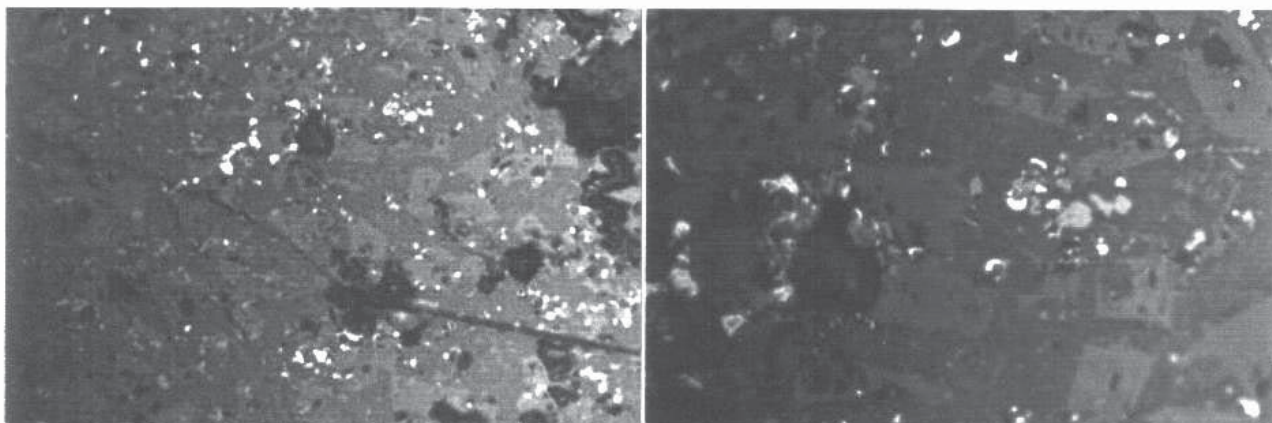
При изучении метеорита под электронным микроскопом были сделаны определения элементного состава ряда компонентов породы. Фрагменты, показывающие места анализов, приведены на рисунках 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17.

При анализе на электронном микроскопе были выявлены ранее не обнаруженные элементы такие как углерод (рис. 11, 13, 14, 16), азот, хлор и сера (рис. 12, 14). В точке исследования образца (рис. 15) обнаружены повышенные количества Sn, а в точке на рис. 17 значительные количества металлов – Cu, Zn, Ni, Mn.

В целом проведенное изучение метеорита дает представление о его морфологических, физических, петрографических, минеральных и элементных особенностях. В то же время оно требует детализации исследований отдельных минералов, компонентов и основной вмещающей массы метеорита. Современное техническое состояние аналитической базы позволяет их продолжить.

**Обсуждение результатов исследования.
Заключение (выводы)**

1. Сам факт обнаружения Ванкорского метеорита представляет собой почти невероятную сверхудачу – поймать буровым снарядом крохотное тело метеорита в толще осадочной породы и на глубине почти 1001 м от современной поверхности! Здесь необходимо обратить внимание на важное обстоятельство, которое несколько повышает вероятность обнаружения метеорита. Почти наверняка имел место вход в атмосферу Земли более крупного метеорита (например, размером до не-



а

б

Рис. 10. Фотографии шлифов в отраженном свете. Видно присутствие минералов с разными цветовыми эффектами и силой отражения. Увеличение объектива: а – $\times 10$; б – $\times 20$

скольких метров, который развалился на несколько или даже десятки более мелких тел. Скорее всего, на поверхности нижнемеловых отложений возникла площадь в виде окружности (при перпендикулярном столкновении) или в виде эллипса рассеивания [1, 2, 5, 6, 7] (при косом столкновении, что наблюдается в подавляющем количестве случаев);

в пределах этой площади должны распределиться фрагменты метеорита (рис. 18).

2. Приведенные данные по минералогическому составу, а также по составу элементов – примесей подтверждает их неземное, недифференцированное происхождение, отвечающее первичному веществу Солнечной системы (рис. 19). Необходимо определить принадлежность к классу исследованного

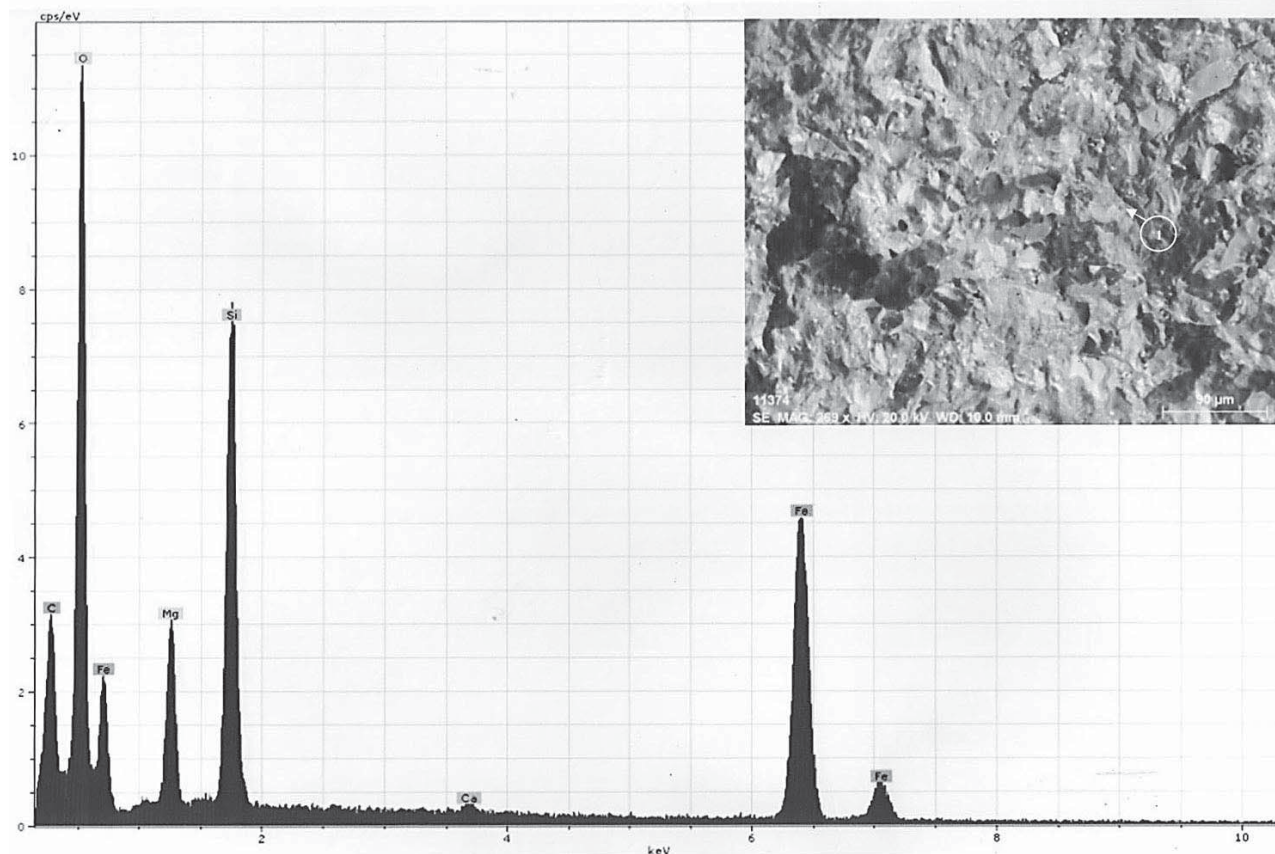


Рис. 11. Элементарный состав метеорита в месте его анализа (1)

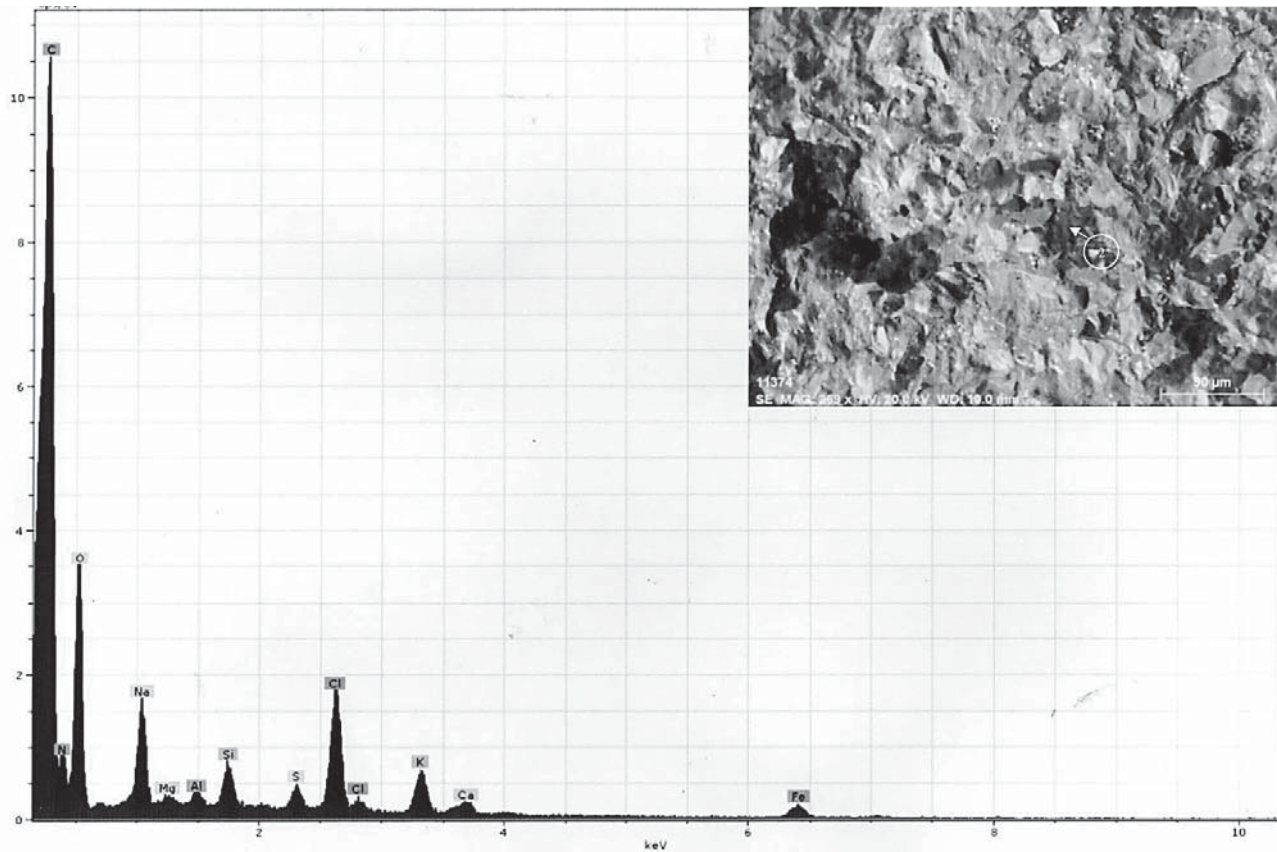


Рис. 12. Элементарный состав метеорита в месте его анализа (2)

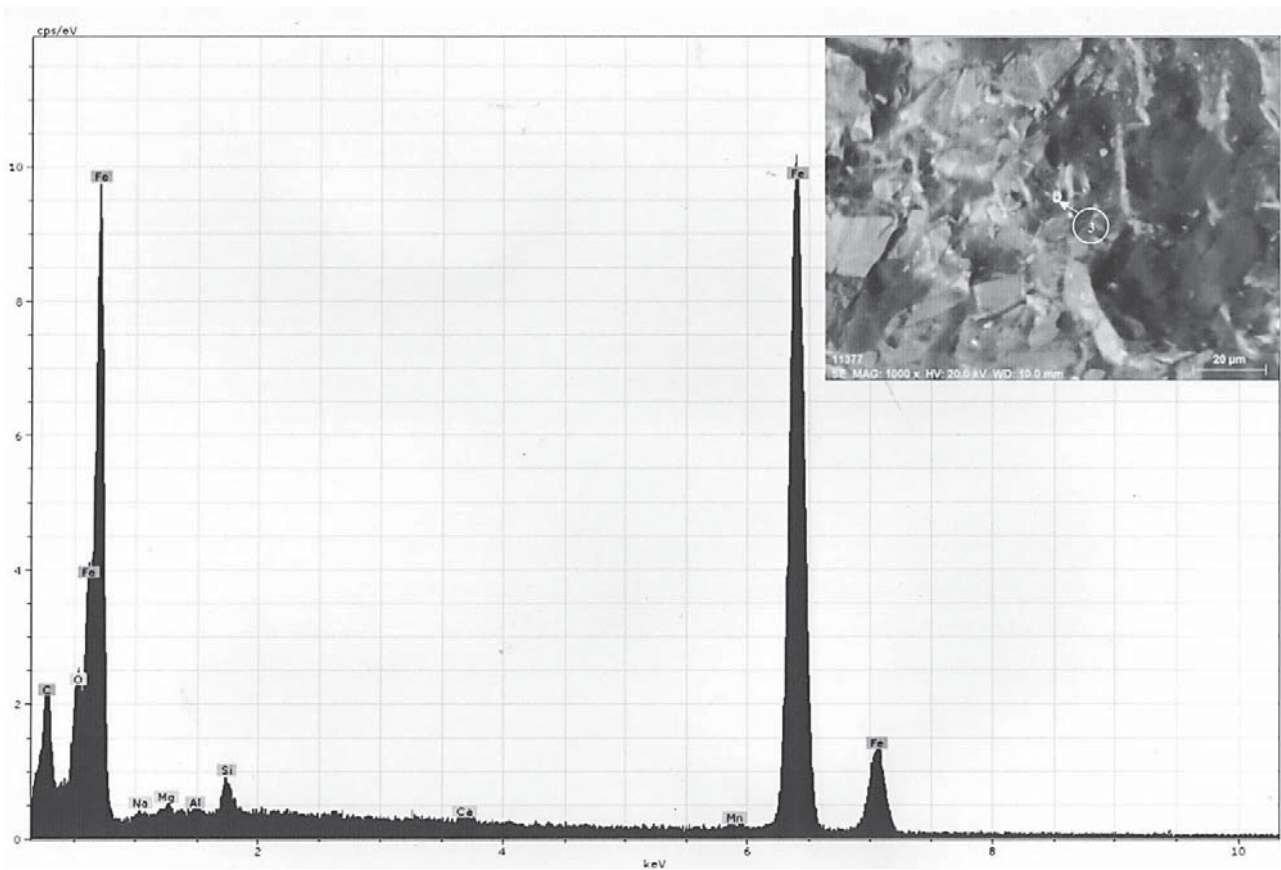


Рис. 13. Элементарный состав метеорита в месте его анализа (3)

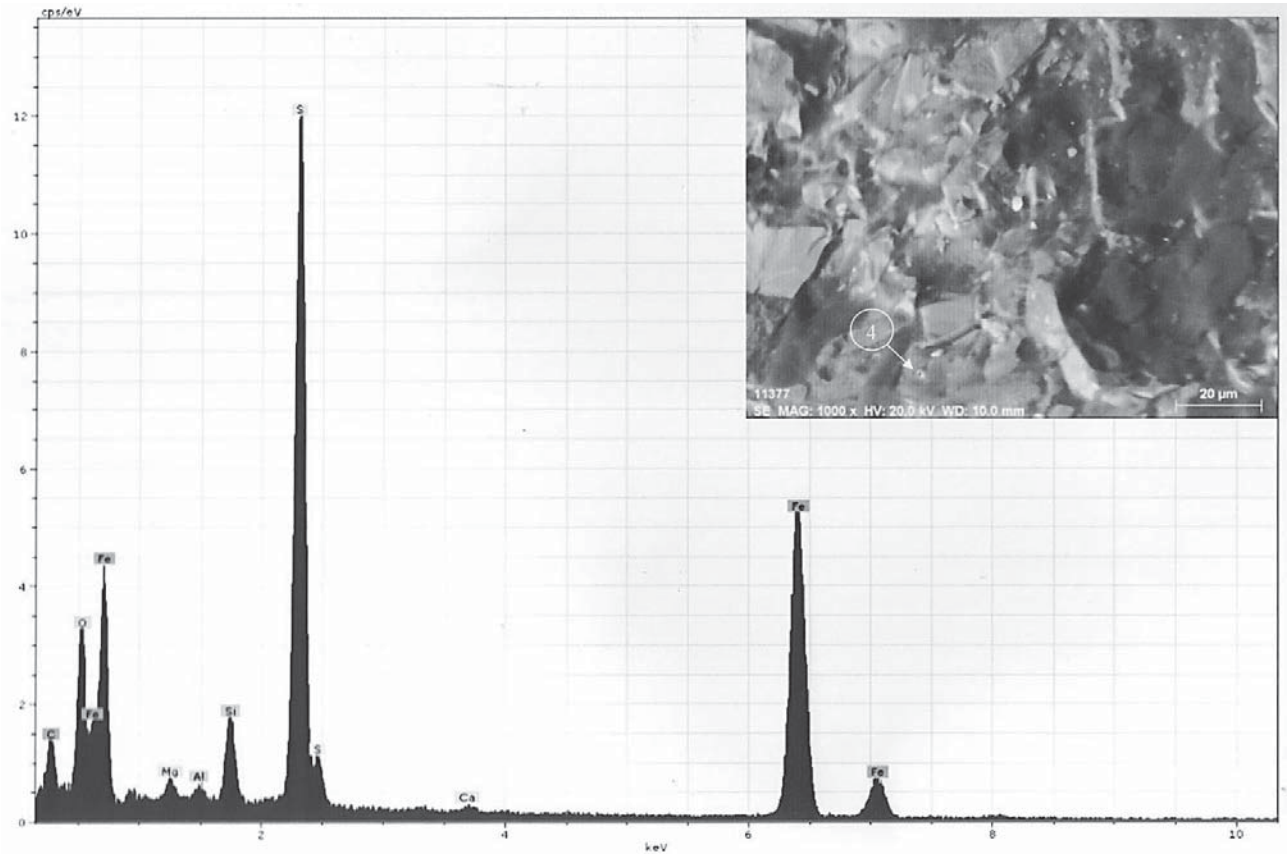


Рис. 14. Элементарный состав метеорита в месте его анализа (4)

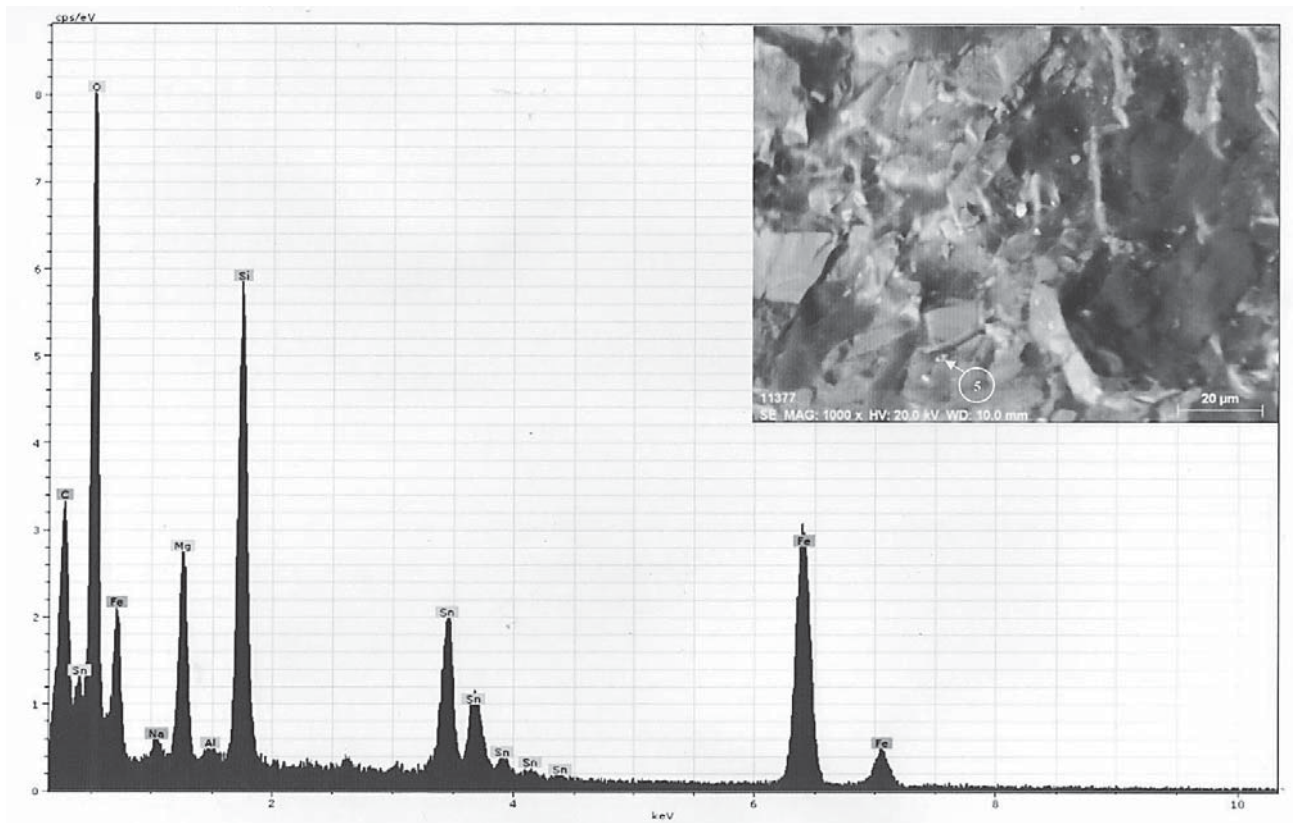


Рис. 15. Элементарный состав метеорита в месте его анализа (5)

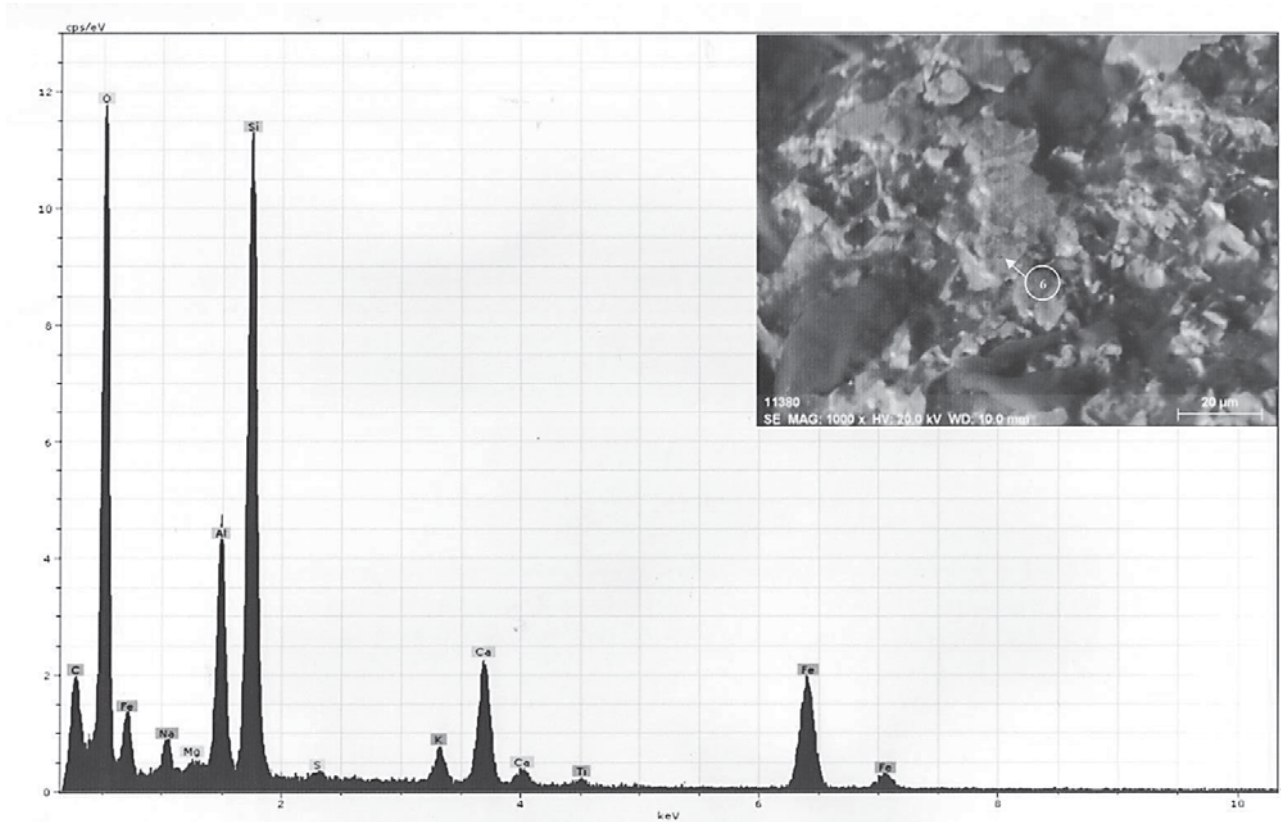


Рис. 16. Элементарный состав метеорита в месте его анализа (6)

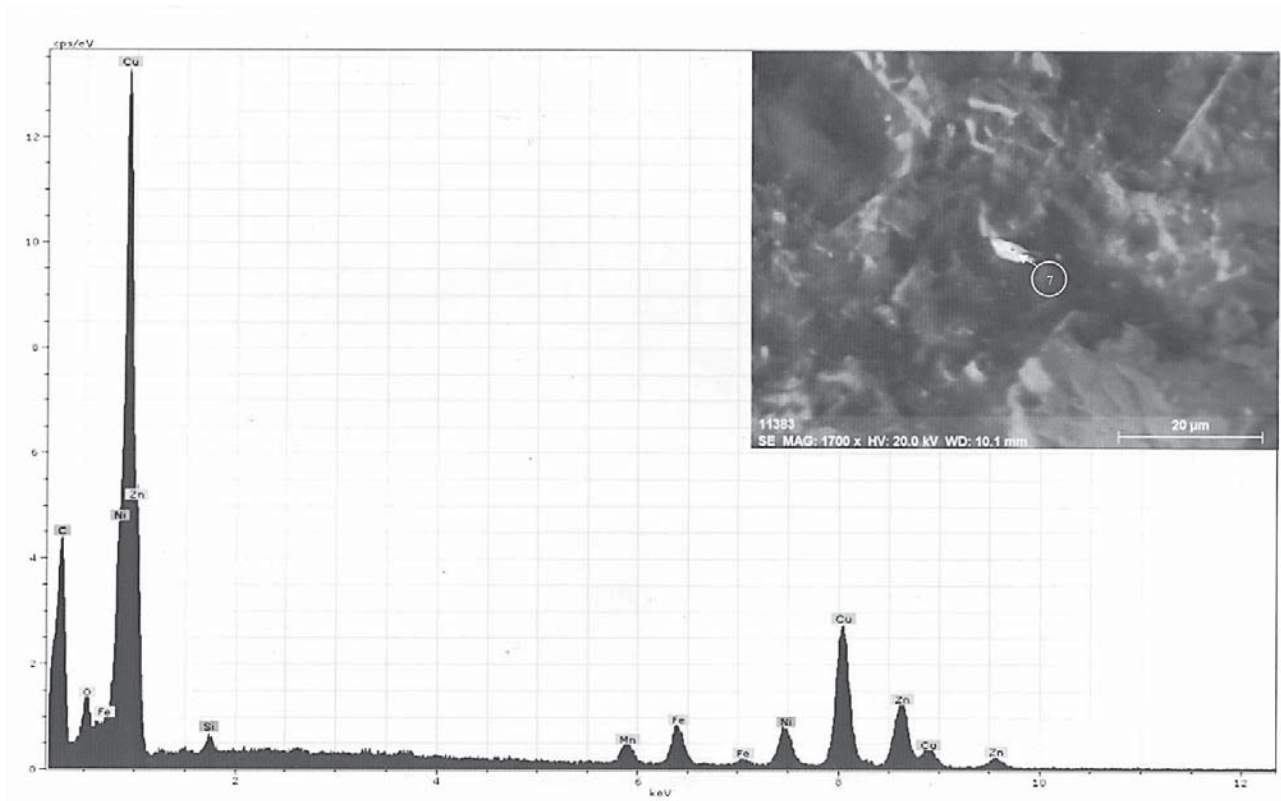


Рис. 17. Элементарный состав метеорита в месте его анализа (7)

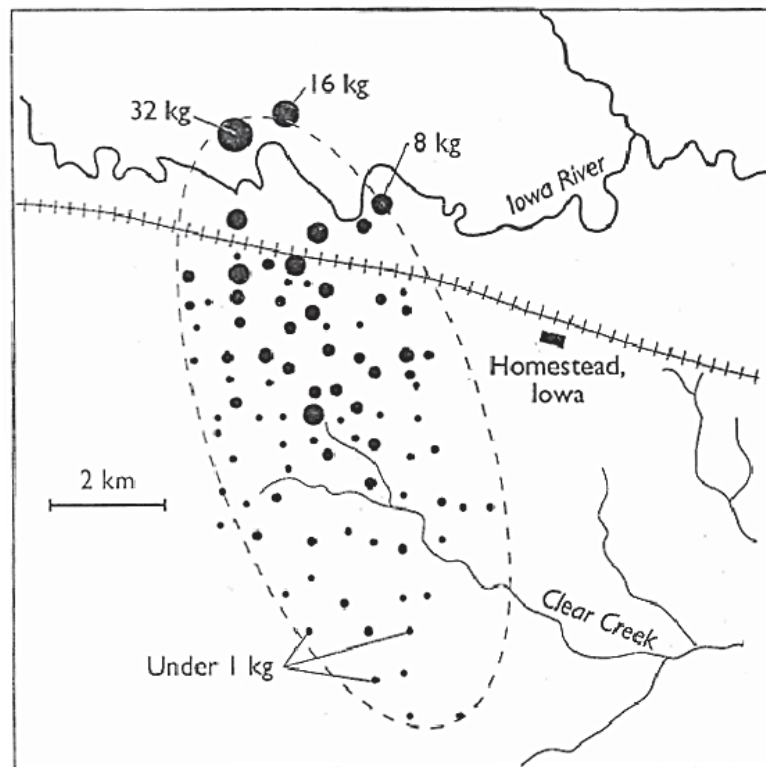


Рис. 18. Поле рассеивания в виде эллипса размером 6×14 км от падения каменного метеорита – хондрита (12 декабря 1875 года), распавшегося на фрагменты в атмосфере Земли. Вес метеорита оценивается примерно в 120 кг

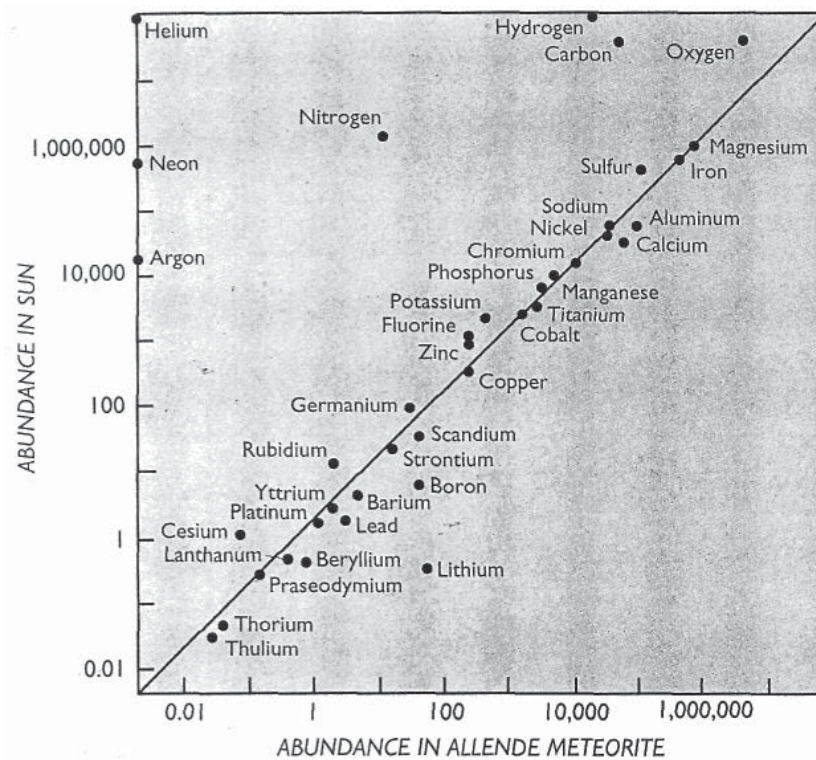


Рис. 19. 39 элементов метеорита Allende (углистый хондрит) точно соответствуют составу солнечной атмосферы. На графике образуют линию, сверху от нее – шесть летучих компонентов (O, C, H, N, Ar, Ne), не образующих твердых фаз при высоких температурах

метеорита в соответствии с существующими классификациями. Известно, что все каменные метеориты разделяются [1, 2, 3, 4, 8, 9] на хондриты и ахондриты, последние сразу надо исключить из рассмотрения, поскольку они являются результатом дифференциации планетного вещества (земного, лунного, марсианского и т. д.), результатом распада вследствие ударных коллизий крупных и дифференцированных тел астероидов (типа Весты, Юноны, Цереры и др.), по этой причине они не сохраняют памяти о первичном веществе Солнечной системы [1, 2, 3, 4].

По содержанию железа и по минеральному составу среди хондритов выделяются: 1) простые E – энстативные (с примесью Fe и Ni в матрице); 2) обыкновенные H-оливин-бронзитовые с повышенным содержанием железа; 3) L – с более низким содержанием железа, оливин-гиперстеновые; 4) LL с еще более низким содержанием железа, амфотеристые, оливин-гиперстеновые. Несмотря на различия по внешнему виду и составу, их объединяет важная характеристика – в их состав входят тугоплавкие нелетучие элементы, которые существуют как твердые фазы при высоких температурах, эти же элементы характерны и для Солнца и в тех же пропорциях, по существу – это охлажденный окристаллизованный образец Солнца, но в других условиях; они истощены летучими компонентами: H, Cl, O, N и др., которые не конденсируются в твердые фазы (рис. 19). Хондриты можно рассматривать как исходное вещество, близкое по составу к веществу протопланетного облака. В хондритах наблюдается разное содержание железа, разная степень его окисленности, разное соотношение металлического, сульфидного и силикатного железа. Так в энстативных хондритах почти все железо находится в металлической форме и они характеризуются наивысшей степенью восстановленности.

В хондритах обыкновенных от H до LL возрастает содержание железа в силикатах, но уменьшается содержание металлического до полного исчезновения, т. е. возрастает степень их окисленности. В целом хондриты представляют собой сочетание микромагматических систем (хондр) с первичной пирокластикой, выполняющей роль своеобразного тонкозернистого цемента [1, 2, 3, 4, 10, 11, 12].

К подклассу хондритов с достаточной долей условности относятся так называемые углистые метеориты [1, 3, 10, 11], они содержат мало хондр, а иногда их не содержат вовсе, однако по набору элементов и их соотношению близки к хондритам.

Их отличает две особенности: 1) высокое содержание железа, находящегося исключительно в силикатах, т. е. они характеризуются наивысшей степенью окисленности; 2) высокое содержание летучих соединений (до 20 масс. %), в том числе воды. В свою очередь, углистые хондриты подразделяются по содержанию главных элементов, степени окисленности, содержанию летучих компонентов на три типа: CI, CII, CIII. Причем среди последнего выделяются подтипы: CIII3, CIII4, CIII5. Особый интерес среди углистых хондритов представляет органическое вещество [1, 3, 10, 11, 13], но оно к сожалению, как и во всех посланцах из Космоса (метеоритах, кометах и др.) абиогенного происхождения. Основную массу метеоритов CI составляют аморфизированные и гидратированные силикаты, сульфаты и минералы группы серпентина, именно в них содержится до 15–20 % воды; в хондритах CII гидратированных силикатов меньше (до 10–15 % воды), но повышается содержание оливина и пироксена; в хондритах CIII преобладают безводные силикаты (воды содержится меньше 3 %). В целом для углистых хондритов характерно отсутствие металлического железа и незначительное содержание троилита. В хорошо изученном метеорите Allende установлены светлые включения с высоким содержанием Ca и Al (подтип CIII3), они содержат как высокотемпературные (шпинель, мелелит, перовскит), так и низкотемпературные (содалит) минералы. Такой состав включений дал основание для предположения о конденсации этих минералов из протопланетного облака на наиболее ранней, «горячей» стадии его эволюции [1, 3].

Предложенная классификация хондритов подтверждается и изотопными содержаниями кислорода: в ряду метеоритов LL – L – H – C закономерно повышается роль легкого изотопа ^{16}O , что аномально с точки зрения нормального масс-фракционирования, характерного для кристаллической дифференциации магмы на Земле (оливин – пироксен – амфибол – плагиоклаз – кварц). Каждый выделенный тип метеорита представляет собой одновременно особый уровень нормального масс-фракционирования изотопов кислорода, наиболее низкий соответствует CIII хондритам, в которых установлены глиноземисто-известковистые хондриты и их обломки (метеорит Allende), содержащие безжелезистый авгит (фассаит), богатый CaO, и шпинель. Из углистых хондритов – это наиболее эффективный концентратор легкого изотопа кислорода. Эта изотопная аномалия хорошо коррелируется с усилением восстановительной обстановки

хондробразования, что связано с повышением активности водорода при переходе от обыкновенных хондритов к углистым – происходит водородный вынос из хондритовых расплавов тяжелого изотопа кислорода и возникновение аномально низких степеней окисления элементов, что сопровождается возрастанием железистости силикатов (оливина и пироксена) в ходе кристаллизации матричных расплавов и переходом металлического железа в закисную форму.

Итак, Ванкорский метеорит, исходя из совокупности проведенных исследований (петрографических, электронно-микроскопических, рентгенофлюоресцентных, атомно-эмиссионно-спектроскопических, магнитометрических), должен быть отнесен к подклассу углистых хондритов СШ, подтипу СШЗ (отсутствие металлического железа, малое количество хондр, светлые включения с повышенным содержанием Са и Al). Можно также связать происхождение метеорита с кометами или с поясом астероидов [14, 15, 16], с его внешним кольцом, где сосредоточена их основная масса (около 84 %) и откуда поступает на Землю большинство углистых каменных метеоритов (СI, СII). Однако в этом случае возникает серьезная проблема для объяснения происхождения светлых включений в Ванкорском метеорите. В дальнейшем предполагается изучение углистого вещества и подтверждение установленного подтипа метеорита на основе изотопного фракционирования кислорода.

Авторы приносят свою благодарность всем сотрудникам лаборатории «НИ ТПУ», оказавшим помощь в исследовании метеорита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Очерки сравнительной планетологии. – М. : Наука, 1981. – 326 с.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

*Н. Ф. Столбова, доцент, кандидат геолого-минералогических наук
stolbovanf@ignd.tpu.ru*

Воронежский государственный университет

*В. И. Сиротин, профессор, заведующий кафедрой общей геологии и геодинамики
Тел. 8 (473) 220-86-82
ogg@geol.vsu.ru*

2. Сиротин В. И. Сравнительная планетология / В. И. Сиротин // Труды НИИ геологии ВГУ. – Вып. 36. – Воронеж : Воронеж. гос. университет, 2006. – 161 с.

3. New the solar System // Cambridge university press. – 1999. – 421 p.

4. Вуд Дж. Метеориты и происхождение Солнечной системы / Дж. Вуд ; под ред. Е. П. Кринова. – М. : Мир, 1971. – 172 с.

5. Взрывные кратеры на Земле и планетах. – М. : Мир, 1968. – 267 с.

6. Геология астроблем / под ред. В. Л. Масайтиса. – Л. : Наука, 1980. – 231 с.

7. Импаكتиты / под ред. А. А. Маракушева. – М. : Изд-во МГУ, 1981. – 240 с.

8. Маров М. Я. Планеты Солнечной системы / М. Я. Маров. – М. : Наука, 1987. – 256 с.

9. Мейсон Б. Метеориты / Б. Мейсон. – М. : Мир, 1965. – 306 с.

10. Вдовыкин Г. П. Углеродистое вещество метеоритов / Г. П. Вдовыкин. – М. : Наука, 1967. – 271 с.

11. Вдовыкин Г. П. Алмазы в метеоритах / Г. П. Вдовыкин. – М. : Наука, 1971. – 115 с.

12. Витязев А. В. Импаکتы в ранней и современной истории Земли / А. В. Витязев // Земля и Вселенная. – 2000. – № 2. – С. 9–17.

13. Соботович Э. В. Вещество метеоритов / Э. В. Соботович, В. П. Семенов. – Киев : Наукова думка, 1984. – 192 с.

14. Герасимов И. А. Динамическая эволюция кометно-астероидного вещества в Солнечной системе / И. А. Герасимов, Б. Р. Мушаилов // Земля и Вселенная. – 2000. – № 6. – С. 28–38.

15. Кометы и происхождение жизни. – М. : Мир, 1984. – 228 с.

16. Симоненко А. Н. Метеориты – осколки астероидов / А. Н. Симоненко. – М. : Наука, 1979. – 224 с.

17. Ударные кратеры на Луне и планетах / А. Т. Базилевский [и др.]. – М. : Наука, 1983. – 200 с.

National research Tomsk Polytechnic University

*N. F. Stolbova, assistant professor, Candidate of Geology-Mineralogical Sciences
stolbovanf@ignd.tpu.ru*

Voronezh State University

*V. I. Sirotnin, Professor, Head of Geological processes and geodynamics
Тел. 8 (473) 220-86-82
ogg@geol.vsu.ru*