

УДК 523.51

ТУНГУССКАЯ КАТАСТРОФА: РАЗРЯДНЫЕ ПРОЦЕССЫ ВБЛИЗИ ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

© 2013 г. О. Г. Гладышева

Физико-технический институт им. А.Ф. Иоффе РАН, г. Санкт-Петербург

e-mail: Olga.Gladysheva@mail.ioffe.ru

Поступила в редакцию 22.03.2012 г.

Исследование эпицентра взрыва Тунгусского космического тела показало, что как засохшие, так и пережившие катастрофу деревья отмечены характерными поражениями. На сохранившихся вблизи эпицентра (расстояние <4 км) деревьях были обнаружены трещины ствола до 7 м длиной. Вся растительность вблизи эпицентра взрыва несла на себе следы сплошного ожога, который покрывал деревья даже на изолированных водой участках суши. На фоне этого равномерного ожога выделялось обугливание, оно коснулось верхушек деревьев и обращенных к земле концов сломанных ветвей. Все вершины и живых, и засохших деревьев центральной области были сожженными, мертвыми. Обугливание вершин и концов ветвей прослеживалось вплоть до расстояния 10–15 км от эпицентра, т.е. разрядные процессы имели место на площади более 500 км². Обугленные концы ветвей имели характерную, не имеющую аналогов в земных условиях, форму “птичьего коготка”. Подобное поражение соответствует форме кратера, которую приобретает анод при горении дугового разряда. Предполагается, что длительность разрядных процессов могла быть ≥ 1 мин.

DOI: 10.7868/S0016794013050076

1. ВВЕДЕНИЕ

В результате вторжения Тунгусского космического тела (ТКТ) в земную атмосферу образовалось поле серебристых облаков размером более 10 млн. км². Формирование этого поля было бы невозможно без внесения в земную атмосферу как минимум 10^{10} кг воды [Гладышева, 2011]. Необходимую воду могла дать только комета, поэтому в данной работе исходим из кометной природы ТКТ.

Разрушение ТКТ началось на высотах ~1000 км над землей [Гладышева, 2011]. Объект интенсивно дробился во время полета и сбросил большую часть своей массы до взрыва над Сибирской тайгой. Окончательное разрушение ТКТ над эпицентром катастрофы имело сложный характер. На основе анализа свидетельств очевидцев Тунгусского феномена и результатов исследования места катастрофы, был сделан вывод: разрушение ТКТ происходило в два этапа. Сначала произошло несколько взрывов, ударной волной которых был вывален лес на территории более 2000 км². Приблизительно через 1–2 мин. после начала взрывного разрушения создались условия для формирования гигантского атмосферного разряда [Гладышева, 2009].

Очевидно, что возникновение над эпицентром электрического разряда, соединяющего приземные слои с ионосферой и наблюдавшегося с рас-

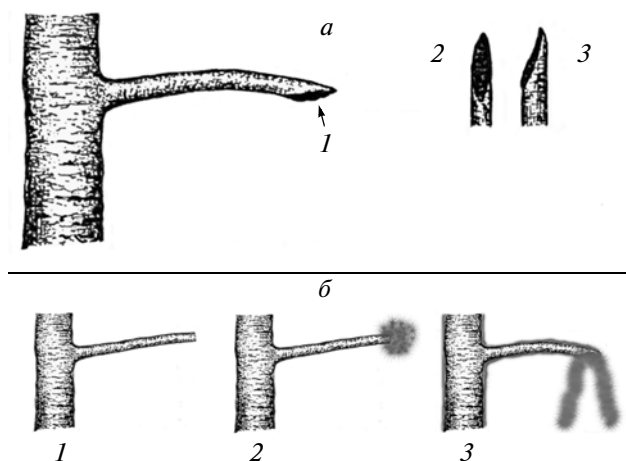
стояния в 500 км, должно было оставить следы на месте катастрофы. К этим следам следует отнести изменение магнитных свойств пород вблизи эпицентра, а также поражение деревьев и кустов.

Изучение магнитных свойств рыхлых отложений района катастрофы показало отклонение вектора остаточной намагниченности от направления современного геомагнитного поля. Это является свидетельством наличия в породах двух компонентов намагниченности, один из которых совпадает с геомагнитным полем, а второй имеет западное направление. Согласно экспериментальным данным, подобное искажение вектора намагниченности пород возникает при воздействии на них внешнего магнитного поля напряженностью 25–30 Э, что в 50–60 раз превышает земное магнитное поле [Бояркина и Сидорас, 1974].

В данной работе по виду пораженных деревьев вблизи эпицентра взрыва определен характер разрядных процессов в приземном слое атмосферы, кроме этого, оценено расстояние, на которое распространились разрядные процессы в приземном слое, и длительность их существования.

2. ПОРАЖЕНИЯ ДЕРЕВЬЕВ И КУСТОВ

Деревья, расположенные вблизи эпицентра разрушения ТКТ, согласно результатам исследований, имеют чрезвычайно характерные поврежде-



Поражение ветвей деревьев в районе Тунгусской катастрофы. *a* – поражение ветвей сухостойных деревьев, согласно Кринову [1949] (обозначения: 1 – обугленный конец сломанной ветки; 2 – уголек на изломе; 3 – “птичий коготок”); *б* – восстановление процессов, приводящих к подобному поражению ветвей (обозначения: 1 – ветвь, сломанная ударной волной взрыва; 2 – коронный разряд; 3 – разряд между концом ветви и поверхностью земли).

ния. Как отмечали в своих работах [Кулик, 1927; Васильев и др., 1981], лес в Великой котловине повален радиально, вершинами наружу, причем радиальное расположение леса начинается на некотором отдалении от центра бурелома. В центральной же части находятся как пережившие катастрофу деревья, так и оставшиеся на корню засохшие деревья, постепенное падение которых сформировало центральную зону так называемого “хаотического вывала”.

Кроме вывала леса, на всей площади бурелома отмечается разрушение крон деревьев, одни деревья оказались совсем без веток, другие сохранили какую-то часть обломанных ветвей. Некоторые из оголенных деревьев засохли, а другие, как и деревья с частично оборванными ветвями, оправились после катастрофы. Новые ветви на выживших деревьях начали расти прямо от ствола и сформировали крону, подобную кроне кипарисов.

Характерным воздействием катастрофы на растительность центральной площади бурелома явился ожог. Ожог растительности был сплошным, он охватил и горы, и долины, и деревья на изолированных водой участках суши. В некоторых случаях деревья были обожжены (опалены) целиком, от вершины до корневой системы. Степень ожога была исключительно однообразной и неизменной и не зависела от местоположения растительности [Кулик, 1927; Васильев и др., 1981].

Кулик отметил, что в центральной части бурелома, измеряемой радиусом в 10–15 км, все верхушки и у живых деревьев, и у сухостоя, как пова-

ленных, так и стоящих на корню, были обожжены и засохли. Даже в случаях, когда верхушки были обломаны, поверхность излома отвалившихся вершин несла на себе следы обугливания (копчения, ожога). Кулик особо подчеркнул, что отвалившиеся верхушки не просто сгнили, они были сожжены [Васильев и др., 1981].

Среди обследованных 360-ти деревьев, переживших катастрофу на расстоянии менее 4 км от эпицентра, на 200-х обнаружено повреждение ствола. Эти повреждения представляют собой как щели длиной 10–30 см в верхней части ствола, так и щели длиной 2–7 м, идущие вверх от основания дерева, причем глубина щелей иногда достигала радиуса ствола [Зенкин и др., 1963]. В некоторых случаях края щелей также имели следы ожога или обугливания.

Засохшие, обожженные вершины и растрескавшиеся стволы деревьев являются характерными следами протекания по ним молниевых разрядов. Площадь вокруг эпицентра, где вершины всех деревьев несут на себе следы ожога, имеет радиус 10–15 км, поэтому можно заключить, что значительные, скорее всего многократные разрядные токи протекали по деревьям на площади более 500 км².

Вблизи эпицентра Тунгусской катастрофы было обнаружено еще одно поражение растительности, которое не имеет аналогов. И Кулик [1927], и Кринов [1949] отметили характерный вид концов ветвей деревьев и кустов. Ударные волны взрывов сорвали у оставшихся на корню деревьев крону, оставив лишь сучки. Оказалось, что обломанные ветви у засохших деревьев загнуты дугообразно книзу с выпуклостью кверху (рисунок *a*). Отмечено, что на всех концах обломанных ветвей у сухостоя наблюдается уголек, т.е. выполняется правило “нет излома без ожога”. Важно отметить, что излом всегда направлен книзу и идет косо. Обломанный конец ветки с угольком на нем имеет своеобразный вид, напоминающий, по определению Кулика, “птичий коготок”. Это явление имело место всюду на центральной площади бурелома радиусом ~15 км [Васильев и др., 1981].

Следует особо подчеркнуть, что, согласно Кулику, вблизи эпицентра взрыва растительность была только опалена (обожжена), сколько-нибудь заметного обугливания деревьев обнаружено не было. По мнению Кулика [Васильев и др., 1981], обугливание коснулось только тех мест на растениях, которые были плохо защищены или совсем не защищены корой, а именно: поверхности излома веток (рисунок *a*), вершины деревьев и т.д. Другими словами, равномерно опаленные деревья имели обуглившиеся вершины и концы ветвей. Подобные поражения деревьев не имеют аналогов, следовательно, можно сделать заключение, что во время Тунгусской катастрофы реа-

лизовались условия, выходящие за рамки обычных земных процессов. Обугливание концов ветвей, как и дугообразная выгнутость засохших ветвей, вероятнее всего также связаны с мощными разрядными процессами. Тот факт, что у сломанной ветки сжигался нижний, направленный к земле край, свидетельствует о том, что разрядные токи протекали между концом ветки и поверхностью земли.

3. МЕСТОПОЛОЖЕНИЕ ВЗРЫВОВ

Разрушение ТКТ над эпицентром сопровождалось крайне необычными звуковыми эффектами. Наиболее полная, подтверждающаяся другими сообщениями, картина Тунгусского события приведена в газетной публикации от 13 июля 1908 г. Очевидцы из Кежмы ($R \sim 200$ км от эпицентра) сообщили: "...пронесся шум как бы от сильного ветра. Непосредственно за этим раздался страшный удар, сопровождаемый подземным толчком, от которого буквально сотрясались здания, причем получилось впечатление, как бы по зданию был сделан сильный удар каким-нибудь огромным бревном или тяжелым камнем. За первым ударом последовал второй, такой же силы, и третий... Промежуток времени между первым и третьим ударом сопровождался необыкновенным подземным гулом, похожим на звук от рельс, по которым будто бы проходил одновременно десяток поездов. А потом в течение 5–6 минут происходила точь-в-точь артиллерийская стрельба: последовало около 50–60 ударов через короткие и почти одинаковые промежутки времени, постепенно удары к концу становились слабее. Через 1.5–2.0 минутный перерыв после окончания сплошной "пальбы" раздалось еще один за другим шесть ударов наподобие отдаленных пушечных выстрелов, но все же отчетливо слышных и ощущаемых сотрясением земли... При внимательном наблюдении, на севере, т.е. там, где, казалось, раздавались удары, на горизонте ясно замечалось нечто, похожее на облако пепельного вида... Как рассказывают очевидцы, перед тем, как начали раздаваться первые взрывы (удары), небо прорезало с юга на север со склонностью к северо-востоку какое-то небесное тело огненного вида..." [Васильев и др., 1981].

Множественные звуковые эффекты не являются редкостью при вторжениях космических тел в земную атмосферу, в частности, они были отмечены и при падении Сихотэ-Алиньского метеорита. Однако для железного метеорита удалось четко определить, что первые, наиболее сильные звуки были вызваны столкновением фрагментов, на которые развалился объект, с землей, а последовавшие за этим слабые звуки – с разрушением тела во время полета, т.к. их источник "перемещался" вверх [Кринов, 1950]. В случае Тунгусской

катастрофы очевидцы дают одно направление на источник звуков, совпадающее с направлением на эпицентр разрушения тела.

По свидетельству очевидцев, "канонада", сопровождавшая разрушение ТКТ, длилась $t \sim 5-15$ мин. Если бы звуковой эффект во время Тунгусской катастрофы определялся перемещением источника звука, как в Сихотэ-Алиньском падении, то, учитывая космическую скорость объекта ($\sim n$ км/с), источники звуковых волн должны были быть разнесены на расстояние как минимум $L \sim 100-300$ км. Принято считать, что ТКТ перемещалось с юго-востока на северо-запад, споры идут только об угле наклона траектории к меридиану. При любом варианте траектории ТКТ населенный пункт Кежма находится вне ее, следовательно, с расстояния от эпицентра $R \sim 200$ км очевидцы из Кежмы должны были заметить перемещение источника звука. Однако более 20-ти очевидцев из каталога Васильева и др., [1981] утверждают, что "канонада" доносилась из одной точки, направление на которую, как правило, совпадает с направлением на эпицентр разрушения.

Таким образом, можно заключить, что разрушение ТКТ в течение $t \sim 10 \pm 5$ мин. происходило именно над эпицентром. Наиболее вероятной высотой взрывного разрушения ТКТ считается высота $H \approx 6$ км над землей. Судя по отсутствию перемещения звуков, объект потерял космическую скорость именно над эпицентром, однако продолжил дробление.

4. ДРОБЛЕНИЕ

Из множественности взрывов, произошедших практически на одном месте над поверхностью земли, можно сделать вывод, что разрушение объекта происходило поэтапно. В настоящее время существует мнение, что кометы состоят из множества комков разного размера. По наблюдениям очевидцев полета ТКТ, можно сделать заключение о размерах крупных комков, составлявших космический объект. Очевидцы сравнивали летящее тело с домом, а сопровождавшие его на некотором отдалении фрагменты с бочками [Эпиктетова, 1976]. По всем оценкам размер ТКТ ~ 100 м, следовательно, размер крупных фрагментов-комков ~ 10 м. Естественно предположить, что каждый из комков состоял из фрагментов меньшего размера, вплоть до микронного размера шариков, аналогичных тем содержащим органику частицам, что были обнаружены при изучении кометы Галлея [Kissel and Krueger, 1987]. Предполагая подобную структуру, способную разваливаться на достаточно мелкие исходные составляющие, можно объяснить длительное дробление объекта над эпицентром.

Только пористое кометное вещество может создать условия для объемного взрыва. Поскольку

комета формировалась в условиях космоса, все промежутки между фрагментами и между частицами внутри фрагментов вакуумные ($P_{ob} \sim 0$). Когда объект разрушается в земной атмосфере, то появляется перепад давления. На высоте разрушения ТКТ (~6 км) давление атмосферы $P_{at} \sim 0.47 P_0$, где P_0 – давление у поверхности земли. При нарушении герметичности оболочки фрагмента ТКТ из-за перепада давления возникает ударная волна. Избыточное давление на фронте ударной волны $P_{at} - P_{ob} = 0.47 P_0$. Как было установлено при ядерных испытаниях, такое избыточное давление способно крушить здания с металлическим каркасом [Действие ..., 1965], следовательно, оно приводит к разрушению конструкции фрагмента ТКТ. Фрагмент рассыпается на более мелкие составляющие.

Известно, что исходная температура внутренних областей внеземного объекта космическая ($\sim n \times 10$ К). При нагревании под воздействием высоких температур взрывной зоны, высвобождение газообразных составляющих из фрагментов ТКТ будет происходить постепенно. Естественно считать, что высвобождающиеся из фрагментов ТКТ вещества должны обладать способностью взрываться. Согласно Цынбалу и Шнитке [1988], горючие органические вещества в достаточном для взрыва количестве содержатся именно в кометном веществе. Дробление при нагревании также характерно для кометного вещества. Таким образом, формируется облако, состоящее из горючих веществ, перемешанных с кислородом окружающего воздуха и фрагментов вещества ТКТ. Условия для взрыва созданы.

Скорость опускания облака фрагментов к поверхности земли тормозится мощными конвективными потоками, т.к. температура в области взрывов ~2000–3000 К [Цынбал и Шнитке, 1988]. Воспламенение смеси происходит благодаря молниевым разрядам, возникающим из-за разделения зарядов в области взрыва. Разделение зарядов во взрывной зоне облака может происходить по следующим причинам. Предполагается, что положительно заряженные крупные фрагменты ТКТ под действием силы тяжести перемещаются к земле, в то время как отрицательные заряды на аэрозолях выносятся вверх мощными конвективными потоками. Важно отметить, что область с преобладанием положительных зарядов отделена от области с преобладанием отрицательных зарядов постоянно действующей взрывной зоной.

5. РАЗРЯДЫ У ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМЛИ

Перемещение положительного заряда к земле должно было привести к увеличению поля в приземном промежутке и возникновению коронного разряда на вершинах деревьев и концах обломан-

ных ударной волной ветвей (рисунок б). Для возникновения коронного разряда на деревьях напряженность электрического поля у поверхности земли должна быть равной 1000–5000 В/м [Чалмерс, 1974]. Известно, что коронный разряд не только приводит к стеканию заряда, но и вызывает ионизацию воздуха, которая облегчает пробой. Пороговая напряженность поля пробоя для воздуха у поверхности земли ~3000 кВ/м. В случае Тунгусской катастрофы напряженность поля пробоя могла быть существенно ниже, т.к. на ионизацию воздушного промежутка оказали влияние не только коронные разряды, но и ударные волны, и излучение взрывов.

Вероятно, в случае Тунгусской катастрофы мы имеем дело с электрическим полем, которое постоянно увеличивалось из-за приближения положительного заряда к поверхности земли под действием силы тяжести. По мере увеличения напряженности поля и уровня ионизации воздуха возникают условия для формирования искровых разрядов между ветвями и поверхностью земли. Установлено, что если источник напряжения достаточно мощный и не дает напряжению упасть, то искровой разряд переходит в дуговой. Таким образом, конец ветви подвергнулся воздействию коронного, искрового и, наконец, дугового разрядов.

Наиболее вероятно, что обугливание концов ветвей связано с дугowymi разрядами. По мере горения дуги катодный электрод заостряется, а анодный электрод, наоборот, приобретает форму кратера с высокой температурой в центре кратера. Обнаруженное на пораженных ветвях обугливание в виде “птичьего коготка” (рисунок а) и представляет собой именно такой кратер на отдельно взятой ветке. Даже если дуговой разряд существовал длительное время, это должно было привести к выгоранию (уменьшению длины) ветви с сохранением формы кратера в виде “птичьего коготка”.

6. ОБСУЖДЕНИЕ

Как было отмечено первыми исследователями, на засохших деревьях тонких ветвей и сучков не сохранилось, остались лишь обугленные на концах толстые ветви. Не требует доказательств утверждение, что ударная волна, разрушая сверху крону дерева, ломает толстые ветви, однако тонкие и гибкие веточки сохраняются. Следовательно, грубо оценивая длительность разрядных процессов T , можно предположить, что разряд длился пока концы толстых ветвей не деформировались, а тонкие ветви полностью не выгорели, т.е. $T \sim n \times 10$ с.

Если ветви служили анодом, то катодом для разрядов была поверхность земли и то, что на ней находилось. В этом отношении представляют не-

сомненный интерес рассказы эвенков, у родственников которых олени находились вблизи эпицентра взрыва. “На том месте 7 богатых братьев Дженкоулей в те времена пасли стадо оленей 600–700 голов... В вершине Хушмы их стадо погорело, олени сгорели, один пепел остался. В устье Чеко олени лежали комками, но не сгорели (их оглушило, и они подохли)”. И второе сообщение: “Родители тогда стояли на Хушме, во время падения только все нарушило, а пожара не было... Где метеорит падал, наши олени были, 1000 оленей. Все они убежали от грома, и не нашли их потом нигде, и костей не нашли. Искать пошли в августе. Искали месяц, и костей не нашли, и следа не нашли. Дивились, куда девались? Потом бросили искать, отступились”. [Васильев и др., 1981]. И так, мы имеем следующую картину: в верховьях Хушмы (вероятно, 4–5 км от эпицентра к югу) олени сгорели до пепла, а в устье Чеко (~8 км к северо-западу от эпицентра) погибли, но не сгорели. Следует подчеркнуть, что результат поиска оленей для эвенков был крайне важен: есть олени — эвенк богатый, нет — нищий. Более того, эпицентр взрыва окружен торфяными болотами, где даже перемещение десятка людей оставляет надолго заметную тропу. В связи с этим, отсутствие следов от стада в сотни голов заставляет предположить, что оленей, не найденных впоследствии даже в виде костей, также постигла участь сгорания до пепла, а пепел за 1.0–1.5 месяца до начала поисков смыло дождями.

Если допустить, что сотни оленей сгорели до пепла, в том числе и благодаря сильным токам дуговых разрядов, то мы опять приходим к неординарности условий, реализовавшихся в Тунгусской катастрофе. Принимая во внимание размеры оленей, приходится допустить, что разрядные процессы вблизи эпицентра длились $T \geq 1$ мин.

Еще двумя свидетельствами исключительности условий, имевших место во время Тунгусской катастрофы, являются мутационные эффекты и уникальная сохранность погибших хвойных деревьев. Вблизи эпицентра были зафиксированы аномальные отклонения морфометрических признаков у муравьев и отмечен мутационный эффект у сосны [Васильев и др., 1980]. Одной из причин появления мутаций в растительном и животном мире может быть жесткое излучение, которое имело место во время катастрофы.

Во время первых экспедиций Кулик обратил внимание на то, что за 20 лет поваленный катастрофой лиственный лес полностью сгнил, в то время как засохшие деревья хвойных пород оказались практически не тронуты временем [Васильев и др., 1981]. Академик Вернадский [1941] также отметил долгую сохранность леса и предположил, что лес был “как бы подвергнут окаменению”. Однако анализы показали нормальное ко-

личество золы в образцах. Важно отметить, что в некоторых местах “катастрофные” деревья все еще лежат ровными рядами, их можно обнаружить даже на расстояниях 20–30 км от эпицентра. Можно предположить, что под действием ультрафиолетового излучения разрядов произошла полимеризация смолы, в результате чего она стала подобной янтарю. Однако этот вопрос, как и вопрос о природе мутаций требует дальнейшего тщательного изучения.

7. ВЫВОДЫ

Поражения деревьев, выраженные в сгорании и отмирании вершин, а также в характерном облуживании обращенных к земле концов ветвей, свидетельствуют о нестандартности условий, реализовавшихся во время Тунгусской катастрофы в приповерхностном слое атмосферы.

Разрядные процессы в области радиусом 10–15 км вокруг эпицентра были представлены коронными, искровыми и дуговыми разрядами. Площадь, охваченная разрядными процессами, могла превышать 500 км², поскольку, согласно свидетельству очевидцев, многократные молниевые разряды наблюдались даже на расстоянии 40 км от эпицентра [Суслов, 1967]. Действие разрядных процессов вблизи эпицентра могло продолжаться $T \geq 1$ мин.

Кратерообразная форма поражения ветвей деревьев в эпицентре Тунгусской катастрофы однозначно показывает, что в дуговом разряде ветви играли роль анода. Катодом служила поверхность земли, т.е. в результате разряда электроны с поверхности земли перемещались вверх к ветвям деревьев. Это подтверждает высказанное ранее предположение, что именно положительного заряженные фрагменты ТКТ опускались к земле [Гладышева, 2009]. Другими словами, при взрывном разрушении ТКТ на его фрагментах оставался положительный заряд.

Автор благодарит Ромейко Виталия Александровича и Бидюкова Бориса Федоровича за предоставление информации о максимальном расстоянии, на котором находятся сохранившихся до настоящего времени “катастрофные” деревья.

Работа поддержана научным советом Программы № 22 Президиума РАН “Фундаментальные исследования и освоение Солнечной системы”.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бояркина А.П., Сидорас С.Д. Палеомагнитные исследования в районе падения Тунгусского метеорита // Геология и геофизика. № 3. С. 79–84. 1974.
- Васильев Н.В., Дмитриенко В.К., Федорова О.П. О биологических последствиях Тунгусского взрыва // Взаимодействие метеоритного вещества с Землей /

- Ред. Ю.А. Долгов. Новосибирск: Наука СО, 243 с. 1980.
- Васильев Н.В., Ковалевский А.Ф., Разин С.А., Эпиктетова Л.Е. Показания очевидцев тунгусского падения [Каталог]. Томск: Изд-во ТГУ, 304 с. 1981.
 - Вернадский В.И. О необходимости организованной научной работы по космической пыли // Проблемы Арктики. № 5. С. 55–64. 1941.
 - Гладышева О.Г. Атмосферный разряд как источник излучения в Тунгусской катастрофе // Геомагнетизм и аэрономия. Т.49. № 3. С. 416–423. 2009.
 - Гладышева О.Г. Атмосферные аномалии лета 1908 г.: вода в атмосфере // Геомагнетизм и аэрономия. Т. 51. № 5. С. 708–715. 2011.
 - Действие ядерного оружия. М.: Воениздат, 684 с. 1965.
 - Зенкин Г.М., Ильин А.Г., Егоршин А.И., Бояркина А.П., Веняминов С.Е., Шикалов Л.Ф. Характеристика деревьев, переживших Тунгусскую катастрофу в ее эпицентре // Проблема Тунгусского метеорита // Ред. Г.Ф. Плеханов / Томск: Изд-во ТГУ, 214 с. 1963.
 - Кринов Е.Л. Тунгусский метеорит. М.Л.: Изд-во АН СССР, 196 с. 1949.
 - Кринов Е.Л. Небесные камни (метеориты). М.Л.: Изд-во АН СССР, 87 с. 1950.
 - Кулик Л.А. К истории болида 30 VI 1908 // Доклады Академии Наук СССР. С. 393–398. 1927.
 - Сулов И.М. Опрос очевидцев Тунгусской катастрофы в 1926 г. // Проблема Тунгусского метеорита. Вып. 2. С. 21–30. 1967.
 - Цынбал М.Н., Шнитке В.Э. Об ожоге и пожаре в районе падения Тунгусского метеорита // Актуальные вопросы метеоритики в Сибири / Ред. Ю.А. Долгов. Новосибирск: Наука, СО, 256 с. 1988.
 - Чалмерс Дж.А. Атмосферное электричество. Л.: Гидрометеиздат, 421 с. 1974.
 - Эпиктетова Л.Е. Новые показания очевидцев падения Тунгусского метеорита // Вопросы метеоритики / Ред. Васильев Н.В. Томск: Изд-во ТГУ, С. 20–34. 1976.
 - Kissel J., Krueger F.R. The organic component in dust from comet Halley as measured by the PUMA mass spectrometer on board Vega 1 // Nature. V. 326. № 6115. P. 755–760. 1987.