

**МЕТОДИКА ВЫДЕЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ  
ИЗ ЗЕМНОГО МАТЕРИАЛА**

***К.П.Флоренский, А.В.Иванов, А.Н.Козлов***

*Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского АН СССР*

В настоящее время значительное внимание уделяется изучению мелкодисперсного космического вещества — наиболее представительной части космического вещества, выпадающего на Землю.

Могут быть выделены следующие основные морфологические типы мелкодисперсного космического вещества (космической пыли), достигающие поверхности Земли: а) шарики и другие оплавленные образования, б) неправильные угловатые частицы, не прошедшие оплавления, в) так называемые пушистые частицы, в виде агрегатов очень мелких зерен или кристаллов. В различных земных отложениях пока обнаружены только шарики и в ряде случаев неправильные угловатые магнитные частицы, приуроченные к местам падения отдельных метеоритов [1]. Пушистые частицы, а также неправильные частицы силикатного состава известны пока только по сборам в верхних слоях атмосферы на ракетах и спутниках [2].

Основная сложность изучения выпавшего мелкодисперсного космического вещества заключается в отсутствии четких критериев космогенности, а также в трудности выделения космогенной составляющей из земного материала.

До недавнего времени в качестве критерия космогенности для магнитных частиц обычно принималось повышенное содержание никеля, соответствующее содержанию его в железных метеоритах (среднее отношение  $Ni : Fe$  в метеоритном железе составляет примерно 1 : 14). Однако некоторые исследования, проведенные в последние годы, показали высокую миграционную способность никеля при окислении в горячем состоянии, что в ряде случаев может приводить к полному отсутствию никеля в отдельных частицах [3, 4].

В настоящей работе нами, как и многими другими исследователями, в качестве критерия космогенности принималась округлая оплавленная форма частиц (космические шарики).

Выделяются две группы шариков: магнитные и силикатные.

Диаметр магнитных шариков колеблется в очень широких пределах: примерно от 1 мм до 1 м и менее.

Потому что магнитные шарики часто неоднородны и могут иметь как пористое строение, так и содержать включения металлической фазы, плотность их может сильно отличаться от плотности магнетита [4, 6] (таблица).

Таблица

**Удельный вес и диаметр магнитных шариков**

Уд. вес, г/см <sup>3</sup>	Диаметр, м	Литературный источник	Уд. вес, г/см <sup>3</sup>	Диаметр, м	Литературный источник	Уд. вес, г/см <sup>3</sup>	Диаметр, м	Литературный источник
1,5	88	[4]	3,6	37	[5]	5,2	15	[5]
2,4	37	[5]	3,6	170	[4]	5,2	17	[5]
3,0	42	[5]	4,4	26	[5]	5,4	39	[5]
3,0	81	[4]	4,7	280	[4]	5,6	31	[5]
3,3	35	[5]		330		5,6	330	[4]
3,6	17	[5]	5,0	20	[5]	5,7	230	[4]
			5,1	14	[5]			

Наряду с совершенно правильными магнетитовыми шариками встречаются некоторые другие оплавленные образования: деформированные шарики, капельки, колбочки.

Силикатные шарики имеют в общем те же размеры, что и магнетитовые. Встречается ряд разновидностей силикатных шариков: прозрачные, совершенно бесцветные, белые, желто-зеленые и коричневые различных оттенков, бурые и черные. Во многих случаях отмечается наличие включений газовых пузырьков различных размеров.

Найдено большое количество шариков смешанного состава, состоящих из силикатного и магнитного вещества. В этом случае в силикатном веществе шарика наблюдаются непрозрачные включения в виде тонкораспыленного материала и отдельных изометричных зерен, которые иногда составляют половину и даже более общей массы шарика [7]. При изучении проб из района Тунгусского падения были найдены слипшиеся силикатные и магнетитовые шарики, а также магнетитовые шарики с силикатной оболочкой.

Из теоретических соображений относительно механизма образования шариков можно думать, что шарики выпадают на поверхность Земли в общем более или менее равномерно. Возможно, существует некоторое увеличение концентрации магнитных шариков от экватора к полюсам, связанное с наличием магнитного поля Земли.

Несомненно, большое влияние на концентрацию космических шариков в отдельных районах оказывают локальные выпадения метеоритов.

В настоящей работе не рассматривается общее количество шариков, выпадающих на поверхность Земли, но следует отметить, что разные методы приводят к различным оценкам — от тысяч тонн [8] до сотен миллионов тонн [9] и более в год на всю поверхность Земли, или от  $n \cdot 10^{-6}$  до  $n \cdot 10^{-1}$  г/м<sup>2</sup> в год.

Очевидно, что при любом из указанных значений количество космических шариков, выпавших на Землю, будет на много порядков разбавлено зернами земных минералов. Этим объясняется, что среди проводящихся во многих странах исследований по сбору и изучению космической пыли работы по выделению космических шариков из обычных земных отложений весьма немногочисленны. Обычными методами при таких исследованиях являются сборы из атмосферы на поверхности Земли и с помощью летательных аппаратов, выделение шариков из глубоководных океанических отложений и льдов.

Обработка образцов при выделении шариков ограничивается разделением материала на ситах по классам крупности (или отмучиванием для удаления глинистых частиц) и магнитной и электромагнитной сепарацией [5, 8, 10]. В дальнейшем полученные магнитные и электромагнитные фракции просматриваются под микроскопом полностью без какого-либо предварительного обогащения.

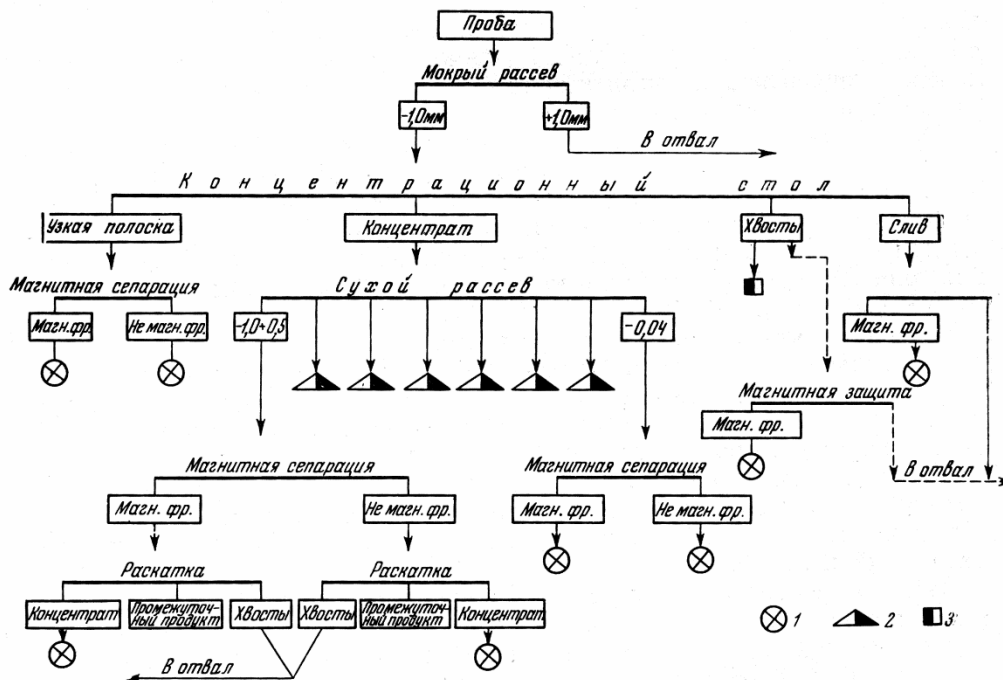
Такие методы обработки образцов дают практически количественные результаты по крайней мере для магнетитовых шариков, при выделении и просмотре только магнитной фракции. Однако очень большая трудоемкость заключительной стадии — (просмотр под микроскопом) — делает эти методы совершенно недостаточными при необходимости выделения космических шариков из больших количеств обычных земных отложений.

При изучении района Тунгусского падения 1908 г. для выяснения закономерности распределения космического вещества в почве было необходимо обработать более 100 картировочных проб весом 20–30 кг, а также выделить возможно большее количество вещества для дальнейшего исследования. Всего было обработано около 8 т почвы.

При взрыве Тунгусского тела, как и при любом локальном падении, наиболее мелкодисперсная часть вещества была разнесена атмосферными потоками на громадную территорию и смешалась с общим космическим фоном. Интерес представляет наиболее крупная фракция, при изучении которой казалось целесообразным учесть частицы крупнее 20–30 м.

Такого рода работы проводились впервые и представляют интерес при изучении районов падения крупных метеоритов.

Ниже описывается методика, применившаяся нами для выделения космических шариков из проб почвы (фиг. 1). Методика была выработана в процессе экспедиционных работ в 1961–1962 гг. и уточнена и дополнена при последующей камеральной обработке материала и изучении рассеянного вещества метеорита Каали-Ярв.



Фиг. 1. Схема выделения космических шариков из почвы

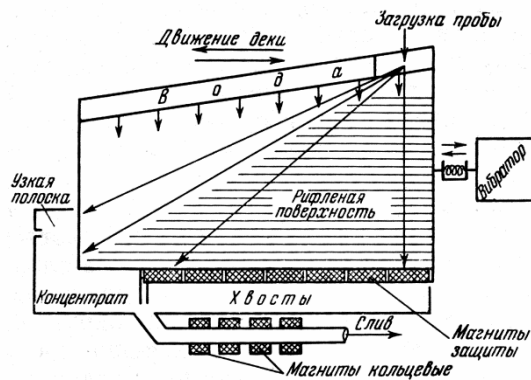
1 — на исследование под микроскопом; 2 — классы —  $0,5 + 0,35$ ,  $-0,35 + 0,25$ ,  $-0,25 + 0,15$ ,  $-0,15 + 0,1$ ,  $-0,1 + 0,07$ ,  $-0,07 + 0,04$ ; операции по классу  $-1,0 + 0,5$  мм; 3 — сухой просев и далее по схеме обработки концентрата стола

Для взятия картировочной пробы после ряда предварительных опытов была выбрана площадь  $2 м^2$ , что обеспечивает некоторое усреднение в неравномерности распределения шариков. Проба отбиралась на ровной однородной площадке, на которой трудно ожидать значительного переноса материала водными потоками и которая характеризуется относительно стабильным процессом почвообразования.

После удаления растительности отбирался верхний слой почвы толщиной около 2–3 см. Толщина отбираемого слоя почвы несколько варьировала в зависимости от характера растительности и процесса почвообразования. Вес полученной пробы позволяет доставлять ее на значительное расстояние для последующей обработки.

Характерной особенностью пробы является структурность почвы, а также наличие большого количества органических остатков. Для разрушения структуры почвы и удаления крупных органических остатков предварительно размоченная проба протиралась через погруженное в воду сито с размером отверстий 1 мм. В дальнейшем класс  $+1 мм$  отбрасывался (как указано, диаметр шариков не превышает этой величины).

Класс  $-1\text{ мм}$  отмывался на концентрационном столе 450 x 1000 конструкции «Механобр» (фиг. 2). На этой широко распространенной в обогатительной практике установке [11, 12] производится разделение минералов по удельному весу. Одновременно происходит дальнейшее разрушение структуры почвы. Работа проводилась при угле наклона деки около  $4^\circ$ , числе ходов деки 300 в мин. и амплитуде хода деки около 10 мм. Производительность установки — около 50 кг/час.



Фиг. 2. Схема разделения материала на концентрационном столе

При работе нами выделялись две основные фракции: концентрат, содержащий тяжелые минералы, в том числе магнетит, и хвосты. Для более полного улавливания магнитной фракции дека обогатительного стола дополнительно защищается системой сильных магнитов, расположенных вдоль всего нижнего края деки.

Для получения сравнимых результатов без полного выделения магнитной фракции можно ограничиться изучением так называемой узкой полоски, представляющей собой наиболее обогащенную магнетитом часть концентрата. Выделение этой фракции диктовалось необходимостью быстрого получения данных по относительному содержанию магнетитовых шариков в картировочных пробах. По подсчетам, проведенным О.А.Кировой, в узкую полоску попадает около 10% всех имеющихся в пробе магнетитовых шариков.

Концентрат и хвосты просушивались и рассеивались на ситах 0.5, 0.35, 0.25, 0.15, 0.10 и 0.04 мм. Из полученных фракций по классам крупности на полевом магнитном сепараторе конструкции авторов выделялась магнитная фракция.

Узкая полоска в тех случаях, когда она выделялась, после высушивания разделялась ручным магнитом, размагничивалась и просматривалась под микроскопом без дальнейшего обогащения.

Для улавливания мельчайших магнитных частиц и полых магнетитовых шариков, которые не успевали осесть в приемных бункерах, сливающаяся из бункеров пульпа пропусклась через дюралевою трубку с насаженными на нее кольцевыми магнитами.

Для выделения космических шариков нами разработан метод откатки их на установке, названной виброплоскостью. В основу установки положен тот же концентрационный стол, на котором вместо обычной деки с нарифлениями крепится ровная деревянная плоскость размером 0,5 x 1 м, покрытая рабочей поверхностью. Подаваемый на плоскость материал передвигается за счет возвратно-поступательного движения плоскости. Наклон плоскости в направлении, перпендикулярном возвратно-поступательному движению, позволяет частицам округлой формы выкатываться из общей массы размагниченного и хорошо просушенного материала.

Основными требованиями, предъявляемыми к рабочей поверхности, являются: гладкость поверхности, отсутствие электростатических и магнитных влияний и действия поверхностно-активных сил. В качестве рабочей поверхности были опробованы листы пластмасс, обычного стекла, хорошо отполированной латуни и нержавеющей стали. Однако эти материалы не соответствуют указанным требованиям. Металлические поверхности быстро покрываются царапинами, а также теряют гладкость из-за корродирующего действия влаги (латунь). При работе с обычным стеклом и пластмассами возникают электростатические заряды, препятствующие разделению частиц, что особенно заметно при обработке мелких классов силикатных фракций. Наилучший вариант — стекло с электропроводным покрытием. Нами с успехом применялось стекло, покрытое пленкой SnO<sub>2</sub>.

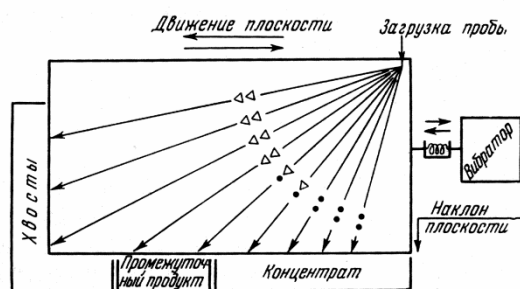
Необходимым условием четкого разделения является сухость и чистота материала и рабочей поверхности, в частности отсутствие на ней жирных пятен, резко снижающих эффект разделения.

Скорость подачи материала на плоскость следует регулировать таким образом, чтобы зерна породы не мешали шарикам выкатываться из общей массы. Практически размер отверстия загрузочной воронки должен превышать величину зерен породы обрабатываемого класса примерно в 3 раза.

Магнитная фракция перед разделением на виброплоскости должна быть полностью размагничена.

Производительность установки в зависимости от размера разделяемого материала колеблется от 50 до 250 г/час.

При работе на виброплоскости нами выделялись три основных фракции (фиг. 3): концентрат, содержащий шарики и сильно окатанные зерна; промежуточный продукт, большая часть материала которого представлена слабоокатанными частицами; хвосты, состоящие из неправильных, угловатых зерен.



Фиг. 3. Схема разделения материала на виброплоскости

Угол наклона виброплоскости при откатывании устанавливался в зависимости от класса крупности разделяемого материала. На основании проведенных макетных опытов для магнитной фракции были выбраны следующие углы наклонов:

Класс крупности, мм	Угол наклона, градусы	Класс крупности, мм	Угол наклона, градусы
+0,25	3	-0,15+0,10	5
-0,25+0,15	4	-0,10+0,04	8

Для материала размером более 0,10 мм откатывание производилось при числе колебаний плоскости 300 в минуту, а размером -0,10+0,04 мм — при числе 375 в минуту.

Макетные опыты показали, что при однократном откатывании в концентрат попадает 80–90% имеющихся магнетитовых шариков из классов крупности +0,10 мм и 60–80% из класса крупности -0,10+0,04 мм. Полнота выкатывания может быть увеличена при повторной раскатке промежуточного продукта. Для увеличения чистоты выкатываемого материала целесообразна также повторная раскатка концентрата шариков.

В результате раскатывания на виброплоскости происходит очень значительное (3–4 порядка) обогащение концентрата магнетитовыми шариками. Полученные количества материала легко могут быть просмотрены и доочищены под микроскопом.

Для соответствующих классов крупности немагнитной фракции величина угла наклона плоскости, по сравнению с углом наклона для магнитной фракции, несколько увеличивается:

Класс крупности, мм	Угол наклона, градусы	Класс крупности, мм	Угол наклона, градусы
+0,35	3	-0,15+0,10	6
-0,35+0,25	4	-0,10+0,04	10
-0,25+0,15	5		

Число колебаний деки при откатывании немагнитной фракции то же, что и для соответствующих классов магнитной фракции.

Материал размером менее 0,04 мм, как магнитный, так и немагнитный, разделить на виброплоскости не удалось. Очевидно, при таких размерах частиц поверхностные силы имеют слишком большое значение.

Нужно указать, что раскатывание на виброплоскости немагнитной фракции не дает столь значительного эффекта, какой наблюдается для магнитной фракции. Отчасти это связано с очень большим преобладанием немагнитной фракции почвы над магнитной и, следовательно, вообще относительно меньшим количеством немагнитных (силикатных) шариков на единицу веса фракции. Кроме того, наличие в пробе большого количества хорошо окатанных зерен силикатных минералов сильно «загрязняет» концентрат шариков.

Весьма вероятно, что невозможность выделения больших количеств силикатных шариков по данной методике, основанной на выделении тяжелых фракций проб, связана со значительным преобладанием среди силикатных шариков пористых и полых форм [4].

При работах по выделению космического вещества из района Тунгусского падения нами было обнаружено большое число полых магнетитовых и особенно силикатных шариков. Минимальный измеренный удельный вес магнетитового шарика равен  $1,5 \text{ г/см}^3$ . Удельный вес силикатных шариков может быть близок к единице и даже меньше; так, нами были найдены полые силикатные шарики размером порядка 100–200 мк среди органических остатков, выносимых водой при промывке проб на концентрационном столе.

Важно отметить, что магнетитовые шарики с удельным весом  $1,5 \text{ г/см}^3$  и более были выделены при раскатывании магнитной фракции на виброплоскости, что, по-видимому, еще раз свидетельствует о достаточно высокой чистоте выделения при этой операции.

Для выделения полых силикатных шариков может быть рекомендовано разделение силикатной фракции пробы центрифугированием в тяжелых жидкостях. Целесообразно выделять фракцию тяжелее 1,6 (удельный вес плотных растительных остатков) и легче 2,6 (удельный вес наиболее распространенных минералов — кварца и полевого шпата).

Как уже говорилось, почва, вследствие структурности и наличия большого количества органических остатков в ней, — один из наиболее неблагоприятных и трудоемких материалов для выделения космических шариков. При работе с другими материалами методика выделения может быть несколько упрощена.

Так, при выделении космических шариков из рыхлых осадочных пород (пески) целесообразно начинать обработку проб с сухого отсева, минуя первые стадии — мокрый сев и разделение на концентрационном столе, основная цель которых состоит в разрушении структуры почвы и удалении ее органической составляющей.



Для измельчения плотных осадочных пород (песчаники, сланцы) хорошие результаты были получены при использовании ультразвукового метода дробления.

Описываемая методика выделения космической пыли из земного материала не является окончательной и применимой во всех случаях. Она была выработана для районов, обогащенных космическим веществом вследствие локальных падений. Применять ее для изучения фонового распространения космических шариков в почве на больших площадях, по-видимому, еще преждевременно вследствие невозможности надежно установить незначительные колебания в содержании космических шариков, а также выделить шарики диаметром менее 20–15 мк, представляющие основную массу космического фона.

Однако предлагаемая методика и в настоящем виде представляет несомненный интерес при изучении больших масс вещества в районах падения отдельных метеоритов и при работах по накоплению больших количеств мелкодисперсного космического вещества.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. *Е.Л.Кринов*. Метеоритная и метеорная пыль; микрометеориты. - В сб. «Сихотэ-Алинский железный метеоритный дождь», т. II. М., Изд-во АН СССР, 1964.
2. *C.L.Hemenway, R.K.Soberman*. Studies of micrometeorites obtained from a recoverable sounding rocket. - *Astron. Journ.*, 67, N 5, 1962.
3. *H.Fechtig, K.Utech*. On the presence or absence of nickel in dark magnetic cosmic spherules and their mechanics of origin. - *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 119, N 1, 1964.
4. *К.П.Флоренский, А.В.Иванов, Н.П.Ильин, М.Н.Петрикова*. Тунгусское падение 1908 г. и некоторые вопросы дифференциации вещества космических тел. - Тезисы докладов на XX конгрессе ЮПАК. Секция космической химии. М., 1965.
5. *W.Hunter, D.W.Parkin*. Cosmic dust in recent deep-sea sediments. - *Proc. Roy. Soc., A*, 255, N 1282, 1960.
6. *В.Д.Виленский*. Удельный вес сферических микрочастиц, собранных в атмосфере. - *Геохимия*, №5, 1966.
7. *О.А.Кирова*. О минералогическом изучении проб почв из района падения Тунгусского метеорита, собранных экспедицией 1958 года. - *Метеоритика*, вып. XX, 1961.
8. *H.Petterson*. The accretion of cosmic matter to the Earth. - *Endeavour*, 19, N 75, 1960.
9. *T.A.Mutch*. Extraterrestrial particles in Paleozoic salts. - *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 119, N 1, 1964.
10. *W.D.Crozier*. Black magnetic spherules in sediment. - *J. Geophys. Res.*, 65, N 9, 1960.
11. *Г.С.Бергер, И.А.Ефимов*. Методы выделения мономинеральных фракций. Труды Каз. ИМС, вып. 4, 1961.
12. Справочник по обогащению полезных ископаемых, т. 3. М., Metallurgizdat, 1952.