

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО СОЮЗА ССР. ТОМСКИЙ ОТДЕЛ

БЕТАТРОННАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО
МЕДИЦИНСКОГО ИНСТИТУТА

Труды, том V

1963

ПРОБЛЕМА
ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА
(СБОРНИК СТАТЕЙ)

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Томск — 1963

НЕКОТОРЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ К СТАТЬЕ Г. М. ИДЛИСА И З. В. КАРЯГИНОЙ «О КОМЕТНОЙ ПРИРОДЕ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА»

В. Г. ФАСТ, А. Ф. КОВАЛЕВСКИЙ, Г. Ф. ПЛЕХАНОВ

Гипотеза о кометной природе Тунгусского метеорита была выдвинута Уипплом [1] и И. С. Астаповичем [2] и поддерживалась П. Л. Дравертом [3]. С 1960 г. эта гипотеза стала активно развиваться академиком В. Г. Фесенковым, Е. Л. Криновым и их сотрудниками [4—9]. Попытка количественного рассмотрения ряда сторон падения Тунгусского метеорита с целью доказательства его кометной природы предпринята Г. М. Идлисом и З. В. Карягиной [9], которые пришли к выводу о том, что «все проведенные ими ориентировочные количественные расчеты хорошо согласуются друг с другом, подтверждают предположение, что Тунгусский метеорит был ядром небольшой кометы, образовавшей перед столкновением с Землей хвост». Академик В. Г. Фесенков [5] отмечает также, что расчеты авторов, касающиеся геомагнитного эффекта метеорита (и занимающие немаловажное место в их общей концепции), хорошо согласуются с наблюдениями. В связи с этим представляется необходимым указать на ряд неточностей, ошибок и произвольных предположений, имеющих в работе [9].

1. Авторы [9] считают, что Тунгусский метеорит был встречным и имел начальную скорость $v_0 = 60$ км/сек. Это следует, по их мнению, из того, что:

- а) метеорит был утренним,
- б) болид имел первоначально синеватый оттенок,
- в) болид был чрезвычайно ярок,
- г) имели место мощные баллистические волны и
- д) из приближенной оценки продолжительности пролета болида.

Заметим, что метеорит мог быть встречным или догоняемым не потому, что он был утренним, а потому, что его предполагаемый радиант возможно находился в направлении апекса Земли [6].

На синеватый оттенок болида из 84 очевидцев [10] указывает только один (Е. Е. Сарычев из-под Канска). К тому же, К. П. Станюкович и В. А. Бронштэн [11] уже указывали на ошибочность подобного рода расчетов, когда для определения скорости болида за температуру ударной волны T_y принимается цветовая температура болида. Оценка начальной скорости по яркости болида авторами не описывается и не ясна.

Количественная оценка мощности баллистической волны от пролета тела не проведена, но можно сделать качественное заключение о небольшой ее мощности (влияние ее на геомагнитное поле замечено не было [12]).

Из анализа, проведенного Б. Ю. Левиным [13], следует, что траектории Кринова [10] соответствуют орбиты только с прямым движением, а траектории Астаповича [12] — как с прямым, так и обратным. В результате анализа показаний очевидцев Н. Н. Сытинская [14] пришла

к выводу, что обе траектории равновероятны. На все это указывает и В. А. Бронштэн [15], показывая необходимость сделать выбор между двумя траекториями для решения вопроса о встречаемости или догоняемости. Этот вопрос можно решить, если получить более или менее надежную оценку начальной скорости. Между прочим, из показаний очевидцев невозможно дать оценки начальной скорости. При анализе этих показаний* выяснилось, что из 25 очевидцев, вообще указывающих на продолжительность наблюдавшихся явлений, лишь 2—3 человека указывают на продолжительность пролета болида (от 3—4 сек. до 4 мин.). Однако эти показания не дают удовлетворительной оценки начальной скорости и сами по себе не могут вызывать доверия, о чем свидетельствует и большое разнообразие показаний очевидцев по продолжительности наблюдавшихся явлений (от 1 сек. до 1,5 часов).

Тем самым ясно, что в [9] оценка начальной скорости $v_0 = 60$ км/сек произвольна.

2. Конечную скорость болида v_k Г. М. Идлис и З. В. Карягина принимают за 6 км/сек из следующих соображений: верхняя оценка конечной скорости проводится по цвету (!) и форме (?) и верхняя грань принимается за 20 км/сек (способ получения этой оценки не излагается и остается непонятным). Нижняя грань принимается за 4 км/сек на основании того, что в районе падения не сохранились индивидуальные осколки (следует говорить об отсутствии находок таковых), причем это заключение делается на основании работы [16]. Однако в [16] говорится об ударах метеоритов о поверхность Земли, что в данном случае не имело места. Но и в принятых в [9] интервалах значение $v_k \approx 6$ км/сек взято произвольно.

3. Проводя произвольное рассуждение, авторы [9] приходят к выводу, что

$$M_k \approx M_x, \quad (1)$$

где M_k — конечная масса Тунгусского метеорита (ядра кометы), а M_x — масса пылевого хвоста кометы.

Далее, авторы, ссылаясь на [18], берут

$$M_k \approx 0,01 M_0, \quad (2)$$

считая, что уменьшение массы происходит за счет распыления. Однако Б. Ю. Левин [18] отмечает, что для сколько-нибудь крупных тел торможение в верхних слоях атмосферы неощутимо мало и можно считать, что уменьшение массы происходит только за счет интенсивного испарения при торможении метеорного тела, причем уменьшение массы метеорного тела с уменьшением его скорости имеет вид

$$\frac{M_k}{M_0} = e^{-\frac{\sigma}{2}(v_0^2 - v_k^2)} \quad (3)$$

где для очень крупных метеорных тел $\sigma \approx 10^{-13}$. И если теперь взять $v_0 = 60$ км/сек, $v_k = 6$ км/сек, то

$$M_k \approx 0,3 M_0. \quad (2')$$

Правда, применимость формулы (3) с принятым σ может быть в данном случае спорна.

С другой стороны, соотношение

$$M_x \approx 0,01 M_0 \quad (4)$$

сомнительно.

* Анализу подвергнуты показания очевидцев, приведенные в [10].

Авторы [9] считают, что оно следует из факта продолжительности существования кометы порядка сотен обращений вокруг Солнца. Неверность этого заключения очевидна. По-видимому, в первом приближении закон убывания массы кометы можно было бы выразить в виде

$$-\frac{dM}{dt} = kM,$$

откуда

$$M = M_0 e^{-k(t-t_0)},$$

где t — число оборотов вокруг Солнца, прошедших после t_0 -го оборота, когда масса кометы была M_0 , параметр k определяется на основании данных о скорости распада комет. Кроме того, по-видимому, за один оборот вокруг Солнца комета теряет гораздо большую массу, чем масса хвоста в фиксированный момент, а в виде хвоста теряется не вся масса M_0 . И теперь уже нельзя говорить о соответствии между (1), (2), и (4), т. е. соотношение (1), авторами постулировано и, по-видимому, не имеет места. Соответственно отпадают выводы авторов о чисто пылевом хвосте кометы, его размерах и т. д.

4. В соответствии с предыдущим утверждением о том, что «Тунгусский метеорит (ядро кометы) заведомо нельзя считать железным», на основании рассуждений о соотношении между M_k и M_0 — несостоятельно.

5. Утверждение, что

$$M_n = M_x + M_k, \quad (5)$$

где M_n — суммарная масса пыли, попавшая в земную атмосферу, не верно. Считая, что M_0 на 99% распылилось при прохождении через атмосферу, авторы должны были прийти к соотношению

$$M_n = M_0 + M_x \approx M_0, \quad (5')$$

что по [9] на два порядка больше $M_x + M_k$.

6. Так как помутнение атмосферы в Калифорнии было вызвано, по В. Г. Фесенкову [19], распылением массы Тунгусского метеорита в атмосфере, то за размеры пылинок нельзя брать размеры частиц пылевых кометных хвостов, принятых в [9] за 0,1—0,7 μ . В. Г. Фесенков [19] отмечает, что размеры этих частиц можно было бы определить, если бы был известен состав этих частиц. В случае чисто железного метеорита размеры этих частиц будут даже значительно меньше 0,1 μ , но если уподобить эти частицы обычным силикатным аэрозолям, то эффективный диаметр этих частиц равен уже 1 μ . Причем эти определения размеров частиц относятся к частицам пыли, достигшим Калифорнии. Очевидно, большая часть распыленного вещества, не достигшая таких далеких расстояний, могла иметь еще гораздо большие размеры. Таким образом, в [9] размеры пылинок, на которые якобы раздробилась вся масса M_k , произвольно приняты равными размерам частиц отталкиваемых Солнцем чисто пылевых кометных хвостов; при этом совершенно пренебрегается частицами распыления, общая масса которых на два порядка (по мнению авторов) превышает M_k .

7. Предположение о том, что «пыль в рассматриваемый период распространилась в атмосфере примерно равномерно над всем северным полушарием Земли с радиусом $R_3 = 6371$ км», совершенно произвольно и не соответствует действительности. Само это предположение приво-

дится в статье [9] гораздо позднее, чем оно уже используется, что значительно затрудняет чтение статьи.

8. Неявное предположение о том, что теоретическое вероятностное распределение осколков по размерам

$$dn \approx \frac{K}{\rho^4} d\rho$$

имеет место над единичной площадкой земной поверхности над всем северным полушарием Земли именно для

$$0,5 \cdot 10^{-5} \text{ см} = \rho_{\min} \leq \rho \leq \rho_{\max} = 3,5 \cdot 10^{-5} \text{ см}$$

неверно. Тем самым неправомерно нахождение параметра K из соотношения

$$\overline{\Delta\tau} = 2 \int_{\rho_{\min}}^{\rho_{\max}} \pi \rho^2 \frac{K}{\rho^4} d\rho, \quad (6)$$

где $\overline{\Delta\tau}$ — средняя избыточная оптическая толщина атмосферы и распределение рассматривается над единичной площадкой. Кстати, в (9) интеграл (6) записан с опечаткой.

9. Взятие авторами эффективной плотности пылинок $\delta \approx 1 \text{ г/см}^3$ произвольно. Обычно [18] такое предположение принимается для рыхлых метеоритных тел, а не для продуктов распыления и тем более взрыва.

10. Даже при этих произвольных предположениях полученная в [9] масса

$$M_n \approx \frac{1}{2} 4\pi R_3^2 \int_{\rho_{\min}}^{\rho_{\max}} \delta \frac{4}{3} \pi \rho^3 \frac{K}{\rho^4} d\rho \approx 1,5 \cdot 10^{12} \text{ г}$$

имеет смысл (5'), а не (5), и тогда, если согласно [9] принять $M_k = 0,01 M_0$,

$$M_k \approx 1,5 \cdot 10^4 \text{ Т.}$$

11. Исходя из равноценности энергии взрыва и кинетической энергии конечной массы M_k , авторы [9] находят энергию взрыва Тунгусского метеорита $\sim 10^{23} \text{ эрг}$. Однако, учитывая предыдущие замечания, получим энергию взрыва порядка 10^{21} эрг .

12. Разбирая геомагнитный эффект взрыва Тунгусского метеорита [20—22], авторы [9] выдвигают механизм, объясняющий весь характер эффекта как с качественной, так и количественной стороны и считают, что результаты изучения геомагнитного эффекта позволяют проверить и подтвердить ряд параметров рассматриваемой гипотетической кометы. Однако и здесь допускается ряд неточностей и произвольных предположений.

Приняв энергию E_u , затраченную метеорным телом на ионизацию, за тысячную долю исходной кинетической энергии хвоста, авторы получают

$$E_u \approx \Delta E_M \approx 2 \cdot 10^{22} \text{ эрг,}$$

где ΔE_M — энергия магнитного возмущения (отметим, что у авторов

вместо ΔE_M стоит E_M , а несколько ниже под E_M понимается полная энергия геомагнитного поля, что создает путаницу при чтении).

При оценке энергии возмущения авторы задаются однородно-дипольной моделью, предполагая на поверхности и внутри земного шара

$$H_T^0 = \frac{2\mu}{R_3^3}, \quad (7)$$

а вне земного шара поле имеет дипольный характер:

$$H_T(R) = \frac{3(\mu R)}{R^5} R - \frac{\mu}{R^3}, \quad (8)$$

где H_T^0 — напряженность геомагнитного поля на поверхности Земли, $H_T(R)$ — напряженность поля вне Земли, μ — магнитный момент Земли, R — расстояние от центра Земли до точки наблюдения.

Принятие такой модели означает, что токи, создающие геомагнитное поле, должны равномерно распределяться по поверхности земного шара и двигаться вдоль широт [23]. Однако такая картина весьма далека от реальности. В частности, выражение (7) заведомо неверно, ибо в левой части равенства находится переменный по величине и направлению вектор H_T^0 , а в правой — постоянный вектор μ . Такое соотношение справедливо лишь для геомагнитных полюсов. В произвольной точке поверхности Земли

$$H_T^0 = \frac{\mu}{R_3^3} \sqrt{1 + 3 \sin^2 \varphi},$$

где φ — широта точки.

13. Полную энергию геомагнитного поля

$$\begin{aligned} E_M &= \int \frac{H_T^2}{8\pi} dV = \int_0^\infty dR \int_0^\pi \frac{H_T^2}{8\pi} 2\pi R \sin \nu Rd\nu = \\ &= \frac{(H_T^0)^2}{8\pi} \cdot \frac{4}{3} \pi R_1^3 + \frac{1}{4} \int_{R_1}^\infty dR \int_0^\pi H_T^2 R^2 \sin \nu d\nu \end{aligned} \quad (9)$$

авторы принимают равной

$$\frac{1}{4} (H_T^0)^2 R_3^3. \quad (10)$$

Но из (9) видно, что значение E_M сильно зависит от принятого радиуса R_1 сферы с однородным полем. Задаваясь разными исходными моделями поля, можно получить величины, отличающиеся на порядки. Более реально было бы принять за R_1 радиус ядра Земли, но соответственно изменится и выражение для энергии возмущения, найденной авторами дифференцированием (10) в виде

$$\Delta E_M = \frac{1}{2} R_3^3 H_T^0 \Delta H_T^0,$$

и тогда согласие с непосредственным наблюдением сразу нарушается.

14. Авторы [9] исходят из мирового характера геомагнитного возмущения 30 июня 1908 г. Но в действительности возмущение наблюдалось только в Иркутске [20—22, 6]. В Свердловске (2500 км от места взрыва) оно уже не было отмечено, поэтому формула (9), предполагающая интегрирование по полному геомагнитному полю, для расчета не пригодна, и о совпадении результатов с данными наблюдений говорить не приходится. Поскольку в Свердловске возмущение уже не наблюдалось, то разумно предположить, исходя из данных убывания поля обратно пропорционально кубу расстояния, что источник поля находится в районе взрыва.

В Иркутске максимальное отклонение поля от нормального значения составило $\sim 5 \cdot 10^{-4}$ гаусса. Задаваясь однородно-дипольной моделью поля, найдем магнитный момент возмущающего объекта из выражения

$$\Delta H_T \approx \frac{2M}{R^3}, \quad (11)$$

где ΔH_T — изменение поля, M — магнитный момент, $R=1000$ км — расстояние от места взрыва до Иркутска. Отсюда $M \approx 2,5 \cdot 10^{20}$ гаусс·см³. Напряженность поля в Свердловске найдется из формулы (11), если принять $R=2500$ км. Оно равно $3 \cdot 10^{-5}$ гаусса, т. е. находится на пределе точности наблюдений.

Принимая поле внутри сферы с радиусом $R_1=100$ км однородным и равным $\frac{2M}{R^3}$, найдем энергию возмущения

$$\Delta E_M \approx \frac{4}{3} \pi R_1^3 \left(\frac{2M}{R_1^3} \right)^2 \cdot \frac{1}{8\pi} + \int_{R_1}^{\infty} \frac{H^2}{8\pi} \cdot 4\pi R^2 dR \approx \frac{4}{3} \frac{M^2}{R_1^3},$$

откуда

$$\Delta E_M \approx 8 \cdot 10^{19} \sim 10^{20} \text{ эрг.}$$

Если принять, что $R_1=50$ км, то $\Delta E_M \sim 2 \cdot 10^{21}$ эрг. Разумеется, это чрезвычайно грубые оценки. Для более точных расчетов необходимо задаваться определенными предположениями о механизме эффекта, в частности, задавать форму токового объема (принятые нами сферы вряд ли имеют реальную основу). Но можно уверенно говорить, что действительная энергия возмущения на несколько порядков ниже полученной Идлисом и Карягиной. Это видно, впрочем, и из того, что энергией $\sim 10^{22}$ эрг обладают мировые магнитные бури [30].

15. Совершенно неуместно применение теории Чепмена-Ферраро к объяснению геомагнитного эффекта. Теория Чепмена-Ферраро [25] развита для мировых магнитных бурь, вызываемых солнечными корпускулярными потоками со скоростями порядка 1000 км/сек, значительно большими диаметрами потоков и т. д.

Кометные хвосты сильно разрежены, а газовая составляющая, по мнению авторов, составляла малую долю общей массы хвоста. Сомнительно, чтобы газовая компонента, имеющая к тому же крайне малую скорость по сравнению с корпускулярными потоками, вызвала начальную фазу возмущения. Впрочем, это и подтверждается наблюдательным материалом. Комета Галлея, через хвост которой проходила Земля в 1910 г., не вызвала выраженного геомагнитного эффекта [26].

Не понятно, как представляют себе авторы экваториальный ток, возникающий по этой теории, вызвавший значительное понижение по-

ля в Иркутске, но не затронувший геомагнитного поля в Свердловске, Павловске, Тбилиси, совершенно спокойные магнитограммы которых приведены в работе [22], на которую авторы ссылаются.

17. Образование кольцевого тока на расстоянии в несколько земных радиусов в теории Чепмена-Ферраро объясняется, исходя из определенных физических предпосылок. В статье же авторов это предположение приобретает характер надуманного произвольного построения. Совершенно не ясно, почему ионы перемещаются с высот в 100—200 км на высоту в 22000 км, почему разделение зарядов в магнитном поле произойдет именно на этой высоте, а не меньшей.

18. Ионы, образовавшиеся при торможении пылинок на высотах порядка 100—200 и даже 600 км, не смогут попасть на высоты порядка 20000 км. Длины свободных пробегов нейтральных частиц на этих высотах составляют $1,0 \cdot 10^4$; $8,2 \cdot 10^3$ и $1,5 \cdot 10^7$ см соответственно [27].

Эффективные сечения для столкновений ионов значительно больше, чем для нейтральных частиц, поэтому и длины свободных пробегов соответственно меньше. Скорости рассматриваемых авторами ионов лишь на порядок выше тепловых скоростей частиц на этих высотах, и через несколько столкновений они потеряют свою энергию. Ясно, что нельзя рассматривать сколько-нибудь серьезно возможности ухода этих частиц на высоты 22000 км для объяснения геомагнитного эффекта.

Мы здесь совершенно не рассматриваем еще вопрос о взаимодействии ионов с магнитным полем: ионы таких скоростей должны двигаться в магнитном поле по спиральным орбитам с радиусами в несколько десятков и сотен метров и могут пройти на значительное расстояние лишь вдоль силовых линий поля.

19. По мнению авторов [9], «известным указанием на кометную природу Тунгусского метеорита являются наблюдавшиеся после его падения светлые ночи и яркие продолжительные зори в Европе и Западной Сибири». По этому поводу заметим, что аномальные световые явления наблюдались и до падения метеорита [28].

20. Разбирая вопрос о причинах повышенной яркости неба после падения метеорита, авторы дают ориентировочную оценку общего количества дополнительных электронов, появившихся в атмосфере после столкновения Земли с хвостом кометы

$$N_e \approx 3 \cdot 10^{34}.$$

Поскольку за счет ионизации пылинками кометного хвоста в атмосфере могло возникнуть на порядок меньшее количество электронов, то авторы предполагают, что «основная доля общего количества свободных электронов N_e была принесена в земную атмосферу ионизованной газовой составляющей кометного хвоста вторичного происхождения». Элементарный расчет показывает, что на высотах 200—5000 км даже релятивистские электроны (0,5—0,7 Mev) обладают циклотронным радиусом от десятков до сотен метров. Рассматриваемые авторами электроны, без сомнения, попали бы в запретную зону Штермера [29] и не могли войти в земную атмосферу.

21. Г. М. Идлис и З. В. Карягина пишут: «Естественно возникает вопрос, почему гипотетическая комета, пылевой хвост которой вызвал в земной атмосфере яркие зоревые явления, не была обнаружена до своего столкновения с Землей. Ответ на этот вопрос очевиден: комета образовала пылевой хвост лишь непосредственно перед столкновением с Землей».

Принимая отталкивательные ускорения в хвосте кометы превышающими в 2,5 раза ускорение солнечного притяжения, авторы из соотношения

$$R_3 \approx 2,5 \frac{GM_0}{r_3^2} \cdot \frac{(\Delta t_x)^2}{2},$$

где $G = 6,67 \cdot 10^{-8} \text{ э}^{-1} \text{ см}^3 \text{ сек}^{-2}$ — постоянная тяготения, $M_0 \approx 1,99 \cdot 10^{33} \text{ э}$ — масса Солнца и $r_3 = 1,5 \cdot 10^{13} \text{ см}$ — расстояние Земли от Солнца, находит „промежуток времени, необходимый для образования хвоста длиной порядка радиуса Земли R_3 “

$$\Delta t_x \approx 8 \text{ час.}$$

Однако Δt_x , есть время, за которое пылинка удалится от ядра кометы на расстояние R_3 , поэтому авторы показывают, что эта комета начала образовывать хвост, когда она приблизилась к Земле на расстоянии до 2 млн. км.

Для этого авторы дают механизм образования хвоста („страхивание пылинок с составляющих ядро кометы твердых тел“) на основании возмущающего ускорения, обусловленного Солнцем. Считая, что смещение порядка радиуса кометы R_0 можно представить в виде

$$R_0 \approx 2R_0 \frac{GM_0}{V^2} \int_{r_0}^{\infty} dr \int_{r_0}^{\infty} \frac{dr}{r^3} = R_0 \frac{GM_0}{V^2 r_0}$$

и принимая скорость сокращения расстояния r кометы от Солнца $V = 30\text{—}40 \text{ км/сек.}$, авторы находят

$$r_0 \approx \frac{GM_0}{V^2} \approx 10^{13} \text{ см} \approx r_3, \quad (12)$$

Из (12) видно, что по [9] расстояние от Солнца, на котором кометы должны начать формировать свои хвосты, зависит только от радиальной (по направлению к Солнцу) скорости V , что, по-видимому, не соответствует действительности.

Из вышеизложенного следует, что в рассматриваемой статье [9]:

1. Обратное движение метеорита, высокие начальная и конечная скорости постулированы.

2. Огромная энергия взрыва не получила количественного подтверждения. Сами расчеты явились результатом субъективного подхода и ошибочны.

3. Механизм геомагнитного эффекта явно нереален. Расчеты проведены на основе представления о мировом характере магнитного возмущения и к тому же неверны. Самый факт этого возмущения еще не говорит о кометной природе Тунгусского падения [6].

4. При объяснении свечения ночного неба 30 июня 1908 г. также допускаются произвольные оценки и предположения.

5. Утверждение о формировании кометой хвоста непосредственно перед столкновением с Землей парадоксально и необоснованно.

Таким образом, количественное обоснование кометной гипотезы, выполненное Г. М. Идлисом и З. В. Карягиной, во всех основных пунктах несостоятельно.

В заключение отметим, что представление о трех отдельных взрывах и объяснение всей картины взрыва выделением энергии, рассредоточенной на огромной площади (квадратные километры) [4—7], не соответствуют выводам, полученным на основании предварительной обра-

ботки материалов экспедиции 1960 года, о том, что общая картина разрушений хорошо объясняется одним центральным взрывом на большой (~ 10 км) высоте [17, 12, 31]. В принципе мог наблюдаться и ряд других взрывов локального характера, почти не сказавшийся в общей картине разрушений.

ЛИТЕРАТУРА

1. F. J. W. Whipple The Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 56, № 236, 1930, 287—304.
2. Астапович И. С. Большой Тунгусский метеорит. Природа, №№ 2—3, 1951.
3. Драверт П. Л. Письмо И. С. Астаповичу. 1945. Омский архив.
4. Фесенков В. Г., Кринов Е. Л. Новое о Тунгусском метеорите. Вестник АН СССР, № 12, 1960.
5. Фесенков В. Г. О природе Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. 20, 1961.
6. Фесенков В. Г. О кометной природе Тунгусского метеорита. Астрономический журнал, т. XXXVIII, № 4, 1961.
7. Фесенков В. Г. О природе комет и условиях падения их на Землю. Метеоритика, вып. 21, 1961.
8. Зоткин И. Т. Об аномальных оптических явлениях в атмосфере, связанных с падением Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. 20, 1961.
9. Идлис Г. М., Карягина З. В. О кометной природе Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. 21, 1961.
10. Кринов Е. Л. Тунгусский метеорит. Изд-во АН СССР, 1949.
11. Станюкович К. П., Бронштэн В. А. О скорости и энергии Тунгусского метеорита. ДАН СССР, т. 140, № 3, 1961.
12. Ковалевский А. Ф. Магнитный эффект взрыва Тунгусского метеорита. См. настоящий сборник.
13. Левин Б. Ю. К вопросу о скорости и орбите Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. 11, 1954.
14. Сытинская Н. Н. К вопросу о траектории Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. 13, 1955.
15. Бронштэн В. А. К вопросу о движении в атмосфере Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. 20, 1961.
16. Станюкович К. П., Федьинский З. В. О разрушительном действии метеоритных ударов. ДАН СССР, т. 57, № 2, 1947, стр. 129—132.
17. Фаст В. Г. К определению эпицентра взрыва Тунгусского метеорита. См. настоящий сборник.
18. Левин Б. Ю. Физическая теория метеоров и метеорное вещество в солнечной системе. Изд-во АН СССР, 1956.
19. Фесенков В. Г. Помутнение атмосферы, произведенное падением Тунгусского метеорита 30 июня 1908 года. Метеоритика, вып. 6, 1949.
20. Плеханов Г. Ф., Ковалевский А. Ф., Журавлев В. К., Васильев Н. В. О геомагнитном эффекте взрыва Тунгусского метеорита. Изв. вузов. Физика, № 2, 1960.
21. Плеханов Г. Ф., Ковалевский А. Ф., Журавлев В. К., Васильев Н. В. О влиянии взрыва Тунгусского метеорита на геомагнитное поле. Геология и геофизика, № 6, 1961.
22. Иванов К. Г. Геомагнитные явления, наблюдавшиеся на Иркутской магнитной обсерватории вслед за взрывом Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. 21, 1961.
23. Альфен Х. Космическая электродинамика. ИЛ, 1962.
24. Иванов К. Г. О причине последующих изменений поля в геомагнитном эффекте Тунгусского метеорита. Геомагнетизм и аэрономия, т. 1, № 4, 1961.
25. S. Chapman a. J. Bartels. Geomagnetism. Oxford. 1940.
26. Орлов С. В. О природе комет. Изд-во АН СССР, 1960.
27. Альперт Я. И. Распространение радиоволн в ионосфере. 1961.
28. Ковалевский А. Ф., Васильев Н. В. К вопросу о свечении ночного неба летом 1908 года. См. настоящий сборник.
29. Штермер К. Проблема полярных сияний, 1933.
30. Яновский Б. М. Земной магнетизм. 1953.
31. Маслов Е. В. К вопросу о высоте и мощности взрыва Тунгусского метеорита. См. настоящий сборник.