

**ПРОБЛЕМА КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ
И СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ИЗУЧЕНИЯ
ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА**

К.П. ФЛОРЕНСКИЙ

Институт геохимии и аналитической химии им. В.И.Вернадского
АН СССР, Комитет по метеоритам АН СССР, Москва

Не случайно последний доклад акад. В.И.Вернадского носит название «Проявление минералогии в космосе» [1]. Он указывает: «Науки о Земле, к числу которых относятся и минералогия, теснейшим образом, глубоко и неразрывно связаны с окружающим нас космическим пространством, выходящим за пределы Солнечной системы. Земля явно захватывает небесные тела в виде космической пыли, газов, атомов, молекул, метеоритов и астероидов непрерывно в течение миллиардов лет, причем мы должны принимать во внимание, что химический состав этих неземных минералов меняется в течение геологического времени».

В последней, до сих пор не вышедшей из печати работе [2], которую он называл «делом жизни» и писал в течение ряда лет, часть I носит название «Геологическое и геохимическое проявление Земли как планеты в Солнечной системе и в Млечном пути» и посвящена вопросам взаимодействия Земли и Космоса. Он рассматривает Землю как закономерную часть Галактики, с которой Земля находится в постоянном вещественно-энергетическом* обмене, близком к динамическому равновесию.

Наши знания о составе космического вещества главным образом строятся на спектральном анализе поверхности звезд. В то же время общее количество «темной материи» Галактики, состав которой мы знаем недостаточно, близко к массе всех звезд, взятых вместе [3].

Серьезному лабораторному изучению до сих пор подвергалась лишь та часть внеземного вещества, которая выпадает на Землю в виде метеоритов. Вполне понятен громадный интерес, проявленный В.И.Вернадским (который был одним из основателей метеоритики в СССР) и другими геохимиками (в СССР — А.Е.Ферсман, П.Н.Чирвинский,

* Сам В.И.Вернадский, подразумевая именно вещество, называл его материей. Различное значение этого термина в физике и философии иногда являлось причиной неверного понимания высказываний Владимира Ивановича.

А.П.Виноградов и др.) к веществу метеоритов. В то же время возникает законный вопрос о представительности этого вещества.

Действительно, в противоположность представлениям В.И.Вернадского о галактическом и даже внегалактическом происхождении метеоритов, сейчас складывается убеждение, что они относятся к узкому классу тел астероидального типа [4], движущихся по сравнительно небольшим орбитам. Даже в пределах этого узкого класса небесных тел они претерпевают при полете через атмосферу резкую сепарацию по скоростям, прочности структуры и химическому составу [5]; таким образом, на Землю выпадают лишь тела, наиболее устойчивые и обладавшие малыми скоростями встречи. Из общего числа падений число находок вряд ли составляет более 0,5%.

Оценки общего количества внеземного вещества, выпадающего на Землю, пока не могут считаться достоверными, так как разные методы оценок приводят к различным результатам.

Для общей характеристики внеземного вещества приводим его распределение по Астаповичу [6].

Общее количество метеорной материи,
осаждающейся на землю за сутки

1. Метеоры $n \cdot 10$ кг
2. Метеориты около 1 т
3. Кратерообразующие метеориты — менее 1 т
4. Телескопические метеоры $n \cdot t$
5. Микрометеориты (пыль) — $n \cdot 10$ т

Всего около 10^{-16} г/сек·см², или более 16 000 т в год.

Не вдаваясь здесь в достоверность приведенной величины, мы ясно видим, что основное количество вещества поступает на Землю в распыленном состоянии, в то время как общая масса находок метеоритов составляет не более как 0,005% тщательно отсепарированных атмосферой от общего количества выпадающего внеземного вещества. Практически более 99,99% поступающего только в твердой форме вещества остается вне прямого исследования натуралиста, и заключения о его природе построены на косвенных данных.

На необходимость систематического изучения распыленного вещества неоднократно обращалось внимание. Только В.И.Вернадский специально обращался к этому вопросу, по собственному свидетельству [7], по крайней мере, трижды: в 1908 г. [8], в 1932 г. [9] и в 1941 г. [7]. Неоднократно он затрагивал этот вопрос попутно в ряде других работ. Он указывал на резкую диспропорцию между большим количеством работ, посвященных изучению лучистой энергии Солнца и других источников, при ничтожном количестве данных о вещественном обмене Космоса с Землей. Он писал: «Научно точно подойти к выяснению этой проблемы можно только организованным изучением космической пыли. Этого как раз сейчас нет. Мы даже не знаем ее элементарного химического состава и не умеем получить ее в сколько-нибудь доступном количестве в чистом виде» [9].

Несмотря на повышенный интерес, который проявляется к этому вопросу за последние годы [10–14], эти слова остаются в силе до сих пор. Основная сложность заключается в трудности выделения космической составляющей среди земной пыли и недостаточном количестве вещества, собираемого при полете высотных ракет.

Даже среди обычно выделяемой для изучения магнитной составляющей пыли, до сих пор нет четких критериев ее космогенности.

Обычно применяемое для этого повышенное содержание Ni не является надежным.

Во-первых, из повышенного содержания Ni в железных метеоритах вовсе не следует, что эта закономерность обязательно соблюдается в космических частицах иного происхождения, а, во-вторых, в процессе окисления никелистого железа происходит резкое перераспределение в системе Ni–Fe, которое меняется в зависимости от условий окисления.

Очень показательна работа [16], в которой посредством точечного рентгенохимического анализа показано, что в пределах даже одного космогенного однородного магнитного шарика содержание Ni может меняться от 20 до 0,5%, а если окислению в горячем состоянии шарик подвергся лишь с поверхности, то окисленная (магнетитовая) скорлупа содержит 0,1–0,2% Ni при 30,1–53,5% Ni в центральном металлическом ядре.

Одним из возможных путей к методическому решению этой проблемы является изучение распыленного вещества в тех районах поверхности Земли, которые обогащены космической составляющей вследствие локальных выпадений.

С этой стороны значительный интерес представляют работы, проведенные в районе падения гигантского Тунгусского метеорита 1908 г.

Интерес к этому вопросу возник в связи с работами Л.А.Кулика, начатыми в 1921 г. [15]. Они были поставлены при прямой поддержке В.И.Вернадского, который непрестанно следил за их развитием и считал необходимым полное изучение этого уникального явления. Он допускал возможность, что Тунгусский «метеорит» мог представлять компактное облако космической пыли, масса и скорость которого были очень велики. «Очень может быть, что космические облака имеют какие-то отношение к кометам» [7].

Работы по изучению Тунгусского метеорита, прерванные войной и смертью Л.А.Кулика, впоследствии возобновились под руководством академиков В.Г.Фесенкова и А.П.Виноградова.

В настоящее время о Тунгусском метеорите известно следующее.

Громадный болид, полет которого сопровождался звуковыми явлениями, наблюдался на территории Центральной Сибири на площади около 1 млн. км². Время его «падения» известно с большой точностью и произошло в 0 час. 17 мин. Всемирного времени 30 июня 1908 года. Оно отмечено рядом сейсмических и метеорологических станций мира как мощная воздушная волна, отмеченная в Потсдаме дважды: как прямая, так и обратная [15]. Иркутская обсерватория отметила возникшие гиперсейсмические явления и нарушение геомагнитного поля [17].

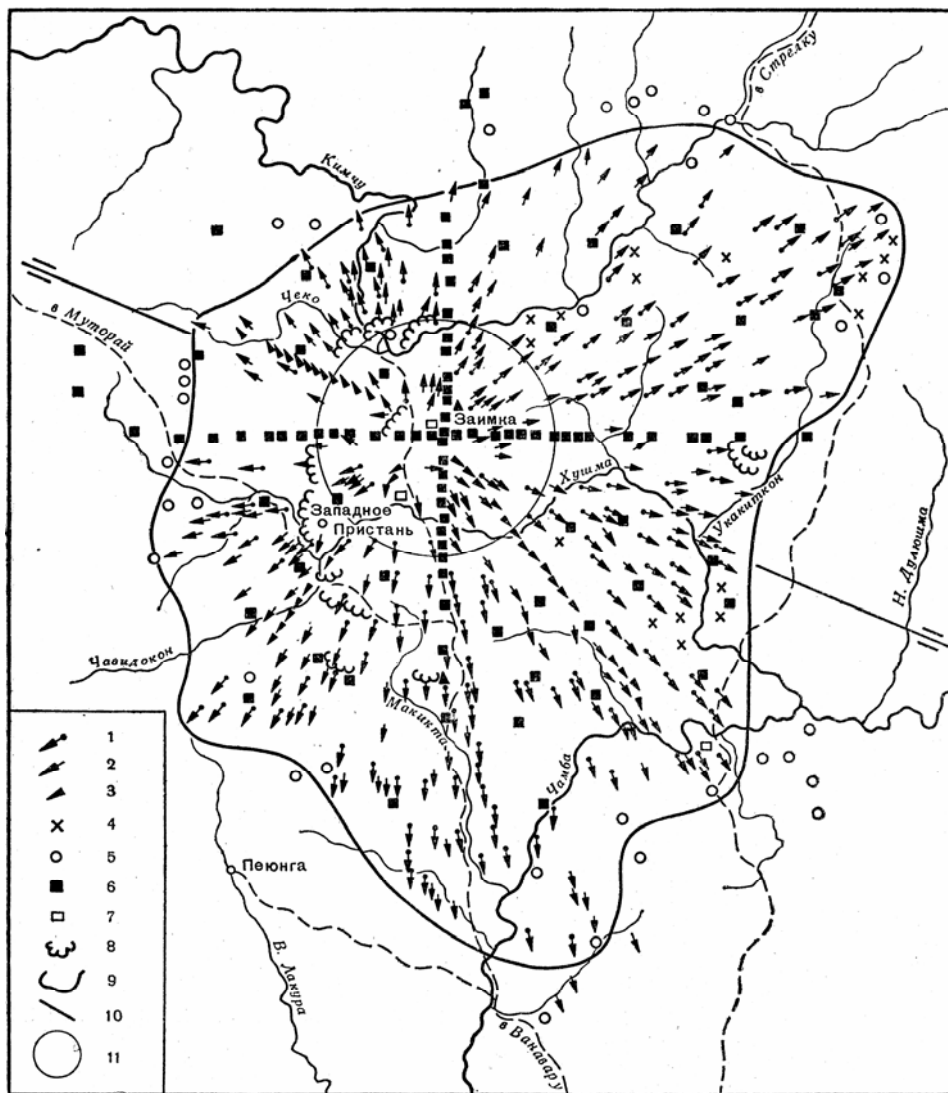


Рис. 1. Карта поваленного леса, по данным 1961 г.

1, 2, 3 — среднее направление поваленных деревьев; 4 — места, где повал деревьев заметен с трудом; 5 — места, где вывал леса отсутствует; 6 — расположение лесотаксационных площадей; 7 — избышки; 8 — границы продвижения пожара по аэровизуальным данным; 9 — общая граница площади поваленного леса; 10 — юго-восточный вариант траектории метеорита; 11 — примерная граница физиологического ожога веток.

Сам факт падения на Землю никем не наблюдался, но очевидцы указывают столб огня и облако дыма. В этом месте Л.А.Куликом был обнаружен большой радиальный вывал леса, носящий следы пожара в центральной части и лежащий в $60^{\circ} 55'$ с. ш. и $101^{\circ} 57'$ в. д.

Съемка площади поваленного леса была закончена лишь в 1961 г. и показала, что она имеет вид треугольника [18], обращенного вершиной на СЗ, с эпицентром, смещенным также к СЗ, и занимает около 2000 км^2 (рис. 1). В самом центре находится зона стоячего леса, поврежденного пожаром.

Никаких других наземных повреждений не обнаружено, а описанные Л.А.Куликом в эпицентре воронки имеют термокарстовое происхождение, не связанное с падением

метеорита [19, 20, 21, 23]. Это позволяет заключить, что тунгусское тело взрывообразно распалось в воздухе, не долетев до поверхности Земли.

Высота этого взрыва была определена В.Г.Фесенковым по скорости распространения воздушной волны около 6 км [22], а Г.М.Зенкиным по направлению тепловых повреждений на сучках деревьев — около 5 км [18, 23]. Изучение этих повреждений показывает, что они носят характер физиологического ожога тонких сучьев, вызванного потоком световой энергии около $5\text{--}15 \text{ кал/см}^2$, распространяющимся на 9–10 км от эпицентра.

Указанного потока энергии достаточно, чтобы вызвать множественные очаги лесных пожаров в центральной части района, после чего пожар распространялся обычным путем.

Сохранившиеся участки живого леса (рис. 2) также свидетельствуют против большой плотности энергии в этом районе.

Судя по строгой радиальности поваленного леса, фронт ударной головной волны взрыва, бегущей по земле, обладал центральной симметрией, но общая форма вывала леса позволяет допустить влияние цилиндрической баллистической волны летящего тела (см. рис. 3 и рис. 1).

Общая энергия взрыва сейчас определяется: по сейсмическим колебаниям — $20^{21}\text{--}10^{23} \text{ эрг}$; по воздушным волнам — $4 \cdot 10^{23} \text{ эрг}$; по поваленному лесу — $2 \cdot 10^{23} \text{ эрг}$ [22], что сопоставимо со взрывами вулканов Крокатоа или Безымянного на Камчатке. Это примерно в 10^4 раз больше энергии падения гигантского Сихотэ-Алиньского метеорита 1947 г.

Траектория метеорита не могла быть определена по свидетельским показаниям однозначно. Анализ Сытинской [25] показал равновероятность юго – юго-западного варианта траектории (И.С.Астапович) и юго-восточного, определенного Криновым [15]. В настоящее время можно определять ее более определенно как юго-восточную по следующим признакам (угол от Ю к В):

1. По определениям Кринова — 43° ;
2. Как плоскость симметрии вывала леса — 65° ;
3. По направлению центр вывала – центр ожога леса — $43\text{--}67^\circ$;
4. По веществу — восточнее направления ветра (определенного по распространению вещества в 35° , что совпадает с общей характеристикой ветра, данного Институтом прогнозов на 30 июня 1908 г.);
5. По дополнительным свидетельским показаниям — около 75° .

Среднее, по разным признакам — $60\text{--}65^\circ$, требует дальнейшего уточнения при пересмотре всех известных данных.

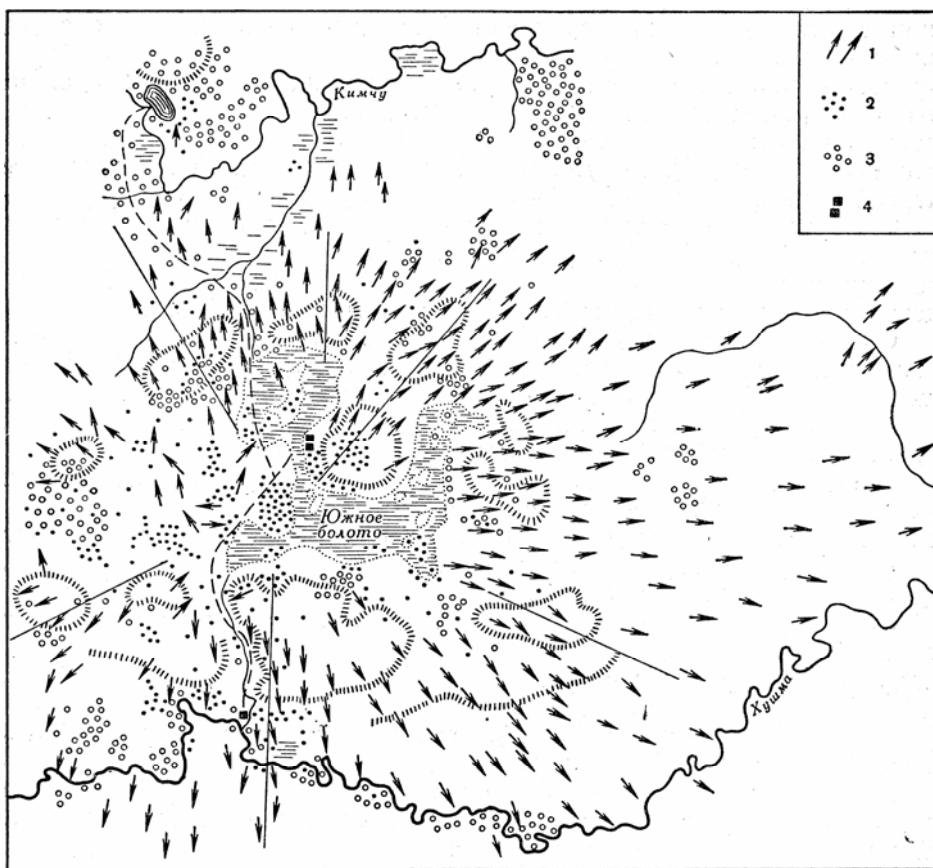


Рис. 2. Схема повреждений леса в районе эпицентра.

1 — направление поваленных деревьев; 2 — сухостой, поврежденный пожаром; 3 — живые деревья, перенесшие катастрофу 1908 г.; 4 — избушки метеоритной экспедиции Кулика.

Таким образом, определенная траектория дает орбиту сильно наклоненного типа, характерную для комет, и значительно сужает возможные варианты скорости встречи метеорита с Землей.

Природа взрыва Тунгусского метеорита не представляет чего-либо исключительного. Ее следует рассматривать как своеобразный вариант разрушения в точке задержки, типичного для многих метеоритов. Возможные механизмы такого взрывообразного воздействия рассматривались в идеализированном и упрощенном виде рядом исследователей. Показано, что сходные явления возникают при прямом действии баллистической волны летящего и дробящегося тела [26]. Возможно мгновенное взрывообразное испарение тела, состоящего, например, из льда [27] за счет перехода кинетической энергии в тепловую.

Мы склонны представлять себе реальный взрыв как саморазвивающийся процесс торможения–дробления. При этом дробление тела вызывает его торможение вследствие увеличившейся лобовой поверхности, а усиленное торможение вызывает добавочное дробление и т. д.

Для осуществления такого процесса нужна только известная рыхлость структуры тела.

Если предположить, что тунгусское тело содержало в своем составе легко летучие компоненты в виде льда разнообразного состава, так как, по-видимому, имело кометную природу [28], то следует допустить, что это явление усложнялось и мгновенным испарением в виде «теплого взрыва» [27] и химическим взаимодействием горючих веществ головы кометы с кислородом воздуха и возможными рекомбинациями свободных радикалов, присутствие которых допускается в кометных льдах [29]. Следует помнить при этом, что эти добавочные виды энергии могут быть очень малы и проявиться только как факторы, ускоряющие дробление летящего тела.

Различные возможные варианты скорости и массы Тунгусского метеорита, полученные расчетом [30], обладают вполне достаточной кинетической энергией и не требуют привлечения дополнительных видов энергии для обеспечения всего разрушающего эффекта.

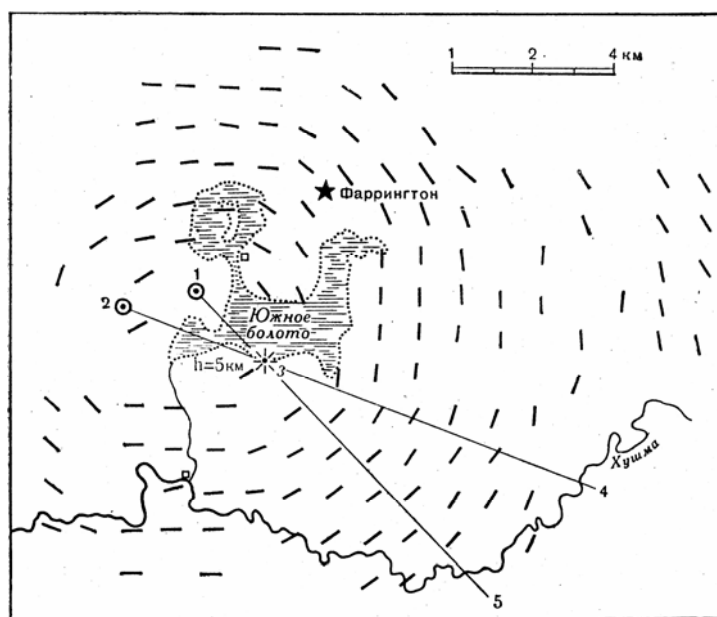


Рис. 3. Ход фронта волны по данным обработки аэрофотосъемки Кулика (по И.Т.Зоткину)

1 — эпицентр по данным аэрофотосъемки 1939 г. и по замерам на небольшой площади экспедиции КСЭ 1960 г.; 2 — эпицентр по данным экспедиции КМЕТ 1961 г.; 3 — проекция центра излучения с высоты 5 км по Г.М.Зенкину; 1-5 и 2-4 — варианты траектории метеорита.

Вещество метеорита. Как известно, первоначальные попытки Л.А.Кулика обнаружить крупные осколки метеорита потерпели неудачу. Однако им было найдено несколько магнитных шариков метеоритного типа [31], на которые обратил внимание В.И.Вернадский.

Уже в 1953 г., после беглого осмотра района падения, мною было высказано пожелание «произвести широкое опробование почв с целью обнаружения пылеобразных остатков метеорита» [32].

Основанием этого предложения являлось необходимое при столь мощных выделениях энергии сильное распыление метеорита, независимо от его структурных особенностей.

Действительно, помимо указаний очевидцев об «облаке дыма» в районе падения, был известен комплекс других данных, позволивших говорить В.И.Вернадскому об «облаке химической пыли» [9]. Как известно, несколько ближайших после падения метеорита суток в Европе отмечались необычно длинными сумерками, длившимися всю ночь [15, 22, 23]. Большинство исследователей уже тогда пришли к выводу, что они связаны с ненормальной запыленностью верхних слоев атмосферы. Рассматривая распространение этого явления [33], Уиппл [34] писал, что, «метеор имел хвост, который был захвачен земной атмосферой». Направление этого хвоста шло строго от Солнца к западу от места падения, захватывало Западную Европу до Ирландии и не распространилось на Атлантику [22], как это и должно быть для хвоста кометы. Другой тип помутнения атмосферы был отмечен через две недели после падения метеорита в Калифорнии и наблюдался около месяца. Если считать, что к этому времени масса пылевой материи равномерно распространялась по всему северному полушарию, она должна была иметь порядок нескольких миллионов тонн [35].

В 1957 г. нахождение распыленного метеоритного вещества в почвах из района падения Тунгусского метеорита было подтверждено Явнелем [36], данные которого частично требуют пересмотра, по-видимому, вследствие того, что исследованные им пробы могли быть частично загрязнены при хранении.

В настоящее время в этом районе обнаружены магнетитовые, силикатные и смешанные шарики и пустотелые образования [37, 23], типичные для метеорной пыли. Встречающееся слипание магнетитового и силикатного шариков говорит о неоднородности состава породившего их тела. Было проведено изучение распространения магнетитовых шариков размером 0,02–0,15 мм (средний размер 0,06–0,08 мм) в сравнимых, но относительных концентрациях, которые мы выражаем на условную единицу поверхности. Для перехода к абсолютным концентрациям надо провести дополнительную методическую работу, но в порядке первого приближения единицу поверхности можно рассматривать порядка квадратного дециметра. Фактически собирался поверхностный слой почвы толщиной около 2 см с площади 2 м². Вес такой пробы составлял от 20 до 30 кг почвы, но для окончательного исследования бралась незначительная часть вещества.

Просеянная фракция — 0,15 мм почвы отмучивалась на вибрационном обогатительном столике, узкая фракция которого после магнитного обогащения просматривалась под бинокулярной лупой.

Общие результаты этой работы видны на рис. 4. При обследовании по редкой сетке площади около 60 000 км² четко прослеживается шлейф, обогащенный магнетитовыми шариками и прослеженный с ЮЗ на СВ на 250 км.

Указанное распределение характеризуется следующими параметрами.

Таблица

Математическое ожидание числа шариков \bar{m} в пробе

1.	Все пробы (112 проб)	4,80
2.	Бедные пробы — $n \leq 4$ (80 проб)	1,32
3.	Богатые пробы — $4 < n \leq 10$ (22 пробы)	7,30

4. Очень богатые пробы — $n > 10$ (10 проб)	27,1
5. Все богатые пробы (3+4) $n > 4$ (32 пробы)	13,5
6. Все пробы фона (50 проб)	1,62
7. Все пробы шлейфа (62 пробы)	7,37

При распределении бедных проб по квадрантам получается следующая картина.

Математическое ожидание числа шариков среди *бедных* проб
($n \leq 4$) по секторам в пределах окружности 100 км

ССЗ	ВСВ	ЮЮВ	ЗЮЗ
$\bar{m} = 1,31 \pm 0,22$	$\bar{m} = 1,21 \pm 0,30$	$\bar{m} = 1,88 \pm 0,34$	$\bar{m} = 1,29 \pm 0,31$

Таким образом, при равном (в пределах ошибки) распределении математического ожидания среди бедных проб для трех секторов наблюдается некоторое его повышение для ЮЮВ сектора, возможно отражающее некоторое обогащение вследствие выпадения дымового следа метеорита вдоль траектории.

Рассматривая рис. 4, видно, что веществом обеднена и зона эпицентра радиусом около 20 км. Такое распределение вещества, при недооценке масштабов всего явления в целом, привело к тому, что поиски вещества вблизи от центра взрыва оказывались практически безрезультатными, несмотря на большое число проб (не показанных на карте), которые собирались в течение ряда лет в этом районе. По-видимому, это связано с мощными восходящими потоками воздуха при высотном взрыве метеорита, которые увлекли распыленные частицы на значительную высоту, после чего последние были снесены ветром, как это бывает при всех взрывах сопоставимой мощности.

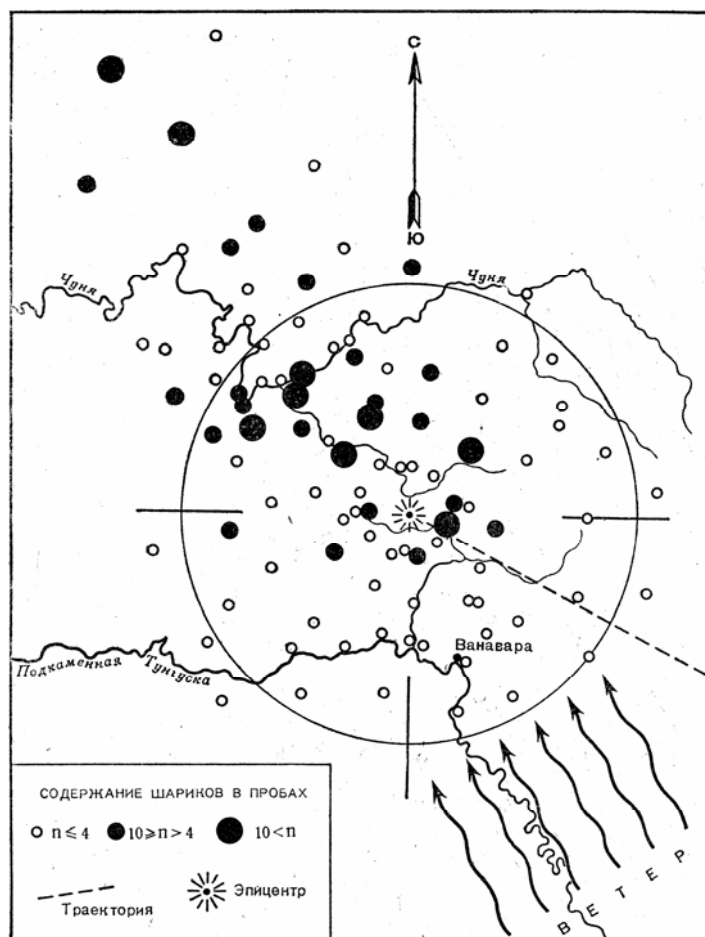


Рис. 4. Распределение магнетитовых шариков в почве в районе падения Тунгусского метеорита по данным 1962 г.

Белые кружочки — бедные пробы с фоновым значением (среднее 1,32);
черные кружочки — богатые и очень богатые пробы (среднее 13,5).

Дана окружность радиусом 100 км от эпицентра.

Указанные закономерности уже являются статистически обеспеченными, что позволяет утверждать, что они не могут являться флуктуациями фоновых концентраций, а связаны с локальным обогащением магнетитовыми шариками.

Применяя метод скользящих сумм, можно получить изолинии равных концентраций, которые еще четче выражают сущность изучаемого явления (рис. 5). По формальным причинам эти линии не продолжены далее на СЗ, но фактически вряд ли можно сомневаться в том, что они должны образовать гораздо более сильно вытянутые эллипсы. Здесь также хорошо видно искажающее влияние центральной части взрыва, находящегося на самом краю обогащенного шлейфа.

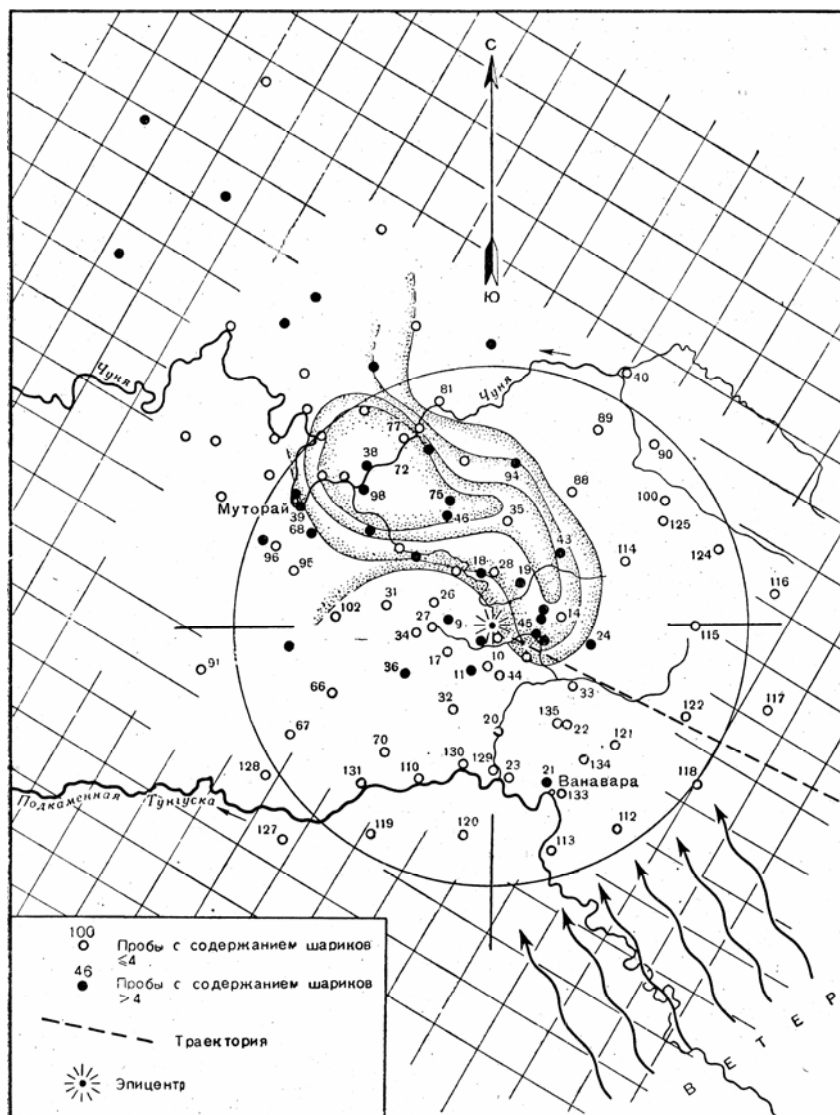


Рис. 5. Шлейф рассеивания Тунгусского метеорита по данным 1962 г.
 Дана окружность радиусом 100 км

На рис. 4 и 5 показана средняя траектория метеорита, как она представляется по новым данным, и направление ветра, которое 30.VI.1908 года, по данным Института прогнозов [23], было южных и юго-восточных румбов и которое уточнено в соответствии с направлением шлейфа распыленного вещества.

Таким образом, работы 1962 г. полностью подтверждают и статистически обеспечивают закономерности распыления метеорита, отмеченные автором ранее [18, 23, 24].

Представляет общетеоретический интерес, что число шариков в пробах в пределах фоновых концентраций хорошо подчиняется закону Пуассона (рис. 6).

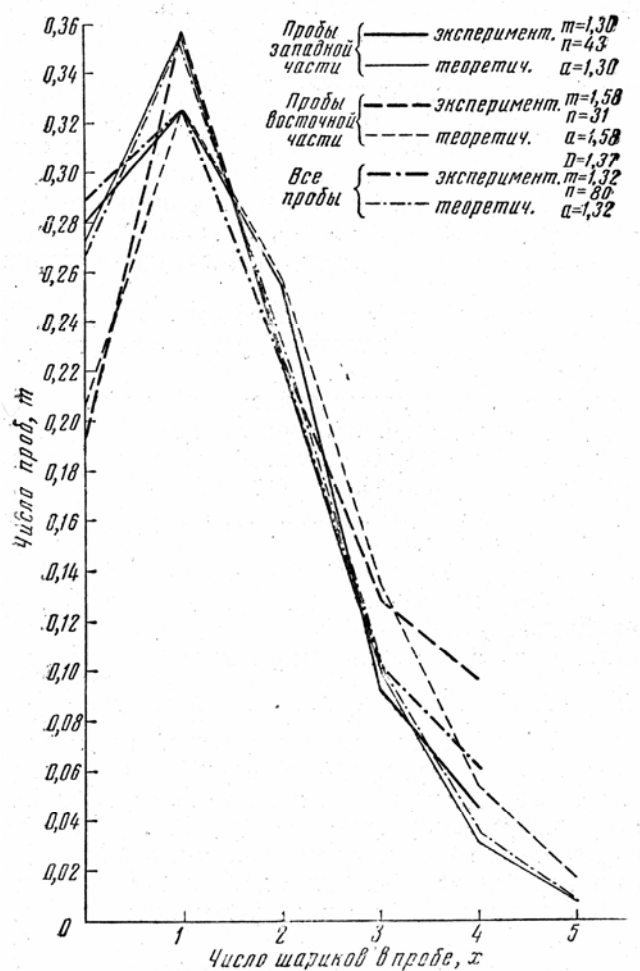


Рис. 6. Статистическое распределение бедных проб.

Частота встречаемости m при разном числе шариков в пробе x в пределах радиуса 100 км от эпицентра.

Дальнейшее изучение статистических закономерностей позволяет рационально обосновать условия отбора проб для характеристики концентрации космической пыли в разных участках земной поверхности.

Судя по тому, что по предварительной оценке нет четкой зависимости между размером выпавших частиц и расстоянием от места взрыва (такая закономерность может проявиться при тщательном статистическом анализе), можно думать, что облако взрыва было клубящимся и обладало неоднородным строением*, так что стратификация его не установилась в пределах изучаемых расстояний. Косвенно на такой же вывод наталкивает большая неравномерность концентраций шариков в пределах богатых проб.

В настоящее время собрано достаточно вещества для различных химических анализов, которые позволят установить природу шариков более основательно.

Предварительные микрохимические анализы, произведенные П.Н.Палеем, дают колебания в отношении Ni : Fe от 2 до 11%, что позволяет допускать их космогенность.

* Тот же эффект может возникнуть при резком возрастании скорости ветра в верхних слоях атмосферы.

Указанные закономерности в распределении частиц хорошо укладываются в теоретическую картину распада Тунгусского метеорита, и вряд ли можно сомневаться, что они являются его остатками.

По предварительной оценке общее количество его вещества на обследованной площади равно нескольким десяткам тонн, что составляет, по-видимому, лишь очень небольшую часть конечной массы тела и согласуется с его сильным распылением на большой территории.

Помимо правильных шариков, представляющих собою капельки застывшего в воздухе расплавленного вещества, в пробах встречаются магнетитовые корочки, полуплавленные угловатые частицы и другие образования, происхождение которых пока не определено. Как можно надеяться, оно может быть установлено именно путем сравнения с частицами, происхождение которых выясняется в первую очередь. Вполне вероятно, что значительное количество космических частиц не проходит стадию оплавления и выпадает в виде угловатых пылинок, не привлекающих внимания.

Возможность собрать и проанализировать ощутимое количество пылевых частиц, подавляющая масса которых имеет общее происхождение и относится, по-видимому, к такому неизученному классу небесных тел, как кометы, представляет важный шаг в познании космогенного вещества.

Как известно, с распадающимися кометами связаны метеорные потоки, в которых практически не наблюдается болидов и с которыми метеориты не связаны. Это позволяет допустить [28], что отсутствие находок крупных масс в районе тунгусского падения связано не только с малой вероятностью их находки, но и, возможно, с отсутствием их изначала.

Сравнивая природу Тунгусского метеорита в формулировке В.И.Вернадского — «достаточно плотное облако космической пыли» — и астрономическую характеристику, которую дают ему Ф.Уиппл, И.С.Астанович и В.Г.Фесенков, говоря, что он представлял собою ядро небольшой кометы, можно убедиться, что фактически речь идет об одном и том же явлении, так как достаточно плотное облако пыли может существовать, не рассеиваясь, лишь при наличии каких-либо цементирующих сил, что и наблюдается в кометах. Таким образом, указанные формулировки должны не противопоставляться друг другу, как это иногда делается, а, наоборот, указывают на очень близкое понимание природы тунгусского тела разными авторами.

Собранный материал представляет интерес не только для расшифровки явлений, характеризующих уникальное падение Тунгусского метеорита — тела кометной природы, но и дает новые возможности подойти к изучению космической пыли на поверхности Земли, что представляет геохимическую проблему большой важности.

Поступила в редакцию
22 декабря 1962 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Вернадский В.И.* Проявление минералогии в Космосе. Доклад, прочитанный на совещании Отделения геолого-географических наук АН СССР 31 октября 1944 года. По состоянию здоровья В.И. был прочитан О.М.Шубниковой. Метеоритика, вып. III, стр. 3–5, 1946 г.
2. *Вернадский В.И.* Химическое строение биосферы Земли и ее окружения, ч. I и II. Рукопись подготовлена к печати.
3. *Фесенков В.Г.* О происхождении метеоритов. Метеоритика, вып. IV, стр. 38, 1948.
4. *Кринов Е.Л.* Основы метеоритики. М., 1955, стр. 391.
5. *Левин Б.Ю.* Некоторые вопросы движения метеорных тел в атмосфере Земли. Метеоритика, вып. VII, стр. 113, 1950.
6. *Астапович И.С.* Метеорные явления в атмосфере Земли. М., 640, 1958.
7. *Вернадский В.И.* О необходимости организованной научной работы по космической пыли (1941 г.). Изб. соч., т. V, стр. 410. Изд. АН СССР, М., 1960.
8. *Вернадский В.И.* Опыт описательной минералогии, т. I, вып. 2, 1908. Избр. соч., т. II, Изд. АН СССР, М., 1955.
9. *Вернадский В.И.* Об изучении космической пыли (1932). Избр. соч., т. V, стр. 390, Изд. АН СССР, М., 1960.
10. *Buddhue I.D.* Meteoritic dust. Univers New. Mexico Public of Meteorits, 2, 1950.
11. *Pettersson H.* The accretion of cosmic matter to the Earth. Endeavour, 19, N 75, 142, 1960.
12. *Whipple F.L.* The Theory of Micrometeorites. Proc. Nat. Acad. Sci., 36, 12, 687, 1950; 37, I, 19, 1954.
13. *Krinov E.L.* Nonterrestrial dust on the Earth. Scy a. Telescope, 11, 617, 1959.
14. *Полосков С.М., Назарова Т.И.* Усп. физических наук, 63, №16, 253, 1957.
15. Историческое изложение вопроса см. в книге: Е.Л. Кринов. Тунгусский метеорит, стр. 191. Изд. АН СССР, 1949. Также *И.С.Астапович.* Природа, №2 и 3, 1951.
16. *Castaing R., Fredrik K.* Geochim. et Cosmochim Acta, 14, N 1–2, 114, 1958.
17. *Иванов К.Г.* Геомагнитные явления, наблюдавшиеся на Иркутской магнитной обсерватории вслед за взрывом Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. XXI, стр. 46, 1961.
18. *Флоренский К.П., Зоткин И.Т.* Природа, №8, стр. 31, 1962.
19. *Флоренский К.П.* и др. Предварительные результаты работ Тунгусской метеоритной экспедиции 1958 г. Метеоритика, вып. XIX, стр. 103, 1960.
20. *Sotkin I.T., Florensky K.P.* Einige Ergebnisse der Tunguschen Meteoriten-expedition im Jahre 1958. Chemie der Erde, B 20, N 4, s. 183, 1960.
21. *Пьявченко Н.И.* Природа, №8, стр. 39, 1962.
22. *Фесенков В.Г.* Природа №8, стр. 24, 1962.
23. *Флоренский К.П.* Предварительный отчет Тунгусской метеоритной комплексной экспедиции 1961 г. Метеоритика, вып. XXIII, 1963.
24. *Флоренский К.П.* Геохимия, №2, стр. 187, 1962.

25. *Сытинская Н.Н.* К вопросу о траектории Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. XIII, стр. 86, 1955.
26. *Цикулин М.А.* Приближенная оценка параметров Тунгусского метеорита 1908 г. по картине разрушений лесного массива. Метеоритика, вып. XX, стр. 87, 1961.
27. *Станюкович К.П., Шалимов В.П.* О движении метеорных тел в атмосфере Земли. Метеоритика, вып. XX, стр. 54, 1961.
28. *Фесенков В.Г.* О природе комет и условиях падения их на Землю. Метеоритика, XXI, стр. 3, 1961.
29. *Donn V., Urey H.C.* On the mechanism of comet out bursts and the chemical composition of comets. *Astrophys. J.* 123, 339, 1956.
30. *Бронштэн В.А.* К вопросу о движении в атмосфере Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. XX, стр. 72, 1961.
31. *Кулик Л.А.* Докл. АН СССР, т. XXII, №8, стр. 520, 1939.
32. *Флоренский К.П.* Некоторые впечатления о современном состоянии района падения Тунгусского метеорита 1908 г. Метеоритика, вып. XII, стр. 62, 1955.
33. *Зоткин И.Т.* Об аномальных оптических явлениях в атмосфере, связанных с падением Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. XX, стр. 40, 1961.
34. *Whipple F.I.W.* On phenomena related to the Siberian meteor. *Meteorol. Mag.*, July, 145, 1934.
35. *Фесенков В.Г.* Помутнение атмосферы, произведенное падением Тунгусского метеорита 30 июня 1908 года. Метеоритика, вып. VI, стр. 8, 1949.
36. *Явнель А.А.* Геохимия, №6, 1957.
37. *Кирова О.А.* О минералогическом изучении проб почв из района падения Тунгусского метеорита, собранных экспедицией 1958 г. Метеоритика, вып. XX, стр. 32, 1961.

«Геохимия», 1963, №3