

ПРОБЛЕМНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ КОСМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА
НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА
имени В. В. КУЙБИШЕВА

КОМИССИЯ ПО МЕТЕОРИТАМ И КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ СО АН СССР
ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО СССР. ТОМСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ. ТРУДЫ, ТОМ 6.
ТОМСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ВСЕСОЮЗНОГО АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО
ОБЩЕСТВА

ПРОБЛЕМА ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

ВЫПУСК 2



ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА
Томск — 1967

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ПРОБЛЕМЫ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

Н. В. ВАСИЛЬЕВ, В. К. ЖУРАВЛЕВ, Ю. А. ЛЬВОВ, Г. Ф. ПЛЕХАНОВ

Вопрос о природе Тунгусского метеорита, остающийся до сих пор нерешенным, в течение последних лет подвергался интенсивному изучению со стороны ряда научных учреждений и организаций. За этот период времени накоплен большой фактический материал, требующий обобщения и интерпретации. Исследования велись как по линии дальнейшего развертывания полевых работ, так и по линии сбора и изучения геофизических материалов, относящихся к лету 1908 г. Усилия ученых, работающих в этой области, были организационно сконцентрированы в трех научных группах, работающих параллельно или в ряде случаев — кооперирующихся в работе. Этими группами являются:

1. Комитет по метеоритам АН СССР (КМЕТ).
2. Группа сотрудников ВУФВНИИ «Геофизика» под руководством А. В. Золотова.

3. Комплексная самодеятельная экспедиция (КСЭ), работающая в контакте с СО АН СССР и Томским госуниверситетом.

В 1961—1962 гг. КМЕТ АН СССР провел две крупные экспедиции под руководством К. П. Флоренского, в ходе которых был выполнен большой комплекс работ по изучению разрушений, вызванных тунгусским взрывом. Наряду с этим была предпринята попытка обнаружения мелко-дисперсного космического вещества в почвах района катастрофы и прилегающих к нему мест. Экспедиция 1961 г. проводилась совместно с КСЭ.

В 1963—1965 гг. экспедиционные работы по изучению этой проблемы проводились КСЭ. Целью их являлось окончание составления карты вывала леса по всей площади района катастрофы, исследование ожога растительности, а также дальнейшие поиски космического вещества в почвах района. Помимо этого отдельные группы КСЭ проводили контрольные работы в других районах Сибири.

Группа А. В. Золотова, проведя полевые работы в 1961 г., сосредоточила свои усилия в дальнейшем на обработке полученных материалов. Большая часть их пока не опубликована.

В 1961—1962 гг. КСЭ совместно с Комитетом по метеоритам завершила в основном сбор и обобщение геофизических материалов, относящихся к лету 1908 г. Параллельно была выполнена трудоемкая работа по сопоставлению полученных данных с наблюдениями, проведенными в другие периоды запыления земной атмосферы веществом космического или земного происхождения.

Данные о Тунгусском метеорите, которые были известны к концу 1960 г., достаточно полно изложены в ряде сборников и обзоров, где читатель их может найти. В связи с этим ниже приводятся, главным образом, сведения ставшие известными в последние пять лет и имеющие существенное значение для обсуждения проблемы в целом.

1. О месте падения Тунгусского метеорита

В литературе неоднократно высказывались суждения о том, что отдельные глыбы Тунгусского метеорита выпали далеко за пределами района, исследованного Л. А. Куликом [1, 2, 3, 4]. Проверка этих сообщений показала, что единственным районом, достоверно связанным с падением Тунгусского метеорита, является район повала леса, обнаруженный Л. А. Куликом [5, 6, 7]. Сведения о буреломах, связанных с падением метеорита в других районах, оказались или недостоверными, (так называемый «восточный вывал»), или не относящимися к изучаемому явлению (ветровалы в бассейне р. Кеть). Поиски «Сухой речки» — борозды, образованной в районе Лакурского хребта, по рассказам эвенков, во время падения метеорита — В. М. Кувшинниковым в 1963—1964 гг. с помощью наземных маршрутов и аэровизуальных наблюдений также не дали положительных результатов. К настоящему времени под этим углом зрения остался необследованным только район Пит-городка (правобережье Енисея), однако проведение работ в этом районе не является, по-видимому, первоочередной задачей.

2. Характеристика куликовского вывала леса

В ходе экспедиционных работ 1961—1964 гг. была проведена трудоемкая работа по характеристике вывала леса, вызванного Тунгусским метеоритом. Результатом этих исследований, осуществленных большой группой участников экспедиций под руководством В. Г. Фаста, явилось составление каталога разрушений, в котором приведены сведения по 650 пробным площадям, распределенным по всему району вывала и включающим в себя сведения о 60000 поваленных деревьях. На основании этих данных составлена карта-схема вывала, приводимая ниже (см. фиг. 1 на стр. 7).

Как видно из приведенной схемы, область вывала представляет собой фигуру, почти симметричную относительно линии $111^{\circ}+2^{\circ}$. Дальше всего направленный повал леса прослеживается в СВ и ЮВ направлениях (до 40 км от эпицентра). Минимальное расстояние до границ вывала наблюдается в З и СЗ направлениях (15—17 км). Границы зоны массового (80—90-процентного) вывала леса находятся значительно ближе и составляют 20—25 км на СВ и ЮЗ и 7—8 км на З и СЗ.

Детальное изучение повала леса позволило выявить относительно небольшие, но строго закономерные отклонения от радиальности, прослеживаемые по всей площади района. Эти отклонения условно могут быть разделены на две категории:

1. Осесимметричное отклонение — отклонение от радиальности, наиболее четко выраженное в юго-восточном и северо-восточном секторах района. Подробное описание этих особенностей, а также попытка их интерпретации дана в статьях, публикуемых в настоящем сборнике [8, 9, 10].

2. Систематическое отклонение азимута повала стволов от строго радиального по ходу часовой стрелки и прослеживаемое по всей площади повала, достигающее величины порядка 5° .

Помимо систематических отклонений в ряде участков обнаружены отклонения, связанные с рельефом, на возможность существования ко-

торых указывал ранее Е. Л. Кринов [11]. Суть их сводится к следующему. Азимуты повала стволов на склонах холмов, параллельных направлению на эпицентр, отклонены от радиального на $5-7^\circ$ в сторону склона. Величина этого отклонения зависит от крутизны, азимута склона и расстояния до эпицентра.

Обращает на себя внимание то обстоятельство, что упорядоченность вывала, т. е. наименьший разброс величин замеров от среднего для данной пробной площади, наблюдается также в СВ и ЮВ направлениях.

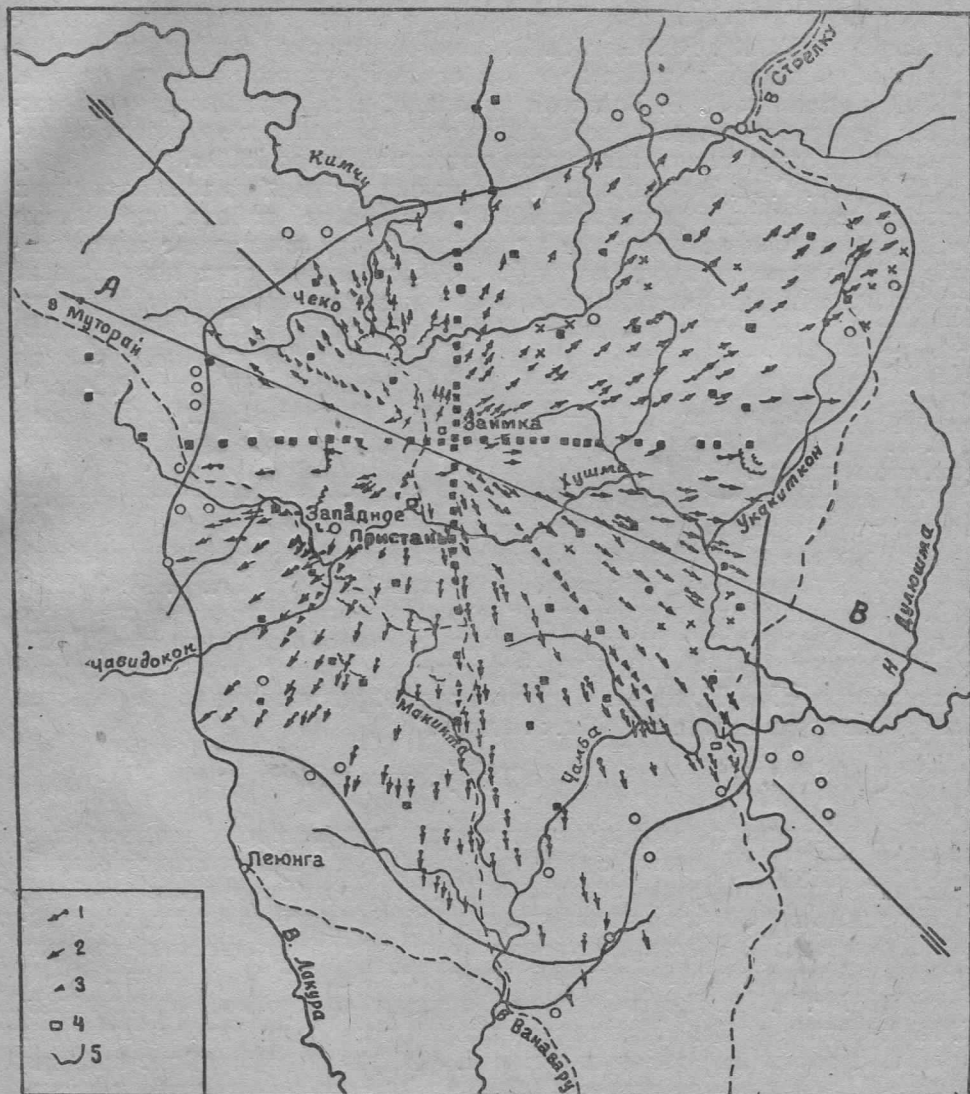


Рис. 1. Карта поваленного леса, по данным 1961 года: 1, 2, 3 — среднее направление поваленных деревьев; 4 — избушки; 5 — общая граница поваленного леса; АВ — ось симметрии.

СВ и ЮВ языки повала леса нельзя объяснить спецификой почв и рельефа указанных районов, так как, по данным К. А. Любарского, проводившего экспериментальный повал живых деревьев в разных условиях

их произрастания, величина усилия, необходимого для повала дерева, пропорциональна его диаметру и не зависит от почв, рельефа и вида деревьев.

В настоящее время можно считать работу по полевому изучению картины вывала законченной, однако эти данные требуют глубокого изучения со стороны физиков-взрывников.

3. Лучистый ожог растительности, вызванный Тунгусским метеоритом

Еще Л. А. Кулик отмечал наличие следов необычного ожога типа «коготок» на тонких ветвях кустарников и деревьев, растущих в центре катастрофы [12, 13]. В 1959 г. А. В. Золотов отнес к следам лучистого ожога обугливание толстых ветвей и стволов сухостоя в этом районе. Проверка данных А. В. Золотова показала, что описанные им повреждения не имеют отношения к Тунгусскому метеориту и являются следами лесных пожаров, имевших место в этом районе до 1908 г.

В 1961 г. Г. М. Зенкин и А. Г. Ильин обнаружили на тонких верхних ветвях лиственниц, переживших 1908 год в центре района, необычные повреждения, ориентированные в основном вверх и имеющие значительную протяженность вдоль ветки [14]. Исследование этих повреждений специалистами-фитопатологами привело к заключению, что наиболее вероятной причиной их образования являлось термическое действие [15]. Г. М. Зенкин полагает, что величина светового импульса, необходимая для возникновения этих повреждений, составляет 5—15 кал/см². Исследования, проведенные в 1963—1964 гг. А. Г. Ильиным, В. Воробьевым и Б. Л. Шкутой, позволили оконтурить границу области лучистого ожога (см. схему на стр. 110) [16].

Из схемы следует, что повреждения указанного типа встречаются на расстоянии не более 9—10 км от эпицентра. Существенно, что вдоль траектории эта область простирается дальше, чем в других направлениях.

На основании материалов, собранных в 1961 г., Г. М. Зенкин и А. Г. Ильин сделали попытку определить центр источника светового импульса. Он оказался лежащим в точке с координатами $\varphi = 60^\circ 52' 8''$ и $\lambda = 101^\circ 55' 3''$ в 2—3 км В-ЮВ от эпицентра по траектории, близкой к траектории Е. Л. Кринова. Проверка этого предположения на большем материале подтвердила в 1966 г. эти данные.

4. Поиски вещества Тунгусского метеорита

Как известно, поиски крупных частей Тунгусского метеорита, проводившиеся Л. А. Куликом с помощью принятых в метеоритике методов, не дали положительных результатов [19]. Магнитометрические работы, проведенные в 1960 г., подтвердили отрицательные результаты, полученные Куликом [20]. Металлометрическая и флуориметрическая съемка, проведенная тогда же, не дали вполне определенных результатов.

В 1957 г. А. А. Явиев [22] обнаружил в пробах, привезенных Л. А. Куликом, микроскопические шарики, состоящие из никелистого железа, аналогичные обнаруженным Е. Л. Криновым в районе падения Сихоте-Алиньского метеорита [23]. Это послужило основанием к постановке рядом экспедиций КМЕТ АН СССР [1958, 1961, 1962] работ по выделению мелкодисперсного космического вещества из почв района катастрофы. В течение 3-х лет площадной съемкой был охвачен район площадью более 4000 км², выходящий далеко за пределы куликовского вывала. Почти во всех пробах почв, исследованных К. П. Флоренским и его сотрудниками, были обнаружены микроскопические магнетитовые и силикатные шарики, сходные с находимыми в районе метеоритных падений. Полевой химический анализ, проведенный П. Н. Палеем, выя-

вил высокое содержание никеля в магнетитовых сферулах. Заметим попутно, что в доступной нам литературе мы не встретили сведений, подтверждающих эти анализы в стационарных условиях [24, 25].

На основании работ 1961—1962 гг. К. П. Флоренский сделал вывод о том, что почвы центра катастрофы относительно бедны космическим веществом и что район, богатый космическими шариками, начинается примерно в 80 км к СЗ от эпицентра и тянется на СЗ более чем на 200 км. Северная граница этого района не установлена [24, 25, 26].

В 1964 г. Б. И. Вронским и Р. Э. Брувером были отобраны почвенные пробы вдоль р. Таймуры, т. е. примерно по оси предполагаемого эллипса рассеяния вещества Тунгусского метеорита. Обработка этих проб Брувером показала наличие в них шариков космического происхождения, количество которых примерно совпадает с обнаруженным ранее К. П. Флоренским в наиболее богатых пробах [27]. К обсуждению этого принципиально важного вопроса мы вернемся ниже.

Микроспектральный анализ, выполненный в Институте геологии и геофизики СО АН СССР, показал очень высокое содержание никеля в магнетитовых шариках, полученных из Таймурских проб, что является веским аргументом в пользу их космического происхождения [28].

Помимо выявления вещества Тунгусского метеорита прямыми методами были использованы и другие пути поиска.

С целью проверки гипотезы о ядерной природе взрыва Тунгусского метеорита в 1959—1964 гг. был осуществлен комплекс радиометрических и радиохимических работ. Результаты их не позволяют пока с уверенностью говорить о наличии в районе катастрофы следов радиоактивности, относящихся к 1908 г.

В 1958 г. Емельяновым было высказано предположение о том, что ускоренный прирост деревьев, наблюдающийся в районе вывала, объясняется внесением в почву микроэлементов метеоритного происхождения [30]. В 1960—1961 гг. с целью проверки этого предположения В. И. Некрасовым, В. И. Колесниковым, Ю. М. Емельяновым, В. Г. Бережным и Г. И. Драпкиной был выполнен большой объем лесотаксационных работ. Установлено, что, действительно, в исследованном районе наблюдается резко ускоренный прирост деревьев как старого, докатастрофного, леса, так и молодых. Границы зон ускоренного прироста деревьев не совпадают с границами повала леса. [32]. Вопрос о роли лесного пожара в этом явлении до настоящего времени остается спорным [34, 35, 36].

В 1963 г. Г. Ф. Плехановым было высказано предположение о том, что продукты Тунгусского взрыва могли оказать мутагенное действие на древесную растительность. Экспедиционные работы 1963—1964 гг. показали следующее:

1. В районе центра вывала леса наблюдается резко повышенная сравнительно с периферией встречаемость мутаций у сосны.

2. Это явление имеет место на расстоянии до 12 км от эпицентра.

3. Границы указанного района не совпадают с границами вывала.

4. Сходное явление, хотя и в меньших масштабах, наблюдается на местах старых гарей.

5. Связывать это явление со специфическим действием продуктов Тунгусского взрыва достаточных оснований пока нет [37].

5. Геофизические явления, связанные с Тунгусским метеоритом

Как известно, Тунгусская катастрофа сопровождалась комплексом геофизических явлений, к которым относятся:

1. Местное землетрясение, зарегистрированное сейсмическими станциями Иркутска, Ташкента и Тбилиси [38].

2. Воздушные волны, отмеченные на барограммах многих метеостанций мира [39, 40, 41].

3. Местное геомагнитное возмущение, наблюдавшееся в Иркутске и не выявленное в Свердловске [42, 43, 44].

4. Усиление свечения ночного неба, аномальное развитие серебрястых облаков, необычно яркие «пестрые» зори в период с 25 июня по 25 июля 1908 г. [45, 46, 47].

5. Помутнение атмосферы, имевшее место в Калифорнии в июле—августе 1908 г. [48].

6. Аномальный ход нейтральных точек Араго и Бабинье в период 1—20 июля 1908 г. в Германии [49, 50, 51].

Детальный анализ на современном уровне всех имеющихся сейсмограмм и барограмм до сих пор не проведен. Интерпретации геомагнитного эффекта посвящена значительная литература, однако единого мнения о его природе пока не сложилось.

В 1937 г. Иенсенем было высказано мнение о том, что наблюдавшийся Бушем 1 июля 1908 г. аномальный сдвиг нейтральных точек Араго и Бабинье связан с падением Тунгусского метеорита. К сожалению, на это указание не было обращено должного внимания. В 1962—1963 гг. данные Буша были подробно проанализированы В. К. Журавлевым, сопоставившим их с цифрами, характеризующими другие периоды оптических аномалий. Автором был сделан вывод о том, что поляриметрический эффект Тунгусского метеорита резко выделяется среди других аномалий, обусловленных как земными, так и космическими причинами.

Дальнейшему изучению подвергся в последние годы комплекс оптических явлений в атмосфере Земли, имевший место в конце июня—июля 1908 г. и связанный, по мнению подавляющего большинства исследователей, с падением Тунгусского метеорита. Эта работа, выполненная Н. В. Васильевым, И. Т. Зоткиным, В. К. Журавлевым, позволила установить следующее:

1. Аномальные световые явления в атмосфере Земли наблюдались в основном после падения Тунгусского метеорита. Максимум их приходится на ночь 30 июня—1 июля 1908 г., когда они были отмечены более чем в 150 пунктах Европы и Азии, резкий спад наблюдался 1 и 2 июля, следы явлений имели место вплоть до конца июля, а по некоторым сведениям до конца августа 1908 г.

2. Есть все основания полагать, что слабые признаки световых аномалий появились еще до падения метеорита, примерно с 22 июня 1908 г., как об этом писали ряд авторов еще в 1908 г. До 27 июня эти случаи были единичны, 27, 28 и 29 июня число положительных наблюдений быстро нарастало и перешло в резкую кульминацию в ночь с 30/VI на 1/VII. В настоящее время известны по крайней мере 23 пункта Европы и Азии, где световые аномалии наблюдались в период с 22 по 29 июня включительно. Это явление мы обозначаем условно как «эффект досвечения».

3. Область распространения световых явлений ограничена с востока Енисеем, с юга — линией Ташкент—Ставрополь—Севастополь—Бордо, западная граница условно совпадает с береговой линией Атлантического океана, северная не определима ввиду совпадения события во времени с сезоном белых ночей. С большой степенью вероятности можно считать, что в других районах земного шара световые аномалии в этот период времени не наблюдались, однако этот вывод нельзя считать абсолютным, так как наблюдения в Африке, Латинской Америке, Австралии и Юго-Восточной Азии проводились лишь в отдельных пунктах. Неясно, наблюдались ли световые аномалии в Канаде, между тем, как мы увидим ниже, этот вопрос имеет принципиальное значение.

4. Все световые аномалии лета 1908 г. могут быть условно разделены на три категории:

- 1) яркие пестрые зори,
- 2) необычное по интенсивности и размаху развитие серебристых облаков,
- 3) усиление свечения ночного неба.

Следует оговориться, что прямых наблюдений за свечением ночного неба в 1908 г. не проводилось, и наличие третьей категории явлений устанавливается на основании косвенных соображений. Поэтому к последнему выводу следует отнестись осторожно.

5. Все три категории световых явлений, по-видимому, имели место по всей площади района, в котором имел место комплекс аномалий. С уверенностью это можно говорить применительно к первым двум категориям.

6. Наряду с аномалиями сумеречного и ночного неба, имели место аномалии дневного неба. Помимо отмеченного выше сдвига хода нейтральных точек Араго и Бабине имело место развитие необычных по значительности и интенсивности солнечных гало, а также появление дифракционного кольца Бишопа, что свидетельствует об изменении оптических свойств сравнительно низко расположенных слоев в атмосфере.

7. Помимо описанного В. Г. Фесенковым уменьшения прозрачности атмосферы в Калифорнии в июле—августе 1908 г., близкий по характеру эффект обнаружен в начале июля 1908 г. во Франции. Актинометрические наблюдения в других районах земного шара носили спорадический характер и поэтому сделать на их основании определенные выводы затруднительно. Подробная характеристика всего комплекса световых явлений лета 1908 г. дана в сводке, опубликованной в 1965 г. [46].

6. Обсуждение фактического материала, имеющегося к 1965 г.

В проблеме Тунгусского метеорита, как и в любой другой, имеется ряд ключевых моментов, познание которых обеспечивает успех разработки проблемы в целом. К числу таких вопросов для данного случая относятся следующие:

1. Проекция траектории полета тела и угол ее наклона к поверхности Земли.
2. Скорость движения тела в атмосфере Земли.
3. Механизм образования ударной волны.
4. Масса и состав космического тела.

Вопрос о проекции траектории в настоящее время может быть решен с большой степенью вероятности на основании анализа показаний очевидцев, известных ранее и собранных в 1962 г. В. Г. Коженкиным и в 1965 г. группой КСЭ под руководством Б. И. Вронского и В. Э. Папе. Работа такого рода была проведена Коженкиным [52] и Зоткиным [53]. Из нее следует, что проекция траектории Тунгусского метеорита оказывается сдвинутой к востоку значительно больше, чем предполагалось ранее, и проходит с В-ЮВ на З-С по магнитному азимуту— $291^\circ \pm 2^\circ$. При интерпретации показаний очевидцев следует иметь в виду, что опрос проводился спустя 50 лет после падения. Поэтому свидетельские показания сами по себе не могут служить основанием для выводов принципиального характера. Однако они находят независимое подтверждение в симметричных отклонениях от радиальности повала леса — так называемом осесимметричном отклонении. Действительно, азимут оси симметрии отклонения совпадает с направлением, полученным на основе опросных данных.

Изменение проекции траектории позволяет пересмотреть и вопрос об угле ее наклона. Описанные ранее варианты траектории однозначно предполагали относительно малый угол ее наклона, величина которого

не превышала 8—12°. Основанием для этого служил тот факт, что Тунгусский метеорит был виден в момент пролета как бы вблизи пунктов, расположенных на расстоянии 400—600 км к югу от места падения. Из нового и, по-видимому, окончательного варианта проекции траектории следует, что подобный эффект очевидцы пролета могли наблюдать в том случае, если угол наклона траектории был достаточно большим. Поэтому можно полагать, что наибольший допустимый угол наклона достигает величины порядка 60°.

Изложенные соображения позволяют по-иному трактовать картину разрушений, вызванных Тунгусским метеоритом. Как известно, ранее в литературе были высказаны следующие варианты объяснения:

1. Разрушения вызваны единым центральным взрывом на высоте порядка 8—12 км [54].

2. Причиной разрушений явилась баллистическая волна, образовавшаяся в результате пролета тела с космической скоростью по наклонной траектории [55].

Второй из названных вариантов был отвергнут в результате работ 1958—1961 гг. ввиду того, что он не соответствовал в общем радиальной картине вывала. Первый вариант представлялся удовлетворительным на уровне знаний 1960 г., так как наличие осесимметричных отклонений вывала было обнаружено позднее. В настоящее время следует признать, что действием только единого центрального точечного взрыва объяснить осесимметричные отклонения вывала затруднительно. В связи с этим представляется вероятным следующий вариант интерпретации наблюдаемого явления.

Все разрушения на местности могут являться следствием действия только баллистической волны, причиной возникновения которой было движение метеорита по весьма крутой траектории. На конечном участке ее при входе в плотные слои атмосферы лобовое сопротивление движению тела резко возросло, в результате чего началось дробление метеорита, приведшее в свою очередь к образованию баллистической волны сферического типа, действовавшей наподобие ударной волны центрального взрыва. При таком механизме разрушения тела представляется возможным, что отдельные куски его, а также часть мелкодисперсного вещества могли достигнуть земной поверхности, потеряв космическую скорость и не вызвав образования кратеров взрывного типа. В этом случае находят рациональное объяснение общая радиальность вывала, осесимметричные отклонения и неравномерность действия ударной волны по разным направлениям. Дальнейшая математическая обработка уже имеющихся материалов, характеризующих павал леса, может дать ответ на вопрос о величине скорости, линейных размеров и массы Тунгусского метеорита.

Исследование лучистого ожога, вызванного Тунгусской катастрофой, представляет существенный интерес для дифференцировки химического и ядерного взрыва. Оценка, данная Зенкиным и Ильиным, показывает, по мнению ее авторов, что лучистая энергия составляла существенную долю (от 1 до 10%) в общем балансе энергии Тунгусского «взрыва». Это, по-видимому, говорит не в пользу химической природы взрыва, однако в настоящее время совершенно неясно, какое количество лучистой энергии могло выделиться при разрушении тела согласно механизму, изложенному выше.

Наиболее спорным до настоящего времени является вопрос о веществе Тунгусского метеорита. Как известно, экспедициями АН СССР под руководством К. П. Флоренского были проведены развернутые поиски мелкодисперсного космического вещества в пробах почв как в районе Тунгусского падения, так и в области, расположенной к северо-западу

от Тунгусско-Чунского водораздела (бассейн р. Таймуры). К. П. Флоренским и его сотрудниками была применена методика обогащения крупных образцов почвы, позволяющая выявлять малые количества космического материала среди большого объема вещества земного происхождения. Рекогносцировка в этом направлении была предпринята еще в 1958—1960 гг. широкий комплекс исследований был выполнен в 1960—1962 гг. Исходные соображения при постановке этой работы выглядели примерно следующим образом: к началу 1961 г. почти общепризнанным являлось мнение о том, что Тунгусское падение закончилось взрывоподобным разрушением космического тела, произошедшим на высоте порядка 10 км. Энергия «взрыва» составила величину порядка 10^{23} эрг. Естественно, что при этом даже тугоплавкая составляющая метеорита перешла в газообразное, а быть может, и в плазменное состояние. Восходящие токи воздуха могли выбросить это вещество в верхние слои атмосферы, на высоту порядка 15—30 км. Конденсация вещества должна была привести к образованию мелкодисперсных частиц шарообразной формы, размеры которых не превышают нескольких сотен микрон, а в большинстве случаев составляют несколько десятков микрон. В дальнейшем указанные продукты взрыва должны были рассеяться по направлению ветра и выпасть на поверхность Земли. Из сказанного следует, что центральный район катастрофы, скорее всего, сравнительно беден веществом, принадлежащим Тунгусскому метеориту, максимум же его концентрации должен иметь место где-то по ходу шлейфа рассеяния.

Методика отбора почвенных проб в 1961—1962 гг. была принята, исходя из соображений, описанных выше. Первоначально были взяты по сетке пробы из центра района катастрофы, в дальнейшем были сделаны концентрические круги отбора материала, удаленные на 5, 10, 20 и более километров от эпицентра. Большая часть проб обрабатывалась на месте, в условиях полевого стационара, там же производился предварительный подсчет космических «шариков» и в отдельных случаях — полевой микрохимический анализ на никель. С самого начала работ поиски вещества были ориентированы главным образом на обнаружение магнетитовой составляющей космического тела, что вполне понятно, так как надежных методов выделения и идентификации силикатного космического вещества в почвенных пробах до настоящего времени не предложено. В процессе поисков вещества обращалось внимание, прежде всего, на сферические частицы, так как обнаружение и идентификация остроугольного материала является пока также нерешенной задачей. При обсуждении результатов работы следует, очевидно, иметь в виду указанные ограничения в возможностях метода. Результаты, полученные в ходе работ, К. П. Флоренский резюмирует примерно следующим образом:

1. Как и следовало ожидать, пробы, отобранные в центральной части района, вблизи эпицентра, сравнительно бедны космическими шариками. Точно также бедны ими пробы, взятые в восточном, северном и южном направлениях на расстоянии до 40 км и более.

2. Первые пробы, число шариков, в которых значительно превышает цифры, полученные в районе центра, обнаружены на расстоянии 70 км к северо-западу от Куликовских изб, в бассейне р. Чуни неподалеку от фактории Муторай. Обогащение почв космическим веществом в этом районе не является равномерным по площади: наряду с весьма богатыми пробами, встречаются и пробы почти пустые, причем расстояние между точками отбора тех и других может измеряться в некоторых случаях всего лишь десятками метров (напомним, что аналогичная закономерность была выявлена несколько ранее Б. И. Вронским в отношении проб, отобранных в районе р. Укагит).

3. Зона обогащения почв космическим веществом тянется далее на северо-запад, захватывая район среднего течения г. Таймуры. Она прос-

лежена на расстоянии до 400 км от эпицентра, причем сколько-нибудь отчетливой тенденции к уменьшению числа частиц по мере удаления от района катастрофы выявить не удастся. Можно сделать вывод о том, что обогащенная площадь представляет собой эллипс, северную границу которого пока определить не удалось.

4. Отобранные шарики являются частицами космического происхождения, так как полевые микрохимические анализы выявили по крайней мере в некоторых из них высокое содержание никеля, нехарактерное для земных материалов. Подавляющее большинство шариков относится к магнетитовой фракции космического вещества, лишь некоторые имеют силикатный состав (что вполне понятно, если учесть ограниченные возможности методики). Большая часть шариков имеет размер от 15 μ до 80 μ , в некоторых случаях магнетитовые частицы сплавлены с силикатными.

5. Направление эллипса совпадает с направлением ветра, которое, по данным Центрального института прогнозов, имело место в нижних слоях атмосферы в районе падения утром 30/VI 1908 г.

Морфология, состав, а также характер распространения космического вещества в указанных районах свидетельствует, скорее всего, в пользу кометной природы Тунгусского метеорита.

Изложенные выше положения, развернутые К. П. Флоренским в ряде работ, послужили основанием для утверждения о том, что тунгусская проблема в основном решена, поскольку определен материальный состав Тунгусского тела. Эти аргументы были активно использованы в качестве доводов, подкрепляющих кометную гипотезу о происхождении Тунгусского метеорита.

Ввиду того, что рассматриваемый вопрос имеет для проблемы Тунгусского метеорита не только принципиальное, но и решающее значение, следует подробно рассмотреть факты, относящиеся к закономерностям распространения космической пыли на нашей планете в целом.

Первое, что нужно отметить в этой связи — это отсутствие достоверных оценок количества мелкодисперсного космического вещества, выпадающего на землю. Сводка оценок, данных разными авторами в разное время, приведена нами в [57]. Даже если отбросить явно заниженные оценки двадцатилетней давности, то и в этом случае приходится признать, что результаты расчетов разных авторов расходятся между собой примерно на 5 порядков. Преобладающим в литературе последних лет является мнение о том, что на землю ежегодно выпадают миллионы тонн космической пыли, причем ощутимую долю в общей сумме составляет метеорная пыль, состоящая из магнетитовых и силикатных шариков, размеры которых колеблются от нескольких единиц до сотен микрон.

Распределение выпадающего космического вещества на поверхность Земли, процессы его дальнейшей миграции и превращений в биосфере изучены совершенно недостаточно. Существуют наблюдения, позволяющие предполагать, что в целом космическое вещество выпадает на поверхность нашей планеты довольно равномерно, однако наряду с этим высказывалось мнение о возможном влиянии на этот процесс магнитного поля Земли. Наблюдения скандинавских авторов, изучавших содержание космических шариков в донных илах Тихого и Атлантического океанов, показали, что разница в количественном содержании шариков в различных образцах может достигать порядка, т. е. приближается по величине к разнице, обнаруживаемой при сравнении содержания шариков в пробах почв эпицентра Тунгусской катастрофы с наиболее богатыми пробами бассейнов рр. Чуня и Таймуры. Кроме того, если даже отвлечься от этих данных, нельзя забывать о возможности различной скорости разрушения космической пыли в зависимости от условий почв,

рельефа, гидрологического режима. Не исключено также вторичное переотложение космического вещества. Все это заставляет думать, что даже в том случае, если космическая пыль выпадает на Землю относительно равномерно по всей ее поверхности, то это далеко не исключает пятнистости космического фона в зависимости от специфики условий того или иного района. Между тем отработка фона до настоящего времени не проведена, что не является удивительным, так как работа, выполненная под руководством К. П. Флоренского, является первой в мировой практике попыткой составления карты распределения космической пыли на значительной площади земной поверхности.

Изложенные выше соображения заставляют осторожно подходить к выводам, которые были сделаны К. П. Флоренским и рядом других авторов.

Имеются и другие обстоятельства, которые подтверждают сказанное. Прежде всего, следует иметь в виду, что вопреки суждениям, которые и сейчас еще порою высказываются в печати, шарики космического происхождения обнаруживаются в доступном определению количестве не только в районах крупных метеоритных падений, но буквально повсеместно. Большая сводка литературных данных такого рода дана нами в [57], к этому следует добавить, что в нашем распоряжении сейчас имеются экспериментальные собственные данные, подтверждающие это. Так, шарики, сходные по морфологии с тунгусскими, обнаружены Ю. А. Львовым и Г. М. Ивановой в снегах северных районов Томской области и в торфах, отобранных в бассейне р. Кети [58, 59].

В 1964 г. Б. И. Вронским и Р. Б. Брувером были дополнительно отобраны пробы почв в бассейне р. Таймуры. Исследование их показало наличие в них шариков космического происхождения (содержание никеля в них, по данным микроспектрального анализа, достигает 19%) [60], причем количество шариков совпало, с одной стороны, с количеством, полученным ранее Б. И. Вронским и К. П. Флоренским в районе среднего течения Таймуры, и с данными американских авторов, относящимися к Антарктиде, — с другой.

Таким образом создается впечатление, что цифры, характеризующие содержание космического вещества в районе предполагаемого эллипса рассеяния, близки к фоновым для других районов земного шара, содержание же космического вещества в районе Тунгусского падения в силу каких-то, пока неясных, причин оказывается ниже мировых фоновых данных.

Вызывает определенные сомнения и механизм образования предполагаемого эллипса рассеяния, предлагаемый К. П. Флоренским. Заключение Центрального института прогнозов о направлении ветра в нижних (приземных) слоях атмосферы вряд ли имеет вообще отношение к рассматриваемому вопросу, так как решающую роль в этом случае играло направление стратосферного ветра, которое мы вряд ли когда-нибудь точно узнаем, ибо зондирование атмосферы в этот период времени еще не применялось. Экстраполяция же направления ветра с нижних слоев на верхние вряд ли является правомерной. Расчет скорости падения шариков с высоты 20—24 км по формуле Стокса, который приводит К. П. Флоренского к заключению о том, что граница эллипса должна лежать примерно в 80 км от места взрыва, также не является достаточно убедительным, так как в нем не учтена роль восходящих токов воздуха, обычно возникающих в первую половину летнего дня, а также экспериментальные данные по воздушным ядерным взрывам, из которых следует, что время выпадения продуктов взрыва может измеряться не часами, а сутками и месяцами [61].

Все сказанное выше позволяет сделать следующее заключение: рабо-

та, выполненная под руководством К. П. Флоренского по выявлению космического вещества в почвах района Тунгусской катастрофы, имеет большой научный интерес как первая по-настоящему организованная попытка обнаружения космической пыли в почвах. Однако делать на основании этой работы принципиальные выводы применительно к Тунгусскому метеориту, по крайней мере, преждевременно. Сейчас, к сожалению, как и пять лет назад, мы должны констатировать, что ни одного миллиграмма вещества, достоверно относящегося к Тунгусскому телу, пока не найдено.

Краткое обсуждение гипотез, предложенных для объяснения природы Тунгусского метеорита

Из большого числа гипотез, предложенных в разное время для объяснения природы Тунгусского метеорита, сохраняют свою актуальность следующие:

1. Гипотеза о кометной природе Тунгусского тела, предложенная И. С. Астаповичем, Уипплом и развитая акад. В. Г. Фесенковым [64, 65, 66].

2. Представление о Тунгусском метеорите как об уплотненном центре облака космической пыли, предложенная акад. В. И. Вернадским, детализированная нами [67, 8].

3. Гипотеза о ядерной природе Тунгусского взрыва.

Кометная гипотеза удовлетворительным образом объясняет картину разрушений, вызванных Тунгусским падением. Источником энергии в этом случае может быть или тепловой взрыв (мгновенное испарение ядра ледяной кометы), гипотеза о котором выдвинута в работе К. П. Станюковича [69] или переход кинетической энергии роя тел, составляющих кометное ядро, в энергию ударной волны. Однако и в этом случае трудности представляет интерпретация геофизических явлений, сопровождавших Тунгусскую катастрофу.

Как вытекает из данных, изложенных выше, оптические аномалии в атмосфере земли были связаны с запылением не только самых верхних ее слоев, но и слоёв, расположенных на высоте 80 км и ниже. Это вытекает из аномального развития серебристых облаков, локализующихся на высоте 80—82 км, а также из наличия поляриметрического и актиниметрического эффектов. Если необычные по длительности солнечные гало 1—2 июля 1908 г. имеют отношение к тунгусской катастрофе, то приходится признать, что имело место заметное запыление и нижних слоев атмосферы.

Между тем, по мнению акад. В. Г. Фесенкова, хвост Тунгусской кометы, явившийся причиной возникновения световых аномалий, был задержан в атмосфере Земли на высоте 200 км и выше. Отсюда следует, что, если Тунгусская комета обладала теми свойствами, какие вытекают из гипотезы акад. В. Г. Фесенкова, то аномальное развитие серебристых облаков, а также необычные зори не получают удовлетворительного объяснения. Из этого положения может быть только два выхода: или следует признать, что указанные виды аномалий не имеют отношения к Тунгусскому метеориту и случайно совпали с ним во времени — что представляется чрезвычайно натянутым, — или нужно допустить, что существующий вариант кометной гипотезы нуждается в значительной доработке и уточнении. К этому следует добавить, что расчеты И. Т. Зоткина [53], проведенные на основании уточненного варианта траектории Тунгусского тела, показывают, что вещество кометного хвоста должно было вызвать световые явления в Канаде, чего в действительности, по видимому, не было (следует отметить, что необходим дополнительный сбор информации, находящейся, возможно, в архивах канадских обсер-

ваторий) и не должно было вызвать какие бы то ни было эффекты подобного рода в Европе, что, напротив, имело место.

Таким образом, мы приходим к выводу, что кометная гипотеза в ее современном виде не в состоянии объяснить всю совокупность явлений, связанных с падением Тунгусского метеорита.

Что касается представлений о Тунгусском метеорите как об уплотненном центре облака космической пыли, то нам представляется возможным утверждать, что интерпретация явления, данная нами на этой основе в 1962—1963 гг., остается в силе, как наиболее простое качественное объяснение всего комплекса наблюдавшихся явлений.

Последовательность событий в этом случае выглядит следующим образом:

Начиная с 22 июня 1908 г., Земля проходила через облако космической пыли. Отдельные сгустки последней, попадая в ее атмосферу, вызвали локальные оптические аномалии, наблюдавшиеся в различных пунктах до 30 июня 1908 г. Они же, вероятно, явились причиной многочисленных болидов, отмеченных в это время. Утром 30 июня 1908 г. в районе Подкаменной Тунгуски произошло вторжение в атмосферу Земли уплотненного участка облака, в состав которого могли входить отдельные фрагменты большой плотности и значительных размеров. Двигаясь по весьма крутой траектории с космической скоростью, этот сгусток вызвал образование мощной баллистической волны (см. выше), которая и явилась причиной разрушения на местности. Не исключено, что при этом отдельные куски Тунгусского тела могли сохраниться и выпасть в районе эпицентра. Мелкодисперсная составляющая облака космической пыли рассеялась в верхних слоях атмосферы Земли и вызвала неоднократно упоминавшийся выше комплекс оптических аномалий. Следует заметить, однако, что количественной теории пылевого взрыва, согласующейся со схемой разрушений, полученной в итоге полевых работ, пока не существует. Остается пока не исследованным вопрос о распределении пыли в атмосфере Земли в этом случае с учетом нового варианта траектории. Совершенно неясна, далее, причина необычно быстрого в основном, в течение 2—3 суток, исчезновения пыли из верхних слоев атмосферы. Спорным остается и вопрос относительно механизма геомагнитного эффекта, вызванного Тунгусским падением. Действительно, если встать на точку зрения обычного химического взрыва или объяснять разрушения действием баллистической волны, то единственно возможной интерпретацией сходства магнитного эффекта метеорита и ядерных взрывов является признание решающей роли ударной волны для генерирования возмущения в обоих случаях. Однако утверждение, что радиоактивное излучение ядерного взрыва не влияет на возникновение и существенные черты магнитного эффекта, представляется в настоящее время маловероятным. Более того, весьма вероятным представляется объяснение магнитного эффекта именно как следствия проникновения в ионосферу продуктов радиоактивного распада и гамма-излучения взрыва. Решение этого вопроса имеет принципиальное значение для окончательного выбора гипотезы о природе Тунгусского падения.

Следует заметить особо, что кометная гипотеза и гипотеза пылевого облака не исключают друг друга. Правильнее было бы сказать, что последняя является расширенным вариантом первой.

Гипотеза о ядерной природе Тунгусского взрыва, высказанная впервые А. П. Казанцевым и развитая А. В. Золотовым и Ф. Ю. Зигелем, недавно поддержана Коуэном, Этлури, Либби [70].

Несмотря на кажущуюся фантастичность, нет оснований рассматривать эту точку зрения как ненаучную. Часто высказываемый аргумент

о том, что эта гипотеза является «излишней», не может рассматриваться как слишком серьезный из-за недостаточности информации о изучаемом явлении.

Наоборот, именно кардинальный характер гипотезы требует особенно внимательного и непредвзятого анализа фактов также и с точки зрения этого — чрезвычайно смелого — предположения.

История исследования Тунгусского метеорита должна предостерегать от искушения настаивать на современном этапе исследования на какой-либо одной из трех указанных гипотез.

В настоящее время наиболее серьезными результатами, не позволяющими отбросить гипотезу о ядерной природе Тунгусского взрыва, являются следующие.

1. Геомагнитный эффект, который, возможно, является прямым и однозначным указанием на то, что взрыв сопровождался радиоактивностью.

2. Относительно высокая доля световой энергии, сопровождавшей падение Тунгусского метеорита по сравнению с энергией механических разрушений.

3. Результаты, радиоуглеродного анализа спилов деревьев Северного полушария, выполненного У. Ф. Либби с сотрудниками, которые показали повышенное содержание радиоактивного изотопа С-14 в годовичном кольце древесины 1909 г.

Разумеется, может оказаться, что эти результаты либо не подтвердятся в дальнейшем, либо будут объяснены в рамках более обычных гипотез. Однако, в настоящее время они стимулируют дальнейшие попытки обоснования ядерной гипотезы. Следует отметить, что защитниками ядерной гипотезы пока не сделано попыток объяснить с этой позиции комплекс световых аномалий, поляриметрический и актинометрический эффекты, связанные с Тунгусским падением.

Открытие осесимметричных отклонений от радиальности вывала позволяет оценить соотношение между ударной волной взрыва и баллистической волной, что даст возможность получить решающие аргументы для обоснования механизма образования ударной волны, а следовательно, для определения типа взрыва.

Если же удастся объяснить механические, световые и магнитные эффекты с точки зрения кометного варианта, то естественно, ядерная гипотеза будет исключена автоматически.

Все это говорит о том, что изучение Тунгусского феномена далеко не исчерпало себя и необходимы дальнейшие исследования этого удивительного природного явления.

Задачи и перспективы дальнейших исследований

Создается определенное впечатление, что за последние годы изучение вопроса о Тунгусской катастрофе 1908 г. существенно продвинулось вперед, и вполне возможно, что ближайшие годы могут принести окончательное решение этой крупной научной проблемы. В этой связи представляется необходимым продолжить работы по следующим основным направлениям:

1. Дополнительная проверка показаний очевидцев которые, как мы видели, имеют существенное значение для установления траектории полета Тунгусского метеорита.

2. Тщательный сбор архивных материалов обсерваторий и метеостанций, который позволил бы окончательно решить вопрос о наличии или отсутствии световых явлений на территории Канады летом 1908 г.

3. Проведение на основании имеющихся данных расчетных работ по интерпретации вывала леса, барограмм и сейсмограмм. К этой работе обязательно должны быть привлечены квалифицированные специалисты в области физики взрыва.

4. Дальнейшие исследования по интерпретации геомагнитного и поляриметрического эффектов Тунгусского падения.

5. Развертывание работ, направленных на поиски крупных фрагментов и относительно грубодисперсного вещества Тунгусского метеорита в почвах и торфах района эпицентра.

6. Продолжение работ по составлению карты распределения мелкодисперсного космического вещества в почвах и торфах как в месте катастрофы, так и за ее пределами, в контрольных фоновых районах.

Проведение работ по перечисленным направлениям вполне осуществимо, хотя оно и потребует некоторых дополнительных затрат сил и средств. Вряд ли можно, однако, сомневаться в том, что эти затраты окупят себя, так как это будет означать решение одной из волнующих научных задач, поставленных перед современной наукой.

В результате перечисленных работ должны быть получены материалы, позволяющие в совокупности с уже имеющимися данными с наибольшей достоверностью решить четыре ключевых вопроса, рассмотренные в начале раздела: траектория, скорость, механизм образования ударной волны, состав космического тела. Только тогда можно будет остановиться на какой-то одной из рассмотренных гипотез. Что же касается окончательного решения вопроса, оно будет достигнуто, по-видимому, в не очень далеком будущем на том же пути, по которому неизбежно идет изучение любого явления; а именно изучение и сбор фактов, построение гипотезы, проверка гипотезы путем предсказания новых фактов и моделирование явления. Первые попытки моделирования Тунгусского явления уже осуществлены (искусственное воспроизведение общей схемы вывала леса). В дальнейшем появятся возможности проверки по крайней мере некоторых гипотез более прямым путем. В научной литературе уже рассматривались проекты искусственного столкновения астероида с Землей, изменение орбиты кометы и т. д. В эпоху начала практического освоения космического пространства вряд ли можно считать особенно смелой мысль, что проверка кометной и пылевой гипотез Тунгусского явления путем прямого эксперимента рано или поздно станет технически возможной. В таком случае можно не сомневаться, что этот эксперимент будет осуществлен. Ведущееся в настоящее время изучение проблемы Тунгусского метеорита должно обеспечить надежную основу для проведения такого эксперимента.

ЛИТЕРАТУРА

1. Астапович И. С. Природа. 1948, № 5.
2. Астапович И. С. Природа. 1948, № 1.
3. Драверт П. Л. Метеоритика. 1948, в. 4.
4. Суслов И. М. Мирозведение. 1927, т. 16, № 1.
5. Васильев Н. В., Львов Ю. А., Ошаров А. Б., Ерошкина А. И., Трухачев Г. А. Сб. Проблема Тунгусского метеорита. Томск, 1963.
6. Журавлев В. К., Кошелев В. А., Васильев Н. В. Там же.
7. Иванова Г. М., Ковалевский А. Ф., Львов Ю. А. См. настоящий сб.
8. Фаст В. Г., Бояркина А. П., Бакланов М. В. См. настоящий сборник.
9. Фаст В. Г. См. настоящий сборник.
10. Анфиногенов Д. Ф. Сб. «Успехи метеоритики», — Новосибирск, 1966.
11. Кринов Е. Л. Метеоритика. 1954, в. XI.
12. Кулик Л. А. Мирозведение. 1927, т. 16, № 4.
13. Кринов Е. Л. Тунгусский метеорит. М.—Л., 1949.
14. Зенкин Г. М., Ильин А. Г. Метеоритика. 1964, в. 24.
15. Журавлев И. И. См. настоящий сборник.

16. Воробьев В. А., Ильин А. Г., Шкута Б. Л., Гордов Е. И. См. настоящий сборник.
17. Ильин А. Г., Воробьев В. А., Байер В. См. настоящий сборник.
18. Курбатский Н. П. Метеоритика. 1964, в. 25.
19. Кулик Л. А. ДАН СССР. 1939, т. XXII, № 8.
20. Ковалевский А. Ф., Фаст В. Г., Иконникова Г. М., Некрасов Л. Н. Сб. Проблема Тунгусского метеорита. Томск, 1963.
21. Ковалевский А. Ф., Резников И. В., Снопов Н. Г., Ошаров А. Б., Журавлев В. К. Там же.
22. Явнель А. А. Астроном. журнал. 1957, в. 5.
23. Кринов Е. Л. Метеориты. М.—Л., 1948.
24. Флоренский К. П. Метеоритика, Вып. 23, 1963.
25. Флоренский К. П. Геохимия, № 3, 1963.
26. Флоренский К. П. Геохимия, № 2, 1962.
27. Брувер Р. Э. См. настоящий сборник.
28. Арнаутков Н. В. и Киреев А. Д. — См. настоящий сборник.
29. Криченко Е. В. Архив Комиссии по метеоритам и космической пыли СО АН СССР.
30. Флоренский К. П., Вронский Б. И., Емельянов Ю. М., Зоткин И. Т. Метеоритика. 1960, в. 19.
31. Емельянов Ю. М., Некрасов В. И. ДАН СССР. 1960, т. 135, в. 6.
32. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М. См. настоящий сборник.
33. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М. Метеоритика. 1964, в. 24.
34. В. Г. Бережной, Г. П. Драпкина. Метеоритика. 1964, в. 24.
35. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М. Природа. 1962, № 2.
36. Шаповалова Р. Д. и др. — См. настоящий сборник.
37. Плеханов Г. Ф., Кренделев Ф. П., Толстых Л. П. «Успехи метеоритики», Новосибирск, 1966.
38. Тресков А. А. Астроном. журнал. 1934, т. II, № 6.
39. Астапович И. С. Астроном. журнал. 1933, т. II, № 4.
40. Whipple F. Quart. Journ. of the Royal Meteorological Society. July 1930, v. 56, N236.
41. Gams E. Ztschr. Geophysik. 1931, Bd. 7.
42. Плеханов Г. Ф., Ковалевский А. Ф., Журавлев В. К., Васильев Н. В. Известия вузов МВО СССР, «Физика», 1960, № 2.
43. Они же. Геология и геофизика. 1961, № 6.
44. Иванов К. Г. Геомагнетизм и аэрономия. 1961, т. 1, № 4.
45. Зоткин И. Т. Метеоритика. 1961, в. 20.
46. Васильев Н. В., Журавлев В. К., Ковалевский А. Ф., Журавлева Р. К., Плеханов Г. Ф. Ночные светящиеся облака и оптические аномалии, связанные с падением Тунгусского метеорита. Изд-во «Наука», М., 1965.
47. Зоткин И. Т. Астрономический календарь, переменная часть. 1965 г. М., 1964.
48. Фесенков В. Г. Метеоритика. 1949, в. 6.
49. Busch Fr., Iensen Chr. Tatsachen und Theorien der atmospharischen Polarisation nest Anleitung zu Beobachtungen verchiedenen Art. Mitteilungen aus dem Physikalischen Staatslaboratorium in Hamburg. 5 Beiheft zum Jahrbuch der Hamburg. Wissenschaft. Anstalten, XXVIII, 1910, Hamburg, 1911.
50. Iensen Chr. Meteorologische Zeitschrift. Marz. 1937.
51. Плеханов Г. Ф., Журавлев В. К., Васильев Н. В., Ковалевский А. Ф. Известия вузов МВО СССР, Физика № 5, 1963.
52. Коненкин В. Г. См. настоящий сборник.
53. Зоткин И. Т.
54. Плеханов Г. Ф. В сб.: Проблема Тунгусского метеорита. Томск, 1963.
55. Цикулин М. А. В сб.: Народнохозяйственное использование взрыва. 1959, в. 6, СО АН СССР.
56. Золотов А. В. ДАН СССР. 1961, т. 136, № 1.
57. Иванова Г. М., Васильев Н. В., Львов Ю. А. Космическая пыль. СО. В печати.
58. Львов Ю. А., Иванова Г. М. См. настоящий сборник.
59. Иванова Г. М., Львов Ю. А., Ошаров А. Б. Архив КСЭ, г. Томск.
60. Архив Комиссии по метеоритам и космической пыли СО АН СССР, г. Томск.
61. Действие ядерного оружия. Воениздат. 1963.
62. Золотов А. В. ДАН СССР, 1961, т. 140, № 1.
63. Зигель Ф. Ю. Знание — сила, 1959, № 6.
64. Фесенков В. Г. Астрономический журнал. 1961, т. 38, в. 4.
65. Фесенков В. Г. Природа. 1962, № 8.
66. Фесенков В. Г. Метеоритика. 1964, в. 24.
67. Вернадский В. И. Мирозведение. 1932, № 5.
68. Плеханов Г. Ф. и др. Геология и геофизика. 1963, № 1.
69. Станюкович К. П., Бронштэн В. А. ДАН СССР, 1961, т. 140, № 3.
70. Cowan C., Atluri C. R., Libbi W. F. Nature, 1965, 206, 861.