

CYANOBACTERIA AND (?) FUNGI IN THE METEORITES

A. Yu. ROZANOV

New data on the presence of microorganisms in meteorites (C-chondrites) are provided. These data allow us to suggest that extra-terrestrial life already existed more than 4,5 billion years ago.

Приводятся новые данные о наличии ископаемых микроорганизмов в метеоритах (углистых хондритах), что дает возможность предполагать, что жизнь существовала за пределами Земли уже 4,5 млрд лет тому назад.

ЦИАНОБАКТЕРИИ И, ВОЗМОЖНО, НИЗШИЕ ГРИБЫ В МЕТЕОРИТАХ

А. Ю. РОЗАНОВ

Московский государственный университет
им. М.В. Ломоносова

Человечество всегда интересовало, что происходит за пределами Земли, и один из главных вопросов, который не давал покоя: есть ли или была ли жизнь за пределами нашей планеты? Количество научной и научно-популярной литературы, посвященной этому вопросу, исчисляется десятками тысяч.

Недавно пресса всего мира рассказывала о находке американскими учеными метеорита, найденного в Антарктиде и являющегося, по их представлениям, марсианским фрагментом. В нем были обнаружены следы бактерий. Поскольку этому фрагменту Марса очень много лет (~4,5 млрд лет), то высказано предположение, что, если даже сегодня на Марсе нет жизни, все же в примитивном варианте она могла существовать в те далекие времена.

На Землю постоянно поступает огромное количество внеземного (космического) материала в виде космической пыли и значительно реже в виде достаточно крупных обломков, которые можно (около 1%) обнаружить и распознать. Оценки количества внеземного вещества, поступающего на Землю, весьма противоречивы. Но наиболее принятые (наиболее вероятные) — это 100–1000 т в сутки.

По существующим представлениям, метеориты имеют астероидальное или кометное происхождение. Все они по составу разделяются на каменные, железокремнистые и железные в зависимости от содержания силикатных минералов и никелистого железа. Подавляющее большинство обнаруженных метеоритов каменные, среди которых преобладают так называемые хондриты (табл. 1).

Здесь же следует заметить, что исследователи различают находки и падения. Первые — это тела, обнаруженные значительно позже их прилета на Землю, и вторые, обнаруженные (и поднятые) сразу после их падения. Каждый из трех упомянутых выше типов метеоритов подразделяется на классы. Среди железных метеоритов установлены два класса: палласиты и мезосидериты. Палласиты состоят из минерала оливина (его Mg-разновидности — $(\text{FeMg})_2\text{SiO}_4$), заключенного в никелистое железо. Мезосидериты — перекристаллизованные механические смеси силикатов, входящих в клетки металла. Среди каменных метеоритов различают хондриты и ахондриты. Хондриты получили свое название от хондр — специфических сфероидальных

Таблица 1. Распространенность главных типов метеоритов (по [2])

Метеориты	Падения	%	Находки	%
Каменные				
хондриты	602	87,4	46	51,3
ахондриты	57	8,3	9	1,0
Всего	659	95,7	55	52,3
Железокаменные				
палласиты	2	0,3	33	3,8
мезосидериты	6	0,9	14	1,6
Всего	8	1,2	47	5,4
Железные	22	3,2	366	42,1
Общее число надежно классифицированных метеоритов	689		468	

силикатных образований. Среди хондритов выделяются три класса (энстатитовые – Е, обыкновенные – О и углистые – С) и восемь групп, различающиеся по химическому составу (табл. 2).

Для наших целей наиболее интересны углистые хондриты, среди которых выделены четыре группы (I, M, O, V). Обозначения I, M, O, V соответствуют первым буквам типичных метеоритов (Ivuna, Mighea, Ornans и Vigarano). Таким образом, например, сочетание CO означает углистый хондрит типа

Ornans. Кстати, названия метеоритов даются по местности.

CI-хондриты довольно редки и мелки, и материалы по ним немногочисленны. Они представляют собой микробрекчии с обломками миллиметровой и менее размерности. Сами обломки значительно отличаются друг от друга минеральным и химическим составом. Вторично возникшие трещины заполнены карбонатами и водными сульфатами кальция и магния. В отличие от всех остальных CI-хондриты не имеют настоящих хондр. Основной материал сложен из мельчайших зерен монтмориллонита (глинистый минерал), септохлорита (водный силикат, общая формула $Fe_6(Si_4O_{10})(OH)_9$) и магнетита. Иногда присутствуют в незначительных количествах и другие минералы.

CM-хондриты распространены значительно шире. Известные находки достаточно крупные. Самым изученным оказался метеорит, упавший в 1969 году в Австралии и получивший название Мурчeson. Хондриты CM-группы содержат ярко выраженные хондры и непереплавленные агрегаты, погруженные в матрицу. Обычно они небольших размеров (<0,5 мм). Отдельные минералы представлены оливином, пироксенами, хромитом, Ca–Al-силикатными стеклами и некоторыми минералами (кальцит, гипс, магнетит), являющимися новообразованиями в матрице. В небольших количествах в агрегатах (но не в хондритах) установлены высокотемпературные Ca–Ti–Al-минералы (табл. 3).

Таблица 2. Химические составы хондритов (в %) (по [2])

Класс	Энстатитовые (E)		Обыкновенные (O)		Углистые (C)			
	Группа		H	L(LL)	I	M	O	V
Si	16,47	20,48	17,08	18,67	10,40	12,96	15,75	15,46
Ti	0,03	0,04	0,06	0,0	0,04	0,06	0,10	0,09
Al	0,77	1,06	1,22	1,277	0,84	1,17	1,41	1,44
Cr	0,24	0,23	0,29	0,31	0,23	0,29	0,36	0,35
Fe	33,15	22,17	27,81	21,64	18,67	21,56	25,82	24,28
Mn	0,19	0,12	0,26	0,27	0,17	0,16	0,16	0,16
Mg	10,40	13,84	14,10	15,01	9,6	11,72	14,52	14,13
Ca	1,19	0,96	1,26	1,36	1,01	1,32	1,57	1,57
Na	0,75	0,67	0,64	0,70	0,55	0,42	0,46	0,38
K	0,09	0,05	0,08	0,09	0,05	0,06	0,10	0,03
P	0,30	0,15	0,15	0,15	0,14	0,13	0,11	0,13
Ni	1,83	1,29	1,64	1,10	1,03	1,25	1,41	1,33
Co	0,08	0,09	0,09	0,06	0,05	0,06	0,08	0,08
S	5,78	3,19	1,91	2,19	5,92	3,38	2,01	2,14
H	0,12	Сл.	Сл.	Сл.	2,08	1,42	0,09	0,38
C	0,43	0,84	Сл.	Сл.	3,61	2,30	0,31	1,08
$Fe_{мет}/Fe_{общ}$	0,70	0,75	0,60	0,29	0,00	0,00	0,09	0,11
Число образцов	1	1	36	68	3	10	5	7

Таблица 3. Соотношения компонентов (в об. %) углистых хондритов (по [2])

Компонент	CI	CM	CO	CV
Матрица	99	48	34	42
Изолированные высоко-температурные зерна	1	22	8	2
Хондры	0	2	40	44
Агрегаты оливиновые	0	18	11	4
Агрегаты Ca–Ti–Al	0	Редки	2	4

Матрица CM-хондритов изучена плохо, хотя известно, что наиболее распространены в матрице септохлорит и в меньшей степени монтмориллонит. Углерод CM-хондритов находится в виде сложных углеводов, реже кальцита. CO-хондриты также, как и CM-хондриты, содержат хондры, непереплавленные агрегаты, одиночные кристаллы и их обломки (табл. 3). Наибольшие различия CM и CO в содержании хондр (значительно больше у CO).

Хондры могут состоять из гранулярного оливина, погруженного в чистое стекло, низкокальциевых пироксеновых волокон в стекле, зонарного оливина и железисто-хромистой шпинели в стекловатой основной массе. Гораздо реже встречаются хондры, состоящие из анортита ($\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_7$), шпинели (MgAl_2O_4), диопсида ($\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$), геленита ($\text{Ca}_2\text{Al}_2\text{SiO}_7$) и стекла. Агрегаты неправильной амбовидной формы, как правило, сложены оливином с незначительной примесью пироксена, шпинели и Na–Al-силикатов. В матрице были отмечены глинистоподобные водные силикаты и оливин. Углистая составляющая – в виде сложных углеводов. Последняя группа CV-хондритов отличается от CO-хондритов более всего по структуре (табл. 4).

Как пишет Р.Т. Додд [3, с. 88], “две особенности углистых хондритов – органические соединения и органические частицы – заслуживают здесь краткого упоминания, хотя за последние 20 лет (имеется в виду период 60–70-х годов. – *Примеч. авт.*) не сделано попыток возобновить работы в этом направлении... Во всех группах углистых хондритов присутствуют очень сложные органические соединения... Неопровержимые доказательства их биогенного происхождения отсутствуют, и было показано, что набор органических соединений в углистых хондритах может возникнуть в результате абиогенных процессов”. И далее: “Сейчас совершенно ясно, что жизнь не существовала в момент образования углистых хондритов, хотя в тех условиях присутствовали сложные молекулы, из которых в дальнейшем могли образоваться клетки. Интерес к этой проблеме и большому количеству связанных с ней вопросов постепенно угас и сошел на нет”.

Несколько слов о возрасте хондритов. Более или менее достоверные определения рубидиево-стронциевым методом были сделаны для групп обычно-

Таблица 4. Распространенность различных типов хондр и агрегатов (в об. %) в CO- и CV-хондритах (по [2])

Тип	CO	CV
Хондры		
Гранулярные: оливин-стекло	4–10	12–28
Гранулярные: оливин-стекло + непрозрачные минералы	20–36	14–39
Порфиновые или колосниковые, оливин-стекло	1–4	Редки
Радиально-лучистые; пироксен-стекло	0,5–1,5	0
Богатые Ca и Al	Редки	<1
Агрегаты		
Амебовидные, богатые оливином	8–16	1–8
Богатые Ca и Al (Cal), тонкозернистые	<1	1–6

венных и энстатитовых (H, L, LL и E) хондритов, а также для всех классов свинцово-свинцовым методом. Полученные значения находятся в интервале 4,39–4,59 млрд лет тому назад. В результате некоторые исследователи сегодня предполагают, что: 1) известные (собранные) метеориты происходят из нескольких десятков родительских тел; 2) большинство метеоритов происходят из астероидов; кометный и лунный материал, а тем более не относящийся к Солнечной системе маловероятен. Углистые хондриты также имели астероидные родительские тела, которые, возможно, были обогащены льдом и в этом отношении сходны с ядрами комет.

Другие исследователи не сомневаются в огромном поступлении на Землю именно кометного материала. Вероятно, исследователи в своих выводах опираются на один и тот же фактический материал, и поэтому крайне интересен химический состав вещества ядер наблюдаемых комет (табл. 5).

Решение проблемы происхождения углеродистого материала в углистых хондритах принципиально важно, поскольку от этого зависит развитие наших представлений о возникновении жизни вообще и на Земле в частности и об эволюции ее биосферы. В ходе наших исследований [4] особое внимание уделялось изучению с помощью электронного сканирующего микроскопа углистого вещества и обнаружению литифицированных остатков микроорганизмов, тесно сопряженных с минеральной матрицей хондритов. Это могло снять вопрос о возможной контаминации (засорении), поднимавшийся ранее при находке в метеоритах тех или иных форм биологического габитуса. Объектами исследования служили материалы падения метеорита Murchison (Австралия, 1969 год), а также метеорита Ефремовка (Казахстан, находка 1962 года). Электронно-микроскопические исследования сколов

Таблица 5. Химический состав вещества ядер наблюдаемых комет (по [1])

Соединение	Химическая формула	Приблизительный состав, мас. %
Вода	H ₂ O	60–70
Простые газы	NH ₃ , CH ₄ , CO, CO ₂	5–10
Органические соединения		10–15
нитрилы	HCN, CH ₃ CN, ...	
альдегиды	H ₂ CO, CH ₃ CHO, ...	
органические кислоты	HCOOH, CH ₃ COOH, ...	
спирты	CH ₃ OH, C ₂ H ₅ OH, ...	
производные рядов		
ацетиленового (C ₂ H ₂)	HCCCN, HCCCCH ₃ , ...	
этиленового (C ₂ H ₄)	H ₂ CCO, H ₃ CCCN, ...	
этанового (C ₂ H ₆)	CH ₃ CHO, C ₂ H ₅ CN, ...	
аминокислоты		
глицин	NH ₂ CH ₂ COOH	
аланин	CH ₃ CH(NH ₂)COOH	
валин	(CH ₃) ₂ CHCH(NH ₂)COOH	
полимеры типа парафинов с длинными цепями	C _n H _{2n+2}	
Внутриядерная пыль		10–25
силикаты	SiO ₂ , MgSiO ₃ , (Mg, Fe) ₂ SiO ₄	
графит	FeSiO ₃ , (Mg, Fe, Ca)SiO ₃ , ...	
окислы металлов	C	
сульфиды	FeO, Fe ₂ O ₃ , Fe ₃ O ₄ , CS, FeS, MnS, FeS ₂ , CaS, ...	
никелистое железо	FeNi	

образцов, напыленных золотом, проводили под сканирующим микроскопом “CamScan” (Cambridge).

Падение Murchison относится к группе CM-хондритов. Проведенное изучение [3] в электронном сканирующем микроскопе метеоритного материала показало, что в составе его минеральной матрицы довольно часто встречаются микроскопические структуры, которые с достаточной степенью вероятности могут быть приняты за литифицированные остатки коккоидных бактерий типа современных цианобактерий рода *Gloeocapsa*. Можно наблюдать и общий вид макроколоний, и сколы, на которых видны более мелкие микроколонии и отдельные клетки. Размер макроколоний обычно составляет 10–16 мкм, микроколоний – 5–6 мкм. Некоторые остатки коккоидных форм по строению чрезвычайно схожи с современными цианобактериями *Enthophysalis granulosa*. Кроме того, в матрице метеорита Murchison были обнаружены литифицированные остатки нитчатых микроорганизмов. В некоторых случаях они сохранили даже детали клеточного строения, ветвились и имели сходство с грибными мицелиями или актиномицетами (рис. 1).

Исследование метеорита Ефремовка, отнесенного к углистым хондритам типа CO, также показало

наличие в матрице структур, сходных с микроорганизмами как коккоидной, так и нитчатой форм (рис. 2). Одни формы морфологически сходны с мелкими однолеточными цианобактериями рода *Arphotheseae*, как бы вмонтированными в матрицу углеродистого хондрита. На поверхности микроколоний обнаруживаются полые сферы, которые можно рассматривать как остатки клеток и их капсул. Часто обнаруживаются короткие цепочки мелких коккоидных клеток, которые иногда не полностью разделены и образуют диплококки. Характер строения некоторых нитчатых образований позволяет отнести их к остаткам чехлов и трихомов цианобактерий типа *Microcoleus*. К мицелиальным грибам или актиномицетам, вероятнее всего, принадлежат разветвленные нитевидные структуры. Связь этих остатков микрофоссилий с минеральной матрицей хондрита настолько тесная, что предположить их происхождение контаминацией весьма трудно. Все же следует сделать два замечания. Первое – метеорит Ефремовка пролежал в Земле какое-то время. Заражение грибами и их быструю фоссилизацию с трудом, но можно допустить. Сложнее с цианобактериями, которым нужен свет и им нет смысла “лезть” внутрь метеорита. Второе – Мурчисон

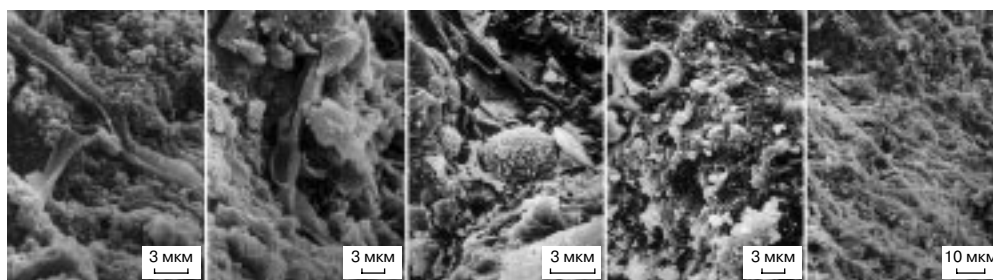


Рис. 1. Коккоидные и нитчатые цианобактерии из метеорита Мурчисон.

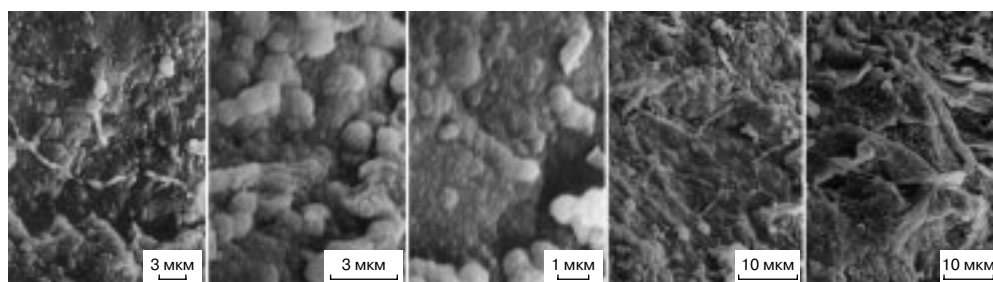


Рис. 2. Коккоидные и нитчатые цианобактерии и грибы из метеорита Ефремовка.

был поднят очень быстро, и в этом случае даже грибное заражение практически исключено.

Таким образом, в углеродистых хондритах присутствуют литифицированные остатки микроорганизмов, главным образом входящих в состав цианобактериальных матов. Принадлежность большей части микрофоссилий к минеральной матрице дает основание считать их первичными по отношению к породе и соответственно признать биогенную природу углеродистого вещества содержащих их метеоритов. Выявленные остатки микроорганизмов, вероятно принадлежащие к цианобактериям, указывают на формирование вещества углистых хондритов в водной среде. Таким образом, с неизбежностью следует вывод о том, что по крайней мере 4,5 млрд лет тому назад где-то за пределами Земли существовала жизнь на уровне бактерий и, может быть, низших грибов. Не хотелось, чтобы после прочтения статьи сложилось впечатление, что вопрос очевиден и только следует представить себе возможные последствия.

Опубликованные Н.П. Юшкиным [5] данные о форме кристаллов керрита из древних (1,7 млрд лет тому назад) пород создают дополнительные сложности, поскольку он обнаружил полимерные кристаллы, внешне сходные с бактериями. Очевидно, что только морфологическое опознание цианобактерий, грибов и других микроорганизмов не может считаться достаточным и следует искать новые пути подтверждения или опровержения биогенной природы части материала углистых хондритов. Однако

все же если мы действительно обнаружили микроорганизмы в хондритах, то вынуждены будем существенно пересмотреть многие устоявшиеся представления о развитии Солнечной системы и происхождении жизни.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баренбаум А. Галактическая цикличность земных катастроф. В сб.: Экосистемные перестройки и эволюция биосферы. М.: ПИН РАН, 1995. В. 2. С. 30–34.
2. Додд Р.Т. Метеориты. Петрология и геохимия. М.: Мир, 1986. 384 с.
3. Жмур С.И., Розанов А.Ю., Горленко В.М. Литифицированные остатки микроорганизмов в углистых хондритах // Геохимия. 1997. № 1.
4. Заварзин Г.А., Розанов А.Ю. Бактериальная палеонтология // Вестн. РАН. 1997. № 1.
5. Yushkin N.P. Natural Polymer Crystals of Hydrocarbonas as Models of Prebiological Organisms // J. Cryst. Growth. 1996. 5005. P. 1–11.

* * *

Алексей Юрьевич Розанов, доктор геолого-минералогических наук, профессор кафедры палеонтологии МГУ им. М.В. Ломоносова, директор Палеонтологического института РАН. Область научных интересов: палеонтология, палеогеография и стратиграфия верхнего докембрия и кембрия, эволюция биосферы, бактериальная палеонтология. Автор более 250 работ, включая 21 монографию.