

МЕЛКОДИСПЕРСНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО НА ЗЕМЛЕ

А. В. ИВАНОВ, К. П. ФЛОРЕНСКИЙ

При изучении взаимодействия Земли с окружающим пространством важную роль играют вопросы исследования мелкодисперсного космического вещества, которое является, по современным данным, наиболее представительной частью вещества, попадающего на Землю из Космоса. В настоящее время широкие и планомерные работы по выделению и изучению мелкодисперсного космического вещества проводятся во многих странах.

Значительная часть выпадающей на Землю космической пыли при пролете через земную атмосферу проходит стадию нагрева, что вызывает заметное морфологическое, минералогическое и химическое изменение вещества. Образующиеся при этом процессе сферические оплавленные микрочастицы являются единственным пока известным нам типом мелкодисперсного космического вещества, который несет внешние признаки космогенности (охлажденность при прохождении через атмосферу) и может быть выделен и изучен на поверхности Земли.

Другие морфологические типы космической пыли, достигающие поверхности Земли, — микрометеориты, неправильные угловатые частицы или агрегаты очень мелких зерен, не прошедшие оплавления, известны пока только по сборам в верхних слоях атмосферы или в районах падения отдельных метеоритов [9, 29]. Методы идентификации этих типов частиц космической пыли в обычных земных отложениях в настоящее время не установлены в связи с отсутствием каких-либо внешних признаков, отличающих их от терригенных частиц.

В настоящей статье рассматриваются результаты изучения главным образом сферических оплавленных микрочастиц космического происхождения («космических шариков»).

Возможны два основных механизма образования космических шариков при встрече метеорного тела с Землей: а) поверхностное или полное расплавление тела с разбрызгиванием, и застывание расплавленных капелек; б) частичное или полное испарение тела и последующая конденсация вещества из пересыщенного пара. Оба эти механизма могут иметь место в ряде процессов, происходящих как при полете метеоритов и микрометеоритов в атмосфере Земли, так и при сверхскоростном ударе крупных метеоритов о поверхность Земли [9—12, 17].

Основные объекты и методы сбора космических шариков

Впервые сферические оплавленные микрочастицы космического происхождения были обнаружены Дж. Мурреем во второй половине прошлого века [40, 41]. В пробах из глубоководных отложений Тихого океана им были найдены магнитные сферические оплавленные образования размером от 250 до 30 мк и менее, морфологическое сходство которых с поверхностью железных метеоритов и присутствие в составе частиц металлического железа дало основание предположить, что эти частицы образовались при абляции железных метеоритов в атмосфере.

Однако широкое и всестороннее исследование мелкодисперсного космического вещества, и в том числе космических шариков, началось только в середине XX столетия. В настоящее время существует большое количество публикаций, посвященных изучению космических шариков, в том числе ряд сводных и обзорных работ [3, 4, 20, 31, 50].

Многие работы посвящены изучению космических шариков из глубоководных красных глин, характеризующихся очень незначительным содержанием терригенных частиц, крайне малой скоростью накопления и поэтому являющихся как бы природным концентратом космического вещества. Большие и интересные работы по выделению и изучению этих шариков из глубоководных отложений были проведены шведской глубоководной экспедицией в 1947—1948 гг. [45, 46], во время которой специальными пробоотборниками получен керн длиной до 15 м, что соответствует возрасту отложений несколько миллионов лет.

Как показали эти и другие аналогичные исследования [28, 33], концентрация шариков в осадках очень сильно колеблется как по площади, так и по глубине. Такие колебания могут быть в существенной степени связаны с изменением скорости образования осадков в результате различной интенсивности поступления земного материала, хотя нельзя исключить возможность [46] неравномерного выпадения на Землю метеоритов.

Работы по сбору мелкодисперсного вещества из атмосферы и атмосферных выпадений проводятся обычно в местах, удаленных от промышленных центров, что обуславливается большой загрязненностью атмосферы продуктами промышленной деятельности, в том числе и оплавленными частицами. Тем не менее при таких исследованиях всегда должна учитываться возможность загрязнения полученных проб земными частицами.

Могут быть выделены две группы методов сбора частиц из атмосферы [3].

В первом случае сбор проводится путем просасывания определенных объемов воздуха через специальные фильтры различного типа, установленные на самолетах или на поверхности земли [2, 27, 56]. Наиболее существенный недостаток таких работ — кратковременность эксперимента.

В других случаях частицы, выпадающие из атмосферы, собирают на предметные стекла, покрытые пленкой медленно сохнущего вещества [20, 30], или в сосуды, на дно которых налита жидкость [22, 24]. Большой интерес представляют исследования космических шариков из атмосферы, проводившиеся в течение длительного времени, и в первую очередь работы В. Крозье [23]. Им в течение 9 лет (1956—1964 гг.) проводились сборы на двух станциях в центральной части Нью-Мексико, США. Наблюдалось в общем очень хорошее согласие интенсивности выпадения черных магнитных шариков диаметром более 5 мк по данным обеих станций. Общее годовое количество их колебалось, по данным одной из станций, от $6 \cdot 10^{-5}$ до $49 \cdot 10^{-5}$ г/м² при средней величине примерно $20 \cdot 10^{-5}$ г/м². Отмечались значительные сезонные колебания в интенсивности выпадения черных магнитных шариков; наиболее низкая интенсивность наблюдалась в зимние месяцы, наиболее высокая — в апреле — июне и в августе — сентябре. Такая сезонная зависимость может быть связана с интенсивностью метеорных потоков.

В последнее десятилетие значительное внимание уделяется исследованию космических шариков из многолетних снеговых отложений Антарктиды и Гренландии, что объясняется малой общей запыленностью этих районов, легкостью выделения частиц из снега и возможностью стратификации снеговых отложений.

Исследования внеземных шариков из кернов снеговых отложений в различных частях Антарктиды были проведены Р. Шмидтом. Для 11 станций на полуострове Палмера [49] колебания частоты выпадения «металлических» (черных магнитных) шариков составляли от $5 \cdot 10^2$ до $30 \cdot 10^2$ шт/м² за год.

Отличительной особенностью работ К. Лангвея [36] по изучению шариков из снега Гренландии является то, что был растворен очень большой объем снега (несколько сотен m^3), что позволило выделить и изучить значительные количества (десятки mg) шариков.

Следует отметить, что в сборах вещества из глубоководных осадков, атмосферы и многолетних снеговых отложений помимо шариков изучаются частицы других типов, а также содержание некоторых характерных «космических» элементов и космогенных изотопов, что позволяет оценить долю отдельных фракций во всем мелкодисперсном веществе, поступающем на Землю.

Относительно немногочисленны работы по выделению космических шариков из обычных земных отложений, что объясняется в первую очередь трудностью выделения таких частиц из пород. В то же время поиски таких частиц в древних осадочных породах представляют особый интерес для выяснения характера выпадения космического вещества на Землю в прошедшие геологические эпохи. Черные магнитные шарики обнаружены в различных осадочных породах (песчаники, глинистые сланцы, известняки, доломиты) широкого диапазона возраста, от ордовика до мела [21, 53, 55]. Наиболее древние сферические микрочастицы найдены Х. Вийдингом [1] в нижнекембрийских песчаниках Эстонии. Общее количество шариков диаметром от 20 до 430 $m\mu$ и другого распыленного магнитного материала, вероятно, метеоритного происхождения составляло около 0,2% веса породы; образование его связывается с падением гигантского железного метеорита в позднем докембрии или в начале кембрия.

Среди работ по выделению шариков из древних осадочных пород большое значение имеют исследования шариков в соляных отложениях, позволяющие получать количественные оценки выпадения вещества. Такие исследования проведены Т. Матчем [43], который определил содержание черных магнитных шариков в 26 пробах соли силурийского и пермского возраста весом около 2 kg каждая. Количество шариков диаметром более 5 $m\mu$ в отдельных пробах колеблется весьма сильно, от $63 \cdot 10^2$ до $1150 \cdot 10^2$ шт/ m^2 за год, что связано, очевидно, с невозможностью получить надежную характеристику выпадения шариков по отдельным малым пробам. В то же время проведенное нами [6] изучение шариков в двух крупных представительных пробах нижнепермских солей весом 80 и 100 kg показало, что содержание шариков диаметром более 10 $m\mu$ практически идентично и составляет 4800—5600 шт/ m^2 за год.

Помимо отмеченных выше работ, посвященных всей совокупности выпадающих на Землю космических оплавленных микрочастиц, имеется ряд исследований мелкодисперсного вещества в районах падения крупных космических тел: Сихотэ-Алинского железного метеорита [9, 10], Аризонского метеорита [48] и некоторых других.

Особое место занимают исследования вещества в почвах района Тунгусского падения 1908 г. Работы эти являются первой попыткой оценить характер распределения космических шариков на большой площади [14]. В результате обработки по специальной методике более 100 проб почвы были получены данные по относительному содержанию в них черных магнитных шариков и обнаружен ореол обогащения почвы космическим веществом, простирающийся к северо-западу от эпицентра на расстояние более 400 km .

Морфология и фазовый состав космических шариков

Многочисленные работы по изучению округлых оплавленных микрочастиц космического происхождения дают достаточно подробные сведения об их фазово-морфологических характеристиках и позволяют провести классификацию частиц.

В ряде работ приводятся классификации шариков из отдельных сборов [20, 53 и др.]; наиболее подробная — классификация Р. Шмидта [50]. Од-

нако, на наш взгляд, в этих классификациях часто слишком большое внимание уделяется второстепенным, частным характеристикам частиц.

Предлагаемая ниже типизация разработана на основе шариков из района Тунгусского падения [16] с учетом вещества из других сборов.

Среди шариков и других оплавленных образований могут быть выделены две основные группы: черные магнитные и силикатные. В связи с тем, что обычно применяющиеся методики основаны на выделении более тяжелых и магнитных фракций, количество обнаруженных магнитных частиц значительно превышает число силикатных образований и поэтому, соответственно, магнитные шарики могут быть охарактеризованы более подробно. Истинное количественное соотношение различных типов шариков пока неясно.

Черные магнитные шарики, размер которых колеблется от первых микронов до ~ 1 мм, характеризуются различным типом поверхности, причем более мелкие шарики имеют обычно гладкую блестящую поверхность, для более крупных же характерна матовая и шероховатая поверхность. Детальное изучение структуры поверхности черных шариков из антарктического снега [52] позволило по этому признаку выделить три типа шариков: гладкие «полированные» шарики без видимых деталей поверхности; шарики с волнистой поверхностью, состоящей из двух систем пересекающихся пластинок; шарики с переменным блеском с беспорядочно расположенными округлыми ямками.

По внутреннему строению среди черных магнитных шариков могут быть выделены следующие основные разновидности: а) полые шарики с толщиной стенок от 0.25 до 0.03 величины диаметра; б) плотные (или тонкопористые) шарики. Магнитные шарики диаметром менее 40—50 мк большей частью плотные, тогда как среди более крупных шариков обычно полые формы; в) шарики сложного строения, состоящие из окисной оболочки и ковкого металлического ядра. Ядро часто смещено к одной из стенок шарика, и тогда его присутствие может быть обнаружено по рельефному концентрическому узору на участке поверхности, ближайшем к ядру.

Среди преобладающей массы правильных сферических образований встречаются заметные отклонения от правильной формы в виде сплюснутых или вытянутых частиц, «капель» и «колбочек», которые наблюдаются чаще среди более крупных образцов.

Основными минералами черных магнитных шариков [16, 36, 42, 49, 51] являются магнетит (оксимангнетит) и иоцит (вюстит).

Иногда в составе шариков обнаруживается металлическое железо (камацит), в отдельных образцах найдены микровключения шрейберзита и треворита. Присутствующий в некоторых шариках гематит имеет, вероятно, вторичное происхождение и образовался в результате медленного поверхностного окисления в холодном состоянии.

Так как многие черные магнитные шарики, с одной стороны, имеют пористое строение, а с другой — содержат включения металлической фазы, плотность их весьма сильно отличается от плотности магнетита, основного компонента этих шариков. Крайние измеренные значения плотности черных магнитных шариков из различных сборов — атмосферные выпадения, снеговые отложения, глубоководные осадки — равны 1.1 и 8.0 г/см³, в то время как средние значения довольно близки между собой (4.0—5.1 г/см³) [2, 15, 33, 49]. Особо представительна величина 4.54 г/см³, полученная до 50 мк шариков [36].

В ряде исследований отмечается уменьшение плотности шариков с увеличением их диаметра, что хорошо согласуется с отмеченной выше морфологической особенностью — большей распространенностью полых форм среди шариков более крупного размера.

Среди второй основной группы шариков, представленной силикатными образованиями, встречается ряд разновидностей по цвету: от совершенно

бесцветных до желто-зеленых и коричневых различных оттенков. Размеры выделяемых силикатных шариков в общем те же, что и магнетитовых. В то же время в ряде количественных сборов отмечается, что максимальные размеры силикатных шариков заметно больше, чем магнетитовых. Эта закономерность объясняется, очевидно, большей вязкостью силикатного расплава по сравнению с расплавом металла, большим размером образующихся при разбрызгивании капелек.

Для силикатных шариков еще более, чем для магнетитовых, характерны различные пористые и полые формы, что обуславливает большую хрупкость таких частиц и отчасти объясняет постоянный дефицит шариков этого типа по сравнению с магнетитовыми.

Вещество прозрачных силикатных шариков в большинстве случаев изотропно и имеет значительно более низкий показатель преломления по сравнению со стеклами типичных минералов каменных метеоритов, например: шарики из антарктического снега [49] и атмосферы [20] 1.48—1.52, шарики из района Тунгусского падения [8] 1.55—1.59.

В различных сборах мелкодисперсного взвешенного вещества весьма многочисленны округлые оплавленные образования, содержащие совместно как магнетитовое, так и силикатное вещество. Магнетитовое вещество иногда распределено в силикатной массе равномерно по всему телу шарика в виде тонкораспыленного материала и придает шарикам черный цвет, а в других случаях концентрируется пятнами в виде отдельных включений. Встречаются мелкие магнетитовые шарики, включенные в прозрачные силикатные, а также случаи сплавления прозрачных силикатных и черных магнетитовых шариков. Некоторые шарики и капельки, в том числе и шарики с металлическим ядром, имеют прозрачную силикатную оболочку; внешне такие шарики выделяются гладкой поверхностью с сильным стеклянным блеском.

Таким образом, имеется широкий и практически полный спектр переходных форм от магнетитовых шариков к силикатным.

Силикатное вещество шариков сложного строения, в отличие от чисто силикатных шариков, часто раскристаллизовано, причем рост кристаллов происходит от магнетитового включения, которое является как бы зародышем. Показатель преломления кристаллической фазы таких шариков несколько выше, чем у стекла: для шариков из глубоководных отложений [19] 1.63—1.66, для тунгусских шариков 1.62—1.64.

Образование шариков сложного строения, состоящих из силикатного и магнетитового вещества, может быть объяснено, по аналогии с модельными опытами [15], процессом инкогруэнтного распада железистых силикатов при плавлении на железистую магнетитовую и безжелезистую силикатную фазы с последующим обособлением обеих фаз, причем различные формы таких шариков образовались на разных стадиях процесса распада и ликвации. В то же время некоторые шарики сложного состава могли образоваться также в результате плавления и (или) слипания частиц различного, металлического и силикатного, состава.

Важной характеристикой проводимых сборов шариков является закономерность распределения их по размерам. Такие определения выполнены нами для черных магнетитовых шариков, выделенных из древних соляных отложений [5, 6]. Распределение числа шариков в зависимости от диаметра для шариков из нижнепермских солей диаметром от 10 до 50 мк при линейно-равном интервале группирования имеет степенной характер

$$\Delta N(D) = kD^a \Delta D.$$

Показатель степени a , определяющий наклон прямой (при построении графика указанной зависимости в логарифмических шкалах), для двух проб равен -2.68 ± 0.39 и -2.70 ± 0.30 . Тому же показательному закону подчиняется подсчитанное нами суммарное распределение шариков диа-

метром 5—40 мк из 26 проб солей силурийского и пермского возраста, изученных Т. Матчем [43], причем значение $\alpha = -3.43 \pm 0.25$.

Таким образом, для древних выпадений космических шариков характерно распределение по размерам с показателем степени, близким —3. Существенно, что при $\alpha = -3$ суммарная масса всех шариков данного интервала диаметров не зависит от значения диаметра, т. е. является константой, определяемой значениями коэффициента k и плотности шариков.

Такая закономерность была отмечена для ряда других аналогичных исследований [34], что указывает на справедливость найденного закона и для современных выпадений мелкодисперсного внеземного вещества.

Химический состав космических шариков

Изучение химического состава частиц внеземной пыли представляет значительные трудности в связи с малым размером отдельных частиц. Только в последнее время применение современных методов анализа, и особенно рентгеноспектрального микроанализа, позволило получить данные о химическом составе индивидуальных частиц мелкодисперсного внеземного вещества. Следует отметить, что химическому изучению, как и морфологическому и минералогическому, подвергаются в основном черные магнитные (магнетитовые) шарики.

Значительное число работ, особенно на первом этапе изучения состава индивидуальных частиц, была посвящена анализу поверхностных слоев шариков. Однако состав поверхностных слоев шариков часто не характеризует состава их внутренних частей, и, следовательно, состава частиц в целом из-за непостоянства структуры и состава шариков по сечению. Поэтому значительно большую информацию дает рентгеноспектральный микроанализ полированных срезов шариков [15, 25, 26, 32, 37, 51]. Примеры таких анализов полированных срезов черных магнитных шариков из различных сборов приводятся в табл. 1 и 2.

Как показывают результаты анализов, характерные для черных магнитных шариков, колебания состава особенно значительны в случае присутствия металлической фазы.

Таблица 1

Химический состав внутренних частей черных магнитных шариков

№ п. п.	Источник шариков	Строение шарика (анализируемая фаза)	Содержание элементов, %			Литературный источник
			Fe	Ni	Co	
1	Гренландский лед	Металл	86.5	3.0	0.8	[26]
		Магнетит	73.0	0.05	0.1	
2	»	Металл	1.8	96.9	0.2	[26]
		Окисная фаза	11.6	49.1	0.2	
3	»	Металл	98.3	0.1	0.2	[26]
		Магнетит	72.6	<0.05	0.1	
4	Глубоководные марганцевые конкреции	Металлическое ядро	25	74	1	[25]
		Окисная оболочка (магнетит + вюстит)	70—75	3—4	0.5	
5	»	Окисная фаза (магнетит + вюстит)	65—75	2.5	0.1	[25]
6	Почвы района Тунгусского падения 1908 г.	Металлическое ядро	22	76	1.4	[15]
		Окисная оболочка	72	2.2	0.2	
7	»	Металлическое ядро	10	90	1.6	[15]
		Окисная оболочка	71	2.3	0.4	
		Окисная фаза	68	4.4	0.4	[15]
		Окисная фаза	69	3.3	0.3	

Химический состав внутренних частей черных магнитных шариков из глубоководных отложений Атлантического океана [51]

№ п. п.	Строение шарика (анализируемая фаза)	Содержание элементов, %											
		Fe	Ni	Co	Mn	Al	Si	P	S	Ca	Ti	Cr	Mg
1	Оболочка	64.2	1.93	0.27	0.03	0.33	0.20	0.08	<0.02	0.89	<0.02	0.07	0.89
	Треворит	41.0	20.2	0.38	0.09	0.77	2.70	0.36	0.13	0.87	0.30	<0.03	0.48
	Металл	21.6	77.5	1.19	0.08	<0.02	0.05	н. о.	<0.02	0.03	0.04	<0.02	н. о.
	Магнетит	71.0	1.42	0.25	0.02	0.23	0.14	0.07	<0.02	0.06	<0.02	0.06	<0.02
	Участки, богатые Si	56.0	н. о.	н. о.	н. о.	н. о.	3.4	н. о.	н. о.	0.60	н. о.	н. о.	н. о.
2	Оболочка	67.7	1.03	0.30	н. о.	0.06	0.06	н. о.	н. о.	<0.02	<0.02	н. о.	н. о.
	Треворит	43.9	18.4	0.53	0.10	н. о.	2.47	0.36	н. о.	0.69	0.05	0.14	0.42
	Магнетит	71.1	1.13	0.39	0.03	<0.02	<0.02	<0.02	н. о.	<0.02	<0.02	0.18	<0.02
3	Окисная фаза	64.4	1.62	0.38	<0.02	<0.02	<0.03	н. о.	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02	<0.02
	Окисная фаза	68.2	0.72	0.25	<0.02	<0.02	<0.02	н. о.	<0.02	<0.02	0.09	0.20	<0.02

Примечание. н. о. — не определялся.

Основным компонентом анализированных шариков является железо, содержание которого в большинстве случаев составляет около 70%, что соответствует магнетиту.

Содержание никеля, этого типичного элемента метеоритного железа, широко варьирует в различных фазах черных магнитных шариков; концентрация его в металлической фазе ядра достигает 90% и даже 97%; тогда как в магнетите колеблется от сотых долей процента до нескольких процентов. Колебания в содержании кобальта имеют ту же направленность, но значительно менее четко выражены; максимальное отмеченное содержание кобальта в металлической фазе равно 1.6%.

Изменения содержания этих элементов в различных сосуществующих фазах черных магнитных шариков хорошо объясняются величиной свободной энергии соответствующих окислов [15].

Данные по содержанию в черных магнитных шариках марганца, титана и хрома представляют большой интерес, однако разные авторы показывают весьма различные величины их содержания, что сильно затрудняет интерпретацию анализов.

В некоторых черных магнитных шариках обнаружено заметное содержание литофильных элементов: кремния (до 14%), алюминия (до 1.1%), кальция (до 1.1%) и магния (до 5.7%). Эта группа элементов связана, очевидно, с силикатным стеклом, присутствие которого в таких шариках отмечалось выше.

Значительно менее исследованы силикатные шарики. Имеющиеся анализы, а также некоторые косвенные данные, в частности значения показателя преломления, свидетельствуют, что эти шарики состоят в основном из кальциево-магниевого силикатного вещества кислого состава. Для темноокрашенных шариков характерно также заметное содержание железа.

Интенсивность выпадения мелкодисперсного космического вещества

Первостепенное геохимическое значение при рассмотрении проблемы материального взаимодействия Земли и Космоса имеет количество мелкодисперсного космического вещества, выпадающего на поверхность Земли, и его вариации во времени [7].

Значительное число работ посвящено определению интенсивности современного выпадения черных магнитных шариков. Такие определения проводятся на материале, собранном из атмосферы и атмосферных выпадений, из многолетних снеговых отложений и из глубоководных океанических осадков.

Крайние значения величины современного выпадения черных магнитных шариков, по данным разных исследователей, колеблются в пределах четырех порядков — от 10^2 до 10^6 $\tau/\text{год}$ на всю Землю. Несомненно, однако, что различные методы определения имеют различную ошибку, как случайную, так и систематическую, и поэтому оценка интенсивности выпадения может в существенной степени зависеть от метода сбора.

Для большинства атмосферных сборов характерной особенностью является малое время сбора проб, что, естественно, снижает достоверность полученных таким образом оценок. Из значений, полученных по атмосферным выпадениям, наиболее достоверной представляется величина $1.04 \cdot 10^3$ $\tau/\text{год}$ [23], найденная в результате девятилетнего цикла работ.

Снеговые отложения Гренландии и Антарктиды весьма благоприятный объект для таких исследований, так как получаемые при этом пробы в большой степени свободны от оплавленных пылевых частиц земного происхождения. Эти оценки интенсивности выпадения шариков характеризуются в общем большой однородностью [18, 35, 49, 54, 57] и показывают в среднем $(1-2) \cdot 10^3$ $\tau/\text{год}$.

По сравнению со значениями, полученными на основании изучения атмосферных сборов и снеговых отложений, оценки выпадения шариков по глубоководным отложениям дают значительно более низкие величины, порядка 10^2-10^3 $\tau/\text{год}$, что можно объяснить, вероятно, заметным разложением шариков за длительное время пребывания их в морской воде, а также недостаточной точностью определения скорости накопления этих осадков.

Таким образом, наиболее вероятная величина интенсивности современного выпадения на Землю черных магнитных космических шариков составляет $(1-2) \cdot 10^3$ $\tau/\text{год}$.

Оценка полного количества мелкодисперсного космического вещества, выпадающего на Землю, характеризуется еще большим разнообразием результатов, что может быть связано с еще большей неоднородностью методов определения. Как и для фракции черных магнитных шариков, для всего мелкодисперсного вещества наиболее достоверными представляются оценки, выведенные на основании изучения многолетних снеговых отложений [18, 38] и некоторых атмосферных сборов [46], по содержанию в них никеля и некоторых других элементов. Вероятное значение величины выпадения может быть принято по этим данным примерно $(2-5) \cdot 10^6$ $\tau/\text{год}$ на всю Землю.

Интенсивность выпадения черных магнитных шариков в геологическом прошлом по результатам изучения проб солей пермского и силурийского возраста [6] оценивается $(1-2) \cdot 10^3$ $\tau/\text{год}$.

Таким образом, величина выпадения черных магнитных шариков на Землю в палеозое совпадает с величиной выпадения этой фракции мелкодисперсного космического вещества в современную эпоху. Весьма вероятно, что средняя интенсивность выпадения всего мелкодисперсного космического вещества за этот период также была постоянной.

Постоянная интенсивность ежегодного выпадения космической пыли на Землю в послекембрийское время хорошо согласуется с гипотезой формирования Земли из газо-пылевого облака, в соответствии с которой, по современным представлениям, исчерпывание пылевого облака и формирование Земли в основном закончилось уже в течение первых 10^8 лет [13].

* * *

Уже первые исследования доставленных на Землю образцов лунных пород показали [24, 39, 47], что важным компонентом лунного грунта являются силикатные сферические микрочастицы, по своим морфологическим характеристикам в общем близкие к космическим шарикам, встречаемым на поверхности Земли.

Образование лунных шариков, как и космических шариков на Земле, большинство исследователей объясняет либо плавлением вещества при ударах о Луну метеоритных тел, либо конденсацией вещества из пересыщенного пара.

Однако в отличие от «земных» космических шариков, вещество которых характеризует состав метеоритных тел, найденные на Луне силикатные шарики состоят в основном из местного лунного вещества. В то же время найденные в лунном грунте, в том числе и внутри силикатных оплавленных микрочастиц, мелкие железо-никелевые шарики имеют метеоритный состав и аналогичны находимым на Земле черным магнитным шарикам, но, в отличие от них, не изменены процессами окисления.

Таким образом, особые условия Луны — отсутствие атмосферы и, в частности, кислорода, — вносят свою специфику в процессы образования оплавленных микрочастиц.

Ин-т космических исследований
АН СССР

Поступила в редакцию
1 сентября 1970 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. Х. А. Вийдинг. Метеоритика, вып. XXVI, 1965.
2. В. Д. Виленский. Геохимия, № 5, 1966.
3. В. Д. Виленский. Геофизический бюллетень, № 17, 1966.
4. Б. И. Вронский. Метеоритика, вып. XXIV, 1964.
5. А. В. Иванов, К. П. Флоренский. Геохимия, № 4, 1968.
6. А. В. Иванов, К. П. Флоренский. Астрономический вестник, 3, № 1, 45, 1969.
7. А. В. Иванов, К. П. Флоренский. Геохимия, № 11, 1970.
8. О. А. Кирова, Н. И. Заславская. Метеоритика, вып. XXVII, 1966.
9. Е. Л. Кринов. Сб. «Исследование ионосферы и метеоров», № 2, 1960.
10. Е. Л. Кринов. Сб. «Сихотэ — Алинский железный метеоритный дождь», 2, М., 1963.
11. Б. Ю. Левин. Физическая теория метеоров и метеорное вещество в солнечной системе. Изд. АН СССР, М., 1956.
12. Ю. П. Райзер. Метеоритика, вып. XXIV, 1964.
13. В. С. Сафронов. Вопросы космогонии, 6, 1958.
14. К. П. Флоренский. Геохимия, № 3, 1963.
15. К. П. Флоренский, А. В. Иванов, Н. П. Ильин, М. Н. Петрикова, Л. Е. Лосева. Геохимия, № 10, 1968.
16. К. П. Флоренский, А. В. Иванов, О. А. Кирова, Н. И. Заславская. Геохимия, № 10, 1968.
17. К. П. Флоренский, А. В. Иванов. Метеоритика, вып. XXX, 1970.
18. J. Brosas, E. Picciotto. J. Geophys. Res., 72, No. 8, 1967.
19. A. F. Bruun, E. Langer, H. Paullu. Deep Sea Research, 2, 1955.
20. J. D. Buddhue. Meteoritic dust. Univ. of New Mexico Publ. in «Meteoritics», No. 2, Albuquerque, 1950.
21. W. D. Crozier. J. Geophys. Res., 65, No. 9, 1960.
22. W. D. Crozier. J. Geophys. Res., 66, No. 3, 1961.
23. W. D. Crozier. J. Geophys. Res., 71, No. 2, 1966.
24. M. B. Duke, C. C. Woo, M. L. Bird, G. A. Sellers, R. B. Finkelman. Science, 167, No. 3918, 1970.
25. R. B. Finkelman. Science, 167, No. 3920, 1970.
26. A. Goresy. SAO Spec. Rep., No. 251, 1967.
27. T. Grjebine. Ann. N. Y. Acad. Sci., 119, No. 1, 1964.
28. T. Grjebine, C. Lalou, J. Ros, M. Capitant. Ann. N. Y. Acad. Sci., 119, No. 1, 1964.
29. C. L. Hemenway, R. K. Soberman. Astron. J., 67, No. 5, 1962.
30. P. W. Hodge, R. Wildt. Geochim et Cosmochim. Acta, 14, No. 1, 1958.
31. P. W. Hodge, F. W. Wright, D. Hoffleit. An annotated bibliography on interplanetary dust. Smithsonian. Contributions to Astrophysics, 5, No. 8, 1961.
32. P. W. Hodge, F. W. Wright, C. C. Langway, Jr. J. Geophys. Res., 72, No. 4, 1967.
33. W. Hunter, D. W. Parkin. Proc. Roy. Soc., A, 255, No. 1282, 1960.
34. T. Laevastu, O. Mellis. J. Geophys. Res., 66, No. 8, 1961.
35. C. C. Langway, Jr. Int. Assoc. Sci. Hydrology Publication, No. 61, 1963.
36. C. C. Langway, Jr., U. B. Marvin. Ann. N. Y. Acad. Sci., 119, No. 1, 1964.
37. R. R. Larson, E. J. Dwornik, J. Adler. Ann. N. Y. Acad. Sci., 119, No. 1, 1964.

42. R. McCorkell, E. L. Fireman, C. C. Langway, Jr. *Trans. Amer. Geophys. Union*, **48**, No. 1, 1967.
43. D. K. McKay, W. R. Greenwood, D. A. Morrison. *Science*, **167**, No. 3918, 1970.
44. J. Murray. *Proc. Roy. Soc., Edinburgh*, v. 9, 1876.
45. J. Murray, A. F. Renard. *Proc. Roy. Soc., Edinburgh*, v. 12, 1884.
46. A. Mutch. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **119**, art. 1, 1964.
47. A. Mutch. *Earth and Planetary Science Letters*, **1**, 1966.
48. W. Parkin, W. Hunter. *Nature*, **183**, No. 4663, 1959.
49. H. Pettersson, K. Fredriksson. *Pacific Science*, **12**, No. 1, 1958.
50. H. Pettersson. *Endeavour*, **19**, No. 75, 1960.
51. Preliminary examination of lunar samples from Apollo 11. *Science*, **165**, No. 3899, 1969.
48. J. S. Rinehart. *Astron. J.*, **63**, No. 8, 1958.
49. R. A. Schmidt. *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **119**, No. 1, 1964.
50. R. A. Schmidt. A survey of data on microscopic extraterrestrial particles. NASA TN D-2719, 1965.
51. R. A. Schmidt, K. Keil. *Geochim. et Cosmochim. Acta*, **30**, No. 5, 1966.
52. R. A. Schmidt, K. V. Venkataraman, M. L. Jackson, G. P. Wollard. *Science*, **142**, No. 3592, 1967.
53. H. Skolnick. *Bull. Geol. Soc. of Amer.*, **72**, No. 12, 1961.
54. E. Thiel, R. A. Schmidt. *J. Geophys. Res.*, **66**, No. 1, 1961.
55. K. Utech. *Neues Jahrb. Geol. und Paläontol. Monats.*, **8**, 1961.
56. F. W. Wright, P. W. Hodge. *Nature*, **195**, No. 4838, 1962.
57. F. W. Wright, P. W. Hodge, C. C. Langway. *J. Geophys. Res.*, **68**, No. 19, 1963.

A FINE-DISPERSED COSMIC MATTER ON THE EARTH

A. V. IVANOV, K. P. FLORENSKY

The review, in the main, is devoted to cosmic globules, found on the Earth: black magnetite, silicate and compound. Globules from various sources: deep-sea deposits, aerosoles, sedimentary rocks, salts and districts of meteorite falls, are considered. A classification of globules according to morphology and composition is given. Laboratory experiments on model of globules of various types are described. A generalization of different data shows that the distribution of globules according to their sizes is close to the significative law $N \sim D^3$. A general flow of the cosmic matter of the considered type is estimated by the value $10^5 - 10^6$ tons in year on the whole Earth.