

**МЕЛКОДИСПЕРСНОЕ КОСМИЧЕСКОЕ ВЕЩЕСТВО  
ИЗ НИЖНЕПЕРМСКИХ СОЛЕЙ**

*А.В.Иванов, К.П.Флоренский*

Были изучены черные магнитные космические шарики, выделенные из нижнепермских соляных отложений. Характер распределения по размерам и общее количество шариков, выпадавших на Землю в нижнепермское время, практически одинаковы с современным.

По современным представлениям, мелкодисперсное внеземное вещество является наиболее представительной частью космического вещества, выпадающего на поверхность Земли. Характер поступления космической пыли на Землю в процессе ее геологической истории представляет особый интерес для понимания происхождения Земли и проблемы материального взаимодействия ее с Космосом.

При выборе объекта для количественного изучения выпадения космической пыли в геологическом прошлом необходимо принять во внимание ряд требований: 1 — порода должна легко поддаваться дезагрегации и обогащению, причем эти операции должны быть не слишком агрессивными, чтобы исключить разрушение внеземных частиц; 2 — скорость отложения слагающего породу материала должна быть известна; 3 — необходимо, чтобы подавляющая часть слагающего породу материала образовалась на месте отложения. Наиболее благоприятными объектами, наилучшим образом удовлетворяющими перечисленным требованиям, являются галогенные отложения легкорастворимых солей.

Выбор месторождения природных солей для изучения содержания космической пыли определяется двумя основными требованиями: 1 — спокойное пластовое залегание тектонически ненарушенных отложений соли и наличие в них достаточно четкой годично-сезонной слоистости, что дает возможность получить строго количественные данные о величине ежегодного выпадения шариков; 2 — незначительное содержание в солях нерастворимого в воде материала, присутствие которого в большом количестве сильно

затрудняет выделение космических частиц из солей. Одним из наиболее подходящих в этом отношении месторождений является Артемовское месторождение каменной соли [1, 2].

При изучении содержания мелкодисперсного взвешенного вещества в ископаемых солях, как, очевидно, и при других аналогичных исследованиях, большое значение имеет объем проб. При этом в основу работы могут быть положены два различных принципа:

1. Отбираются малые пробы соли весом 2–5 кг. Это значительно облегчает работу по выделению взвешенных частиц и позволяет обработать относительно большое количество проб. Кроме того, облегчается сам отбор проб на месторождениях и обеспечение «стерильности» проб при их транспортировке и обработке. Однако такой способ отбора проб имеет существенные недостатки. Прежде всего, содержание взвешенных частиц в таких небольших пробах будет очень сильно зависеть от многих случайных факторов: попадания в пробу различных сезонных прослоев соли (зимних, летних), имеющих разную скорость накопления, влияние локальных обогащений и т. д. Для таких проб также сильно затруднено определение количества ежегодного выпадения шариков на единицу площади в связи с отсутствием в пробах полных годовых слоев. Практически в этом случае содержание взвешенных частиц в отдельной пробе не может надежно характеризовать интенсивность выпадения их в эпоху соленакопления.

2. Отбираются крупные пробы — монолиты каменной соли весом 50–100 кг, содержащие несколько полных годовых слоев. Такая проба в большей степени свободна от недостатков, присущих малым пробам. Годовые прослои позволяют точно рассчитать площадь выпадения, а наличие нескольких годовых слоев усредняет возможные флуктуации в количестве выпавших в различные годы шариков.

В основу нашей работы по изучению взвешенных частиц в ископаемых солях был положен принцип отбора крупных представительных проб.

В качестве поискового признака при выделении взвешенных частиц нами, как и многими другими исследователями, была принята округлая оплавленная форма частиц («космические шарики»).

Были исследованы две пробы — монолиты каменной соли из Артемовского соляного месторождения нижнепермского возраста (270–280 млн. лет). Обе пробы состояли из нескольких полных годовых слоев мощностью от 12 до 18 см; суммарная площадь годовых слоев составляла 0,23 и 0,26 м<sup>2</sup>. Вес проб был равен соответственно 78 и 99 кг.

Обмытый с поверхности блок соли был разбит на куски, и соль порциями была растворена в воде. Нерастворимый в воде остаток, количество которого было более 0,5 кг на пробу, состоял в основном из гипса и ангидрита. Для их удаления остаток был обработан водным раствором Mg(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, растворимость в котором CaSO<sub>4</sub> в несколько раз выше

растворимости его в чистой воде. Оставшийся после растворения сульфатов материал состоял в основном из коллоидальных хлопьев глиноподобного вещества с примесью небольших количеств мелкозернистого кварца и полевого шпата. Общее количество материала составляло более 100 г на пробу, что не позволяло выделять космические шарики без дополнительного обогащения нерастворимого остатка.

Дальнейшая обработка материала состояла в электромагнитной сепарации его. Выделенные электромагнитные фракции просматривались под микроскопом, и обнаруженные шарики и другие характерные образования переносились в препарат для дальнейшего изучения.

При просмотре было обнаружено большое количество черных магнитных (магнетитовых) шариков, а также других сферических оплавленных образований — вытянутых или сплюснутых частиц, «капель» и «колбочек». Было найдено также некоторое количество аналогичных образований силикатного и смешанного, силикатно-магнетитового состава. Полнота выделения этих образований при нашей методике не обеспечивалась, и в настоящей работе они не рассматриваются.

Найденные космические шарики морфологически идентичны обнаруженным в районах падения крупных метеоритных тел — Тунгусское падение, Сихотэ-Алинский метеорит, а также в атмосферных выпадениях, антарктических льдах и в некоторых типах осадочных пород [3–7]. Однако в ряде названных случаев нельзя исключить возможность загрязнения проб сходными по внешнему виду шариками индустриального или вулканического происхождения.

Для изученных нами проб солей оба эти источника загрязнения практически могут быть исключены. Обмывание монолита — для растворения и удаления поверхностного слоя соли, который мог быть загрязнен при транспортировке, и соблюдение стерильности при дальнейшей обработке пробы исключают возможность попадания в пробу современной пыли, в том числе техногенных шариков. Минералогический состав проб — практически полное отсутствие в них темноцветных минералов — свидетельствует об отсутствии в пробах вулканогенного материала, в котором темно-цветные составляют большую часть. Таким образом, способ обработки проб и минералогический состав нерастворимой их части позволяют считать, что все найденные в пробах шарики имеют внеземное происхождение.

Обнаруженные в пробах магнетитовые шарики представлены полыми, пористыми и плотными разностями. Их размеры колеблются от нескольких микронов до примерно 100 мк. Общее количество магнетитовых шариков и других оплавленных образований диаметром более 10 мк составляет для пробы №1 — 1102 шт. и для пробы №2 — 1447 шт.

Шарики диаметром менее 10 *мк* по методике не выделялись и попадали в электромагнитные фракции случайно (табл. 1).

Таблица 1

**Распределение по размерам черных магнетитовых шариков  
из нижнепермских солей**

Диаметр, <i>мк</i>	Проба 1		Проба 2	
	на пробу	на 1 <i>м</i> <sup>2</sup>	на пробу	на 1 <i>м</i> <sup>2</sup>
10–14	321	1396	506	1948
15–19	350	1522	412	1586
20–24	181	787	210	808
25–29	104	452	137	527
30–34	60	261	76	293
35–39	41	178	48	185
40–44	15	62	19	73
45–49	10	44	15	58
50–74	14	60	22	85
75–100	6	26	2	8
10–100	1102	4788	1447	5571

На рис. 1 представлен график распределения числа шариков в зависимости от их диаметра для шариков диаметром от 10 до 50 *мк*, число которых составляет 1082 и 1423 шт. для каждой из двух проб соответственно. Незначительное количество шариков диаметром более 50 *мк* не обеспечивает возможности их статистической обработки.

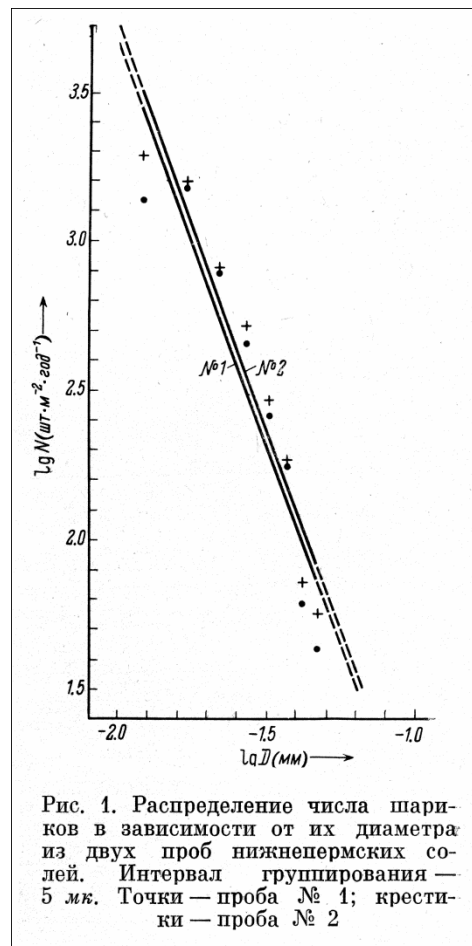


Рис. 1. Распределение числа шариков в зависимости от их диаметра из двух проб нижнепермских солей. Интервал группирования — 5 мк. Точки — проба № 1; крестики — проба № 2

По оси абсцисс отложены логарифмы диаметра шариков  $D$  в мм, по оси ординат — логарифмы числа шариков  $N$  на  $m^2$  в год. Интервал группирования — 5 мк. Для обеих проб распределение имеет вид

$$\Delta N = kD^\alpha \Delta D.$$

Показатель  $\alpha$ , определяющий наклон прямой, равен  $-2,68 \pm 0,39$  и  $-2,70 \pm 0,30$  для двух проб. Коэффициент  $k$ , характеризующий число частиц единичного диаметра, при 5-мк интервале группирования в расчете на  $1 m^2$  поверхности в год для наших проб равен  $2,0 \cdot 10^{-2}$  и  $2,1 \cdot 10^{-2}$ . При одномикронном интервале группирования коэффициент  $k$  равен соответственно  $4,0 \cdot 10^{-3}$  и  $4,3 \cdot 10^{-3}$ .

Работы по выделению космических шариков из древних соляных отложений были выполнены также американским исследователем Матчем [8]. В отличие от наших работ он избрал другой принцип отбора проб — им было обработано 26 проб соли силурийского и пермского возраста общим весом около 50 кг. Количество шариков на единицу поверхности, а также распределение шариков в зависимости от их диаметра в этом случае колеблется очень сильно. Результаты Матча, по-видимому, подтверждают нашу точку зрения о невозможности получить надежную характеристику выпадения шариков по отдельным малым пробам. В то же время проведенный нами пересчет данных Матча показал, что

суммарное распределение шариков в зависимости от их диаметра для всех 26 проб хорошо подчиняется тому же закону с показателем  $\alpha$ , равным  $-3,13 \pm 0,25$ . Коэффициент  $k$  для 26 проб Матча при одномикронном интервале группирования получился равным  $7,2 \cdot 10^{-4}$ .

Таким образом, распределение по размерам черных магнитных шариков диаметром 10–50 мк из древних соляных отложений при линейно-равном интервале группирования подчиняется показательному закону с показателем степени близким к  $-3$ .

Существенно, что при таком значении  $\alpha$  суммарная масса всех шариков данного диаметра не зависит от диаметра, т. е. является константой, определяемой значениями коэффициента  $k$  и плотности шариков  $\rho$

$$M_i = m_i \Delta N = \frac{\rho \pi}{6} D^2 k D^\alpha \Delta D,$$

где  $m_i$  — масса одного шарика данного диаметра и  $M_j$  — масса всех шариков данного диаметра. При  $\alpha = -3$  и  $\Delta D = 1$

$$M_i = k \frac{\rho \pi}{6}.$$

Постоянство массы шариков в единичном интервале диаметра, что соответствует показательному закону распределения шариков по диаметрам с  $\alpha = -3$ , отмечалось и при других аналогичных исследованиях как для современных глубоководных отложений, так и для древних геологических образований [9].

Значительный геохимический интерес представляет величина общего количества космических шариков, выпадающих на поверхность Земли в единицу времени. В табл. 2 приводятся оценки выпадения черных магнитных шариков диаметром от 10 до 100 мк по результатам изучения их в древних соляных отложениях. В первом столбце указаны данные, вычисленные по фактически найденным в наших пробах шарикам диаметром 10–100 мк, во втором — рассчитанные по показательному закону при  $\alpha = -3$  для того же интервала диаметра. Плотность шариков при наших расчетах была принята равной  $4,5 \text{ г/см}^3$  [10].

**Величина выпадения черных магнитных шариков на поверхность Земли**

Источник шариков	Величина выпадения, <i>m</i> /год		Литературный источник
	фактически	по расчету, при $\alpha = -3$	
Нижнепермская соль, пр. №1	$1,0 \cdot 10^5$	$1,6 \cdot 10^5$	Наши данные
Нижнепермская соль, пр. №2	$1,0 \cdot 10^5$	$1,5 \cdot 10^5$	»
Силурийские и пермские соли	—	$2,5 \cdot 10^5$	Пересчитано нами по [8]
Лед Антарктиды	$1,2 \cdot 10^5$	—	[6]
Лед Гренландии	$2 \cdot 10^5$	—	[12]

Как видно из приведенных данных, оценки выпадения шариков в общем довольно близки между собой. Имеющиеся расхождения для наших проб между фактическими и расчетными значениями обусловлены дефицитом шариков диаметром более 40–50 мк. Этот дефицит, возможно, связан с тем, что относительно более крупные шарики имеют меньшую плотность [11] и, следовательно, более высокую степень пористости, более хрупки и легче разрушаются. В то же время фактические и расчетные количества шариков диаметром от 10 до 50 мк практически совпадают.

Полученные оценки выпадения шариков в палеозойское время (пермь и силур) близки к наиболее вероятным оценкам современных выпадений, в частности, по результатам исследования шариков из льдов Антарктиды и Гренландии [6, 12] (табл. 2).

При оценке общего количества мелкодисперсного космического вещества, выпадающего на поверхность Земли, следует учесть также черные магнитные шарики меньшего диаметра, оплавленные образования силикатного состава и иные формы внеземной пыли, что должно повысить примерно на порядок оценку величины выпадающего материала.

Ин-т геохимии и аналитической химии

им. В. И. Вернадского АН СССР

Поступила в редакцию

13 сентября 1968 г.

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *А.А.Иванов, Ю.Ф.Левицкий*. Геология галогенных отложений формаций СССР. Тр. ВСЕГЕИ, новая серия, 35, 1960.

2. *А.С.Антипова*. Месторождения каменной соли и рассолов Бахмутской котловины. Тр. Укр. НИИСоля. вып. 4 (12), Соляные ресурсы СССР, ч. I. Соляные месторождения УССР, 1962.
3. *К.П.Флоренский*. Проблема космической пыли и современное состояние изучения Тунгусского метеорита. Геохимия, №3, 1963.
4. *Е.Л.Кринов*. Метеорная и метеоритная пыль; микрометеориты. Сб. «Сихотэ-Алинский железный метеоритный дождь», ч. II, Изд-во АН СССР, 1964.
5. *W.D.Crozier*. Nine years of continuous collection of black magnetic spherules from the atmosphere. J. Geophys. Res., 71, №2, 1966.
6. *R.A.Schmidt*. Microscopic extraterrestrial particles from the Antarctic peninsula. Ann. N. Y. Acad. Sci., 119, №1, 1964.
7. *Х.А.Вийдинг*. Метеорная пыль в низах кембрийских песчаников Эстонии. Сб. «Метеоритика», вып. 26, 1965.
8. *T.A.Mutch*. Abundances of magnetic spherules in silurian and permian salt samples. Earth and planetary science letters, 1, 325–329, 1966.
9. *T.Laevastu, O.Mellis*. Size and mass distribution of cosmic dust. J. Geophys. Res., 66, №8, 1961.
10. *C.C.Langway, Jr., U.B.Marvin*. Some characteristics of black spherules. Ann. N. Y. Acad. Sci., 119, №1, 1964.
11. *F.A.Franklin, R.W.Hodge, F.W.Wright, C.C.Langway, Jr.* Determination of densities of individual meteoritic, glacial and volcanic spherules. J. Geophys. Res., 72, №10, 1967.
12. *Wright F.W., P.W.Hodge, C.C.Langway, Jr.* Studies of particles for extraterrestrial origin. I. Chemical analyses of 118 particles. J. Geophys. Res., 68, №19, 1963.

---

## THE FINE DISPERSED COSMIC MATTER FROM LOWER PERM SALTS

*A.V.Ivanov, K.P.Florensky*

Black magnetic cosmic spherules, educed from two salt samples of the Lower — Permian age, were investigated. The weight of samples is 78 and 99 kg, the summary area of annual layers is 0,23 and 0,26 m<sup>2</sup>. All together 2500 spherules and other fusible formations by the diameter from 10 to 100 μ were educed from two samples. The distribution of a number of spherules depending on their diameter is  $\Delta N(D) = kD^{\alpha}\Delta D$  for spherules by the diameter from 10 to 50 μ (the index  $\alpha$  is equal to –2,68 and –2,70 for two samples. The value of the annual falling of spherules on the whole of the Earth's surface at the Lower — Permian time is estimated by our samples as (1,0–1,6)·10<sup>5</sup> t/year. The calculation of T.A.Mutch's data (1966), carried out by us, showed that globules



from the Silurian and Permian ages, investigated by him, submitted to the analogous distribution law, and the value of the annual falling was similar to that obtained by us. The comparison with up-to-date data allows to consider that the character of the size distribution and the total amount of black magnetic cosmic spherules, falling on the Earth at paleozoic time, are equal practically with modern.