

ОБЗОР РАБОТ ПО ВЫВАЛУ ЛЕСА

Первыми работами по вывалу можно считать статью С.В. Обручева в журнале «Мироведение», в которой он со слов эвенков сообщает, что на обширной территории (около 700 кв. км) неподалеку от Ванавары почти полностью повален лес, и описание района катастрофы, увиденного Л.А. Куликом в 1927 г.: «Я не могу реально представить себе всей грандиозности картины этого исключительного падения... Не видно с нашего наблюдательного пункта и признаков леса; все повалено и сожжено... И жутко становится, когда видишь десяти-, двадцативершковых великанов, переломанных пополам, как тростник...» В той же экспедиции Л.А. Кулик установил [Кулик, 1928, 1976], что поваленные деревья лежат радиально, как стрелки часов, и вершины их направлены наружу по отношению к внутренней части котловины. По мнению Л.А. Кулика тот факт, что вывал начинается на расстоянии от середины центральной площади бурелома, свидетельствует о размерах и силе взрыва и вместе с вывалом говорит в пользу космического происхождения этого явления. К первым описаниям района нужно отнести также аэрофотосъемку центральной части вывала леса [Кулик, 1939]. Анализируя снимки, полученные при аэрофотосъемке 1939 г., Е.Л. Кривяков сделал вывод, что около сопки заметно обтекание их взрывной волной, в результате чего направления поваленных деревьев постепенно изменяются, отклоняясь от радиального

В отчете [Флоренский, 1960] о результатах экспедиции АН СССР 1958 г. под руководством К.П. Флоренского площадь вывала была оценена примерно в 1500 кв. км, приведена карта вывала (не «бабочка»), сказано, что ряды деревьев, в общем, лежат параллельно, но измерения показывают отклонения, зависящие, вероятно, от индивидуальных особенностей дерева. Указано, что определенные экспедицией границы вывала не имеют объективного характера. Составлена схема вывала с использованием лесной карты 1:250000, сделанной в 1954 г. с привлечением аэрофотосъемки, выделено три зоны вывала: хаотический вывал в пределах котловины Южного болота, массовый вывал и частичный вывал.

На основе материала, собранного экспедицией АН СССР 1961 г. были сделаны следующие выводы [Флоренский, 1963].

1. Общая площадь поваленного леса довольно хорошо соответствует карте, составленной в 1958 г. Отличием является продолжение вывала на северо-восток.

2. Собранный материал отличается значительной полнотой, и впредь до полной обработки полученных данных целесообразно производить дальнейшее его уточнение на местности.

3. При изучении направлений поваленных деревьев нигде не было замечено существенных отклонений от радиальности вывала.

4. К 1908 г. лес имел в значительной степени сухостойный характер, и вычисление общей силы ударной волны и её изобар должно производиться с учетом этого фактора. Не горевшие в 1908 г. участки леса в значительной степени сохранились, не подвергаясь вывалу.

5. Влияние рельефа местности на вывал леса вблизи эпицентра носит характер, подтверждающий высокое положение взрыва.

6. Некоторое уменьшение центральной зоны беспорядочно поваленного сухостойного леса по сравнению с данными 1958 г. свидетельствует против чрезмерно высокого положения центра взрыва.

7. Собранные материалы должны быть подвергнуты тщательной обработке.

Заметим, что приведенная в работе карта вывала имеет контур, уже напоминающий бабочку.

Начиная с 1959 г. в работу по изучению Тунгусского метеорита активно включается КСЭ. Результаты двухлетней работы подведены в работах [Плеханов, 1963а, 1963б] и [Плеханов и др. 1963]. Составлена карта деревьев, переживших катастрофу [Зенкин и др., 1963]. В 1960 г. проведено изучение вывала в восьми направлениях от центра. В восточном и южном направлении вывал простирается в 1,5 – 2 раза дальше от найденного эпицентра, чем в западном и северном [Некрытов и др., 1963]. Замерено около 5500 азимутов поваленных стволов и для 108 точек (по 4620 замерам) найдены средние азимуты и соответствующие стандартные отклонения [Демин, 1963]. Определены координаты эпицентра взрыва: $\varphi = 60^{\circ}53'7''$, $\lambda = 101^{\circ}53'5''$ и эллипс его отклонений – полуоси эллипса – 0,93 км и 1,50 км [Фаст, 1963].

В этой же работе В.Г. Фаст отметил, что на некоторых пробных площадях распределение направлений повала деревьев имеет бимодальный характер. Малые размеры эллипса указывают на то, что вывал имеет довольно правильный радиальный характер, и мог быть следствием одного центрального взрыва. Позднее [Фаст, 1971], координаты эпицентра были уточнены: $\varphi = 60^{\circ}53'09'' \pm 6''$, $\lambda = 101^{\circ}53'4'' \pm 13''$. Фаст отмечает, что минимум стандартного отклонения соответствует максимуму горизонтальной составляющей ударной волны. Исходя из этого, приняв угол падения около 40° , получено [Некрытов и др., 1963], что высота взрыва равна $1,0 \pm 0,2$ км. В 1961 г. проведено общее изучение всей площади вывала на пробных площадях 0,25 га по сетке 2×2 км, а также детальное изучение разрушений в эпицентральной части. К этому же периоду относятся работы [Фаст, 1962а, 1962б.], [Коротков, 1961], в которых делаются предположения о возможных источниках разрушений. В

частности, это могла быть: 1) ударная сферическая волна точечного взрыва, происшедшего на определенной высоте; 2) несимметричная ударная волна, постепенно приближающаяся к сферической по мере распространения; 3) аналогичная ударная волна, искаженная влиянием ветра. В работе [Цикулин, 1961] предполагается, что разрушения вызваны баллистической ударной волной.

В работе [Васильев и др., 1967] авторы отмечают, что «Куликовский вывал» в междуречье Хушма – Кимчу является единственным местом разрушений, достоверно связанным с Тунгусским метеоритом, а также отмечают большое значение работ группы исследователей, руководимой В.Г. Фастом.

К середине 60-х годов было опубликовано значительное число работ по вывалу. Среди них работа [Бояркина и др., 1964], содержащая основательный анализ данных по вывалу, рассуждения и оценку аэродинамического напора за фронтом ударной волны. В работе [Фаст, 1964], проводится различного вида статистический анализ вывала леса и исследуется связь среднеквадратического отклонения азимутов поваленных деревьев с аэродинамическим напором ударной волны. В работе [Фаст, 1966] приведена функция плотности распределения направлений повала деревьев, и сделан вывод о том, что имеющихся данных о вывале в целом достаточно для восстановления общей картины разрушений. По результатам своих исследований вывала леса В.Г. Фаст в 1966 году успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Группа авторов, руководимая В.Г. Фастом и Д.В. Деминим, активно продолжала исследования вывала и в дальнейшие годы. Итог 10-летних работ по вывалу и наиболее полный статистический анализ вывала имеется в работе [Фаст, 1967а]. Из других работ, прежде всего, отметим фундаментальный каталог вывала, основная часть которого [Фаст и др., 1967] была опубликована в 1967 г., а в 1983 г. опубликовано дополнение [Фаст и др., 1983]. В работе [Фаст и др., 1976] авторы проводят дополнительный анализ направлений повала деревьев, уточняют методом оптимальной интерполяции поведение полей, связанных с вывалом, отмечают отсутствие симметрии внутренней структуры поля стандартов. Рассматривая область вывала, в которой отклонение от радиальности составляет $0-5^\circ$, авторы делают вывод, что эпицентр является седловой точкой поля направлений, а также уточняют магнитный азимут оси симметрии. Ранее вычисленный азимут этой оси составлял 115° к востоку от истинного меридиана, а сейчас получено значение 99° , которое авторы считают более правильным. Геометрическую форму вывала они связывают с симметрией ударной волны. Анализируя эту работу, Г.Ф. Плеханов и Л.Г. Плеханова [Плеханов Г.Ф. и др., 2003] заключают, что или сам метеорит, или же его фрагмент, помимо нисходящего фрагмента траектории в восточной части вывала, имели еще и восходящую ветвь полета в западной части, что может интерпретироваться как рикошет. В работе [Фаст, 1967б] автор показывает, что распределение направлений повала деревьев, вызванное аэродинамическим давлением одной величины, не зависит от их среднего диаметра.

Д.В. Демин, один из организаторов КСЭ, творчески занимался изучением Тунгусской проблемы, начиная с первых дней существования КСЭ. Им разработано несколько оригинальных методов исследования полей измерений. В частности, ему принадлежит идея [Демин, 1967, 1972], интерпретировать задачу статистического оценивания вектора параметров как задачу нахождения вектора, максимизирующего некоторую меру близости между расстоянием от источника и интенсивностью эффекта (например, модуль коэффициента корреляции). А.П. Бояркина [Бояркина, 2005], разъясняя математический и физический смысл этого метода, указывает, что этот метод получил дальнейшее распространение. Им пользовался как его автор, так и другие исследователи. А.П. Бояркина приводит блок-схему процесса и обсуждает некоторые сложности, связанные с нерегулярной сеткой исходных данных.

В работе [Ерохин и др., 1999] предложена технология ввода, хранения и обработки информации по проблеме Тунгусского метеорита. Для апробации этой технологии в геоинформационную систему были введены данные по средним значениям и среднеквадратическим отклонениям вывала, оценочным значениям амплитуды ударной волны. По этим данным были построены двумерные поля этих распределений с учетом влияния рельефа на картину вывала. В этом же номере «Тунгусского вестника» опубликована незаконченная работа Дмитрия Валентиновича [Демин, 1999], в которой сделан вывод о том, что эффективная зона энерговыделения является высокоорганизованной пространственно-периодической структурой. Анализ данных каталога вывала, проведенный автором, дает ему основание считать, что в радиальной (в первом приближении) структуре вывала содержится тонкая структура в виде концентрических колец, в пределах которых наблюдаются периодически лучи повышенной плотности пересечения векторов повала деревьев. Наибольшая плотность пересечений отмечается в юго-западном секторе вывала. Плотность пересечений вдоль лучей убывает (в основном) от центра к периферии. А.В. Лысковский [Лысковский, 1999] составил компьютерную программу реализации метода обнаружения тонкой структуры вывала и представил графически результаты работы этой программы. К сожалению автора программы, ему не удалось выделить «основные направляющие». В одной из последних работ Д.В. Демина (совместно с С.А. Симоновым) [Демин и др., 2003], опубликованной после его смерти, исследуются пробные площадки с указанием на каждой из них средних направлений отдельно для нижнего и верхнего вывала. Полученные результаты подтверждают наблюдения

Д.Ф. Анфиногенова о наличии на Западе сложных «бабочкообразных» структур, интерпретация которых предполагает признание гипотезы активного или пассивного рикошета космического тела.

С середины 60-х годов выходит серия работ И.Т. Зоткина в соавторстве с М.А. Цикулиным и др. [Зоткин, 1966], [Зоткин и др. 1966а, 1966б], в которой авторы приводят результаты анализа вывала леса, расчеты параметров взрыва и результаты моделирования картины вывала леса, сделанные на основе этого анализа. По результатам проделанной работы сделан вывод, что наиболее близкая к реальной картина вывала получается при модельном взрыве шнура с небольшим усилением на конце с углом наклона к горизонту около 30° . Лепестки (крылья) бабочки, по мнению авторов, объясняются особенностями отражения от Земли баллистической волны с наклоненной к горизонту осью.

Подводя итоги работы КСЭ за шесть лет, Н.В. Васильев отметил [Васильев, 1966], что расчеты, выполненные на основании карты вывала в совокупности с модельными опытами И.Т. Зоткина и М.В. Цикулина, позволили объективно определить проекцию траектории полета Тунгусского метеорита, которая совпадает с осью симметрии площади вывала леса. В последующие годы группа И.Т. Зоткина продолжала свои исследования [Зоткин и др., 1968] и др. работы. В книге [Цикулин, 1969] автор отмечает, что ударная волна – наиболее мощное явление Тунгусского события, оставившее наибольшее количество материальных следов, зафиксированных в вывале, и называет деревья единственным прибором, зарегистрировавшим это явление. Анализируя вывал, М.В. Цикулин делает вывод, что слабые разрушения соответствуют значению $\rho u^2 \approx 150 \text{ кг/см}^2$, а сильные – $\rho u^2 \approx 500 \text{ кг/см}^2$, где ρ и u – плотность и скорость газа, ρu^2 – скоростной напор за фронтом ударной волны. Детально описывая особенности разрушения леса, М.В. Цикулин приводит также вывод И.Т. Зоткина и К.А. Любарского, экспериментально определявших усилие, необходимое для повала дерева. Они измеряли величину усилия повала деревьев на участках с различным рельефом и типом почвы, для различных направлений вывала, для деревьев различных пород и возраста, и пришли к выводу, что различия указанных характеристик не влияют на усилие повала дерева. Направление повала дерева с определенным разбросом следует по направлению потока за ударной волной. Однако величину потока достаточно точно можно установить лишь для граничных значений сильных разрушений (80% – 90% всех деревьев повалено) и для совсем слабых разрушений. М.В. Цикулин согласен с выводом В.Г. Фаста о том, что между скоростным напором $a \sim \rho u^2$ и среднеквадратическим отклонением s направлений повала деревьев от среднего при $s \ll a$ существует соотношение $a = \frac{\sigma_0}{s}$, где σ_0 – дисперсия величины усилия повала

деревьев. Отсюда М.В. Цикулин делает вывод, что анализ разрушений может дать достаточно точные и надежные сведения о параметрах ударной волны. Он также подробно описывает модельный эксперимент и анализирует его.

А.В. Золотов [Золотов, 1971а] отмечал, что при моделировании взрыва важно воспроизводить структуру вывала, в то время, как модель И.Т. Зоткина и М.В. Цикулина воспроизводит только его форму. А.В. Золотов предложил два варианта начальных условий проведения модельного эксперимента, который, по его мнению, позволит учесть структуру вывала. В работе [Золотов, 1971б] автор приводит оценку энергии взрыва в зависимости от предполагаемой высоты взрыва.

Продолжением работы И.Т. Зоткина и К.А. Любарского можно считать экспериментальное исследование [Зоткин и др., 2000], проведенное в 1991–1993 гг. отрядом московских школьников из городского Дворца творчества детей и юношества в районе падения Тунгусского метеорита. Для проведения эксперимента выбирались лиственницы с наиболее симметричной кроной, в середине кроны крепился трос, динамометр и анемометр. Второй конец троса через динамометр закреплялся на поверхности земли. Снимая показания приборов, замеряли также высоту крепления троса, охват ствола на высоте 1 м, угол закрепления троса и угол между направлением ветра и проекцией троса на поверхность земли. По результатам замеров 26 лиственниц методом наименьших квадратов была получена квадратичная зависимость между скоростью ветра и моментом. Используя эту модель, зная диаметр дерева, экспериментаторы вычислили критический момент повала дерева. По этим результатам была оценена энергия взрыва $7 \cdot 10^{23}$ эрг (в предположении, что высота взрыва 7 км, радиус области вывала 18 км). Этот результат хорошо согласуется с оценками энергии взрыва, полученными другими методами. Авторы указывают, что возможное нарушение допущений, принятых при расчетах не должны сильно изменить результаты.

В 70-х гг. И.Т. Зоткин продолжал работу по определению параметров траектории и баллистической волны. Анализируя совместно с А.Н. Чигориным восточную часть вывала [Зоткин и др., 1971], он исследовал три формы ударной волны: цилиндрическую, коническую и криволинейную, построенную методом, предложенным Д.Ф. Анфиногеновым. В модельных экспериментах проекция траектории практически совпала с осью симметрии вывала, пересечение оси траектории с поверхностью земли оказалось удаленным от эпицентра вывала леса на 10 – 20 км. В целом результаты эксперимента согласованы с концепцией о том, что ударная волна Тунгусского метеорита порождена быстрым движением космического тела и дроблением его в конце полета.

В качестве модели взрыва Тунгусского метеорита М.Н. Цынбал и В.Э. Шнитке [Цынбал и др., 1986] предложили объемный взрыв газо-воздушного облака, отметив, что их работа носит предварительный характер и заслуживает тщательной проверки.

Не имея возможности детально остановиться на всех публикациях об исследовании вывала, отмечу лишь ряд теоретических работ В.А. Бронштэна и А.П. Бояркиной, посвященных расчетам ударной волны, вызвавшей вывал леса [Бронштэн и др., 1975а, 1975б], [Бояркина и др., 1975а, 1975б], а также работы В.П. Коробейникова с соавторами [Коробейников и др., 1975, 1976, 1980] по моделированию действия ударной волны на лесной массив, и полезную дискуссию между обеими группами исследователей.

Ю.А. Ольховатов [Ольховатов, 1998] утверждает, что проведенный им детальный анализ вывала леса свидетельствует против метеоритной интерпретации Тунгусского феномена и выдвигает гипотезу тектонического происхождения Тунгусского феномена.

Группа свободного поиска Д.Ф. Анфиногенова на основании работы, проделанной в 1967 г. и в более поздние годы, утверждает следующее. Вывал в эпицентральной зоне имеет характер ориентированного ветровала. Ударная волна, действовавшая в зоне сплошного вывала, отличается от ударной волны, действовавшей в эпицентральной зоне. Это ставит под сомнение корректность допущений о том, что равные величины регулярности соответствуют равной валяющей силе. Имеющаяся картина говорит о скачкообразном нарастании скоростного напора. Наклон оси составлял от 25 до 30°.

Группой Д.Ф. Анфиногенова [Анфиногенов и др., 1998] был установлен факт разрыва зоны сплошного леса с западной стороны и возможность появления ложного эпицентра, а позднее по аэрофотоснимкам ими установлен и факт наличия двух «эпицентров». Отмечено, что необходимо продолжить работу с аэрофотоснимками с целью уточнения характеристик вывала. Авторы считают, что необходимо обратить особое внимание на: 1) существенно возрастающее влияние местных факторов на поведение слабых ударных волн на стадии их перехода к звуковым; 2) на высокую пятнистость и разброс характеристик местных магнитных полей; 3) на влияние неточности привязки пробных площадей.

Большую работу [Коваль и др., 2000] проделал творческий коллектив «Гея» астролаборатории Дворца творчества на Миуссах. Группой обследована граница вывала, уточнена его тонкая структура, выявлено, что структура «бабочки» вывала леса не является равномерной. Проведены сотни замеров буссолью сломов, выворотней разной высоты, пней с отброшенными стволами. Сделан вывод, что сломы дают недостающий объективный критерий скоростного напора и отмечено, что по разным причинам азимут упавшего дерева может не совпадать с направлением ударной волны. У этого коллектива свое представление о контуре вывала в связи с его неравномерным «пятнистым» характером. Авторы считают, что нужно было акцентировать внимание на различии в картине вывала, а не на однородности. Главные выводы В.И. Коваля по результатам работы группы следующие. Весь комплекс явлений уверенно укладывается в рамки классической метеоритной парадигмы. Тунгусское явление представляло собой столкновение планеты Земля с метеороидом. По данным распределения азимутов сломов проекция траектории в тыловой зоне составляла $127 \pm 3^\circ$, высота взрыва равна 11 ± 1 км, угол наклона траектории $10 \pm 3^\circ$. В процессе атмосферного пролета тела происходили изменения его азимута. Находки крупных фрагментов Тунгусского космического тела не следует считать бесперспективными.

Наконец, приведу анализ вывала, сделанный Г.Ф. Плехановым [Плеханов, 2000а, 2000б]. К числу достоверных фактов он относит «бабочку» как форму вывала, азимут оси симметрии – $115^\circ - 295^\circ$, радиальное, в основном, направление повала деревьев. В восточной части вывала имеются осесимметричные отклонения азимутов от строго радиального. Г.Ф. Плеханов считает, что в общей картине азимутов поваленных деревьев наблюдается как бы их общий поворот по часовой стрелке на $1^\circ - 2^\circ$. Минимальная дисперсия азимутов отмечается на расстоянии 6–13 км. В центральной части вывала, на расстоянии 2–3 км от эпицентра отмечается зона «телеграфника» и «хлыстов», она же «зона хаоса». Везде имеются деревья, пережившие катастрофу. Особенно много их в складках местности. Во всех зонах сплошного вывала есть отдельные деревья, сломанные в том же направлении. Анализируя методику измерения параметров вывала и её практическое применение, Г.Ф. Плеханов [Плеханов, 2005] пишет, что первичные данные могут содержать погрешность в определении направления повала деревьев на пробной площади в $1^\circ - 3^\circ$, а в определении числа вываленных деревьев – в 5–8%. Отмечая многовариантность возможного решения обратной задачи о природе ударной волны, вызвавшей вывал, автор считает, что любой анализ (с учетом тонкой структуры вывала) должен учитывать основные факты, характеризует и рассматривает их. Он предлагает взять сглаженную картину границ вывала и положение эпицентра по Фасту, оставив более точные границы Анфиногенова для рассмотрения «тонкостей второго порядка». Поворот средних азимутов по часовой стрелке Плеханов считает артефактом, связанным с наложением данных, ориентированных по магнитному меридиану, на географическую карту. Искривление изоклин по Фасту он также считает артефактом.

Далее автор указывает, что любая предлагаемая модель должна учитывать перечисленное ниже.

Наличие отклонений направления стволов от радиального действительно имеет место и в восточной и в западной части вывала. Если исключить стволы, направленные радиально, а оставшуюся

картину повернуть на 3° против часовой стрелки, то ось симметрии пройдет практически по азимуту $90-270^\circ$ [Фаст и др., 1976], [Плеханов и др., 2003].

Отклонение от радиальности на ЮВ существенно больше, чем на СВ.

Существование точки минимума дисперсии азимутов, которая в зависимости от направления находится на расстоянии 7–12 км от эпицентра.

Существование «зоны хаоса» и «зоны стояков» в радиусе около 4 км от эпицентра.

Существование отдельных деревьев и целых рощ, переживших катастрофу [Зенкин и др., 1963].

При этом четкая связь с рельефом и расстоянием от эпицентра не прослеживается.

Результат [Демин, 1999] по выявлению «лучистой» структуры вывала является наиболее спорным и сенсационным

Далее Г.Ф. Плеханов приводит свои соображения о ТМ.

1. Площадь вывала напоминает тупоугольный треугольник, эпицентр резко смещен к западу. Следовательно, была баллистическая волна тела, которое двигалось по крутой траектории, и на конечном участке мог произойти взрыв или взрывоподобное разрушение тела.

2. На заключительном отрезке траектории её проекция имеет азимут примерно $90-270^\circ$, значит, вклад баллистической волны не менее 10% (среднее значение осесимметричных отклонений около 6° , $tg 6^\circ \approx 0,1$).

3. Угол наклона траектории к поверхности земли, в той части, которая вызвала вывал $\alpha - \varepsilon^\circ$. Но эту оценку нужно уточнить.

4. Осесимметричные отклонения приводят к мысли о том, что после взрыва тело двигалось по тому же азимуту. Нужно рассмотреть, какой вариант механизма наиболее вероятен (рикошет, движение в том же направлении или разлет осколков).

5. Уточнить высоту, используя минимум дисперсии средних направлений азимутов поваленных деревьев в зависимости от расстояния от эпицентра.

6. В связи с существованием рощ уцелевших деревьев исследовать, могли ли крупные фрагменты быть как бы источником дополнительных взрывов.

Познакомиться с подробным анализом итогов работы по изучению вывала можно в фундаментальной книге Н.В. Васильева [Васильев, 2004], в которой автор излагает свой взгляд на проблему и на ту роль, которую играет исследование вывала леса в её изучении.

Литература

- Анфиногенов Д.Ф., Будаева Л.И. Тунгусские этюды. Томск, 1998, 107 с.
- Бояркина А.П. Статистическая оценка параметров Тунгусского метеорита по данным наземных наблюдений его следов (метод Дёмина). // Тунгусский вестник КСЭ, №16, 2005, Томск, с.53 – 55.
- Бояркина А.П., Бронштэн В.А. Об энергии взрыва Тунгусского метеорита и учете неоднородности атмосферы. // Астрономический вестник. Т.9, №3, 1975а, с.172 – 177.
- Бояркина А.П., Бронштэн В.А., Станюкович А.К. Нестационарные взаимодействия удара в газодинамических задачах метеоритики. // Проблемы метеоритики. Новосибирск, 1975б, с. 138 – 156.
- Бояркина А.П., Демин Д.В., Зоткин И.Т., Фаст В.Г. Изучение ударной волны Тунгусского метеорита по вызванным ею разрушениям леса. // Метеоритика, вып. 24. М.: Наука, 1964, с. 112 – 128.
- Бронштэн В.А., Бояркина А.П. Распространение воздушных волн Тунгусского метеорита с учетом неоднородности атмосферы. // Материалы Пятой научной конференции по математике и механике. II. Томск: изд. Томского ун-та, 1975а, с.148 – 149.
- Бронштэн В.А., Бояркина А.П. Расчеты воздушных волн Тунгусского метеорита. // Проблемы метеоритики. Новосибирск, 1975б, с.47 – 63.
- Васильев Н.В. Основные итоги и дальнейшее направление изучения Тунгусского падения Комплексной самостоятельной экспедицией при комиссии по метеоритам и космической пыли СО АН СССР. // Успехи метеоритики. Новосибирск, 1966, с.14 – 15.
- Васильев Н.В. Тунгусский метеорит. Космический феномен 1908 г. М.: Русская панорама, 2004, 360 с.
- Васильев Н.В., Журавлев В.К., Львов Ю.А., Плеханов Г.Ф., Фаст В.Г. Изучение проблемы Тунгусского метеорита Комплексной самостоятельной экспедицией. // Итоги исследования по математике и механике за 50 лет. Томск: изд. Томского ун-та, 1967, с. 137 – 149.
- Вронский Б. Тропой Кулика. М.: Мысль, 1968, 254 с.
- Дёмин Д.В. О среднеквадратическом отклонении азимутов поваленных деревьев как параметре вывала. // Проблема Тунгусского метеорита. Томск: изд. Томского ун-та, 1963, с. 94 – 96.
- Дёмин Д.В. Алгоритм статистической оценки параметров Тунгусского падения по данным наземных наблюдений. // Проблема Тунгусского метеорита, вып.2. Томск: изд. Томского ун-та, 1967, с. 235 – 237.
- Дёмин Д.В. Об одном методе исследования слабых аномалий поля измерений. // Материалы Второй научной конференции по математике и механике. I. Томск: изд. Томского ун-та, 1972, с. 92 – 93.
- Дёмин Д.В. О возможной интерпретации структуры энергоактивной зоны Тунгусского взрыва. // Тунгусский вестник КСЭ, №10, 1999, Томск, с. 17 – 18.

- Демин Д.В., Симонов С.А. Результаты обработки каталога Тунгусского вывала. // Тунгусский заповедник. Труды ГПЗ «Тунгусский». Томск: Изд. Томского ун-та, 2003, с. 239 – 244.
- Дмитриев А.Н., Журавлев В.К. Тунгусский феномен 1908 года – вид солнечно-земных взаимосвязей. Новосибирск, 1984, 144с.
- Ерохин Г.Н., Демин Д.В., Барулин В.Ю., Никулин Д.В., Журавлев В.К. Применение новых сетевых ГИС-технологий в информационном обеспечении решения задач по проблеме Тунгусской катастрофы. // Тунгусский вестник КСЭ, №10, 1999, Томск, с. 25 – 31.
- Журавлев В.К., Зигель Ф.Ю. Тунгусское диво. Новосибирск: ЦЭРИС, 1994, 456с.
- Журавлев В.К., Зигель Ф.Ю. Тунгусское диво. Екатеринбург: Изд. Баско, 1998. 168с.
- Журавлев В.К., Кошелев В.А., Васильев Н.В. Поиски восточного вывала. // Проблема Тунгусского метеорита. Томск: изд. Томского ун-та, 1963, с.163 – 167.
- Зенкин Г.М., Ильин А.Г., Егоршина А.И. и др. Характеристика деревьев, переживших катастрофу в её эпицентре. // Проблема Тунгусского метеорита, Томск: изд. Томского ун-та, 1963, с.84 – 86.
- Злобин А.Е. Загадка Тунгусского метеорита на пороге XXI века. М., 1996, 25с.
- Золотов А.В. К вопросу о моделировании взрыва Тунгусского космического тела 1908 г. // Современное состояние проблемы Тунгусского метеорита. Материалы совещания 14–16 апреля 1971 г. Новосибирск. Изд. Томского ун-та, Томск 1971а, с. 18 – 21.
- Золотов А.В. Оценка энергии Тунгусского взрыва 1908 г. // Современное состояние проблемы Тунгусского метеорита. Материалы совещания 14–16 апреля 1971 г. Новосибирск. Изд. Томского ун-та, Томск 1971б, с. 22 – 23.
- Зоткин И.Т. Траектория и орбита Тунгусского метеорита. // Метеоритика. 1966, вып.27, с. 109 –118.
- Зоткин И.Т., Николаев Н.Н., Песков Н.А. Экспериментальное определение ветрового напора во взрывной волне Тунгусского космического тела. // Тунгусский сборник. М.: 2000, с. 39 – 42.
- Зоткин И.Т., Цикулин М.А. Моделирование взрыва Тунгусского метеорита. // ДАН СССР. Т. 167 №1, 1966а, с 59 – 62.
- Зоткин И.Т., Цикулин М.А. Ударная волна Тунгусского метеорита. // Успехи метеоритики. АН СССР, Сиб. Отд., Новосибирск, 1966б, с. 15 – 16.
- Зоткин И.Т., Цикулин М.А. Геометрия ударной волны Тунгусского метеорита. // Метеоритика, вып.28, 1968, с. 114 – 124.
- Зоткин И.Т., Чигорин А.Н. Расчет параметров траектории и баллистической волны Тунгусского метеорного тела. // Современное состояние проблемы Тунгусского метеорита. Материалы совещания 14–16 апреля 1971 г. Новосибирск. Изд. Томского ун-та, Томск 1971, с. 23 – 24.
- Коваль В.И. Метеоритные исследования молодежного творческого коллектива «ГЕЯ» астролаборатории Дворца Творчества на Миуссах и установление основных параметров Тунгусского суперболида 1908 г. Краткая историческая справка 1969–1998 г. // Тунгусский сборник. М.: 2000, с. 80 – 94.
- Коробейников В.П., Чушкин П.И., Шуршалов Л.В. Об ударных волнах при полете и взрыве метеоритов. // Проблемы метеоритики. Новосибирск, 1975, с.54 – 65.
- Коробейников В.П., Чушкин П.И., Шуршалов Л.В. О расчете наземных разрушений при воздушном взрыве метеорита. // Космическое вещество на Земле. Новосибирск: Наука, 1976, с. 54 – 65.
- Коробейников В.П., Чушкин П.И., Шуршалов Л.В. Моделирование и расчет взрыва Тунгусского метеорита. // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей. Новосибирск: Наука, 1980, с 115 – 137.
- Коротков П.Ф. Об увеличении давления в ударной взрыва в направлении ветра. // Журнал прикладной математики и технической физики, №3, 1961, с. 25 – 35.
- Кринов Е.Л. К вопросу о влиянии рельефа на распространение взрывной волны при падении Тунгусского метеорита. // Метеоритика, вып.11. М.: изд-во АН СССР, 1954, с. 137.
- Кулик Л.А.. Результаты экспедиции за Тунгусским метеоритом в 1927 г. // Мирозведение, т.17, №3, 1928, с. 182.
- Кулик Л.А. Данные по Тунгусскому метеориту к 1939 году. // ДАН СССР. Новая серия. Т.11, №8, 1939, с. 520 – 524.
- Кулик Л.А. Картина вывала и ожога в районе падения Тунгусского метеорита. // Вопросы метеоритики. Томск, 1976, с. 15 – 19.
- Лысковский Ф.В. Компьютерная программа анализа разрушений леса в районе Тунгусского взрыва. // Тунгусский вестник КСЭ, №10 Томск, 1999, с. 19 –21.
- Маслов Е.В. К вопросу о высоте и мощности взрыва Тунгусского метеорита. // Проблема Тунгусского метеорита. Томск: изд. Томского ун-та, 1963, с. 105 – 112.
- Некрытов Н.И., Журавлев В.К. Визуальное определение границ вывала. // Проблема Тунгусского метеорита. Томск: изд. Томского ун-та, 1963, с. 87 – 93.
- Ольховатов А.Ю. Мог ли «взрыв метеорита» привести к тунгусскому вывалу леса? // 90 лет Тунгусской проблемы. Тезисы докладов международной научной конференции. 30 июня – 2 июля. Красноярск. 1998, с. 41.
- Плеханов Г.Ф. Некоторые итоги работы Комплексной самостоятельной экспедиции по изучению проблемы Тунгусского метеорита. // Метеоритика, вып.24. Изд. АН СССР, М., 1963а, с. 170 – 176.

- Плеханов Г.Ф. Предварительные итоги двухлетних работ комплексной самодеятельной экспедиции по изучению проблемы Тунгусского метеорита. // Проблема Тунгусского метеорита. Томск: изд. Томского ун-та, 1963б, с. 3 – 21.
- Плеханов Г.Ф. Итоги исследования и парадоксы Тунгусской катастрофы 1908 г. // Тунгусский вестник КСЭ, №8, 1997. Томск, с. 16 – 18..
- Плеханов Г.Ф. Тунгусский метеорит. Воспоминания и размышления. Томск: изд. Томск. ун-та, 2000а, 275 с.
- Плеханов Г.Ф. Размышления о природе Тунгусского метеорита. Томск: изд. Томского ун-та, 2000б, 67 с.
- Плеханов Г.Ф. Анализ тонкой структуры вывала леса Тунгусским метеоритом. // Тунгусский вестник КСЭ, №16, Томск, 2005, с. 13 – 24.
- Плеханов Г.Ф., Васильев Н.В., Демин Д.В., Журавлев В.К., Зенкин Г.М., Ковалевский А.Ф., Львов Ю.А., Тульский А.С., Фаст В.Г. Некоторые итоги изучения проблемы Тунгусского метеорита. // Геология и геофизика. АН СССР, Сиб. Отд., Н-ск, 1963, с 111 – 123.
- Плеханов Г.Ф., Плеханова Л.Г. О возможном рикошете Тунгусского метеорита. // Тунгусский заповедник. Труды ГПЗ «Тунгусский». Томск: Изд. Томского ун-та, 2003, с. 245 – 249.
- Ромейко В.А. Тунгусский метеорит (история исследования). Изд-во МГДТДиУ, 1995, 38 с.
- Фаст В.Г. Об ударной волне, вызванной Тунгусским метеоритом. // Докл. 2-й Сиб.конф. по матем. и мех. Томск: изд. Томского ун-та, 1962а, с.154.
- Фаст В.Г. Об одном применении метода наименьших квадратов. // Доклады второй Сибирской конференции по математике и механике. Томск: изд. Томского ун-та, 1962б, с. 123–124.
- Фаст В.Г. К определению эпицентра взрыва Тунгусского метеорита. // Проблема Тунгусского метеорита, Томск: изд. Томского ун-та, 1963, с. 97 – 104.
- Фаст В.Г. О сглаживании параметров вывала леса и аэродинамическом напоре ударной волны тунгусского метеорита. // Докл. 3-й Сиб.конф. по матем. и мех. Томск: изд. Томского ун-та, 1964, с. 358.
- Фаст В.Г. Некоторые новые результаты статистического анализа Тунгусского вывала. // Успехи метеоритики. АН СССР, Сиб. Отд., Н-ск, 1966, с. 16 – 18.
- Фаст В.Г. Статистический анализ параметров Тунгусского вывала. // Проблема Тунгусского метеорита, вып.2. Томск: изд. Томского ун-та, 1967а, с. 40 – 61.
- Фаст В.Г. Локально-статистические характеристики разрушений лесного массива ударной волной. // Известия Томского политехнического института. Томск: изд. Томского ун-та, т.154, 1967б, с.89 – 90.
- Фаст В.Г. Вывал леса, произведенный Тунгусским метеоритом. // Современное состояние проблемы Тунгусского метеорита. Материалы совещания 14–16 апреля 1971 г. Новосибирск. Изд. Томского ун-та, Томск, 1971, с. 41 – 42.
- Фаст В.Г., Баранник А.П., Разин С.А. О поле направлений повала деревьев в районе падения Тунгусского метеорита. // Вопросы метеоритики, Томск, 1976, с. 39 –52.
- Фаст В.Г., Бояркина А.П., Бакланов М.В. Разрушения, вызванные ударной волной Тунгусского метеорита. // Проблема Тунгусского метеорита, вып.2. Томск: изд. Томского ун-та, 1967, с. 62 – 104.
- Фаст В.Г., Фаст Н.П., Голенберг Н.А. Каталог повала леса, вызванного Тунгусским метеоритом. // Метеоритные и метеорные исследования. Н-ск: Наука. 1983, с. 24 – 74.
- Флоренский К.П. Предварительные результаты тунгусской метеоритной экспедиции 1961 г. // Метеоритика, вып.23. Изд. АН СССР, М., 1963,с. 3 – 29.
- Флоренский К.П., Вронский Б.И., Емельянов Ю.М., Зоткин И.Т., Кирова О.А. Предварительные результаты тунгусской метеоритной экспедиции 1958 г. // Метеоритика, вып.19. Изд. АН СССР, М., 1960, с. 103 – 134.
- Цикулин М.А. Приближенные оценки параметров Тунгусского метеорита 1908 г. по картине разрушения лесного массива. // Метеоритика, вып.20. М.: Наука, 1961, с. 87 – 91.
- Цикулин М.А. Ударные волны при движении в атмосфере крупных метеоритных тел. М.: Наука, 1969, 86 с.
- Цынбал М.Н., Шнитке В.Э. Газовоздушная модель взрыва тунгусской кометы. // Космическое вещество и Земля. Н-ск: Наука, 1986, с. 98 – 117.