

ПРОБЛЕМА ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Томск — 1967

КОНТРОЛЬНЫЙ ЛИСТ
СРОКОВ ВОЗВРАТА
КНИГА ДОЛЖНА БЫТЬ
ВОЗВРАЩЕНА НЕ ПОЗЖЕ
УКАЗАННОГО ЗДЕСЬ СРОКА
лич. пред. выдач

70.125.25

П 781
ПРОБЛЕМНАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ПО ИЗУЧЕНИЮ КОСМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА
НА ТЕРРИТОРИИ СИБИРИ ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО УНИВЕРСИТЕТА

имени В. В. КУЙБЫШЕВА

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

Сборник «Проблема Тунгусского метеорита», вып. 2 подводит итоги исследований, проведенных в этой области, в период с 1961 по 1965 годы.

Большая часть статей, помещенных в нем, принадлежит сотрудникам Комиссии по метеоритам и космической пыли СО АН СССР и Проблемной лаборатории по изучению космического вещества на территории Сибири и Дальнего Востока Томского государственного университета, работающих на общественных началах (Комплексная самодеятельная экспедиция).

В данном выпуске публикуются обширные материалы, характеризующие разрушения, вызванные Тунгусским взрывом. Особый интерес с этой точки зрения представляет каталог разрушений (работа В. Г. Фаста с соавт.), который служит надежной основой для проведения различного рода расчетных работ по Тунгусскому метеориту.

Изучение материального состава Тунгусского тела является наиболее актуальной задачей на данном этапе исследования. В связи с этим интересны работы Ю. А. Львова, Г. И. Ивановой и др. авторов, посвященные поискам космического вещества в различных природных объектах (почва, торф, снег). Результаты, изложенные в этих статьях, дают методические подходы к поискам вещества Тунгусского метеорита в более широких масштабах.

Самостоятельный интерес представляют работы геофизического характера, посвященные некоторым эффектам, вызываемым попаданием в атмосферу Земли космической пыли.

Сборник рассчитан на специалистов — астрономов, геофизиков, геологов, метеоритоведов, метеорологов, а также на широкий круг читателей, интересующихся проблемой Тунгусского метеорита.

88
88
Редактор — профессор доктор М. В. Тронов

РЕДАКЦИОННО-ИЗДАТЕЛЬСКИЙ СОВЕТ

Доц. А. П. Бычков (председатель, ректор университета), проф. В. А. Пегель (зам. председателя), доц. Ю. В. Чистяков (зам. председателя), доц. В. Е. Томилов (ученый секретарь), директор Издательства М. С. Змазнев, проф. Р. Н. Щербаков, проф. И. А. Александров, проф. В. Н. Кессених, проф. К. В. Савицкий, доц. М. А. Кривов, ст. научный сотрудник В. А. Хахлов, доц. В. В. Хахлов, проф. М. В. Тронов, ст. преподаватель Ф. И. Терпугов, проф. В. В. Серебrenников, проф. А. И. Ким, доц. С. М. Лисовик, проф. И. М. Разгон, доц. А. А. Говорков, проф. Н. Ф. Бабушкин, проф. В. С. Флеров, проф. К. П. Ярошевский, директор научной библиотеки М. Р. Филимонов, секретарь парткома доц. М. П. Кортусов.

ПРЕДИСЛОВИЕ

В 1964 году в Томском государственном университете на базе, функционировавшей с 1959 года Комплексной самостоятельной экспедиции по изучению Тунгусского метеорита, была создана проблемная лаборатория по изучению космического вещества на территории Сибири, работающая на общественных началах.

Задачей этой лаборатории являлось дальнейшее развертывание работ, направленных на исследование метеоритов и космической пыли и, в частности, продолжение изучения Тунгусского метеорита.

Со времени выхода первого тематического сборника, посвященного этому вопросу, прошло свыше четырех лет. В течение этого времени проблема Тунгусского метеорита подвергалась усиленному изучению со стороны ряда научных учреждений и организаций. Накоплен большой фактический материал, требующий детального анализа и обобщения. Наряду с этим разработка Тунгусской проблемы выявила острую необходимость проведения целого ряда методических исследований, направленных прежде всего на стандартизацию приемов выделения космической пыли из земных объектов — почв, снега, высокогорного льда, торфа. Отработка соответствующих методик и проведение наблюдений в районах, удаленных от индустриальных центров, стали одним из основных направлений созданной лаборатории.

В настоящем сборнике обобщены данные, относящиеся к проблеме Тунгусского метеорита, а также предварительные результаты работ методического характера.

Во вступительной статье сборника дается анализ современного состояния Тунгусской проблемы на основании обширного фактического материала, накопленного, главным образом, в последние четыре года. В ней подвергнуты критическому разбору основные гипотезы, предложенные для объяснения природы Тунгусского метеорита, и сформулированы задачи дальнейших исследований в этой области.

Большое место в сборнике отводится подведению итогов весьма трудоемкой многолетней работы, направленной на составление подробной карты разрушений, вызванных Тунгусским падением. Особый интерес с этой точки зрения представляет впервые публикуемый полный каталог разрушений, произведенных Тунгусским взрывом. Вряд ли можно сомневаться в том, что с опубликованием этих материалов физики-взрывники, занимающиеся изучением механизма Тунгусского взрыва, получат достаточный для ответственных выводов фактический фундамент.

Близки по направленности статьи, в которых излагаются данные о лучистом ожоге, вызванном Тунгусским телом.

Ряд публикаций посвящен вопросам биологических последствий Тунгусского взрыва, в частности, его влиянию на растительность района. Данные, сообщенные в этих статьях, могут иметь, помимо теоретического интереса, определенное прикладное значение для лесоводства.

Проблема материального состава Тунгусского метеорита продолжает оставаться вопросом номер один для исследователей, работающих на поприще этого раздела метеоритики. В связи с этим представляют интерес результаты микроспектрального анализа космических частиц, выделенных из почв предполагаемого шлейфа рассеяния вещества Тунгусского тела. Следует отметить, что публикуемые материалы являются первой попыткой проведения анализв такого рода в стационарных условиях на достаточно современном методическом уровне.

Изучение проблемы Тунгусского метеорита невозможно довести до конца без глубокой разработки ряда вопросов, связанных с закономерностями распределения космической пыли на территории Сибири. В связи с этим заслуживают большого внимания приведенные в сборнике публикации методического характера, посвященные выделению космического вещества из снега и торфа районов, удаленных как от индустриальных центров, так и от мест крупных метеоритных падений. Завершение этих исследований создает базу для развертывания в относительно недалеком будущем широких исследований геохимического и геофизического плана.

Поскольку тунгусская проблема до сих пор остается предметом оживленной дискуссии, редакционная коллегия сочла возможным включить в него статьи, характеризующиеся диаметрально различным подходом к методике и интерпретации фактов, относящихся к Тунгусской катастрофе 1908 года. Хотя некоторые положения, высказанные в этих статьях, и являются спорными, обсуждение их, очевидно, принесет пользу для дальнейшего уточнения наших знаний по изучаемому вопросу.

Положительной чертой работ последних лет по проблеме Тунгусского метеорита является тенденция к комплексированию усилий различных организаций. Полезно отметить, что в настоящее время эту проблему разрабатывает целый ряд специалистов, объединенных в несколько коллективов. Материалы, представленные в настоящем сборнике, являются итогом коллективных усилий сотрудников проблемной лаборатории по изучению космического вещества на территории Сибири, функционирующей в Томском госуниверситете, членов Комиссии по метеоритам и космической пыли СО АН СССР, работников Комитета по метеоритам АН СССР и Волго-Уральского филиала АН СССР.

Авторы статей сборника и редакционная коллегия надеются, что опубликование сборника послужит основой для дальнейшего полезного обмена мнениями среди специалистов, занимающихся не только проблемой Тунгусского метеорита, но и более широкой проблемой космического вещества, выпадающего на поверхность нашей планеты.

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 самостоятельная 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 местах. 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 $111^{\circ} \pm 2^{\circ}$. 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.

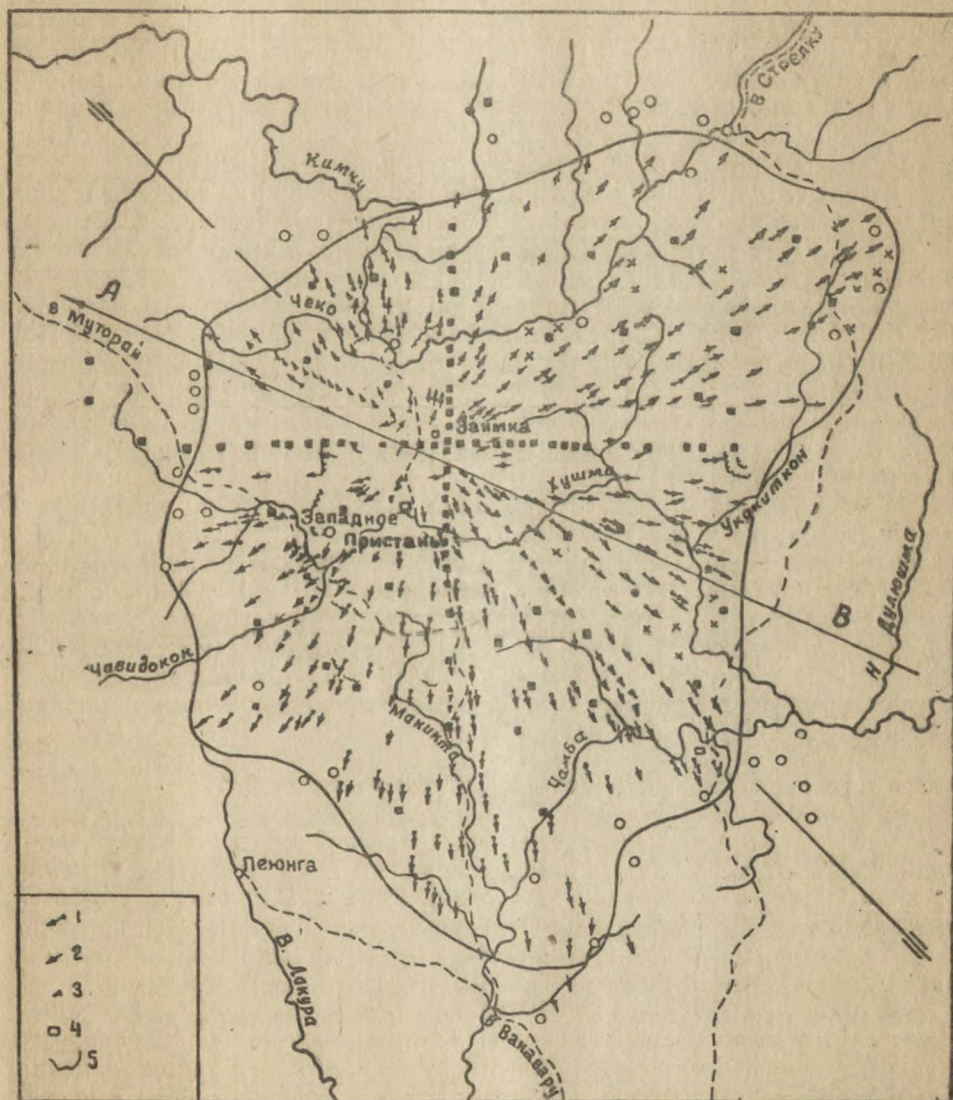


Рис. 1. Карта поваленного леса, по данным 1961 года: 1, 2, 3 — среднее направление поваленных деревьев; 4 — избушки; 5 — общая граница поваленного леса; АВ — ось симметрии.

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 следствиями 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. Кримова. 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 флорометрическая съемка, проведенная тогда же, не дали вполне определенных результатов.

В 1957 г. А. А. Явнелъ [22] обнаружил в пробах, привезенных Л. А. Куликом, микроскопические шарики, состоящие из никелистого железа, аналогичные обнаруженным Е. Л. Кримоным в районе падения Сихоте-Алинского 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 сферах. 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 Бабине 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 Бабине 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 I/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. Коненкиным и в 1965 г. группой КСЭ под руководством Б. И. Вронского и В. Э. Папе. Работа такого рода была проведена Коненкиным [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 опр-санных 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 $8-12^\circ$. 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 повал 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 определении 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 слоев, 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 актинометрического 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 Obser-

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 объяснить 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 $C-14$ в годичном 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. Ведущее 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. Мирведение. 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. Мирведение. 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., Некрасова 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. Арнаутон Н. В. и Киреев А. Д. — См. настоящий сборник.
29. Кириченко 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. 5.
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. Теомagnetизм и астрономия. 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. Мироведение. 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.

ОПРОС ОЧЕВИДЦЕВ ТУНГУССКОЙ КАТАСТРОФЫ В 1926 г.

И. М. СУСЛОВ

Первые сообщения о Тунгусской катастрофе 30 июня 1908 г. я услышал месяца через 2—3 после этого события. То были годы моей гимназической юности в г. Енисейске. Очевидцами были рабочие, старатели и арендаторы золотых приисков, находившиеся к северо-востоку от г. Енисейска, в тайге за 250—300 км; ангарские крестьяне и рыбаки. С помощью преподавателя гимназии Р. А. Френкеля я пытался определить приблизительное географическое положение центра падения (или взрыва) метеорита и выявить возможные пути проникновения в этот район.

В 1912 г. я окончил гимназию и уехал из Енисейска. Исследования показаний очевидцев пришлось прекратить. Но в 1924—1925 гг. я возобновил эту работу в селах реки Ангары и частично на факториях Подкаменной Тунгуски, где мне, как председателю Красноярского Комитета содействия народам Севера, пришлось бывать в зимнее время для подготовки выборов первых органов Советской власти в Эвенкии — Родовых советов и Родовых судов. Для организации и проведения Мунняка (собрания избирателей) я выехал в марте 1926 г. на р. Чуню.

Недалеко от фактории Ванавара я встретил чум эвенка Ильи Потоповича (Лючеткана), в семье которого жила вдова его брата Ивана — Акулина. В июне 1908 г. их чум стоял на устье р. Дилюшмо при впадении ее в р. Хушма. Акулина так рассказала об этом событии:

— В чуме нас было трое — я с мужем моим Иваном и старик Василий, сын Охчена. Вдруг кто-то сильно толкнул наш чум. Я испугалась, закричала, разбудила Ивана, мы стали вылезать из спального мешка. Видим, вылезает и Василий. Не успели мы с Иваном вылезти и встать на ноги, как кто-то опять сильно толкнул наш чум и мы упали на землю. Свалился на нас и старик Василий, будто его кто-то бросил. Кругом был слышен шум, кто-то гремел и стучал в эллюн (замшевая покрывка чума). Вдруг стало очень светло, на нас светило яркое солнце, дул сильный ветер. Потом кто-то сильно стрелял, как будто зимой лед лопнул на Катанге, и сразу налетел Учир-плясун, схватил эллюн, закрутил, завертел и утащил куда-то. Остался только дюкча (остов чума из 30 шестов). Я испугалась совсем и стала бучо (потеряла сознание), вижу пляшет учир (смерч). Я закричала и сразу живой опять стала (очнулась).

Учир свалил на меня дюкча и ушиб шестом ногу. Вылезла я из под шестов и заплакала: сундучок с посудой выброшен из чума и он валяется далеко, раскрыт и многие чашки разбиты. Смотрю я на лес наш и не ви-

жу его. Многие леса стоят без сучьев, без листьев. Много-много лесин на земле лежит. На земле горят сухие леса, сучья, олений мох. Смотрю, какая-то одежда горит, подошла и вижу наше заячье одеяло и наш меховой мешок, в котором мы с Иваном спали.

Пошла я искать Ивана и старика. Смотрю, на сучке голой лиственницы что-то висит. Подошла, протянула палку и сняла. Это была наша пушнина, которая раньше висела привязанной к шестам чума. Лисьи шкурки обгорели, горноста́й стал желтоватым и грязным, в саже. Многие шкурки белок сморщились и пересохли.

Взяла я пушнину, заплакала и пошла искать мужиков своих. А на земле сушняк все горит и горит, олений мох горит, дым кругом.

Вдруг слышу кто-то тихо стонет. Побежала я на голос и увидела Ивана. Лежал он на земле между сучьев большой лесины. Рука его сломалась на бревне, кость прорвала рубашку и торчала, на ней засохла кровь. Тут я упала и опять стала бучо. Но скоро опять живая стала. Иван «проснулся», громче стонать стал и плакать.

Учир бросил Ивана близко. Если поставить рядом десять чумов, то он упал за последним чумом, совсем близко от того места, где я сняла с сучка пушнину*).

Обнял меня Иван за шею здоровой рукой, я подняла его и мы пошли на Дилюшму к нашему чуму, где в лабазе были две шкуры сохатых, мешок муки и сети. Чум стоял на берегу Дилюшмы, лабаз был близко от чума на закат солнца. Вдруг послышалось, будто кто-то кричит. И тут мы увидели нашего Василия. Он залез под корень упавшей старой лиственницы и спрятался там. Вылез Василий из своей берлоги и пошел с нами к нашему чуму. Я устала, передала Ивана старику, а сама понесла только обгорелые шкурки.

Идти стало еще тяжелее: очень много было сваленных лесин. Вдруг мы увидели на земле рубленые бревна и под ними сохатиньи шкурки. Шерсть на шкурах обгорела, кожа сморщилась и подгорела. Вместо сетей мы увидели кучку камешков — грузила. Сети из конского волоса сгорели. Бревна сгорели, стали головешками. Вместо мешка муки — черный камень. Ткнула я в него палкой и камень-уголь разломался. В середине его я нашла немного муки и завернула в рубашку Василия. Так погиб наш лабаз. Отдохнули мы немного и пошли искать наш чум.

Вот и место, где был наш чум. Шесты лежат на земле, на них упала большая лиственница, она сильно обгорела. Разрубила я ее топором и оттащила в сторону. Под ней мы нашли наш медный котел, в котором было много вчерашнего мяса.

Наступила светлая летняя ночь. Пожар стал уменьшаться, вместо жары стало холодно. Решили мы двигаться на Катангу. Когда мы вышли на речку Чамбу, то были уже совсем слабыми. Кругом мы видели диво, страшное диво. Лес-то был не наш. Я никогда не видела такого леса. Чужой он какой-то. У нас тут был густой лес, темный лес, старый лес. А теперь во многих местах совсем не было леса. На горах все лесины лежали, и было светло, и далеко все видно. А под горами в болотах идти нельзя было: которые лесины стояли, которые лежали, которые наклонились, которые друг на друга упали! Многие лесины обгорели, сушняк и мох еще горели и дымилась. Выйдя на Катангу, мы встретили Лючеткана.

Рассказ Акулины я передал в сокращенном виде, опуская подробности, не имеющие непосредственного отношения к данным о Тунгусской катастрофе.

Из фактории Ванавара я отправился на Стрелку Чуни. Там я встретился с братьями Чучанча и Чекарен из рода Шанягирь.

*) Диаметр чума около 4 м, следовательно Ивана отбросило метров на 40 (Авт.).

В момент катастрофы 1908 г. их чум стоял рядом с чумом отца в среднем течении речки Аваркитты. Оба брата оказались интересными и толковыми собеседниками и рассказчиками. Они сносно говорили по-русски, на специфическом ангаро-тунгусском жаргоне. По существу Чучанча повторил то же, что рассказала Акулина, но по моей просьбе он постарался припомнить сколько было громовых ударов — «агдыллян» и какой они были силы. По его словам, он насчитал пять ударов.

Наш чум тогда стоял на берегу Аваркитты. Перед восходом солнца мы с Чекаренем пришли с речки Дилюшма, там мы гостевали у Ивана и Акулины. Мы крепко уснули. Вдруг проснулись сразу оба: — кто-то нас толкал. Услышали мы свист и почуяли сильный ветер. Чекарен еще крикнул мне: «Слышишь, как много гоголей летает или крохалей?». Мы были ведь еще в чуме и нам не видно было, что делается в лесу. Вдруг меня кто-то опять толкнул, да так сильно, что я ударился головой о чумовой шест и упал потом на горячие угли в очаге. Я испугался. Чекарен тоже испугался, схватился за шест. Мы стали кричать отца, мать, брата, но никто не отвечал. За чумом был какой-то шум, слышно было, как лесины падали. Вылезли мы с Чекаренем из мешков и уже хотели выскочить из чума, но вдруг очень сильно ударил гром. Это был первый удар. Земля стала дергаться и качаться, сильный ветер ударил в наш чум и повалил его. Меня крепко придавило шестами, но голова моя не была покрыта, потому что эллион задрался. Тут я увидел страшное диво: лесины падают, хвоя на них горит, сушняк на земле горит, мох олений горит. Дым кругом, глазам больно, жарко, очень жарко, сгореть можно.

Вдруг над горой, где уже упал лес, стало сильно светло, и, как бы тебе сказать, будто второе солнце появилось, русские сказали бы вдруг неожиданно блеснуло, глазам больно стало и я даже закрыл их. Похоже было на то, что русские называют — молния. И сразу же был агдыллян, сильный гром. Это был второй удар. Утро было солнечное, туч не было, наше солнце светило ярко, как всегда, а тут появилось второе солнце!

С трудом мы с Чекаренем вылезли из-под шестов и эллиона. После этого мы увидели, будто вверх, но уже на другом месте, опять сверкнуло и сделался сильный гром. Это был третий удар. Налетел на нас ветер, с ног сбил, о поваленную лесину ударил.

Следили мы за падающими деревьями, видели, как ломались вершины их, на пожар смотрели. Вдруг Чекарен закричал: «Смотри вверх» и показал рукой. Посмотрел я туда и опять увидел молнию, блеснула она и опять ударила, агдыллян сделала. Но стук был маленько меньше, чем раньше. Это был четвертый удар, как обычный гром.

Теперь я хорошо вспомнил, что был еще один удар, пятый, но он был маленький и где-то далеко.

— А в какой стороне вы слышали этот последний, пятый гром? — спросил я братьев.

— Там, где солнце спит ночью, однако — то там где Таймура — река есть, — ответил Чучанча.

Я сделал попытку количественно оценить промежуток времени между первым и вторым ударами. Это можно было сделать только путем сравнения с каким-то обычным и понятным для эвенков-охотников отрезком времени.

Я решил использовать эффект эхо. За несколько дней до этого я производил маршрутную съемку окрестностей Стрелки р. Чуни. Один из маршрутов был по реке Чунку-кан Северная, где неподалеку от Стрелки была расположена скала. Я привел братьев Шанягирь на обрыв скалы «Сырка», с которой открывался вид на место слияния двух рек Чунку-кан в одну — Чуню и на скалу. Расстояние между скалами составляет 1020 м.

— Вот смотрите туда, — сказал я братьям. Тебя, Степан Иванович, я попрошу выстрелить дуллетом в сторону той скалы на Чунку-кан. Сначала мы слышали выстрел, что будет как бы первый удар грома, а затем эхо — это будет второй удар. А вы замечайте — длинный или короткий был промежуток между выстрелами и эхо.

Мы спустились к воде. Чучанча и Чекарен стреляли несколько раз по очереди, а я замечал время. Эхо, как и должно быть, появлялось через 6 сек. А братья оба заявили, что именно такой, «самый такой» промежуток времени и был между первым и вторым ударами грома.

Перед закрытием Мунняка я обратился ко всем избирателям с целью проверить факты, сообщенные Акулиной, стариком Василием и братьями Чучанчи и Чекареном и, кроме того, получить новые сведения. Сделать это было затруднительно, так как я знал, что эвенки объясняют катастрофу 1908 года местью шамана Маганкана, осуществленной стаей железных птиц агды. Опровергать такое представление тогда было совершенно безнадежным делом, тем более, что присутствовавший на Мунняке старик Василий из рода Шанягирь, по убеждению эвенков, «сам видел» этих птиц, «видел, как они гремели, шумели, ударяли громко».

Поэтому необходимо было искать какой-то обходной путь для вызова избирателей на разговор, который привел бы к нарушению религиозного «табу». Я обратился к делегатам с просьбой рассказать подробнее, кто пострадал от катастрофы, где начинается и кончается вывал леса, видел ли кто-нибудь из присутствующих ямы в земле, которых до падения метеорита не было.

Между сидящими на поляне эвенками начались оживленные разговоры и даже какой-то крупный спор, потом стал говорить старик Улькиго — сын Люрбумана из рода Шанягирь. Старому Улькиго было, говорят, восемьдесят лет.

— Чум моего отца Люрбумана стоял на берегу реки Чамба, недалеко от ее устья. В чуме жили отец мой, я с женой и четверо наших детей. Вдруг рано утром собаки завыли, дети заплакали. Жена, я и старик проснулись и диво увидели, слушать стали: кто-то стал стучать в землю под нами, качать чум. Выскочил я из мешка и одеваться стал, вдруг кто-то сильно толкнул землю. Я упал и закричал, ребята закричали, заплакали, выскочили из спальных мешков. Маленько ранее кто-то шибко стрелял из ружей. Старик Люрбуман говорил, однако-то у ручья Чургима скала упала. Вдруг опять кто-то будто в землю ударил, стукнул шибко, в чуме с шеста медный чайник упал и кто-то ангарский гром сделал*). Оделся я скоро и выбежал из чума. Утро было солнечное, безоблачное, жарко! Стал смотреть я вверх, на гору Лакуру. Вдруг на небе шибко сверкнуло и ударил гром. Я испугался и упал. Гляжу, ветер лесины роняет, на земле огонь сушняк палит. Слышу, шум где-то. Вскочил я на ноги, вижу, бегут к Катанге два сохатых с теленком и два оленя. Страшно стало, пошел я к своему чуму. В это время налетел Учир, схватил эллюн и бросил к речке, остался только дюкча. Около него сидели на поваленной лесине мой старик, жена моя и челядишки (ребятишки).

Смотрим мы в ту сторону, где солнце спит (т. е. на север). Там диво какое-то делается, кто-то там опять будто стучит. В стороне речки Кимчу — дым большой, тайга горит, жар оттуда идет сильный. Вдруг где-то далеко, далеко, где речка Чунку-кан, в той стороне опять гром сильно стукнул и там поднялся дым.

Пошел я посмотреть ту сторону, откуда звери бежали и жар шел. Там увидел я страшное диво. Тайга вся упала, много лесин на земле горело, трава сухая, сухие сучки горели, листья на лесу все засохли. Было

*) Эвенки называют гром — «агды», а ангарцы — «гром», т. е. удар грома, именно удар (Авт.).



Рис. 1. Направленный повал леса в долине р. Чургим. Фотография сделана в октябре 1928 г.



Рис. 2. Стоячий мертвый лес в долине р. Чургим. Фотография сделана в октябре 1928 г.

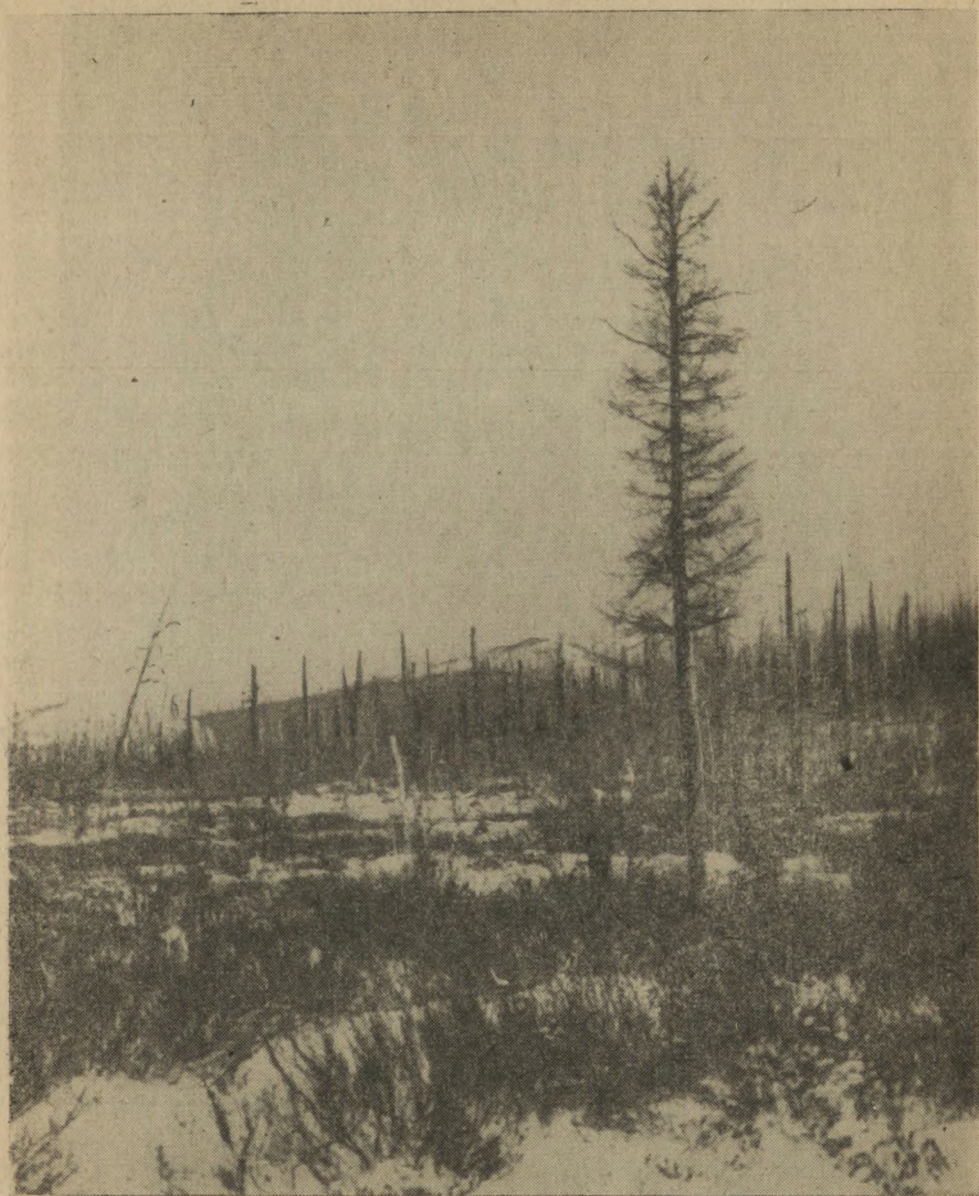


Рис. 3. Живая лиственница, уцелевшая в центре района катастрофы. Октябрь 1928 г.

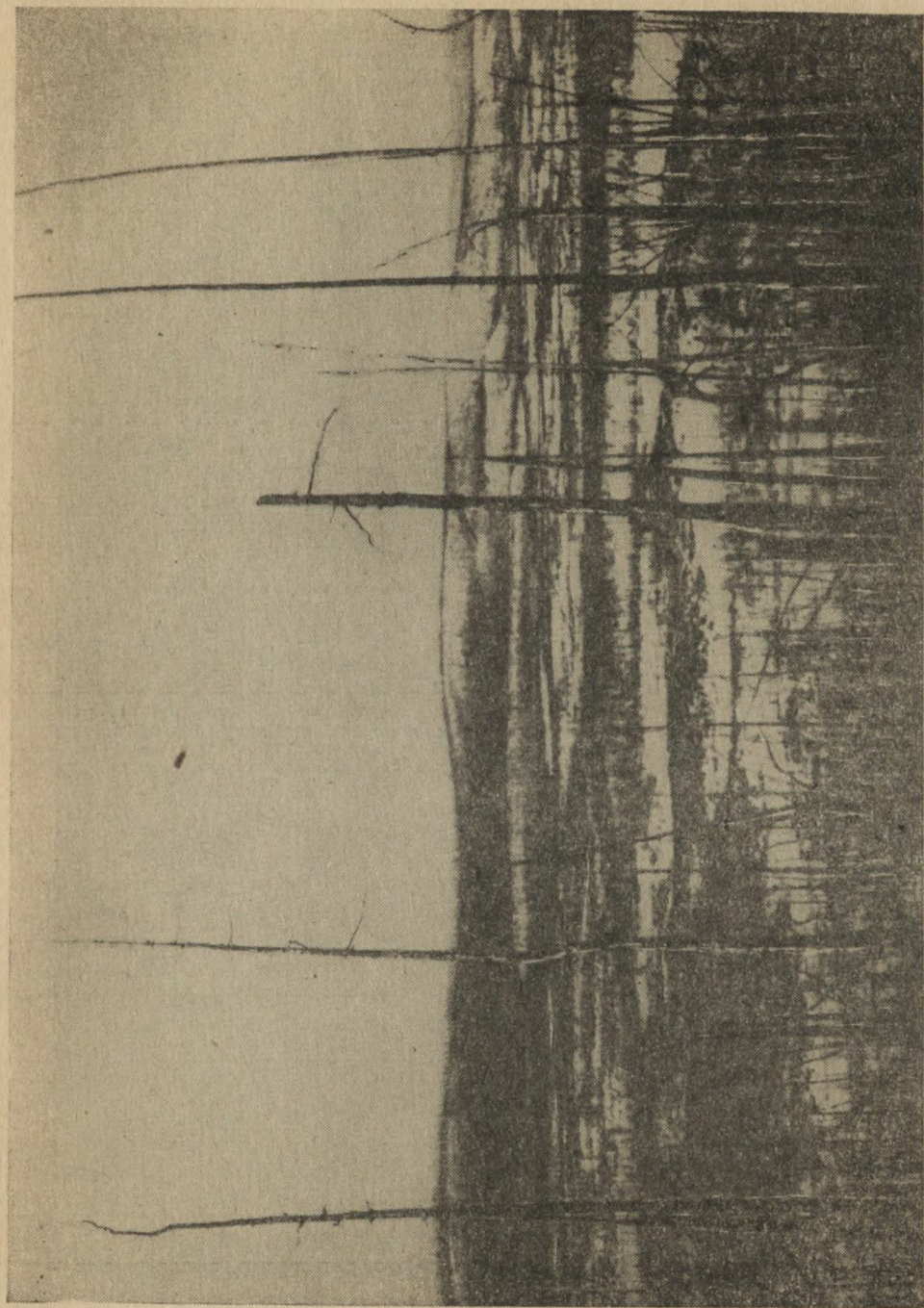


Рис. 4. Вид на Южное болото с г. Стойкович. Октябрь 1928 года.



Рис. 5. Направленный повал леса и мертвые «столбы» на южном склоне г. Стойкович.
Октябрь 1928 года.

очень жарко, много дыма, глаза выедал дым, совсем смотреть нельзя было. Совсем испугался я и побежал назад к Чамбе, к нашему чуму. Рассказал я отцу все, что видел, он испугался и умер. В тот же день мы его похоронили по нашей тунгусской вере.

Многие другие эвенки, присутствовавшие на Мунняке, говорили примерно следующее: «Птицы агды стукали много раз, сильно стукали. Агдыллян*) стукал, ангарский гром удары делал, танга — пять ударов делал. Пактырун — стрелял будто. Палил лес, лесины валил однако-то Учир. Эллюн Акулины совсем утащил куда-то, эллюн чума Улькиго на реку кинул. Одын**) дюкча валил, белку Акулины кончал. Кончал, палил, валил лабазы. Кончали агды оленей, собак кончали, людей портили — три люди помирал совсем: Люрбуман, Иван Мачакугырь, брат Лючеткана, руку крошил и помер, шаман Уйбан сразу бучо, помер на Лакуре».

Последовали потом и персональные заявления.

Андрей Онкоуль: «Оленей искал я между речкой Лакурой и речкой Кимчу. Там видел яму и от нее сухую речку. Это — гора Лакура. До «кручины» там не было этой ямы, не было и «сухой речки» (борозды).

Молок Куркагырь: «Полдня нюльги (половина дневного перехода летом на вьючных оленях) от реки Чунку-кан на полдень (т. е. на юг) тоже шибко тайгу ронял, яму большую делал. Лесины там на земле лежат вершинами к Ербогачену. Раньше, до «кручины», там не было ямы, лес был густой, белки много было».

Лючеткан: «На горе, на хребте Лакуре, около того места, откуда течет ручей, а затем речка Маркитта, Акулина тоже видела «сухую речку» (борозду). В конце этой речки была большая яма, заваленная землей. Поваленных лесин там много было.

Вот те основные сведения очевидцев-эвенков, часть которых перенесла ужас катастрофы 1908 г.

Собранные факты частично были изложены мной в статье, опубликованной в № 1 журнала «Мироведение» за 1927 г. Но еще до опубликования статью переслали Л. А. Кулику, который воспользовался ей, статьями С. В. Обручева и А. В. Вознесенского при подготовке своей первой экспедиции.

В 1926 г. и несколько позднее Л. А. Кулик и я не раз анализировали рассказы очевидцев о «нескольких ударах грома», о «вспышках, сверкнувших где-то высоко», допускали вероятность взрыва метеорита в атмосфере и выпадения его на землю в виде нескольких глыб. Л. А. Кулик настолько был убежден в обоснованности этой своей гипотезы, что круглые озера разных диаметров, расположенные в Великом болоте (названия дано Л. А. Куликом) внутри цирка Мерилля, он принял в 1927 году за кратеры, образованные крупными осколками метеорита. Лишь в 30-х годах он согласился, в конце концов, с тем, что бугристость болот в цирке Мерилля и «воронки» образованы обычными процессами термокаста в субарктической зоне вечной мерзлоты.

Вероятно, в связи с этим обстоятельством сообщения очевидцев о нескольких взрывах перестали привлекать к себе внимание исследователей.

Сейчас, когда большая группа исследователей занимается детальным изучением проблемы тунгусской катастрофы 1908 г., мне кажется небезынтересным опубликовать более подробное изложение рассказов очевидцев, чем это было сделано в статье 1927 г.

*) Гром (Авт.).

**) Одын — буря, шквал — по эвенкийской демонологии представляется в образе многоголового чудовища без глаз с огромными ртами без хвоста.

СООБЩЕНИЯ ОЧЕВИДЦЕВ О ТУНГУССКОМ МЕТЕОРИТЕ 1908 ГОДА

В. Г. КОНЕНКИН

Летом 1962 г. мною при содействии Комитета по метеоритам АН СССР были предприняты опросы очевидцев Тунгусского метеорита 1908 г., проживающих в Катангском районе Иркутской области. Ниже приводятся наиболее интересные данные, полученные в ходе этой работы.

1. Фарков Феофан Самуилович, 1897 года рождения, житель поселка Тура, русский. В 1908 г. жил в пос. Ербогачен. «Услышал грохот и посмотрел на юг от Ербогачена. Увидел — по небу летит огненный снап. Заметил его, когда он был уже юго-западнее Ербогачена. Огненный снап летел слева направо, т. е. на запад. Летел быстро, но я успел разглядеть, что он продолговатой формы, голова была темнее, а дальше начиналось пламя, а за ним искры. Когда он пролетел, то на небе не осталось никакой полосы. После исчезновения за горизонтом (этого тела) никакого пламени не видел. Окна дребезжали. Тогда все перепугались и говорили: «Светопреставление!».

2. Балакшин Иван Васильевич, рождения 1897 г., русский, проживает в пос. Ербогачен. В 1908 году жил в деревне Ждановой Катангского района. «Я взглянул в западном направлении и увидел, что взметнулось пламя, примерно, на высоту дерева, а затем показался дым, который поднялся выше пламени и быстро исчез. Хорошо помню три взрыва. От грохота дребезжали стекла в домах».

3. Пермяков Степан Дормидонтович, согласно документам 1891 года рождения, фактически 1887 года, русский, житель пос. Ербогачен. В 1908 г. проживал в деревне Преображенке. «Утром возил навоз. Погода была ясная, тихая. Выехал на берег и увидел летящий огненный снап. Огненный снап летел с юго-востока на северо-запад через село Преображенку к Амбарчику (азимут 285°). Когда он пролетел над Преображенкой, то не было слышно грохота, а был слышен какой-то шум, гул. Когда огненный снап упал за горизонт, то оттуда взметнулось вверх пламя огня, а затем поднялся дым, который был виден долгое время. После этого, примерно, через 3—4 минуты, раздались три «выстрела», первые два были слабее, а последний третий был очень громким».

4. Салаткин Варнава Павлович, рождения 1890 г., житель пос. Ербогачен, эвенк. «В 1908 г. жил в пос. Непа. В июне месяце 1908 года был на охоте в верховьях речки Ичора с эвенком П. Р. Салаткиным. Утром мы спали на ночлеге и вдруг слышим три взрыва. День был ясный, погода тихая и мы удивились: откуда гром? Тут мы перепугались и сказали: это светопреставление!».

5. Сафьянников Семен Егорович, рождения 1891 г., русский, проживает в пос. Ербогачен. «В 1908 г. жил в деревне Мога. Метеорит я видел, когда он спускался к горизонту. Утверждаю, что он упал от деревни Мога точно на запад. Мне запомнилось, что метеорит был продолговатой формы, причем нос его был острым, а дальше шло утолщение. Когда метеорит скрылся за горизонт, то пламени я не видел, а хорошо видел, что в том месте поднялся дым, продолжавшийся примерно минут 10».

6. Сафьянников Прокопий Егорович, рождения 1882 г., русский, житель Ербогачена. В 1908 г. проживал в деревне Мога. «В июне месяце я работал на строительстве амбара. Я видел летящий раскаленный шар с огненным хвостом. После его пролета на небе осталась голубая полоса. Когда этот огненный шар упал за горизонт на запад от Мога, то вскоре, примерно, минут через 10, услышал три выстрела, как из пушки. Выстрелы были один за другим, через одну—две секунды. Оттуда, куда упал метеорит, пошел дым, который продолжался недолго».

7. Боковинов Иннокентий Павлович, рождения 1888 г., русский, проживает в пос. Ербогачен. В 1908 г. жил в деревне Боковиной. «Видел, как огненный снап пролетал в направлении с юга-востока на северо-запад. Мне показалось, что он летел через деревню Верхне-Калинину и речку Мельничную, расположенную между деревнями Боковиной и Юрьевой. Огненный снап пролетел севернее деревни Боковиной, так как лицом я был обращен к северу, а метеорит пролетел справа налево».

8. Юрьев Николай Иванович, рождения 1894 г., русский, житель Ербогачена. В 1908 г. жил в местечке Сименга, что севернее Ербогачена на 200 км по прямой. «Утром я услышал звуки вроде как от взрыва взрывчатки. Звуки доносились с южной стороны, но немного на запад». Юрьев начертил схему, по которой определен азимут 195° — 200° .

9. Фарков Егор Семенович, 1896 года рождения, русский, проживает в пос. Ербогачен. В 1908 г. жил в деревне Лужки. «Когда увидел летящий огненный снап, то лицом был обращен на юг. Огонь летел слева направо в северо-западном направлении. Отец сказал: иди домой! Светопредставление! Мы забежали в избу, посидели минут пять, не больше, после чего началось землетрясение, закачались подвешенные предметы. Хорошо помню три взрыва, два первых были очень громкими, а третий слабее».

10. Фаркова Мария Силовна, рождения 1891 г., русская, жительница поселка Ербогачен. «В 1908 г. я жила в пос. Мога. Это произошло в ясное и тихое летнее утро. Сначала услышала шум. Стала смотреть и увидела летящий огненный снап. От него исходили три полосы, которые я хорошо запомнила: желтая, посиневшая и бордовая. Когда огненный снап скрылся за горизонтом, в западном направлении от деревни Мога, то вскоре слышались взрывы. Первые два звука были сильнее, а третий слабее, еще дожидались, но больше звуки не слышались. У метеорита нос был острее, клином».

11. Инешин Сергей Родионович, рождения 1892 г., житель Ербогачена, русский. В 1908 г. жил в пос. Непа. «Перед праздником Петров день утром я был на улице и видел, как пролетел огненный шар. В Непа много людей его видели, и все перепугались. Когда я увидел огненный шар, то лицом был на северо-восток. Огненный шар летел справа налево, пересекая Нижнюю Тунгуску севернее Непы и скрылся за горизонтом». По начерченной Инешиним С. Р. схеме определен азимут точки горизонта 330° .

12. Фарков Михаил Николаевич, рождения 1887 г., проживает в Ербогачене, русский. В 1908 г. жил в деревне Ерема. «Это было летним утром, примерно, в 10 часов. Я возил навоз. Погода была ясная, тихая. Сам метеорит я не видел, но три выстрела огромной силы слышал, и слышали другие жители Еремы. От этих выстрелов тряслось все. Люди на-

пугались. Звуки выстрелов доносились из места в западном направлении, но немного южнее деревни Еремы».

13. Фарков Гавриил Данилович, рождения 1895 г., житель Ербогачена, русский. «В 1908 году жил в деревне Лужки. Я не видел, как летел метеорит, а только слышал взрыв с западной стороны, откуда показалось зарево и поднялся дым. От трясения земли брякали стекла в рамах».

14. Верхотуров Иван Иванович, 1896 года рождения, русский, проживает в пос. Ербогачен. В 1908 г. жил в деревне Доткон, что на реке Непа в 20 км от села Непа. «Летом я возил навоз и увидел, как по небу быстро пролетел огненный снап. Лицом я был на север, а огненный снап летел справа налево в северо-западном направлении. Увидев этот огненный снап, мы бросились бежать домой. Минут через пять, не больше, услышал сильный стук, доносящийся с северной стороны, но немного на запад». По начертанной схеме определен азимут 320° .

15. Боковиков Иннокентий Андреевич, рождения 1896 г., русский, житель Ербогачена. «В 1908 г. я проживал в деревне Боковой. Я возил навоз и зашел в избу. Вдруг слышу, кричат: Горит, горит! Мы выскочили на крыльцо и я увидел, как по небу летело пламя огня. Лицом я был обращен на северо-восток, огонь летел справа налево, в северо-западном направлении. Мне показалось, что огонь пролетел над деревней Верхне-Калининой и упал западнее села Преображенки». По начертанной схеме определен азимут 335° .

16. Коненкин Иннокентий Дмитриевич, рождения 1893 г., родился и проживает в пос. Преображенка, русский. «Я хорошо помню, как летом 1908 г. через село Преображенку пролетел огненный шар и скрылся за горизонтом вон в том месте (определен азимут 300°). Хотя этот огонь пролетел очень быстро, но я успел разглядеть, что он круглый. Величиною показался с заряд сена. Весь раскаленный, а сзади летели искры. Когда огненный шар скрылся за горизонт, то через 2—3 минуты с той же стороны, куда упал шар, послышались взрывы, напоминающие пушечные выстрелы. Старые солдаты сказали: «Война!» Когда пролетел огненный шар, то не было слышно грохота и стекла не дрожали, а стекла стали дрожать только от взрывов. В то время в Преображенке проживал ссыльный по фамилии Шпиленко, которого называли астрономом. Он сказал, что упала планета».

17. Юрьев Капитон Егорович, рождения 1897 г., родился и проживает в пос. Преображенке, русский. «О метеорите я помню только то, что он действительно пролетел над Преображенкой с юго-восточной стороны и скрылся за горизонтом в северо-западном направлении». По начертанной схеме определен азимут точки горизонта, равный 300° .

18. Сафьянников Степан Иванович, рождения 1890 г., русский, родился и проживает в деревне Мога. «Я сидел в доме, окна которого обращены на запад. Утром солнце никак не могло бросать лучи в окна, а тут я увидел из среднего окна отблеск солнца. Вскоре затряслась земля, и послышались орудийные выстрелы. Взрывы послышались, примерно, через минуту или две после того, как блеснуло. Как взрывы получились, так и стали подниматься клубы дыма. Вон оттуда». Определен азимут 300° .

19. Сафьянникова Елена Ивановна, рождения 1898 г., жительница деревни Мога, эвенка. «В 1908 г. я жила ниже села Ербогачен в местечке Лаврушка, где в то время были одни эвенки. Я хорошо видела, как в южной стороне слева направо пролетел красный шар. После этого были слышны выстрелы. Все перепугались, старики эвенки оделись в лучшие одежды, готовясь умирать, но смерть не пришла».

20. Сафьянников Онуфрий Николаевич, рождения 1891 г., русский, родился и проживает в деревне Мога, где и находился в 1908 г. «В июне месяце ставили стропила для крыши дома. Вдруг видим, летит огненный

шар и скрылся за горизонтом вон в том месте (азимут 270°), на запад от деревни. Оттуда взметнулось вверх пламя, а вскоре, не более, чем через 10 минут, послышался взрыв, а затем и еще взрывы».

21. Сафьянников Николай Силыч, рождения 1888 г., русский, родился и проживает в деревне Мога. «В 1908 г. метеорит упал точно на запад. Когда он упал, оттуда показалось пламя и дым. Минуты через две—три послышались орудийные выстрелы, кажется, их было два. Земля тряслась».

22. Сафьянникова Евдокия Михайловна, рождения 1893 г., русская, родилась и проживает в деревне Мога. «Метеорит упал на западе от деревни Мога. Вскоре после того, как метеорит скрылся за горизонтом, послышались выстрелы, земля дрожала, стекла забрякали, чашки на столе и то забрякали».

23. Сафьянников Прокопий Михайлович, рождения 1895 г., русский, житель пос. Преображенка. «В 1908 г. мне было 13 лет. Я жил в деревне Мога и в июне месяце возил навоз. Сам я не видел, как пролетал метеорит, а услышал удары, посмотрел на запад и увидел дым, поднимающийся клубами от деревни Мога, почти точно на западе. От сотрясения земли даже закачался в избе котелок, подвешенный на гвоздь к стенке. Сколько ударов было, я не помню, но помню, что удары были не резкие, а глухие, протяжные».

24. Ярыгин Виталий Иванович, рождения 1900 года, русский, проживает в пос. Преображенка. «В 1908 г. я проживал в деревне Олонцово, в 35 км от г. Киренска вверх по Лене. Мы в этот день ехали на поле. Сначала слышали сильный грохот, так что кони остановились. Увидели на небе черноту, за этой чернотой огненные хвосты, а потом туман темного цвета. Солнце скрылось, наступила темнота. Из этой черноты пламя огня пролетело с юга на север.»

25. Воложин Иннокентий Митрофанович, рождения 1892 г., русский, родился и проживает в пос. Преображенке. «В июне месяце я возил навоз. Видел, как метеорит падал за горизонт (азимут 285°). С той стороны, куда упал метеорит, взметнулось пламя столбом на высоту не менее двух деревьев, после чего появился дым, который поднялся еще выше, чем пламя. Примерно, минут через 5—6, послышался сильный грохот, даже лошадь на колени упала. Земля затряслась, брякали стекла в окнах, брякала посуда в шкафах».

26. Грачев Герасим Борисович, рождения 1896 г., русский, родился и проживает в деревне Ерема. «Если стать лицом на юг, то метеорит пролетал слева направо, на северо-запад. После пролета этого огня были слышны три сильных взрыва».

27. Фарков Иннокентий Львович, рождения 1892 г., русский, родился и проживает в деревне Ереме. Он только слышал звуки, похожие на орудийные выстрелы. Считает, что взрывов было более трех. Направление, откуда доносились взрывы, равно азимуту 270° .

28. Жданов Егор Михайлович, рождения 1893 г., русский, родился и проживает в деревне Ждановой. Не видел пролета метеорита, но помнит, откуда слышал звуки взрывов (азимут 320°).

29. Верхотуров Павел Егорович, рождения 1892 г., русский, житель деревни Верхне-Калинина. «В 1908 г., проживал в деревне Федоровой, что в 8 км южнее Преображенки. Не видел, как по небу пролетал, а видел, как из-за горизонта выскочило пламя и появился дым вон с той стороны (по компасу определен азимут 285°). После этого земля вздрогнула и затряслась и было слышно два сильных выстрела, а третий послабее».

30. Бояршин Егор Конович, рождения 1879 г., эвенк, проживает в деревне Верхне-Калининой. Видел, как огненный снап пролетел южнее Ербогачена с востока на запад. Метеорит летел наклонно к земле. Тро-

стью показал угол наклона траектории метеорита, равный 20° — 25° . Если смотреть из Ербогачена, то метеорит упал западнее полдня за хребетик (азимут 205°). После падения были слышны два сильных взрыва, а третий немного послабее, а потом еще будто трещало что-то, но уже тише.

31. Коненкин Григорий Федорович, рождения 1889 г., эвенк, проживает в деревне Верхне-Калининой. «Летом 1908 г. жил на речке Мога у Герендауля. Я не видел, как летел огненный метеорит, но слышал взрывы, которые доносились с той стороны (азимут 300° от деревни В.-Калининой). Первый звук был очень сильный. Затем второй и третий. А потом звуки стали слабее. По речке Чайка в то время жили эвенки. Они рассказывали, что слышали сильный грохот, что тряслись их чумы».

32. Зырянов Николай Константинович, рождения 1895 г., русский, родился и проживает в пос. Преображенке. «В июне 1908 г. примерно, в 10 часов утра я с братом возил навоз на поле, и мы увидели летящий огненный снап круглой формы. От него раз в восемь длиннее головы был хорошо виден огненный хвост, который вначале был толстым, а потом сужался на конус. Он пролетел, по моему мнению, немного южнее и западнее Преображенки по направлению с юго-востока на северо-запад. Нам показалось, что он упал за тундрой на хребтике вон в том направлении (азимут 300°). Точно с той же стороны, куда упал этот огненный снап, примерно, через 10—15 минут послышались взрывы, как орудийные выстрелы. Сначала эти выстрелы были тихие, а потом послышались очень сильные».

33. Коненкина Надежда Алексеевна, рождения 1890 г., русская, родилась и проживает в пос. Преображенке. «Летом 1908 г. утром я вышла на крыльцо вот этого самого дома (откуда хорошо видны северо-западная, северная и северо-восточная стороны горизонта) и вижу, что за лес падает огромный огненный снап. Огонь был круглый, а сзади него искры. За искрами никакого дыма не оставалось. Когда упал этот огонь за горизонт, вон в том направлении (азимут 285°), то вышел как огонь столбом и поднялся дым («взялось с той стороны небо мороком»). Дым поднялся на высоту примерно пяти деревьев. Вскоре началось трясение земли и послышался огромной силы гром. Я сильно испугалась и от испуга долго болела. В Преображенке в то время жили ссыльные политические, они говорили, что упала планета».

34. Из письма Алкснис Дарьи Ивановны, рождения 1892 г., проживающей в г. Риге по улице Слонае, 76. «В селе Преображенке в июне месяце 1908 г. всем семейством мы окучивали картофель. Погода была тихая, ясная, теплая. Вдруг слышим сильный гул и грохот. Смотрим — над лесом в сторону амбарчиков (азимут 285°) летят большие раскаленные камни, и то место покрылось огненной полосой. После этого долгое время пахло гарью».

Основные геометрические данные, полученные нами в ходе опросных работ, были нанесены нами в 1962 г. на карту (см. рис. 1). Это позволило определить истинную траекторию полета Тунгусского тела, которая существенно отличается от траектории Е. Л. Кринова и тем более других, более ранних ее вариантов. Можно считать весьма вероятным, что метеорит летел с ВЮВ на ЗСЗ, причем азимут траектории оказывается близок к 300 градусам.

НОВЫЕ ОПРОСНЫЕ ДАННЫЕ О ПАДЕНИИ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА, ПОЛУЧЕННЫЕ В 1964 ГОДУ

Г. М. ИВАНОВА, Ю. А. ЛЬВОВ, А. Ф. КОВАЛЕВСКИЙ

Участник руководимой В. Я. Шишковым гидрологической экспедиции 1911 г. П. Н. Липай сообщил [1], что экспедиция, пересекая в конце сентября — начале октября междуречье Нижний Тунгуски — Катанги, наткнулась на обширную зону направленного вывала, отличавшегося своей массовостью и правильностью. По описанию П. Н. Липая, эта зона находилась километрах в 200 к востоку-юго-востоку от хорошо известного района, обнаруженного в свое время Л. А. Куликом.

Это сообщение, а также некоторые другие указания [2] заставили предполагать, что кроме известного места падения, имеется еще одно. К сожалению, о маршруте В. Я. Шишкова известны лишь его начало (Усть-Илимпея) и конец (Ванавара). Промежуточные этапы следования неизвестны.

В 1960 г. Комплексная самостоятельная экспедиция предприняла довольно обширные поиски «восточного вывала», проводя аэровизуальные наблюдения в районе предполагаемого повала, а также опросы местного населения [3]. К окончательному выводу авторы не пришли, но сочли «весьма вероятным, что отряд В. Я. Шишкова пересек в 1911 году район вывала, который в 1927 году был найден Л. А. Куликом. Возможно поэтому Восточный вывал, описанный Липаем, считать совпадающим с Куликовским». Тем не менее авторы считали необходимым дальнейшее изучение вопроса.

Летом 1964 г. две группы Комплексной самостоятельной экспедиции провели опросы населения по течению Нижней Тунгуски от поселка Юхта (8 км выше Усть-Илимпеи, ныне не существующей) до Туры и в Тунгуско-Чунском районе. Опросы касались как падения метеорита и связанных с этим явлений, так и возможного маршрута экспедиции В. Я. Шишкова.

При опросах населения на Нижней Тунгуске нам сообщили следующее.

1. Каплин Николай Васильевич, 64-х лет, эвенк, житель поселка Юхта, ранее (в 1908 г.), жил в Ербогачене. Полета метеорита он не видел, но рассказы в Ербогачене слышал. Направление полета указал рукой с востока на запад.

Н. В. Каплин указал, что раньше, вплоть до появления авиатранспорта, из Усть-Илимпеи, существовавшей до 1950 г., в Ванавару ходили по так называемой старой якутской дороге. Эта дорога (видимо, тропа)

идет из Усть-Илимпеи вдоль реки Илимпеи в верховья реки Яду и далее на Стрелку-Чуню.

2. Сафьянников, проживающий в Кислокане, 1893 года рождения, родился и долго жил в селе Соснино (верховья Нижней Тунгуски, км в 70 выше Непы), где и находился в 1908 г. Полет метеорита он не видел и, по его словам, никто в деревне не видел. Звуки слышал: «вроде бы как гром — не гром, но похоже». Впоследствии, лет 20—25 переехал в Непу, но не помнит, чтобы там кто-либо говорил на тему о метеорите.

3. Житель Туры, эвенк Каплин Николай Селифонтович, 84-х лет, родился и до 1928 г. жил в Ербогачене. Полета метеорита не видел и никто в Ербогачене, по его словам, не видел. Звуки слышались вроде грома в западном направлении (весьма приблизительно).

4. Салаткин Георгий Васильевич, 1905 года рождения, русский. Родился и жил в Аяне, затем Непе, Ербогачене, Туре. В Аяне и Непе, по его словам, слышали грохот, но полет метеорита никто не видел.

5. Павлов Степан Данилович, 1900 года рождения, русский, проживает в Туре. В 1908 г. жил в деревне Зеледеево (около Богучан). Полета метеорита он не видел, но слышал звуки. Видел, как на северо-востоке полыхнуло пламя. Никаких деталей за давностью лет не помнит.

6. Первый секретарь Эвенкийского окружкома партии В. Н. Увачан, хорошо знающий район и осведомленный об экспедиции В. Я. Шишкова, начертил нам на карте Красноярского края возможный маршрут экспедиции. Маршрут прошел через верховья реки Яду на Стрелку-Чуню. В разговоре В. Н. Увачан несколько раз подчеркнул, что Стрелку Шишков никак не мог миновать, что встреченный им вывал есть известный Куликовский вывал, а не какой-то иной.

Указав на карте места, где предположительно может находиться Восточный вывал (среднее и нижнее течение притоков реки Тетей, и бассейны реки Пульванонгны), В. Н. Увачан сообщил, что еще в отроческие годы он охотился в тех местах, хорошо их знает и никаких вывалов там нет. Кроме того, ему приходилось ходить из деревни Сосна в Ванавару. Путь проходил вдоль реки Тетей, через верховья Северной и Южной Чуни, верхнее течение Джелиндукона и на Ванавару. Вдоль этого пути никаких вывалов нет.

Опросные сведения, полученные от охотников-эвенков, проживающих в поселке Стрелка-Чуня, также весьма однозначно определяют возможный путь экспедиции В. Я. Шишкова. Джонкоуль Лаврентий Васильевич 61 года, Дмитриев Василий Николаевич, около 40 лет, и группа пожилых охотников, опрошенных в сельсовете, указали, что Шишков должен был проходить через Куликовский вывал. Здесь проходила «большая дорога», по которой издавна ходили на Катангу. Это один из основных караванных путей. По нашей просьбе В. Н. Дмитриев нарисовал схему рек и троп района и показал, по какой именно тропе можно было пройти из Усть-Илимпеи в Ванавару за 20 дней (приблизительное время следования В. Я. Шишкова), учитывая плохую погоду и глубокий снег. Путь этот проходил через Стрелку-Чуню, пересекал реку Хушму в районе вывала Кулика и далее шел на Ванавару.

Согласно лесной карте интересующего нас района, составленной по материалам аэрофотосъемки, единственное пятно молодого леса, которое может соответствовать Восточному вывалу, расположено в верховьях реки Сегочамбы — правого притока Тэтэре. По поводу этого участка молодого леса житель Ванавары Брюханов Александр Степанович, хорошо знающий Сегочамбу и соседние притоки Тэтэре, говорит, что вывала там нет, а молодой лес возник на месте старой гари. Эти сведения уточнил Кайначенок Максим Семенович, эвенк, житель Стрелки-Чуни. По его сло-

вам, пожар, охвативший верховья Сегочамбы и ручья Чувар, произошел в 1928 году. Во время пожара погибли его родственники.

Весьма интересные сведения, характеризующие Тунгусскую катастрофу, были получены при опросах многих жителей района.

7. Уже упоминавшийся выше Джонкоуль Л. В., отец которого имел в месте падения метеорита большое стадо оленей и два лабаза, рассказывал, что после катастрофы брат пошел проверять лабазы, но тут случился пожар. Один из лабазов, который находился между ручьями Чургимом и Хоем, сгорел. Пожар длился долго, день и ночь. Дядя Л. В. Джонкоуль в момент катастрофы находился к северу от места падения и слышал грохот. По его словам, было три удара: два коротких и один длинный протяжный.

8. Дмитриева Мария Васильевна, эвенка, возрастом 96 лет, проживающая в Стрелке-Чуне, отчетливо помнит события, связанные с катастрофой. По ее словам, в момент катастрофы стояли они стойбищем близко от устья Кимчу, но севернее самой реки. В стойбище было 6—7 больших берестяных чумов, в которых находилось около 50 человек. Погода в это утро была непогодливая, но утро серое, небо было затянуто высокими облаками. Ветра не было. Было раннее утро и многие еще спали, но некоторые уже встали и находились вне чумов. Почти одновременно затряслась земля, и сильный порыв ветра разворочил покрытия чумов. Одновременно же раздались несколько сильных звуков, отличающихся от грома, более протяжных и звонких (Быин-быин-быин-быин-быин). На вопрос: «Какое из явлений отметилось первым?», повторяет, что все было одновременно. Воздушной волной слегка оглушило людей, находившихся вне чума, и сорвало с нескольких чумов бересту, которую находившиеся снаружи люди пытались удержать руками. Однако некоторые из спавших в чумах не проснулись и ничего не слышали. После грома и вихря наступила тишина. Олени притихли у дымокуров и стояли не шевелясь.

Звуки и ветер пришли с юго-востока. После этого в том месте небо стало красным, как бывает красной заря, и эта краснота постепенно ушла на запад, где еще была видна некоторое время, как зарево. В направлении места взрыва не видели никакого столба огня или дыма, но все происходило высоко в небе, откуда шли звуки. После дополнительных вопросов М. В. Дмитриева повторила, что все произошло в стороне обеденного солнца, на высоте. Краснота в небе появилась после того, как они услышали звуки.

9. Андреева Екатерина Яковлевна, эвенка в возрасте 61—64-х лет, жительница Стрелки-Чуни. Взрыв помнит. Стояли они в верховьях Северной Чуни. Рано утром был большой взрыв, какого она никогда больше не слышала. Так же тряслась земля. Перед громом прошел ураган, вихрь, но не ронял чумов, не валил деревья. По рассказу отца, якобы в стороне, где теперь Ванавара, небо стало красным. Красный цвет исчез с громом.

10. Елкина Анна Яковлевна, эвенка 75 лет, проживающая в Ванаваре, сообщила следующее: «Стояли мы на Северной Чуне, километрах в 30—50 от Стрелки-Чуни на ручье Ананьякит. Утром рано, часов в 5 сильно гремело немного выше солнца. Высоко, высоко вверх. Все небо было красное и не только небо, все вокруг было красным — небо и земля. Затем сильный гром был, звук как колокола, как удары по железу. Гром был с полчаса. Когда начался гром, краснота в небе исчезла. Земля сильно тряслась, чум шатался. Ветра сильного не было, только гром, и земля тряслась».

11. Доонова Екатерина Степановна (из рода Джонкоуль), 58—60 лет, жительница Ванавары. Знает о катастрофе со слов близких родственни-

ков. «Во время катастрофы только все порушило, а пожара не было. Недалеко от места, где теперь дома Кулика, был лабаз, его повредило, разрушило крышу и все в лабазе погнило, и мука и другие припасы. В месте, где падал метеорит, наши олени были, около 1000 оленей. Все они убежали от грома и не нашли их потом нигде, и костей не нашли — не было. Искать оленей пошли в августе. Искали месяц и даже следа не нашли. Лабазы оказались поломаны, продукты испортились. Отец там был и братья, что еще видели — не знаю».

На вопрос о возможном пути с устья Илимпеи до Ванавары и Елкина А. Я., и Доонова Е. С. говорят, что основной путь в те времена с севера в Ванавару и вообще на Катангу проходил через реки Кимчу и Хушмо, то есть через центр района падения метеорита.

Проведенные в 1964 г. опросы старожил, помнящих события 1908 г., показали, что в настоящее время имеется большое количество людей, бывших очевидцами катастрофы. Мы уверены в необходимости продолжения опросной работы и считаем, что в ходе ее можно будет получить весьма ценные сведения по характеристике явлений, связанных с Тунгусским метеоритом.

ЛИТЕРАТУРА

1. И. С. Астапович. Впечатление первых европейцев о буреломе Тунгусского метеорита. Природа, № 5, 1948.

2. И. М. Суслов. К розыску большого метеорита 1908 года. Мирозведение, т. 16, № 1, 1927.

3. В. К. Журавлев, В. А. Кошелев, Н. В. Васильев. Поиски восточного вывала (К вопросу о гипотезе профессора Астаповича). Сб. «Проблема Тунгусского метеорита», Труды Томского отдела Географического общества СССР, Томск, 1963.

*Посвящается светлой памяти
МИХАИЛА БАКЛАНОВА
энтузиаста, исследователя, друга.*

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ТУНГУССКОГО ВЫВАЛА

В. Г. ФАСТ

В настоящее время в целом завершена полевая съемка вывала леса, произведенного ударной волной Тунгусского метеорита, на всей территории разрушений. Подробная сводка полученных материалов приведена в [1]. Ряд результатов их анализа опубликован в работах [2—4], а дальнейший анализ представляет большой интерес при построении вероятных физических интерпретаций.

Действие ударной волны на участок лесного массива

Как известно [5], деревья чувствительны, главным образом, к действию нагрузок торможения ударной волны, и вызываемые ею повреждения леса подобны повреждениям, которые причиняет деревьям ураган или сильный ветер. Это сходство хорошо видно, например, при сравнении современного состояния тунгусского вывала (рис. 1) с повалом леса в районе г. Трубчевска Брянской области после прохождения шквала в 1963 г.¹⁾ (рис. 2). Еще большее сходство мы заметим при сравнении рис. 2 с рис. 1, 2 и 5 в [7].

Нагрузка торможения зависит в основном от максимального аэродинамического давления и продолжительности его действия (рис. 3), т. е. продолжительности фазы сжатия.

1) 29 июня 1963 года после 15-минутного шквала здесь образовались полосы поваленного леса шириной до 6 и длиной до 20 км [6]. Замеренная в этих местах скорость ветра достигла 30 м/сек, однако, по предположениям она могла достигать 50 м/сек. Такая скорость не замерена из-за невозможности проведения наблюдений. Этот повал леса обследован автором летом 1964 года. При содействии общественности г. Трубчевска и особенно старшего инженера ЛПХ Н. Ф. Леонова удалось осмотреть большой район разрушения леса и заложить несколько пробных площадей по методике, применявшейся при обследовании тунгусского вывала. Получены следующие данные (обозначения те же, что и в [1], индекс внизу указывает номер пробы):

1) $n_1=248$, $A_1=60^\circ,5$, $s_1=12^\circ,3$, площадь пробы 0,25 га;

2) $n_2=94$, $A_2=57^\circ,0$, $s_2=19^\circ,8$, площадь не нормирована, но значительно меньше 0,25 га, кривая распределения двумодальная, с модами $A_m=45^\circ$ и 85° ;

3) $n_3=59$, $A_3=88^\circ$, $s_3=29^\circ$, площадь пробы еще меньше, кривая распределения имеет три моды $A_m=75^\circ$, 85° и 120° .

Из типов повреждений преобладают сломы (50—80%) на высоте 1 м и выше. Лес здесь — сосновый I бонитета, почвы песчаные, иногда заболоченные, корневая система — глубокая — до 2—3 м. Как и в случае тунгусского вывала здесь рядом со сплошным повалом деревьев стоят нетронутые рощи. К сожалению, количественное



Рис. 1. Фотография современного состояния тунгусского вывала.



Рис. 2. Повал леса в районе г. Трубчевска после урагана 29 июня 1963 г. (фотография М. А. Сорочинского).

Пусть $p_e = p_e(p, T)$ — некоторое эффективное давление, эквивалентное в смысле разрушений леса аэродинамическому давлению p , действующему в течение фазы сжатия $T = t_1 - t_0$ в фиксированной точке. Пусть далее, в результате действия силы $a = p_e \cdot S$, где S — характерная площадь кроны, на некоторое дерево, последнее повалилось в направлении α , вообще говоря, не совпадающем с направлением α_0 вектора a (рис. 4), что объясняется определенной несимметрией в строении кроны, корневой системы и возможными почвенными неоднородностями. Действие этих неоднородностей мы объединим в одном векторе $\tau(\xi, \eta)$, который можно трактовать как

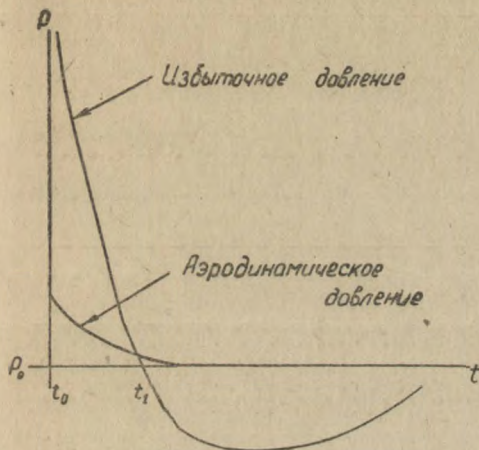


Рис. 3. p_0 — атмосферное давление, t_0 — момент прихода фронта ударной волны.

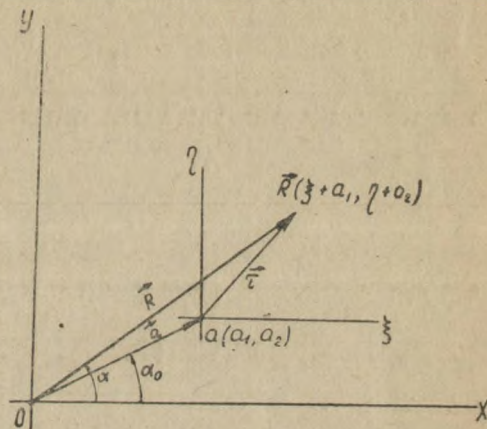


Рис. 4.

суммарный вектор помех, наложившихся на вектор $a(a_1, a_2)$. Он является случайным вектором, зависящим от выбора дерева. Вектор $R = a + \tau$ мы можем трактовать как результирующий вектор давления, под действием которого повалилось дерево. Имея в виду, что на одной пробной площади производится около сотни измерений, и пользуясь данными специальных экспериментальных работ К. А. Любарского [3], показавших независимость разрушающего усилия от направления повала и других условий, можно считать, что координаты (ξ, η) случайного вектора τ суть независимые случайные величины, распределенные нормально с нулевым вектором средних и дисперсией $\sigma_x^2 = \sigma_y^2 = \sigma_0^2$.

Для дальнейшего анализа действия ударной волны на отдельное дерево обратимся к рис. 5, на котором результирующая сила R разложена на составляющие R_x и R_z . Направления осей координат выбраны, как это принято в аэродинамике, и указаны на

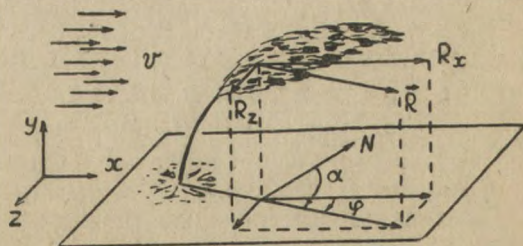


Рис. 5. Действие ударной волны на отдельное дерево. v — скорость движения воздуха за фронтом ударной волны.

сравнение с тунгусским вывалом затруднено в связи с различиями как в природных условиях, так и в длительности действия сильного ветра.

рис. 5 слева. Вектор $\mathbf{a}$ теперь параллелен направлению движения воздуха за фронтом ударной волны. В плоскости xz (рис. 5)

$$\xi = R_x - a, \quad \eta = R_z, \quad \varphi = \alpha - \alpha_0.$$

Здесь

$$R_x = \frac{1}{2} C_x \rho v^2 S_x \delta_x,$$

где ρ — плотность воздуха на большом расстоянии от фронта ударной волны, v — скорость воздуха за фронтом, S_x — характерная площадь кроны (миделя), δ_x — безразмерный фактор, учитывающий густоту насаждения (на необходимость его введения указал И. Т. Зоткин [3]), C_x — коэффициент сопротивления кроны. Аналогично

$$R_z = \frac{1}{2} C_z \rho v^2 S_z \delta_z,$$

где C_z — коэффициент боковой силы.

Если чертой над величиной обозначить ее математическое ожидание, то

$$\bar{R}_x = \frac{1}{2} \rho v^2 \overline{\delta_x C_x S_x},$$

а из соображений симметрии — $\bar{R}_z = 0$. Далее, дисперсия

$$\sigma_0^2 = D(R_x) = D(R_z) = \left(\frac{1}{2} \rho v^2 \right)^2 \overline{C_z^2 S_z^2 \delta_z^2},$$

откуда

$$\frac{\bar{R}_x}{\sqrt{D(R_x)}} = \frac{\bar{a}}{\sigma_0} = \frac{\overline{C_x S_x \delta_x}}{\sqrt{\overline{C_z^2 S_z^2 \delta_z^2}}} = \Lambda, \quad (1)$$

где Λ — безразмерная величина, физический смысл которой поясняется формулой (1) и $a = |\mathbf{a}|$. В задаче с Тунгусским метеоритом нас интересует определение величины $\bar{a}$. Соотношение (1) показывает, что $\bar{a} = \Lambda \sigma_0$. В дальнейшем мы покажем, что величина Λ может быть получена для пробной площади на основании только имеющегося материала по распределению направлений повала деревьев. Параметр σ_0 можно считать в среднем постоянным для лесных массивов рассматриваемого района и подлежащим экспериментальному определению. При большом a мы получим удобную асимптотическую формулу для Λ .

Распределение направлений повала деревьев и его асимптотическое представление

В зависимости от величины и направления вектора $\mathbf{a}$ (a_1, a_2) аэродинамического давления и случайного вектора $\boldsymbol{\tau}$ (ξ, η), ²⁾ плотность распределения которого имеет вид

$$p(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma_0^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_0^2}},$$

направление повала дерева примет значение

$$\alpha = \arcsin \frac{\eta + a_2}{\sqrt{(\xi + a_1)^2 + (\eta + a_2)^2}},$$

²⁾ Здесь и в дальнейшем для простоты положено $S=1$, в связи с чем векторы $\mathbf{a}$ и $\boldsymbol{\tau}$ можно рассматривать как векторы давления.

также являющееся случайной величиной. Для простоты мы будем в дальнейшем полагать, что $a_2 = 0$ и, соответственно, $a_1 = a$. Плотность распределения величины α можно найти следующим образом. Ее характеристическая функция определяется как

$$f(t) = Me^{it\alpha} = \int_{-\infty}^{\infty} e^{it\varphi} p(\varphi) d\varphi = \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\varphi} p(\varphi) d\varphi, \quad (2)$$

где $p(\varphi)$ — плотность распределения α , равная нулю при $\varphi < -\pi$ и $\varphi > \pi$. С другой стороны,

$$f(t) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \exp \left[it \arcsin \frac{y}{\sqrt{(x+a)^2 + y^2}} \right] \cdot \frac{1}{2\pi\sigma_0^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma_0^2}} dx dy,$$

или, полагая

$$x + a = \rho \cos \varphi, \quad y = \rho \sin \varphi,$$

получим

$$f(t) = \frac{1}{2\pi\sigma_0^2} e^{-\frac{a^2}{2\sigma_0^2}} \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\varphi} d\varphi \int_0^{\infty} \rho e^{-\frac{\rho^2 - 2a\rho \cos \varphi}{2\sigma_0^2}} d\rho. \quad (3)$$

Приравняв правые части соотношений (2) и (3), получим при произвольном t интегральное уравнение

$$\int_{-\pi}^{\pi} e^{it\varphi} p(\varphi) d\varphi = \frac{1}{2\pi\sigma_0^2} e^{-\frac{a^2}{2\sigma_0^2}} \int_{-\pi}^{\pi} e^{it\varphi} d\varphi \int_0^{\infty} \rho e^{-\frac{\rho^2 - 2a\rho \cos \varphi}{2\sigma_0^2}} d\rho \quad (4)$$

для нахождения неизвестной функции плотности распределения $p(\varphi)$. Если ввести новую неизвестную функцию $u(\varphi)$ соотношением

$$u(\varphi) = \begin{cases} p(\varphi) - \frac{1}{2\pi\sigma_0^2} e^{-\frac{a^2}{2\sigma_0^2}} \int_0^{\infty} \rho e^{-\frac{\rho^2 - 2a\rho \cos \varphi}{2\sigma_0^2}} d\rho & \text{при } -\pi \leq \varphi \leq \pi, \\ 0, & \text{при } |\varphi| > \pi, \end{cases} \quad (A)$$

то относительно неё интегральное уравнение (4) примет вид

$$\int_{-\infty}^{\infty} e^{it\varphi} u(\varphi) d\varphi = 0. \quad (B)$$

Его решение найдем следующим образом. Рассмотрим функцию

$$v(t) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{it\varphi} u(\varphi) d\varphi$$

как преобразование Фурье функции $u(\varphi)$. Тогда обратное преобразование Фурье примет вид

$$u(\varphi) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{it\varphi} v(t) dt. \quad (B)$$

Так как согласно (Б) $v(t) \equiv 0$, то из (В) следует, что и $u(\varphi) \equiv 0$. Поэтому

$$p(\varphi) = \begin{cases} \frac{1}{2\pi\sigma_0^2} e^{-\frac{a^2}{2\sigma_0^2}} \int_0^\infty \rho e^{-\frac{\rho^2 - 2a\rho\cos\varphi}{2\sigma_0^2}} d\rho & \text{при } -\pi \leq \varphi \leq \pi, \\ 0, & \text{при } |\varphi| > \pi. \end{cases} \quad (\Gamma)$$

Для вычисления интеграла в (Г) воспользуемся выражением (3.322.2) из [8], имеющим вид

$$\int_0^\infty e^{-\frac{x^2}{4\beta} - \gamma x} dx = \sqrt{\pi\beta} e^{\beta\gamma^2} [1 - \Phi(\gamma\sqrt{\beta})], \quad (\Delta)$$

где

$$\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$$

есть интеграл вероятности и $\operatorname{Re} \beta > 0$.

Дифференцируя обе части соотношения (Д) по параметру, находим, что при $\operatorname{Re} \beta > 0$

$$\int_0^\infty x e^{-\frac{x^2}{4\beta} - \gamma x} dx = 2\beta - 2\beta\gamma\sqrt{\pi\beta} e^{\beta\gamma^2} [1 - \Phi(\gamma\sqrt{\beta})]. \quad (\text{Е})$$

Полагая в (Е)

$$\beta = \frac{\sigma_0^2}{2}, \quad \gamma = -\frac{a}{\sigma_0^2} \cos \varphi,$$

получим

$$\int_0^\infty \rho e^{-\frac{\rho^2 - 2a\rho\cos\varphi}{2\sigma_0^2}} d\rho = \sigma_0^2 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{a}{\sigma_0} \cos \varphi e^{\frac{a^2}{2\sigma_0^2} \cos^2 \varphi} \left[1 + \Phi\left(\frac{a \cos \varphi}{\sqrt{2}\sigma_0}\right) \right].$$

Поэтому при $-\pi \leq \varphi \leq \pi$

$$p(\varphi) = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{a^2}{2\sigma_0^2}} \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \frac{a}{\sigma_0} \cos \varphi e^{\frac{a^2}{2\sigma_0^2} \cos^2 \varphi} \left[1 + \Phi\left(\frac{a \cos \varphi}{\sqrt{2}\sigma_0}\right) \right] \right\}$$

или

$$p(\varphi) = \frac{1}{2\pi} e^{-\frac{1}{2}\Lambda^2} \left\{ 1 + \sqrt{\frac{\pi}{2}} \Lambda \cos \varphi e^{\frac{1}{2}\Lambda^2 \cos^2 \varphi} \left[1 + \Phi\left(\frac{\Lambda \cos \varphi}{\sqrt{2}}\right) \right] \right\}, \quad (5)$$

где, напомним, $\Lambda = \frac{a}{\sigma_0}$ и

$$p(\varphi) = 0 \text{ для } |\varphi| > \pi. \quad (5')$$

³⁾ Полученное распределение (5—5') имеет рассматриваемая в статистической теории связи фаза узкополосных сигналов при наложении на них нормального шума [9]. Там же можно найти графики $p(\varphi)$ для различных Λ .

В общем случае для оценки параметра Λ можно применить метод максимального правдоподобия и находить Λ из соотношения

$$\frac{\partial \ln L}{\partial \Lambda} = 0, \quad (6)$$

где

$$L = L(A_1, A_2, \dots, A_n, \Lambda) = \prod_{\kappa=1}^n p(A_\kappa)$$

есть функция правдоподобия выборки $A_1, A_2, \dots, A_n$ направлений повала деревьев на рассматриваемой пробной площади. Уравнение (6) достаточно громоздко в вычислительном отношении и поэтому важно дать для него или для (5) достаточно простое асимптотическое соотношение. Естественно ожидать, что при большом Λ распределение $p(\varphi)$ приближенно нормально. Оказывается, имеет место

Теорема 1. Если при $\Lambda \rightarrow \infty$

$$\Lambda \varphi^2 \rightarrow 0, \quad (7)$$

то

$$\lim_{\Lambda \rightarrow \infty} \frac{p(\varphi)}{q(\varphi)} = 1, \quad (8)$$

где $p(\varphi)$ имеет вид (5—5') и

$$q(\varphi) = \frac{\Lambda}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2} \Lambda^2 \varphi^2}. \quad (9)$$

Действительно,

$$\begin{aligned} \lim_{\Lambda \rightarrow \infty} \frac{p(\varphi)}{q(\varphi)} &= \lim_{\Lambda \rightarrow \infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi} \Lambda} e^{-\frac{\Lambda}{2} (1-\varphi^2)} + \\ &+ \frac{1}{2} \lim_{\Lambda \rightarrow \infty} \cos \varphi \exp \left[-\frac{\Lambda^2}{2} (\sin^2 \varphi - \varphi^2) \right] \left[1 + \Phi \left(\frac{\Lambda \cos \varphi}{\sqrt{2}} \right) \right]. \end{aligned}$$

Так как при $|\varphi| \leq 1$ первый предел справа равен нулю и

$$\lim_{\Lambda \rightarrow \infty} \Phi \left(\frac{\Lambda}{\sqrt{2}} \cos \varphi \right) = 1,$$

то искомый предел равен

$$\lim_{\Lambda \rightarrow \infty} \cos \varphi \exp \left[-\frac{1}{2} \Lambda^2 (\sin^2 \varphi - \varphi^2) \right]. \quad (10)$$

Используя разложение $\sin \varphi$ в степенной ряд, находим

$$\sin^2 \varphi - \varphi^2 = O(\varphi^4)$$

и, следовательно,

$$-\frac{1}{2} \Lambda^2 (\sin^2 \varphi - \varphi^2) = -\frac{1}{2} \Lambda^2 O(\varphi^4) \rightarrow 0 \quad (11)$$

при $\Lambda \rightarrow \infty$ и $\Lambda \varphi^2 \rightarrow 0$. Из (10) и (11) получаем (8).

Условие (7) доказанной теоремы создает впечатление, что при большом Λ распределение $p(\varphi)$ можно заменять нормальным лишь локально. Однако легко показать, что $p(\varphi)$ можно приближать функцией $q(\varphi)$ всюду. Именно, имеет место

Теорема 2. $\lim_{\Lambda \rightarrow \infty} [p(\varphi) - q(\varphi)] = 0$.

Доказательство. Пусть $\varepsilon > 0$ произвольно. Согласно теореме 1 для любого $\delta > 0$ существует такое $\Lambda_0 > 0$, что при $\Lambda > \Lambda_0$ и $|\varphi| < \varphi_0 = \sqrt{\frac{\delta}{\Lambda_0}}$ (то есть $\Lambda\varphi^2 < \delta$)

$$|p(\varphi) - q(\varphi)| < \varepsilon. \quad (12)$$

Далее, пусть Λ_0 столь велико, что $p(\pm\varphi_0) < \varepsilon$ и $q(\pm\varphi_0) < \varepsilon$. Тогда (12) выполнено и для $|\varphi| \geq \varphi_0$. Теорема доказана.

Дисперсия σ^2 предельного нормального распределения (9) величины α имеет вид

$$\sigma^2 = \frac{1}{\Lambda^2} = \frac{\sigma_0^2}{a^2}. \quad (13)$$

Ее несмещенной оценкой (соотношение (6) в этом случае дает лишь асимптотически несмещенную оценку) является

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (A_i - \bar{A})^2, \quad (13')$$

где n — количество деревьев, поваленных на рассматриваемой пробной площади по азимутам A_i , $i = 1, 2, \dots, n$, и

$$\bar{A} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n A_i. \text{ Поэтому}$$

$$a \approx \frac{\sigma_0}{s}, \quad (14)$$

то есть аэродинамическое давление обратно пропорционально стандартному отклонению направлений повала деревьев от среднего.

Дальше возникает вопрос: в каких пределах мы вправе пользоваться нормальным распределением (9) и тем самым утверждать, что имеет место соотношение (14)?

Пусть $\sigma = \frac{1}{\Lambda}$ и

$$\delta(\varphi) = \delta(k\sigma) = \frac{1}{\Lambda} p(k\sigma) - \frac{1}{\Lambda} q(k\sigma) = \frac{1}{\Lambda} p(k\sigma) - \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{k^2}{2}}.$$

В табл. 1 приведены $\delta(k\sigma)$, рассчитанные при двух значениях σ : $\sigma_1 = 16^\circ (0,279252)$ и $\sigma_2 = 22^\circ 30' \left(\frac{\pi}{8}\right)$, что соответствует двум значениям Λ : $\Lambda_1 = 3,58085$ и $\Lambda_2 = 2,54348$. Промежуточные вычисления проведены с семью значащими цифрами. Из табл. 1 видно, что при $\sigma \leq 16^\circ$ суммарная ошибка не превышает 2,5% и утверждение (14)

Таблица 1

$\sigma \backslash k$	0	1	2	3	4	$\sum_{k=-4}^4 \delta(k\sigma) $
$16^\circ (0,279\dots)$	0,0000	-0,0064	0,0019	0,0033	0,0009	0,0250
$22^\circ 30' \left(\frac{\pi}{8}\right)$	-0,0006	0,0337	0,0022	0,0060	0,0023	0,0890

вполне правомерно. Но при значении σ около $22^\circ 30'$ суммарная погрешность может достигать 8—9%. Таким образом, область применимости нормального распределения и соотношения (14) достаточно широка и охватывает все наиболее достоверные статистические данные по вывалу леса, за исключением данных, относящихся к центральной части и далекой периферии.

Интерполяция и сглаживание

При анализе двумерных полей статистических параметров разрушений возникает следующая задача. В некоторой области D задана нерегулярная сеть точек (x_i, y_i) , $i = 1, 2, \dots, N$, в каждой из которых эмпирически (то есть с некоторой ошибкой) определено значение $f_0 = f_0(x_i, y_i)$ некоторой величины $f = f(x, y)$. Требуется найти функцию $\hat{f}(x, y)$, которая в некотором смысле наилучшим образом приблизит неизвестную нам функцию $f(x, y)$, уменьшив при этом роль больших ошибок и отфильтровав высокочастотные и, следовательно, слабокоррелированные друг с другом возмущения. Для решения такого рода задач при предположении изотропности и однородности полей Л. С. Гандин [10] разработал метод оптимальной интерполяции, математическая сторона которого восходит к работам А. Н. Колмогорова и Н. Винера. Согласно [10] значение функции в некоторой точке определяется как линейная комбинация ее значений в других точках с коэффициентами (весами), для определения которых требуется вычисление корреляционных функций. Недостатком этого метода является большая трудоемкость в вычислительном отношении.

Нами применен следующий метод интерполяции со сглаживанием, который очень прост в осуществлении и в то же время дает точность, достаточную для определения некоторых принципиальных свойств параметров разрушений. Область значений $[a, b]$ параметра f разбивается на n частей точками $z_0 = a, z_1, z_2, \dots, z_n = b$ и рассматривается n цветов, перенумерованных, скажем, в порядке спектра. Достаточно малая окрестность точки (x_i, y_i) красится в n -й цвет, если измеренное значение $f_0(x_i, y_i)$ окажется заключенным в отрезке (z_{k-1}, z_k) . После окрашивания малых окрестностей всех точек окрашиваемые области постепенно расширяются до соединения с одинаковыми или смежными цветами, то есть до соприкосновения k -го цвета с $(k-1)$ -ым, k -ым или $(k+1)$ -ым. Если по отрезку, соединяющему две точки (x_i, y_i) и (x_j, y_j) , встречаются k -й и m -й цвета с $|k-m| > 1$, то между ними должны пройти цвета с промежуточными номерами в порядке их убывания или возрастания. При закрашивании в различные цвета отрезок делится на равные части по количеству цветов, что соответствует линейной интерполяции¹⁾. При такой комбинированной графической интерполяции со сглаживанием сразу получаются изолинии параметра $f = z_k$, $k = 1, 2, \dots, n$, в виде границ между цветами. Для точки (x, y) внутри треугольника (x_r, y_r) , (x_s, y_s) , (x_t, y_t) значение $\hat{f}(x, y)$ определяется уравнением

$$\begin{vmatrix} x - x_r & y - y_r & \hat{f}(x, y) - f_0(x_r, y_r) \\ x_s - x_r & y_s - y_r & f_0(x_s, y_s) - f_0(x_r, y_r) \\ x_t - x_r & y_t - y_r & f_0(x_t, y_t) - f_0(x_r, y_r) \end{vmatrix} = 0.$$

Приводимые ниже картины сглаженных параметров получены именно таким образом. Основным недостатком рассматриваемого метода яв-

¹⁾ Этому и последующему предписанию можно следовать лишь в точках, где предполагается непрерывность рассматриваемого параметра.

ляется неполное отфильтровывание высокочастотных возмущений. Кроме того, при практическом проведении сглаживания раскрашиванием обычно остается некоторый произвол, а потому имеется и незначительный субъективизм.

Поле направлений повала деревьев и его интегрирование

Поле средних направлений повала деревьев в точках расположения пробных площадей по экспедиционным данным к концу 1961 г. неоднократно опубликовалось (см., например, [3]). На основе имеющегося в настоящее время материала [1] можно существенно пополнить это поле и с большой точностью находить расчетные сглаженные (скользящим усреднением) значения направления и их стандартные отклонения для произвольной точки (x, y) .

Если, например, объединить данные пробных площадей, попадающих в квадрат размерами 4×4 км² с центром в выбранной точке (x, y) , то на основании имеющихся здесь нескольких сот измерений удастся практически получить расчетные (проинтерполированные) направления и их стандартные отклонения от расчетных с погрешностями в $0^\circ,1-0^\circ,8$. То есть данных в [1] вполне достаточно для проведения довольно точных расчетов. Однако, ввиду их трудоемкости для получения общей картины направлений повала применен изложенный выше метод графической линейной интерполяции. Полученные таким образом линии равных средних направлений повала деревьев — изоклины — изображены на рис. 6. Изоклины проведены здесь для направлений поля $0^\circ, 15^\circ, 30^\circ, \dots, 345^\circ$. Уже при первом взгляде на эту картину замечается некоторая симметрия около оси, проходящей через особую точку (x_0, y_0) , по направлению ВЮВ, в искривлении изоклин. Для более точного определения оси симметрии¹⁾ найдем средние кривизны изоклин

$$\bar{k} = \frac{\alpha_2 - \alpha_1}{l},$$

где α_1 и α_2 — направления касательных, соответственно, в начале и конце изоклины, а l — длина изоклины. График зависимости средней кривизны $\bar{k}$ изоклины от среднего направления изображен на рис. 7. Если считать, что средняя погрешность в определении $\alpha_1-\alpha_2$ равна 4° , а в определении $\bar{k}-1$ км, то средняя абсолютная погрешность $\varepsilon_{\bar{k}}$ в определении $\bar{k}$, оказывается равной

$$\varepsilon_{\bar{k}} = \frac{|\bar{l}\varepsilon_{(\alpha_2-\alpha_1)}| + |(\alpha_2 - \alpha_1)\varepsilon_l|}{l^2} = 0,15 \frac{\text{град}}{\text{км}},$$

где ε_l означает среднюю абсолютную погрешность величины l , а черта над величиной означает ее среднее значение. Средняя кривизна изоклины несколько раз меняет знак, однако, наибольшие колебания она осуществляет около направлений $115^\circ \pm 2^\circ$ и $335^\circ \pm 2^\circ$. При этом среднее средних кривизн изоклин существенно положительно:

$$K = \frac{1}{24} \sum_{i=1}^{24} \bar{k}_i = (0,12 \pm 0,03) \frac{\text{град}}{\text{км}}, \quad (15)$$

где погрешность определена как $\varepsilon_K = \frac{\varepsilon_{\bar{k}}}{\sqrt{24}}$.

¹⁾ Здесь, безусловно, речь идет лишь о приближенно-осевой симметрии, причем в рассматриваемом случае следовало бы более строго говорить о «луче симметрии».

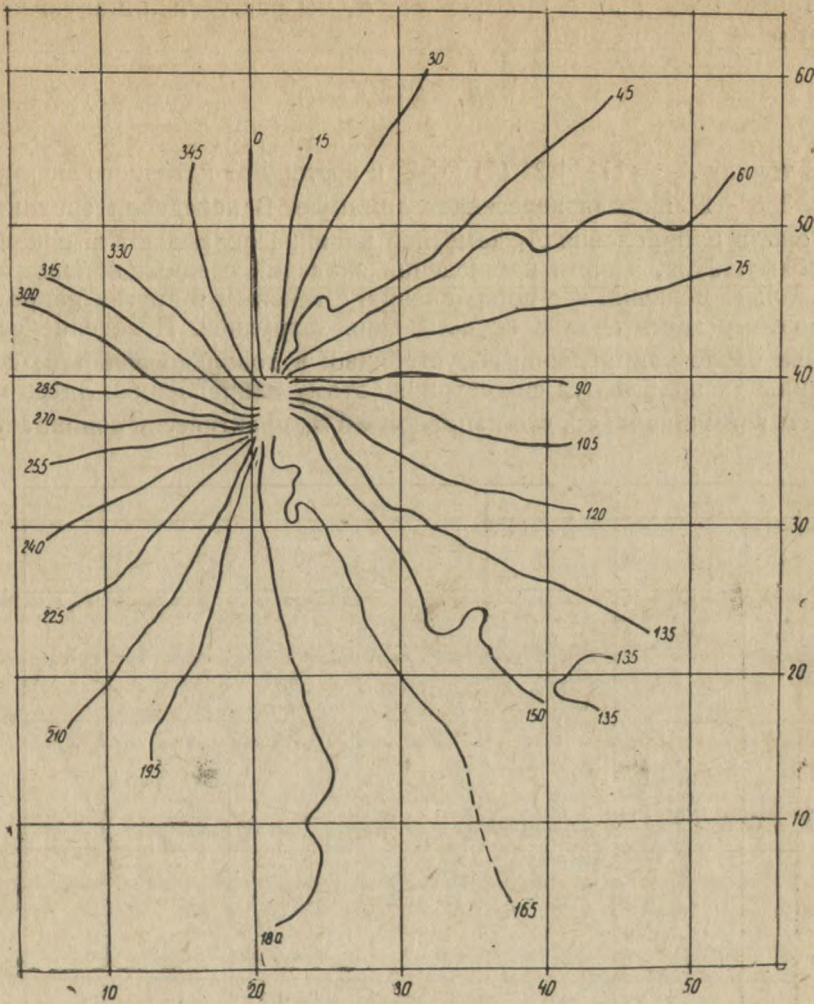


Рис. 6. Изоклины.

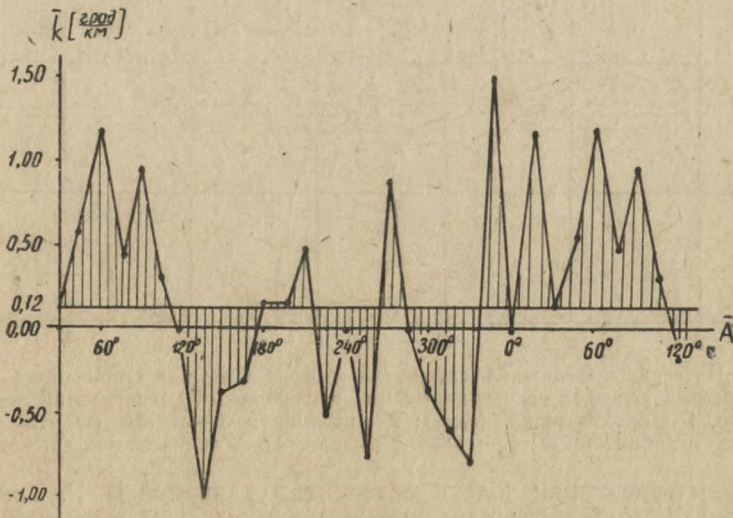


Рис. 7. Зависимость средней кривизны изоклины от среднего направления повала деревьев.

Проведя на рис. 7 прямую $\bar{k}=K$, мы рассечем ломаную $\bar{k}=\bar{k}(\bar{A})$ так, что

$$\int_0^{2\pi} (\bar{k} - K) d\bar{A} = 0.$$

В точках $\bar{A}_0 = 111^\circ \pm 2^\circ$ ($115^\circ \pm 2^\circ$ к востоку от истинного меридиана) и $\bar{A}_1 = 338^\circ \pm 2^\circ$ прямая пересекает ломаную. В поведении средних кривизн около направления A_1 заметное влияние оказывают высокочастотные возмущения, а сами наблюдения значений средних кривизн имеют значительно меньший вес по сравнению с таковым в других направлениях. Поэтому здесь анализ их поведения затруднен. Поведение средних кривизн около направления $\bar{A}_0$ устойчиво: в довольно широком секторе изоклины располагаются симметрично этому направлению. Здесь мы обращаем внимание на то, что направление $\bar{A}_0$ практически совпадает с на-

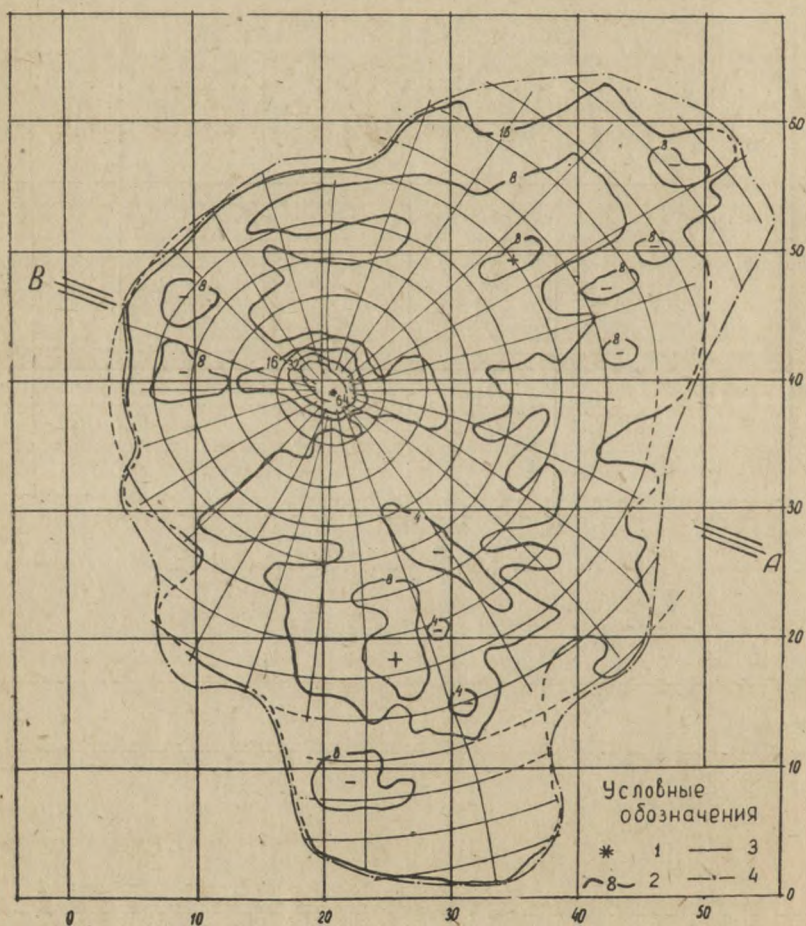


Рис. 8. Интегральные линии и замкнутые изогональные траектории поля направлений повала деревьев со стандартными отклонениями направлений повала от среднего. 1 — особая точка (x_0, y_0) ; 2 — изогонии; 3 — линии фронта ударной волны и линии «тока»; 4 — граница вывала; АВ — линия осевой симметрии.

правлением траектории полета метеорита, указанной В. Г. Коненкиным по собранным им новым показаниям очевидцев [11] и подтвержденной

детальным анализом И. Т. Зоткина [12]. На некоторую симметрию в поле средних направлений повала деревьев первым обратил внимание А. В. Золотов [13].

С помощью поля средних направлений и изоклин (рис. 6.), позволивших сгустить это поле, построены графически интегральные кривые дифференциального уравнения

$$\frac{dy}{dx} = \operatorname{tg} \hat{A}(x, y), \quad (16)$$

где $\hat{A}(x, y)$ — сглаженно-проинтерполированная вышеизложенным методом эмпирическая функция $A(x_i, y_i)$. Они изображены на рис. 8 в виде радиально расходящихся слегка искривленных линий. Физически их можно интерпретировать как линии «тока» или, вернее, траектории движения точки фронта ударной волны. Симметрия около направления $\bar{A}_0 = 111^\circ$, о которой шла речь выше, очевидно имеет место и для линий тока: их средняя кривизна также меняет здесь знак. На основании этого факта Д. Ф. Анфиногенов [14] рассчитывает наклон траектории движения метеорита к горизонту, полагая, что отклонение действия ударной волны от радиального вызвано только наклоном и формой эквивалентного заряда.

Рассмотрим теперь несколько детальнее поле

$$\alpha(x, y) = \bar{A}(x, y) - \arcsin \frac{y - y_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}}$$

отклонений средних направлений $\bar{A}(x, y)$ повала деревьев от радиальных направлений $\arcsin \frac{y - y_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}}$, где (x_0, y_0) — координаты особой точки уравнения (16), охарактеризованной ниже. Пусть $\hat{\alpha}(x, y)$ — функция, полученная сглаживанием поля $\alpha(x, y)$ описанным выше методом. Приблизительно можно считать

$$\hat{\alpha}(x, y) = \hat{A}(x, y) - \arcsin \frac{y - y_0}{\sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}}.$$

Из рис. 9, где изображены изолинии функции $\hat{\alpha}(x, y)$, видно, что в области вывала в целом преобладают направления повала отклоненные вправо от радиального по ходу ударной волны. С помощью рис. 9 легко подсчитать циркуляцию $C_l(A^\circ)$ поля единичных векторов $A^\circ(x, y)$, имеющих направление $\hat{A}(x, y)$ вдоль любого замкнутого контура (l) по формуле

$$C_l(A^\circ) = \oint_{(l)} A_l^0(x, y) dl, \quad (17)$$

где $A_l^0(x, y)$ — проекция вектора $A^\circ(x, y)$ на направление кривой (l) в точке (x, y) . Пусть (l) — окружность радиуса R с центром в точке (x_0, y_0) . Тогда $A_l^0(x, y) = \sin \hat{\alpha}(x, y)$ и, следовательно,

$$C_l(A^\circ) = C_l(A^\circ, R) = \oint_{(l)} \sin \hat{\alpha}(x, y) dl. \quad (18)$$

Так как $\hat{\alpha}$ мало, то

$$C_l(A^\circ, R) = \oint_{(l)} \hat{\alpha} dl. \quad (18')$$

Непосредственный подсчет показывает, что

$$\oint \hat{\alpha} dl > 0$$

для всех имеющих смысл R ($R \leq 16$ км). При этом среднее отклонение $\bar{\alpha}$ направлений повала от радиального направления (в градусах) для точек окружности (l) можно найти из

$$\bar{\alpha} = \frac{57^{\circ}, 30}{2\pi R} C_l(A^{\circ}, R)$$

и для различных R приведено на рис. 10. Найденная по методу наи-

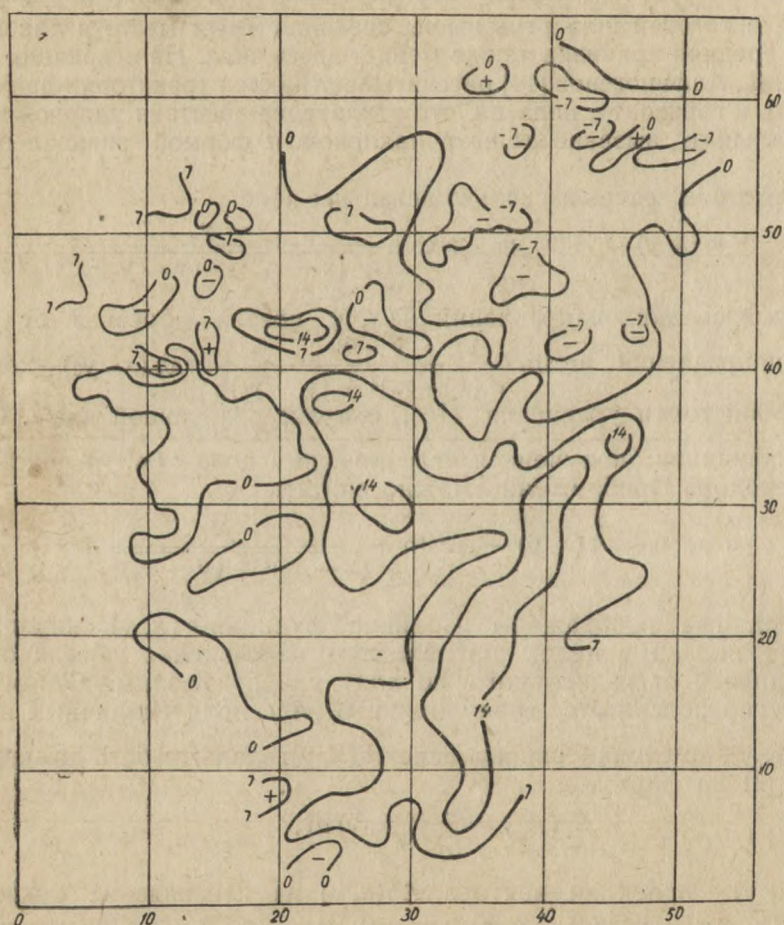


Рис. 9. Отклонения средних направлений повала деревьев от радиального.

меньших квадратов прямая, приближающая экстремальные значения, имеет вид

$$\alpha = a + bx = 4,56 - 0,158 x,$$

где параметр $a=4,56$ имеет размерность [град], параметр $b=-0,158$ —

размерность $\left[\frac{\text{град}}{\text{км}} \right]$ и x — размерность [км]. 90%-ные доверительные интервалы $I_a, I_b, I_{\bar{\alpha}}$ для a, b и $\bar{\alpha}$ имеют вид

$$I_a = [1^\circ, 0; 8^\circ, 1], \quad I_b = \left[-0,50 \frac{\text{град}}{\text{км}}; 0,21 \frac{\text{град}}{\text{км}} \right],$$

$$I_{\bar{\alpha}} = [2^\circ, 7; 3^\circ, 9].$$

Таким образом, для расстояний $R \leq 16$ км от точки (x_0, y_0) направление повала в среднем отклонено от радиального на $3^\circ,3$ вправо, имея тенденцию (недостовверную, так как интервал I_b заходит в положительную область) к убыванию. Среднее значение отклонений от радиального, рассчитанное для всей площади вывала, имеет значение $3^\circ,2$. Фактически влияние эффекта положительности циркуляции (18) было нами замечено уже выше при анализе средней кривизны изоклин (рис. 7) и учтено при выявлении осевой симметрии поля $A(x, y)$. Циркуляция

$$C_l(\bar{A}, R, \sigma) = \sigma_0 \oint_{(l)} \frac{\sin \hat{\alpha}(x, y)}{\hat{\sigma}(x, y)} dl \approx \sigma_0 \oint_{(l)} \frac{\hat{\alpha}}{\hat{\sigma}} dl$$

имеет смысл работы, произведенной ударной волной вдоль контура (l) .

Определенный интерес представляет нахождение в плоскости земли линии фронта ударной волны в фиксированный момент времени. Из наличия ненулевой циркуляции вектора A° следует, что в общем направлении фронта не ортогонально направлению действия ударной волны. Наиболее простым относительно угла между этими направлениями является предположение, что каждая линия фронта есть замкнутая изогональная траектория семейства решений уравнения (16). Для расстояний 4—16 км удалось получить замкнутые изогональные траектории для поля направлений $\hat{A}(x, y) + 86,4$, что соответствует среднему отклонению от радиального направления в $3^\circ,6$ (рис. 8). На более далеких расстояниях их не удастся замкнуть, так как в северо-западном направлении вывал леса прекращается.

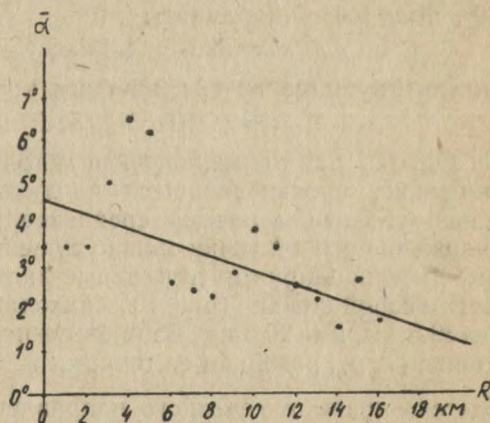


Рис. 10. Среднее отклонение $\bar{\alpha}$ направлений повала от радиального для различных расстояний R от особой точки (x_0, y_0) .

Особая точка поля направлений повала деревьев

Из рис. 8 видно, что в окрестности точки $x = 40,0$ км, $y = 20,0$ км уравнение (16) имеет особую точку. Здесь ударная волна впервые достигла земной поверхности. Далее точка фронта двигалась вдоль интегральных линий, а фронт в фиксированные моменты времени имел форму замкнутых кривых, для которых особая точка есть центр. Поле направле-

ний $A(x_k, y_k)$ приобретает в окрестности особой точки полную неопределенность, а погрешность сглаженного поля $\hat{A}(x, y)$ резко возрастает.

Координаты особой точки (центр радиации поваленных деревьев, фигурировавший под названием «эпицентра») нами неоднократно определялись [2, 3] на различных стадиях сбора фактического материала. В работах [2, 3] «эпицентром» взрыва Тунгусского метеорита предложено условно называть точку (x', y') , для которой $x' = x + \Delta x$, $y' = y + \Delta y$

$$\sum_k p_k v_k^2 = \min, \quad (19)$$

где

$$v_k = -\frac{\sin \bar{A}_k}{r_k} \Delta x + \frac{\cos \bar{A}_k}{r_k} \Delta y - \sin(\alpha_k - \bar{A}_k), \quad \kappa = 1, 2, \dots, N,$$

A_k — средний азимут повала деревьев на κ -й пробной площади, координаты которой (x_k, y_k) ,

$$\alpha_k = \arctg \frac{y_k - y}{x_k - x},$$

(x, y) — координаты предполагаемого «эпицентра»

$$p_k = \frac{n_k}{s_k^2},$$

n_k — число учтенных стволов на κ -й пробной площади, s_k — стандартное отклонение (13) их азимутов. При использовании данных по всей площади вывала [3] для точки (x', y') , удовлетворяющей условию (19), получены координаты

$$x' = 39,8 \pm 4,3 \text{ км}, \quad y' = 18,9 \pm 6,0 \text{ км}, \quad (20)$$

соответствующие географическим координатам

$$\lambda = 101^\circ 51', \quad 5; \quad \varphi = 60^\circ 53', \quad 5.$$

Однако при применявшейся методике расчета большую роль играли измерения, производившиеся на далеких расстояниях. Они особенно сильно увеличили размер среднеквадратического эллипса отклонений. Положение особой точки можно существенно уточнить следующим образом. Экстраполируя интегральные линии уравнения (16) внутрь окрестности особой точки (рис. 8), находим приближенно ее координаты $x = 39,5$ км, $y = 20,5$ км. Взяв окружность, радиуса $R = 2,5$ км с центром в точке (x, y) , разобьем ее точками $\alpha_k = k \cdot 15^\circ$, $k = 1, 2, \dots, 24$, где отсчет ведется вправо от северного направления. Направление $\hat{A}_k$ поля в точках (R, α_k) легко получить интерполяцией. Соответствующие данные (в градусах) приведены в таблице 2.

Таблица 2

α_k	15	30	45	60	75	90	105	120
$\hat{A}_k$	16,2	28,2	39,6	52,8	68,4	87,0	104,0	114,0
α_k	135	150	165	180	195	210	225	240
$\hat{A}_k$	136,2	165,0	171,2	194,0	210,0	224,0	232,0	241,0
α_k	255	270	285	300	315	330	345	360
$\hat{A}_k$	258,2	274,0	295,0	308,0	318,0	330,0	348,0	358,0

С помощью метода наименьших квадратов [2] найдем точку $x_0 = x + \Delta x$, $y_0 = y + \Delta y$, для которой выполнено условие (19), где $p_k = 1$ и

$$v_k = -\frac{\sin \hat{A}_k}{R} \Delta x + \frac{\cos \hat{A}_k}{R} \Delta y - \sin(\alpha_k - \hat{A}_k), \quad k = 1, 2, \dots, 24.$$

Оказывается

$$x_0 = 39,2 \text{ км}, \quad y_0 = 20,7 \text{ км}. \quad (21)$$

При этом среднеквадратические погрешности координат x_0 , y_0 оказываются, соответственно, равными $m_x = m_y = 0,2 \text{ км}$.

Ее географические координаты

$$\lambda = 101^\circ 53' 40'' \pm 13'', \quad \varphi = 60^\circ 53' 09'' \pm 6''.$$

В рассматриваемой нами системе координат рассчитанный Г. М. Зенкиным [15] «эпицентр» излучения имеет координаты

$$x'' = 38,6 \pm 0,3 \text{ км}, \quad y'' = 22,1 \pm 0,4 \text{ км}. \quad (22)$$

Интересно отметить, что все три особые точки (20), (21) и (22) практически находятся на одной прямой, совпадающей с прямой направления $\bar{A}_0 = 111^\circ$, являющейся в указанном выше смысле осью симметрии направлений повала. Возможно, что этот факт также обусловлен расположением траектории движения метеорного тела.

Изостандарты и другие параметры разрушений леса

Как показано выше, важнейшим параметром, характеризующим аэродинамическое давление, является стандартное отклонение s , определяемое соотношением (13'). На рис. 8 изображены изостандартные линии (линии, для которых $\hat{s} = \text{const}$), полученные вышеизложенным методом.

Согласно (14) при небольших s их можно рассматривать и как изодинамы, то есть линии равных напоров. Окрестность точки (x_0, y_0) определяемой равенствами (21), представляет собой зону телеграфного леса и хаотического повала, в которой, согласно [3], стандартное отклонение s может достигать значения $s_0 = 103,9$. Напомним, что в этом случае неправомерно использование (14) и разумные оценки для аэродинамического напора получаются из (1) и (6). Согласно [3, 4] сложилось впечатление, что изостандарты образуют замкнутые линии, для которых точка (21) является центром. Однако оно подтвердилось лишь в окрестности точки (21) до радиусов в несколько километров, пока s не достигает значения в 16° , то есть пока аэродинамический напор не превышает σ_0 (среднеквадратическое отклонение компоненты вектора помех $\vec{\tau}$). На более далеких расстояниях проходят изостандартные линии $\hat{s} = 8^\circ$ и $\hat{s} = 4^\circ$, не охватывающие точку (21). Более того, в дальнейшем изостандарты уже не обнаруживают какой-либо центральной симметрии, а тоже располагаются симметрично около оси АВ (рис. 8), выявленной при анализе поля направлений, образуя в северо-восточном и юго-восточном направлениях два далеких выступа. В этих направлениях ударная волна произвела разрушения на особенно далекие расстояния, а зона максимальных разрушений достигает по радиусам длины в 23—24 км.

Общая площадь области вывала леса занимает 2150 ± 50 кв. км. Граница вывала леса обычно достаточно точно определяется на местно-

сти наземными маршрутами и прослежена практически почти во всех направлениях (рис. 8).

Определенный интерес представляет плотность распределения старых живых деревьев, переживших катастрофу 1908 года (рис. 11). Особенно обращает внимание на себя несимметрия распределения в различных направлениях. Так в направлении ЗСЗ от точки (21) первая изолиния встречается на расстоянии в 3—5 раза более близком, чем в направлениях наиболее интенсивных разрушений. На местности это выражается

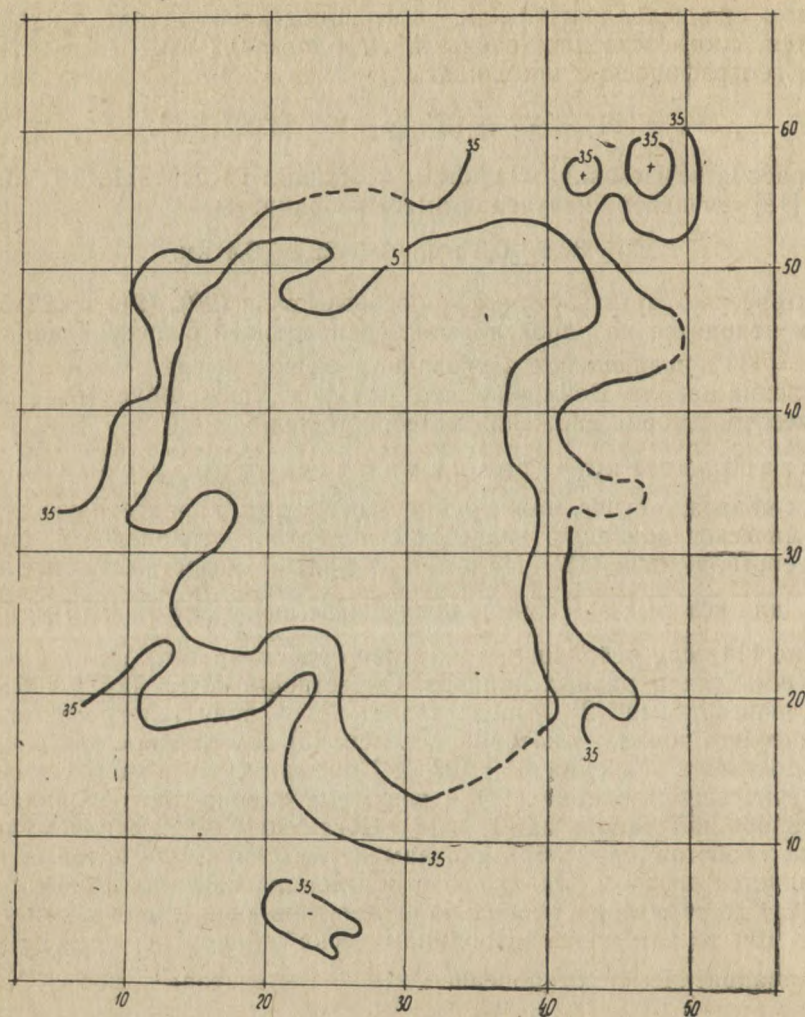


Рис. 11. Плотность распределения старых деревьев, переживших катастрофу 1908 года (выражена в количестве живых деревьев на 0,25 га).

в том, что уже в нескольких километрах к западу от точки (21) с вершин холмов легко прослеживаются большие рощи старых деревьев. Ничего подобного нет в секторе СВ—В—ЮЮВ.

Рис. 12 изображает плотность распределения стоящих мертвых деревьев и подтверждает известное положение о том, что в центральной части много стоячего мертвого леса, в то время, как на периферии почти

весь лес повален с регулярной ориентировкой. Увеличение количества столбов в некоторых периферийных районах (например, ЮЗ) скорее всего связано со старыми гарями. Обращает внимание симметричность картины около направления A_0 .

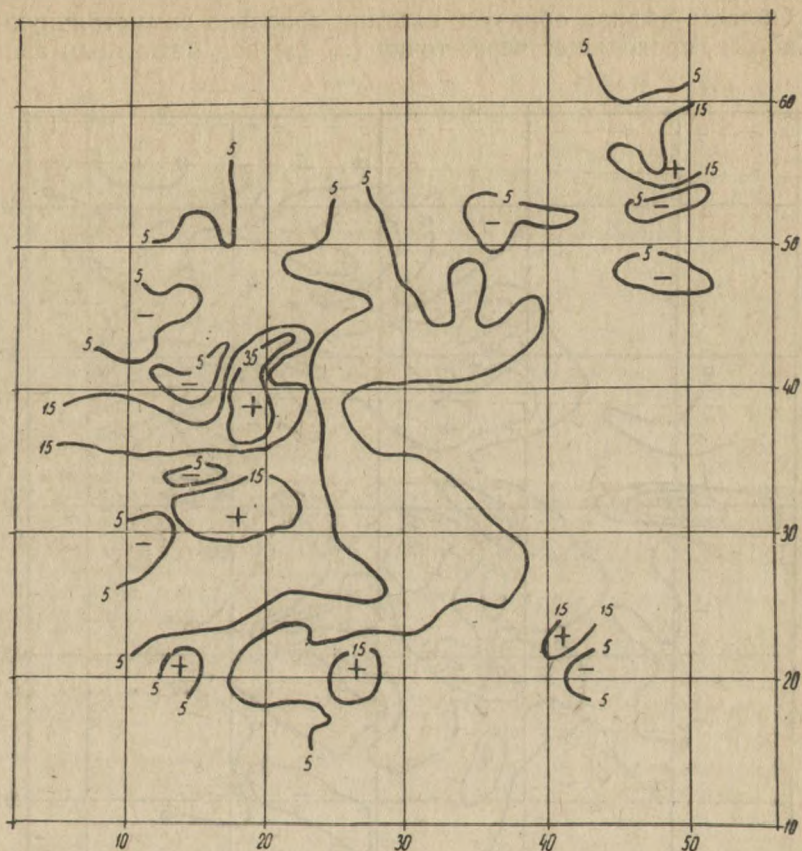


Рис. 12. Плотность распределения стоящих мертвых деревьев (выражена в количестве на 0,25 га).

Рис. 13 изображает распределение процента сломанных деревьев относительно всех поваленных. Большое количество сломов характерно для центральных районов и для районов с хорошо прогреваемыми почвами, где деревья имеют особенно глубокие корни.

Краткие выводы

1. В целом разрушениям подвергнута область леса площадью в 2150 ± 50 кв. км.
2. Имеющихся данных о вывале в целом достаточно для восстановления общей картины разрушений.
3. Локально аэродинамическое давление, вызванное движением воздушных масс за фронтом ударной волны, выражается через распределение направлений повала деревьев. При этом имеет место асимптотическое соотношение, согласно которому для наиболее часто встречающихся стандартных отклонений s ($s \leq 16^\circ$) направлений повала деревьев от среднего аэродинамического давления обратно пропорционально s . Коэф-

коэффициент пропорциональности $\sigma_0 = \text{const}$ для рассматриваемой местности и подлежит экспериментальному определению.

4. С точностью, близкой к оптимальной, определена особая точка (x_0, y_0) поля направлений повала. В ней ударная волна впервые достигла земной поверхности.

5. Область вывала образует картину довольно симметричную относительно оси, проходящей через точку (x_0, y_0) под магнитным азимутом

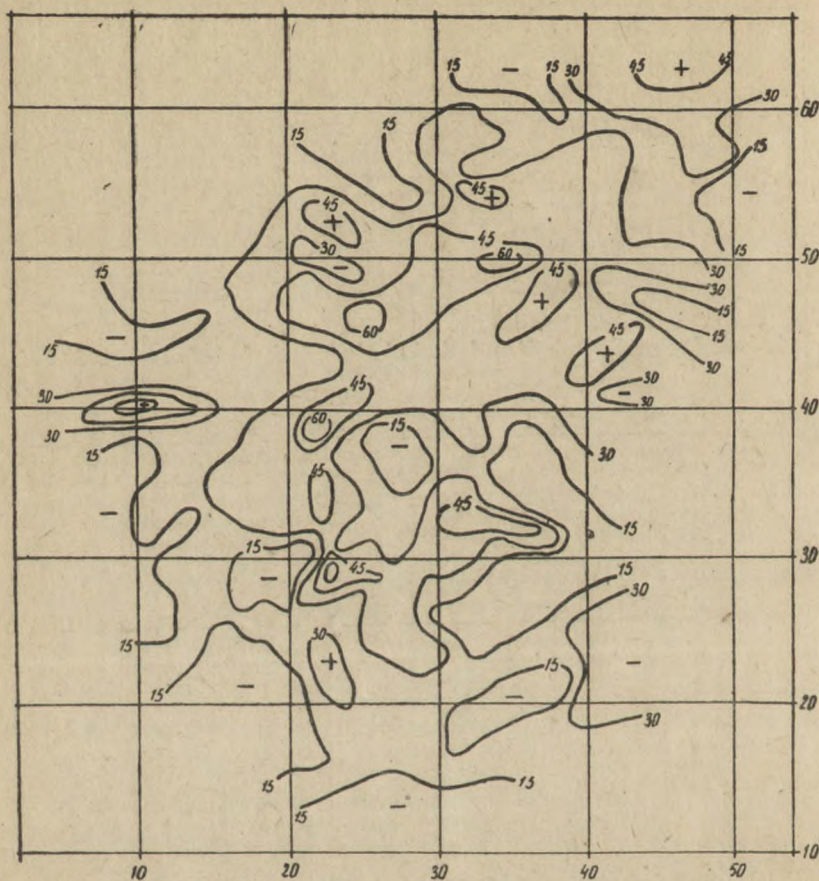


Рис. 13. Распределение процента деревьев, сломанных у корня.

$111^\circ \pm 2^\circ$ (115° к востоку от истинного меридиана). Наиболее четко эта симметрия прослеживается по полю направлений (кривизне изоклин), но ее подтверждают и изостандарты, а несколько более грубо и другие параметры.

6. Представляется наиболее вероятным связать (а может быть и отождествить) выявленную ось симметрии с проекцией траектории метеорологического тела на земную поверхность.

7. Поле направлений повала деревьев имеет существенно отличную от нуля циркуляцию при обходе особой точки (x_0, y_0) по замкнутому контуру. Это означает, что линия фронта ударной волны образует с направлением ее действия на земной поверхности угол $\sim 86^\circ - 87^\circ$.

8. Резкая центральная асимметрия относительно точки (x_0, y_0) наблюдается в распределении переживших катастрофу деревьев. Общая

несимметрия по другим параметрам тоже достаточно четко видна на соответствующих картинах.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Г. Фаст, А. П. Бояркина, М. В. Бакланов. Разрушения, вызванные ударной волной Тунгусского метеорита. См. наст. сборник.
 2. В. Г. Фаст. К определению эпицентра взрыва Тунгусского метеорита по характеру вывала леса. Труды Томского отд. Всесоюзн. геогр. об-ва, 5. Проблема Тунгусского метеорита. Томск, 1963, стр. 97—104.
 3. А. П. Бояркина, Д. В. Демин, И. Т. Зоткин, В. Г. Фаст. Изучение ударной волны Тунгусского метеорита по вызванным ею разрушениям леса. Метеоритика, вып. XXIV, 1964, стр. 112—128.
 4. Д. В. Демин. О среднем квадратическом отклонении азимутов поваленных деревьев как параметре вывала. Труды Томского отд. Всесоюзн. геогр. об-ва, 5. Проблема Тунгусского метеорита. Томск, 1963, стр. 94—96.
 5. Действия ядерного оружия. Перевод с английского, 1963.
 6. М. А. Сорочинский. По следам урагана. Природа, № 3, 1964, стр. 118—120.
 7. И. М. Суслов. Опрос очевидцев Тунгусской катастрофы в 1926 году. См. наст. сборник.
 8. И. С. Градштейн, И. М. Рыжик. Таблицы интегралов, сумм, рядов и произведений. 1963.
 9. Д. Миддлтон. Введение в статистическую теорию связи, Изд. «Сов. радио», т. 1, 1961.
 10. Л. С. Гандин. Объективный анализ метеорологических полей. Гидрометеориздат, 1963.
 11. В. Г. Коненкин. Сообщения очевидцев о Тунгусском метеорите 1908 г. См. наст. сборник.
 12. И. Т. Зоткин. Траектория и орбита Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. XXVII, 1966, стр. 109—118.
 13. А. В. Золотов. К вопросу о возможности пылевой структуры Тунгусского космического тела. См. наст. сборник.
 14. Д. Ф. Анфиногенов. О тунгусском метеоритном дожде. Успехи метеоритики. Новосибирск, 1966 г. стр. 20—22.
 15. Г. М. Зенкин, А. Г. Ильин. О лучевом ожоге деревьев в районе взрыва Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. XXIV, 1964, стр. 129—140.
-

РАЗРУШЕНИЯ, ВЫЗВАННЫЕ УДАРНОЙ ВОЛНОЙ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

В. Г. ФАСТ, А. П. БОЯРКИНА, М. В. БАКЛАНОВ

В результате полевых работ экспедиций 1958—1965 гг. накоплен большой уникальный фактический материал по изучению вывала леса, произведенного Тунгусским метеоритом, который сведен в таблицы и излагается в настоящей работе (сюда не вошел лишь некоторый материал, детализирующий характер разрушений в центральной зоне и хранящийся в Комитете по метеоритам АН СССР).

Система координат

Место положения точки определяется в прямоугольной системе координат xOy ; ось x -ов направлена на магнитный север, ось y -ов — на восток, координаты выражены в километрах, и г. Фаррингтон, в системе xOy имеет координаты $x = 42,8$ км, $y = 23,6$ км.

Все измерения азимутов проводились горным компасом «Геолого-разведка» (Ленинград 1946—1952 гг.). Отсчеты снимались с округлением до 5° . Магнитное склонение принято равным 4° . Погрешность привязки обычно не превышает 200 м.

Исполнители полевых работ по изучению ывала леса

В 1958 году под руководством И. Т. Зоткина и К. П. Флоренского впервые на точной топооснове проведены глазомерные определения господствующего направления повала деревьев.

Во время экспедиций 1960—61 гг. учет вывала проводился лесотаксационными группами на пробных площадях в 0,25 га под руководством В. И. Некрасова и В. И. Колесникова (в таблицах мы будем использовать для них условное обозначение I) и под руководством В. И. Некрасова, В. Г. Бережного, Г. И. Драпкиной в 1961 г. (условное обозначение — II), радиальными группами в 1960 г. вдоль маршрутов (рук. Г. Ф. Плеханов, Н. И. Некрытов, В. К. Журавлев, Д. В. Демин, Ю. М. Емельянов). Основной материал по характеристике вывала собран специализированными группами по учету вывала во время экспедиций 1961 г. (рук. В. Г. Фаст, И. Т. Зоткин), 1963 г. (рук. В. Г. Фаст), 1964 г. (рук. А. П. Бояркина, М. В. Бакланов) и 1965 г. (рук. В. Г. Фаст). Этими группами произведе-

на полная наземная съемка вывала пробными площадями размером 0,25—0,50 га по всей области вывала. Для условного обозначения в таблицах специализированных групп принята следующая нумерация:

1961 г.

1. Д. В. Демин, В. М. Кувшинников, Л. Н. Некрасова.
2. В. М. Кувшинников, В. Бобухова, А. Л. Бийчанинова, Т. М. Тибилова.
3. Ю. Д. Кулаков, Ю. Ф. Огрин.
4. А. Г. Ильин, А. И. Ерошкина.
5. В. В. Матушевский, В. Бобухова, А. О. Егоршин, Г. Ф. Карпунин.
6. Г. Ф. Плеханов, И. В. Антонов, Д. К. Верб, В. П. Краснов.
7. И. Т. Зоткин, К. А. Любарский, А. П. Бояркина, Г. А. Трухачев.
8. В. И. Авдеев, И. П. Николаенко.
9. В. Г. Фаст, Т. М. Слета, А. Л. Бийчанинова, Г. Ф. Карпунин, Д. В. Демин, В. М. Черников.
10. В. Э. Папэ, И. П. Николаенко.

1963 г.

11. В. Г. Фаст, Н. П. Заздравных, А. Ф. Ковалевский.

1964 г.

12. А. П. Бояркина, Я. Брильянс.
13. М. В. Бакланов, М. Лешихин, М. В. Кочурова.

1965 г.

14. В. Дворников, И. П. Гандель, В. И. Щелкунов.
15. А. Ф. Ковалевский, О. К. Базыль, В. В. Байер.
16. В. Г. Фаст, Н. П. Фаст.
17. И. Т. Зоткин, М. А. Цикулин, И. П. Гандель, С. П. Макарова.
18. Б. Ефимов, И. П. Гандель.
19. Ю. М. Емельянов, Т. Князькова, И. Рабинович, Л. В. Павлова.

Описание таблиц

Наиболее подробные данные по пробным площадям сведены в таблицы I (1—3). В полевых условиях были получены численности деревьев, поваленных по тому или иному азимуту. Эти данные сведены в таблицу I—3. В первой колонке указан номер площади, который, сохранен и в других таблицах, где можно найти остальные характеристики. В таблице I—1 колонки (1—6) содержатся данные о расположении пробной площади, колонки (7—14) — о разрушениях на них и колонка (15) указывает номер группы исполнителей полевых работ. Данные колонок (12—14) являются расчетными. Расчеты проведены на УЦВМ М-20, по данным таблицы I—3 по азимутам

$$A_{\kappa} = A_0 + \kappa h, \quad \kappa = 0, 1, 2, \dots, \quad h = 5^\circ,$$

подсчитан средний азимут

$$\bar{A}_0 = \frac{\sum_{\kappa} n_{\kappa} A_{\kappa}}{\sum_{\kappa} n_{\kappa}} = a_1^{(0)}, \quad (1)$$

где n_k — количество стволов, поваленных по азимуту A_k и $\sum_k n_k = N$
второй выборочный начальный момент

$$a_2^{(0)} = \frac{\sum_k A_k^2}{N}$$

и второй выборочный центральный момент

$$m_2^{(0)} = a_2 - a_1^2$$

и найдено выборочное стандартное отклонение

$$s^{(0)} = \sqrt{m_2^{(0)}}. \quad (2)$$

Все наблюдения n_k , для которых

$$|A_k - \bar{A}_0| > 2s^{(0)},$$

положены равными нулю, затем снова подсчитаны

$$n = \sum_{k'} n_{k'} \leq N$$

и статистики $\bar{A}$ и s , соответственно, по формулам (1) и (2).

В таблицу 1—2 попали, в основном, данные по маршрутным лентам радиальных групп, а также по ненормированным пробным площадям, для которых известны лишь n , $\bar{A}$ и s .

Таблица II содержит, в основном, данные 1958 г., предоставленные нам И. Т. Зоткиным.

При изучении вывала на пробных площадях отмечался тот факт, что данное дерево лежит поверх другого (других) или, наоборот, — под другим. По этим данным подсчитаны средние азимуты A_v , A_n и стандартные отклонения s_v , s_n поваленных деревьев, лежащих, соответственно, вверх и вниз. Таблица III содержит эти данные, а также n_v и n_n число деревьев лежащих, соответственно, вверх и вниз.

Таблицы IV и V содержат качественные сведения о разрушениях леса и указания на отсутствие разрушений.

Авторы считают необходимым отметить, что различную помощь на различных этапах сбора и обработки полевых данных им оказали Р. К. Журавлева, С. В. Журавлева, А. В. Золотов, Л. А. Иванова, Г. М. Иконникова, Е. М. Ильина, В. А. Казакова, Г. В. Камбулова, Р. Ф. Кожемяк, Э. Н. Кривякова, С. М. Кузьмина, Л. И. Лагутская, А. Б. Ошаров, Н. И. Попова, Н. П. Родионова, Ю. К. Устинов.

Таблица 1-1

Характеристика разрушений на пробных площадях

Номер пробной площади	Координаты в км		Размер пробной площади в га	Азимут склона в градусах	Угол склона в градусах	Количество		Количество поваленных стволов диаметра			Количество и поваленных деревьев, взятых для расчета статистик	Средний азимут А в градусах	Стандартное отклонение s в градусах	Исполнители
	x	y				Старых живых деревьев	Столбов и хлыстов	8-15 см	15-30 см	Свыше 30 см				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	39,3	4,0	0,25	135	7-8	11	6	4	21	8	26	64,4	32,7	II
2	31,3	5,0	0,15-0,20					2	7	0	9	248,9	10,5	I
3a	45,4	5,0	0,25	90	12		3	22	30	5	27	221,0	18,4	II
3б											19	298,3	11,1	
4	46,9	5,8	0,17-0,21	сл. рельеф				5	12	0	16	82,4	35,7	9
5	47,1	5,8	0,04	40	6			17	0	0	17	307,2	10,2	9
6	32,9	6,1	0,2					3	9	0	12	299,7	15,2	1
7	37,9	6,2	0,25	185	23		31	38	41	16	88	250,8	10,4	3
8a	39,4	6,3	0,25	250	3-5		1	5	13	11	17	267,3	9,9	II
8												81,5	43,9	
9	32,8	7,9	0,50	270	10		17	27	26	8	7	265,0	13,4	4
10	34,1	7,1	0,10-0,12			23		1	19	7	58	246,3	15,6	1
11	34,3	7,5	0,50	330	5	много	10	9	41	47	25	253,8	9,4	3
12	22,6	8,1	0,50	180	2	29	15	11	25	6	40	252,6	8,5	2
14	34,3	8,8	0,25-0,30		0			0	12	2	14	218,8	15,3	1
15a				90	1-3		8	8	17	13	13	238,9	14,8	II
15	39,6	8,2	0,25								23	110,0	48,4	
												267,8	6,9	

Таблица 1-1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
16	44,7	8,7	0,14	45				6	8	0	12	296,2	7,1	9
17	47,3	8,7	0,05	0	0			5	15	0	18	308,9	6,6	9
18	26,9	9,6	0,25		2			5	24	0	22	217,0	16,2	11
19	32,7	9,6	0,50		0	20	16	31	55	0	86	238,2	9,3	4
20	34,4	9,7			0	много	мало	8	19	1	27	252,8	18,4	1
21	34,7	9,2	0,25	330	8		19	6	29	46	78	252,2	10,2	3
22	35,0	9,2	0,50	230	5	28	52	20	65	13	97	251,3	12,3	1
23	37,7	9,4	0,45	230	10	есть		1	49	60	101	261,8	8,7	3
24	43,7	9,5	0,12					10	18	1	27	286,7	9,0	9
26	20,6	10,1		—	0			0	8	4	10	208,0	14,7	2
27	28,8	10,5	0,25	—	0			2	6	0	7	230,0	2,7	1
28	39,8	10,9		270	15-30		10	9	29	16	35	298,6	23,9	11
29a	39,9	10,3	0,25	180	3-7		13	6	21	0	12	102,1	36,2	11
29	22,8	11,9	0,25	—	0	много	—	1	9	0	15	280,7	4,4	2
30	26,8	11,8		—	0	17	18	6	57	29	9	208,9	7,0	2
31	27,8	11,2	0,10	170	10		2	4	18	2	99	213,9	11,1	2
33	31,0	11,6	0,50	135	5	24	15	18	28	0	24	220,4	8,0	1
34	33,0	11,9	0,15-0,18	—	0			10	23	0	44	228,1	9,8	4
35	34,9	11,2	0,25	20	5	6	18	2	49	4	82	232,9	7,6	1
36	45,2	11,8	0,25				3	7	73	33	34	250,4	9,6	3
37										35	109	306,3	9,2	5
38	46,1	11,9	0,25	180	8-10		3	2	23	2	13	310,0	8,8	11
38a	20,5	12,3	0,25	—	0	15	4	48	67	5	7	25,7	29,7	2
39	25,1	12,2	0,25	0	4-5	30	10	29	86	10	113	210,0	13,8	2
40	30,6	12,8	0,25	180	2		4	11	30	43	119	211,3	9,2	2
43	32,8	12,8	0,50	—	0	13	24	36	72	14	38	215,3	1,6	11
44	40,1	12,5	0,25				4	5	9	5	115	226,4	11,8	4
45	46,4	12,9	0,50	120	2	55	15	52	72	19	144	284,0	2,7	11
46	52,0	12,3	0,25	350	8	все	3	13	21	8	39	317,2	15,1	9
47	55,0	12,5	0,25	40	8	все	4	31	20	12	60	337,4	12,1	2
48	20,9	13,7	0,25	—	0	23	6	42	42	0	79	181,8	58,4	2
49	22,9	13,9	0,25	—	0	30	0	11	63	20	85	202,2	11,3	2
50												207,7	9,8	2

Таблица 1-1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
51	21,0	13,9	0,25	—	0	0	13	12	10	3	13	203,5	9,1	2
52	24,7	13,9	0,50	300	2	20	8	20	69	10	87	207,1	8,4	2
53	26,8	13,9	0,50	150	2-3	8	32	40	65	15	93	210,8	8,8	2
54	30,8	13,4	0,50	230	5	17	9	8	29	10	77	220,1	10,0	4
55	40,2	13,5	0,25	225	2-3	>25	4	18	41	11	48	278,4	20,2	11
56	51,0	13,3	0,25	—	0	0	6	3	51	24	90	329,7	13,6	6
57	24,4	14,4	0,25	—	0	0	2	3	14	7	17	195,0	0,0	11
61	46,1	14,3	0,50	сл. рельеф	0	0	10	3	70	14	88	316,8	14,0	5
62	50,3	14,9	0,25	0	1	1	0	13	37	39	82	340,7	8,8	6
63	23,4	15,6	0,25	150	2	4	0	35	84	5	120	199,0	9,1	2
64	24,9	15,8	0,25	—	0	0	7	41	48	15	99	197,7	7,0	2
65	28,7	15,9	0,25	—	0	1	5	36	30	12	73	207,3	7,8	2
66	30,6	15,6	0,25	—	0	20	16	5	64	13	77	212,3	8,1	4
68	32,7	15,9	0,50	—	2-3	0	>30	49	14	7	63	164,0	4,9	4
69	33,1	15,9	0,25	—	0	30	9	31	29	3	59	212,3	12,2	4
71	47,9	15,3	0,25	180	15	1	9	25	69	14	105	333,0	8,1	9
72	51,1	15,3	0,25	—	0	>50	5	9	16	7	30	338,0	9,3	6
73	51,5	15,0	0,25	—	0	50	15	23	34	21	71	334,7	7,4	6
74	55,2	15,4	0,25	170	15	150	4	19	34	6	58	343,3	11,3	2
75	16,1	16,1	0,25	—	—	много	0	22	38	24	80	190,7	8,3	7
76	18,3	16,6	0,25	315	2	0	0	26	45	27	96	196,3	9,3	7
77	23,0	16,6	0,25	—	0	0	1	0	27	25	45	198,1	8,6	11
78	26,9	16,4	0,25	—	0	2	8	58	50	9	112	198,6	8,2	2
81	49,3	16,1	0,25	260	11	25	10	40	44	11	91	343,5	7,3	6
82	52,4	16,4	0,50	—	0	150	0	23	68	22	154	352,0	30,5	2
83	52,6	16,4	0,25	—	0	0	4	4	13	5	116	194,9	7,7	11
84	24,7	17,6	0,25	10	4	0	16	41	75	9	92	200,9	7,0	2
85	30,5	17,6	0,25	—	0	0	много	86	13	0	74	200,6	7,0	4
86	32,9	17,9	0,25	—	0	3	18	21	42	19	92	200,6	6,8	4
87	44,9	17,8	0,25	—	0	0	0	10	48	9	57	333,5	5,4	11
88	48,8	17,2	0,25	—	0	0	5	46	32	18	89	352,1	6,9	6
89	50,7	17,1	0,38	—	0	25	5	42	59	27	120	342,0	9,5	6
90	53,8	17,2	0,25	сл. рельеф	0	50	3	6	15	5	55	40,9	65,8	2
91	17,0	18,7	0,25	—	0	17	14	32	52	17	95	187,5	7,9	7
92	26,8	18,2	0,50	—	0	17	14	11	60	13	76	191,2	8,1	2

Таблица I-1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
93	37,8	18,8	0,25	320	10-12	4	40	15	49	30	88	230,7	9,9	9
94	37,8	18,9	0,25	180	8	7	69	2	31	22	50	230,7	8,3	9
96	38,1	18,4	0,25	185	6	4	45	15	48	13	76	241,5	9,9	9
97	42,4	18,6	0,25	300	20	0	28	25	64	15	98	339,6	9,1	2
98	43,7	18,4	0,30	315	9	0	0	35	42	32	105	334,9	9,4	7
99	48,6	18,4	0,25	—	0	0	0	37	39	32	101	353,0	6,6	6
100	51,7	18,8	0,25	—	0	0	8	28	50	13	90	356,6	6,3	6
101	26,8	19,9	—	—	0	0	18	5	4	1	10	179,0	9,9	2
102	28,1	19,7	0,50	—	0	5	18	21	49	9	71	184,6	6,9	2
103	30,6	19,6	0,25	180	3	1	20	44	40	0	80	193,0	6,4	4
104	31,5	19,4	0,25	сл. рельс	0	0	27	46	19	0	57	180,7	7,2	4
105	37,8	19,0	0,25	140	15	0	47	1	48	7	53	234,4	8,7	4
107	40,6	19,0	0,25	—	—	—	102	57	43	0	94	137,2	8,7	11
108	43,1	19,3	0,25	330	6	0	22	13	47	27	78	359,5	11,5	2
109	46,7	19,3	0,25	60	2	15	50	59	17	0	71	355,0	6,3	6
110	55,7	19,1	0,50	юг	5-8	250	15	48	52	11	114	357,2	10,9	2
111	14,5	20,3	0,25	—	—	77	2	16	35	5	33	182,9	8,1	11
112	16,2	20,5	0,25	—	—	—	—	25	59	16	92	184,9	6,9	7
113	21,0	20,6	0,25	330	5	5	10	41	48	8	93	185,3	6,2	7
114	43,5	20,8	0,25	сл. рельс	5	2	30	22	61	10	90	8,3	14,4	2
115	27,8	21,6	0,25	0	рельс	0	6	12	69	30	106	173,5	7,7	2
116	30,7	21,9	0,25	6-8	2-3	0	20	68	32	0	91	178,0	5,7	4
118	43,4	21,9	0,25	10	1	0	59	21	25	5	50	24,7	12,2	2
119	43,5	21,0	0,25	20	0,5	0	30	32	55	19	100	6,1	9,9	2
120	43,8	21,6	0,25	—	5	0	31	31	46	10	83	13,5	7,7	9
121	48,7	21,3	0,25	—	—	5	10	52	18	0	67	9,2	5,0	6
122	50,9	21,1	0,25	225	2	0	10	24	31	53	101	6,2	12,2	6
123	53,3	21,8	0,25	0	3-5	16	14	14	40	6	51	4,1	4,7	11
124	13,3	22,0	0,25	—	—	0	0	55	72	4	127	174,6	8,5	6
125	16,1	22,3	0,25	—	—	0	2	23	69	16	101	181,5	5,8	7
126	28,8	22,9	0,25	—	—	10	3	6	44	3	47	173,9	9,7	1
127	30,8	22,8	0,25	—	—	0	14	30	24	1	60	153,0	35,8	1
128	31,9	22,6	0,25	—	—	0	9	19	42	1	50	169,9	13,0	1
129	32,9	22,5	0,25	—	—	0	6	1	44	1	34	163,7	6,2	1
130	33,9	22,5	0,25	—	—	4	3	1	24	3	24	165,6	3,9	1

Таблица I-1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
131	34,9	22,5	0,25			0	8	13	48	6	61	160,6	4,7	1
132	35,9	22,4	0,25			0	6	18	67	5	80	155,7	8,7	1
133	37,0	22,3	0,25			0	6	69	86	1	157	149,2	5,5	1
134	37,0	22,6	0,25		7	0	19	14	45	9	65	153,5	7,2	9
135	37,1	22,8	0,25	115	рельеф	0	12	26	69	55	147	152,0	8,4	9
136	37,1	22,6	0,25	230	сл. рельеф	0	20	25	53	21	93	160,2	7,5	9
137	38,9	22,2	0,25			0	30	14	19	0	27	104,8	29,3	1
138	43,3	22,2	0,25			0					10	36,5	14,2	1
140	44,0	22,2	0,25			2					41	25,1	9,8	1
142	44,8	22,2	0,25			мало					45	15,8	8,3	1
144	46,7	22,1	0,25								10	43,5	22,8	1
145	48,6	23,7	0,25		0	2	12	72	28	9	105	174,0	9,2	8
146	20,7	21,4	0,25			все	5	12	24	2	31	166,1	32,7	1
147	22,9	23,4	0,25	270	?	12	4	38	42	2	80	176,7	8,6	8
148	23,3	23,1	0,25			18	10	13	37	0	43	162,7	38,6	1
149	25,5	23,3	0,25			0	0	59	55	0	105	175,9	5,2	8
150	29,0	23,9	0,25		0	3	7	26	36	20	78	168,3	5,0	8
151	30,9	23,4	0,25		0	8	5	28	53	30	104	173,7	5,4	8
154	42,9	23,8	0,25	0	8	0	3	35	131	30	188	48,3	6,1	5
155	43,4	23,5	0,25	0	8	0	11	13	25	3	40	34,2	7,5	5
156	46,0	23,9	0,25	210	6	0	2	47	111	8	152	27,6	4,4	9
159	48,9	23,7	0,25		0	15	0	51	35	4	86	22,8	4,9	6
160	51,3	23,6	0,25	180	1-2	9	10	30	36	22	84	19,2	8,8	6
161	13,6	24,9	0,25					33	64	18	112	184,0	10,0	7
162	13,9	24,0	0,25			7		51	25	3	76	182,2	6,3	7
163	16,4	24,5	0,25	склон		4	5	34	39	18	82	176,2	6,4	8
164	21,3	24,1	0,25	склон		0	4	93	29	2	121	177,4	6,2	8
165	25,0	24,8	0,25		0	0	0	29	85	8	104	171,5	4,7	8
166	27,5	24,3	0,25			3	5	47	42	12	94	171,8	5,6	8
167	40,7	24,5	0,25	190	10	0	14	15	119	48	156	72,9	6,9	5
168	40,9	24,8	0,25	170	18	1	4	26	86	28	135	70,6	8,6	5
169	42,8	24,6	0,25	220	1	6	31	25	36	9	66	41,4	6,6	5
170	45,6	24,8	0,50	280	3-4	43	11	44	64	0	102	34,0	5,8	9
171	47,2	24,9	0,25	280	3-4	2	9	4	94	18	109	31,2	6,3	9
173	50,8	24,4	0,25		0	10	8	48	42	22	107	27,3	8,5	6

Таблица 1-1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
174	57,6	24,1	0,50-0,75	—	0		10	15	26	10	46	41,4	36,3	1
174'	58,9	24,2	0,25	20	?	0	7	4	24	1	42	48,6	36,8	II
175	20,2	25,1	0,25	—	?	0	30	105	24	6	108	175,6	13,3	8
176	21,5	25,8	0,25	—	0	0	1	84	26	3	106	165,5	8,7	8
177	23,2	25,8	0,25	—	0	0	1	28	81	26	124	163,5	3,7	5
178	29,1	25,7	0,25	—	—	6	1	55	13	18	84	165,5	4,9	8
179	30,7	25,6	0,25	200	<20	0	1	13	25	51	86	163,0	5,7	8
182	37,9	25,2	0,25	300	4			28	57	27	112	123,0	9,3	7
183	41,2	25,8	0,25	—	0			2	7	32	32	77,2	17,0	1
184	12,0	26,5	0,08-0,10	—	0			1	9	1	13	173,1	9,9	1
185	16,4	26,4	0,08-0,10	—	0	0		105	24	2	12	174,2	10,6	1
186	17,4	26,0	0,50	?	10	0	7	70	27	6	127	169,6	9,3	8
187	18,8	26,0	0,25	—	0	0	32	32	46	1	103	170,8	10,9	8
188	26,9	26,8	0,25	—	0	9	10	3	50	8	51	100,9	2,6	II
189	30,6	26,2	0,25	250	15			39	50	78	155	163,9	4,4	6
191	41,3	26,9	0,25	90	3	0	2	109	123	1	17	79,1	14,5	1
192	43,5	26,8	0,25	—	3	0	5	102	113	1	233	55,4	4,9	9
193	44,1	26,1	0,50	сл. рельеф - мал	рельеф - мал	1	9	94	60	9	221	40,4	5,3	9
194	45,3	26,4	0,25	50	0	0		5	18	1	155	38,6	5,0	9
195	13,4	27,5	—	—	0			4	20	6	22	172,3	7,3	1
196	14,9	27,4	—	—	0			0	9	0	30	174,0	5,8	1
198	49,6	27,9	0,17-0,20	0	мал			0	30	0	8	33,1	2,4	9
199	53,9	27,9	0,17-0,20	—	0			8	14	9	45	27,8	4,9	1
200	11,8	28,2	0,25	—	0			5	14	1	18	171,9	8,4	1
201	20,7	28,5	0,25	45	2-3			30	43	0	53	160,7	1,7	II
202	23,5	28,0	—	—	0	0	1	21	139	8	159	159,9	5,8	5
203	28,3	28,7	—	—	0			16	10	60	80	160,4	2,1	6
206	41,3	28,9	0,25	190	3-4			62	56	18	43	75,0	5,0	1
207	46,2	28,7	0,25	—	0	0	6	2	13	3	128	50,3	5,0	9
208	59,5	28,9	0,15-0,18	—	0			2	7	6	18	20,6	10,9	1
209	6,2	29,1	—	—	0	0	3	9	3	1	22	166,6	15,9	1
210	23,5	29,1	0,25	260	6	0		22	186	18	217	156,0	6,6	5
211	26,6	29,8	—	320	6		1	9	4	85	94	150,2	3,2	6
212	29,2	29,7	0,25	150	4	0	2	3	39	5	61	183,8	43,2	II
216	43,8	29,1	0,23	—	4			61	145	1	196	62,7	4,4	9

Таблица 1-1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
217	51,2	29,4	0,25	315	1-3	0	4	14	41	0	50	52,7	19,2	11
218	13,0	30,1	0,125	300	10	0	4	5	19	2	26	166,2	7,5	11
219	14,9	30,8	0,25	—	0	0	4	10	48	0	52	146,4	2,3	11
222	35,8	30,6	0,25	—	0	0	4	6	89	48	139	118,9	5,7	5
223	41,3	30,8	0,25	—	0	0	4	9	72	10	9	69,4	3,7	1
224	48,2	30,0	0,5	225	мал	8	9	15	16	8	90	43,6	6,6	9
225	14,0	31,6	0,25	305	15	0	3	4	170,9	29	29	170,9	7,8	1
226	23,8	31,1	0,25	296	17	0	3	11	14	1	148	149,7	7,6	5
228	35,0	31,5	0,25	—	—	0	3	—	—	—	40	108,0	20,0	11
229	41,4	31,7	0,25	—	—	0	4	17	70	0	29	77,9	5,9	1
230	44,0	31,1	0,25	200	3	0	4	52	139	16	86	64,8	5,8	9
231	45,5	31,6	0,25	—	1	0	1	6	8	6	199	62,3	4,7	9
232	55,3	31,9	0,25	—	—	150	7	2	9	3	50	41,5	27,6	1
233	60,9	31,3	—	—	—	—	—	5	14	1	13	10,4	9,9	1
234	1,9	32,1	—	—	—	—	—	9	10	5	17	167,9	12,2	1
235	9,9	32,9	—	—	—	—	—	7	13	0	24	169,8	8,1	1
236	10,6	32,8	—	—	—	—	—	—	19	—	19	167,1	10,6	1
237	15,2	32,0	0,25	—	0	1	6	31	63	5	38	177,5	6,9	1
238	23,6	32,2	0,25	—	0	0	0	4	8	70	79	145,4	11,9	5
239	24,3	32,4	0,25	195	20	1	0	18	95	45	151	150,3	3,2	6
242	34,0	32,8	0,25	—	—	1	10	19	91	8	119	119,5	6,9	5
243	36,0	32,6	0,25	—	—	3	3	15	75	22	54	108,2	8,1	5
243a	37,7	32,3	0,25	207	5	3	3	—	—	—	112	53,7	15,8	5
244	41,4	32,4	0,25	—	4	0	1	12	0	8	30	93,5	7,7	1
245	44,4	32,5	0,25	180	4	0	1	34	97	16	194	74,7	3,1	9
246	48,0	32,0	0,25	—	0	0	4	2	29	10	131	62,8	4,5	9
247	55,8	32,2	0,25-0,30	—	0	0	—	4	26	10	48	49,8	4,6	9
248	56,6	32,9	0,20	—	0	0	—	—	19	4	37	34,8	9,6	1
249	59,5	32,2	0,15-0,18	—	0	0	—	13	17	1	36	21,6	9,4	1
250	3,2	33,2	0,25-0,30	—	7	—	—	6	14	2	23	26,5	16,4	1
251	6,1	33,2	0,20-0,25	265	0	—	—	3	14	2	18	167,0	8,7	1
252	9,0	33,9	0,25	—	0	—	—	7	24	3	23	174,2	8,0	1
253	18,6	33,5	0,25	—	0	—	14	9	40	15	34	165,3	10,4	1
254	22,8	33,8	0,25	—	0	7	7	2	33	11	54	166,4	9,5	1
255	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	53	153,0	2,4	11

Таблица 1-1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
257	32,6	33,4	0,25	5	5	0	6	8	126	25	153	123,6	7,9	5
258	52,7	33,2	0,25	—	0	0	5	19	65	12	88	35,3	6,8	9
259	54,2	33,4	0,25	—	0	0	0	4	8	0	11	34,5	6,6	9
260	7,7	34,6	0,20—0,25	180	0	0	0	14	14	0	27	175,0	9,4	1
262	28,2	34,7	0,25	—	2	0	0	2	166	22	132	136,1	8,1	5
263	30,2	34,6	0,25	—	—	0	0	0	133	49	170	133,3	4,7	5
264	36,2	34,3	0,25	—	—	0	1	3	133	48	176	99,1	11,7	5
265	38,2	34,6	0,25	—	—	0	8	10	178	66	231	91,0	6,7	5
266	44,4	34,7	0,25	0	2	0	4	36	62	6	100	65,3	7,1	9
267	46,0	34,4	0,25	—	0	0	7	173	24	0	186	60,4	5,1	9
268	48,2	34,1	0,25	90	4	1	6	13	106	3	114	51,0	5,9	9
279	49,8	34,0	0,50	—	4	2	6	5	94	6	103	47,7	7,5	9
270	49,9	34,7	0,25	0	2—3	1	11	3	14	7	21	63,1	15,6	1
271	59,2	34,7	0,35—0,40	—	—	—	—	5	28	5	36	33,6	9,0	1
272	5,9	35,0	—	160	6	—	—	0	7	1	8	165,0	14,6	1
273	17,7	35,2	—	—	0	—	—	8	41	12	58	161,8	8,2	6
274	23,9	35,3	—	—	0	—	—	5	14	12	28	154,8	6,7	6
275	21,0	35,8	0,25	220	4	0	6	8	105	7	121	147,2	12,6	5
277	32,7	35,4	0,25	0	5	8	4	3	64	27	93	117,8	8,4	5
278	41,7	35,4	0,25	—	—	—	—	—	—	—	55	77,0	4,0	1
279	50,7	35,8	0,25	—	0	0	10	45	95	0	128	47,8	5,5	9
280	61,2	35,2	—	—	0	—	—	8	15	3	26	39,8	17,2	1
282	21,3	36,3	0,25	—	0	—	—	7	35	35	74	157,2	4,2	6
284	31,0	36,5	0,25	—	0	—	—	6	49	15	61	126,1	19,4	11
285	34,5	36,8	0,25	300	15	2	3	8	137	10	142	113,6	11,9	5
286	36,5	36,5	0,25	—	—	0	5	2	132	14	151	102,4	7,2	5
287	41,8	36,9	0,25	—	—	0	—	—	—	—	123	77,5	13,0	1
288	44,7	36,3	0,25	—	0	0	1	63	28	0	113	62,0	5,9	9
289	46,9	36,1	0,25	180	6	0	4	35	58	1	89	62,2	6,3	9
290	48,7	36,0	0,25	165	4	0	2	13	57	14	78	55,1	7,8	9
291	6,5	37,4	0,20—0,25	—	0	0	—	12	16	3	28	138,4	7,8	9
292	18,5	37,4	0,25	—	0	0	—	4	27	2	33	162,6	9,5	1
294	26,2	37,6	0,25	—	5	0	0	0	73	37	104	134,2	7,4	1
295	30,3	37,3	0,25	175	0	3	2	0	0	125	146	126,3	7,0	5
296	32,5	37,0	0,25	—	0	0	18	3	88	72	156	120,8	7,8	5
297	56,6	37,8	0,25	?	1	0	7	6	8	6	53	32,5	14,9	11

Таблица 1-1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
298	24,7	38,9	0,25	270	2	4	9	33	55	3	86	141,2	10,9	5
299	34,8	38,8	0,25	0	5	6	10	15	102	28	151	109,8	11,4	5
300	36,7	38,5	0,25			1	4	6	105	12	118	96,1	9,6	5
301	38,7	38,3	0,25			2	30	13	104	53	167	96,4	7,9	5
302	41,8	38,3	0,25								70	78,1	7,1	1
303	45,0	38,1	0,25	—	0	0	13	17	184	5	206	66,9	6,9	9
304	46,5	38,6	0,25	—	0	0	10	102	97	0	177	59,7	8,2	9
305	48,3	38,1	0,25	сл. рельс		1	5	132	97	0	218	54,4	4,7	9
306	50,1	38,0	0,25	—	0	0	0	28	86	5	118	50,8	7,0	9
307	56,6	38,5	0,25	—	0	14	54	19	89	11	113	44,9	6,7	9
308	61,4	38,4	0,25	—	0			2	6	3	10	55,0	18,2	9
309	61,6	39,1	0,25	0	5	4	10	1	70	24	86	130,7	8,9	9
310	62,3	39,1	0,25	10	10	3	2	97	19	18	108	118,0	9,3	5
311	62,8	39,0	0,25	165	1	0	1	1	125	29	143	114,0	12,1	5
312	67,0	39,1	0,25	—	0	15	12	5	61	23	91	94,6	8,8	5
313	62,0	39,7	0,25	—	0		3	33	4	0	39	76,5	18,2	1
315	54,5	39,2	0,25	25	0	12	5	27	71	1	98	44,6	6,7	9
317	58,7	39,4	0,25	—	0	13	10	10	93	6	102	43,2	8,8	9
318	19,1	40,5	0,25	—	0			3	7	26	15	144,7	18,5	1
319	19,2	40,3	0,25	110	5	9	7	5	62		91	148,0	6,9	9
320	42,0	40,9	0,25			5					74	73,3	15,5	1
321	44,8	40,1	0,25	сл. рельс	?		2	43	205	0	238	67,7	5,5	9
322	45,0	40,0	0,25	240				0	14	0	13	67,7	5,8	9
323	45,5	40,4	0,25				1	32	11	0	42	57,1	19,8	11
324	46,9	40,6	0,25	—	0	1	8	117	68	3	173	65,5	7,5	9
325	48,9	40,6	0,25	90	4	1	12	22	77	2	105	58,1	8,3	9
326	61,9	40,4	0,25					0	11	1	11	33,6	8,8	9
327	18,7	41,6	0,25	—	0	17	9	3	15	0	18	144,2	11,8	1
328	19,0	41,7	0,25	—	0			5	77	0	88	13,9	45,1	5
329	23,5	41,1	0,38	—	0	10	40	16	59	14	88	137,6	14,1	5
330	25,0	41,0	0,38	—	0	24	22	15	43	12	84	137,6	12,5	5
331	34,4	41,8	0,38	330	4	33	20	22	82	9	66	110,6	19,7	5
332	39,1	41,2	0,25	180	2	35	14	18	61	26	148			5
333	41,1	41,0	0,25	—	0	24	21	8	64	19	88	76,6	12,2	5
334	42,0	41,4	0,25	—						24	42	74,3	10,4	5
335	42,1	41,9	0,25	—							35	80,4	28,0	1

Таблица 1-1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
336	37,6	28,5	0,25	180	4	0	5	7	75	16	95	104,5	10,9	5
337	37,7	30,0	0,25	170	5	0	2	24	35	37	204	110,5	6,1	5
338	53,0	41,3	0,25	270	5	10	13	24	123	1	143	50,0	7,7	9
339	20,4	42,7	0,50	—	0	7	2	5	23	2	29	132,6	12,3	5
340	22,1	42,6	0,25	—	0	32	1	4	30	17	48	138,4	13,1	5
341	23,8	42,8	0,25	—	0	58	8	15	42	6	61	141,0	14,4	5
342	33,1	42,0	0,25	—	0	13	6	2	40	32	74	115,0	12,5	5
343	42,1	42,1	0,25	—	—	—	—	—	—	—	48	76,3	7,1	1
344	42,1	42,2	0,25	—	—	—	—	—	—	—	147	78,3	10,2	1
345	42,1	42,4	0,25	—	—	—	—	—	—	—	136	76,6	8,6	1
346	42,2	42,8	0,25	—	—	—	—	—	—	—	114	77,4	5,8	1
347	44,8	42,7	0,25	45	4	19	5	15	30	0	42	83,7	28,5	11
348	51,7	42,1	0,50	—	0	41	9	15	92	10	113	51,6	7,9	9
349	18,7	43,5	0,25	—	0	—	12	6	19	10	35	64,4	22,4	5
349a	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	42	131,8	10,0	—
353	47,3	43,5	0,25	—	0	7	9	11	71	6	82	64,8	7,5	9
354	52,0	43,3	0,25	—	0	15	10	17	54	8	81	49,6	11,0	9
358	45,4	44,0	0,30	—	0	18	6	18	69	5	85	70,2	11,4	9
359	51,9	44,1	—	—	0	—	—	0	17	0	16	59,7	10,7	9
360	53,5	44,8	0,25	270	мал	29	12	21	77	5	107	56,6	12,4	9
361	57,3	44,9	0,50	—	0	0	9	28	108	5	138	48,9	8,6	9
362	61,7	44,9	—	—	—	—	15	1	11	1	12	52,1	17,0	9
364	55,7	45,4	0,25	135	2	21	15	26	60	7	92	51,5	9,9	9
366	42,4	46,5	—	—	0	10	6	0	50	2	88	75,6	10,1	11
368	45,7	46,3	0,25	—	0	—	—	—	—	—	52	74,9	14,3	9
369	50,4	46,1	—	—	0	—	3	16	11	0	25	63,8	6,4	9
370	57,3	46,7	0,25	180	4-6	932	3	8	42	21	60	55,8	6,1	11
372	51,1	47,9	—	—	0	есть	есть	1	13	1	15	55,0	8,2	9
373	55,9	47,2	—	—	—	МНОГО	есть	2	9	0	10	49,5	6,5	9
374	74,4	47,8	—	—	—	12	18	5	27	22	52	78,2	7,4	10
376	54,2	48,2	0,25	—	0	—	—	—	44	1	82	59,3	11,1	9
377	51,4	49,3	0,25	—	0	—	—	83	38	28	144	53,2	27,2	10
378	56,0	49,8	—	—	—	—	—	2	12	1	13	49,6	4,1	9
379	56,5	49,7	0,50	—	—	—	—	39	65	110	107	63,1	13,0	10
380	58,4	49,3	0,25	—	0	31	22	17	57	2	83	51,0	15,8	9
381	51,3	50,8	0,25	—	0	—	14	0	29	116	140	79,6	18,2	10

Таблица 1-1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
382	54,8	50,4	0,08	—	0			0	9	1	10	56,0	19,5	9
383	58,6	50,9		90	мал			3	11	0	15	53,7	8,7	9
384	56,5	51,3	0,25	310	0			4	16	0	19	53,4	13,8	9
410	43,7	21,4	0,25	200	24	0	19	5	41	6	49	25,5	9,8	9
411	43,5	21,5	0,25	110	20	3	27	14	42	0	67	82,3	33,2	9
413	43,6	21,6			0	0	2	21	7	2	26	49,8	24,4	11
601	41,6	21,9		103							7	180,0	5,3	11
606	35,5	20,6	0,25	210	22	2	2	9	80	49	7	185,8	6,4	11
623	23,2	20,2		СЗ	0	много		4	14	9	130	85,7	11,7	11
628	40,0	48,6			мал	нет		0	17	13	26	120,9	15,4	11
629	27,5	43,9						0	10	11	28	78,6	36,3	11
630	24,8	47,2	0,38				есть	0	25	6	28	356,4	7,1	11
631	45,1	18,6						1	15	8	23	90,0	10,0	11
632	39,0	47,0						4	40	6	47	121,5	16,4	11
633	28,0	44,3			5-20?		12	57	62	26	134	64,4	8,0	12-13
634	40,5	22,8	0,25	110	5-10?		9	22	59	39	112	36,3	9,0	12-13
635	41,6	22,5	0,25	40-50	10?		0	32	45	1	76	69,3	42,8	12
636	41,7	16,8	0,25	90	10-20	10	8	1	15	49	62	30,0	10,7	12
637	41,9	16,6	0,25	0	?			15	92	2	103	327,0	14,8	2
638	43,4	17,7	0,25	30				18	62	6	80	332,9	7,7	12
639	43,4	17,4	0,25			4	8	13	68	13	87	308,1	10,9	12
640	42,6	12,6	0,25			8	10	12	56	28	87	304,3	17,1	12
641	43,6	13,5	0,25	?	10-20?	6	5	5	23	86	95	303,6	11,7	12
642	43,2	12,8	0,25			много	0	8	56	25	79	295,6	13,3	12
643	43,2	11,2	0,25	?	10?	много		3	60	11	39	30,4	15,5	12
644a	45,1	10,9	0,25								31	112,7	42,9	12
645					10-20?			16	41	30	27	126,3	86,2	12
645a	44,2	7,8	0,25	?							62	289,9	10,9	12
645b					10?	3	4	7	43	3	48	275,5	11,9	12
646	39,5	15,9	0,25	270	10?	6	3	13	85	10	87	271,0	11,6	12
647	39,4	14,3	0,25	—	0	2	4	4	47	28	74	286,4	16,2	12
648	40,1	14,3	0,25	?	10?	3	4	5	139	11	144	276,1	7,6	12
649	39,7	12,7	0,25	—	0	4	4	0	93	15	84	278,3	8,4	12
650	40,1	10,9	0,25	—	0	4	4	0	51	16	70	285,6	11,0	12
651	41,1	10,5	0,25	0	25	5	8	16	39	39	97	116,3	10,3	13
652	37,8	25,7	0,25	135	5-10		0	25						

Таблица 1-1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
653	38,5	26,8	0,25	135	3-5		6	28	38	55	116	113,1	8,6	13
654	49,3	38,7	0,25		0-2		8	9	30	34	64	57,0	8,9	13
655	50,4	40,3	0,25	145	2		5	10	37	35	73	57,6	6,4	13
656	50,2	43,4	0,25	110			5	20	33	33	81	63,5	16,5	13
657	48,1	45,7	0,25	330	3		3	25	35	18	75	66,1	13,8	13
658	49,9	46,5	0,25	250	1,5-2		5	14	33	20	64	67,7	15,8	13
659	52,7	44,9	0,25	—	0		1	7	32	34	74	61,4	8,2	13
660	53,7	48,1	0,25	250	1-2		4	12	32	9	40	57,0	8,6	13
661	61,3	46,2	0,50				6	16	30	20	59	55,3	13,2	13
662	60,3	42,5	0,25	265	0-3		11	5	26	28	57	27,3	14,4	13
663	62,2	42,3	0,25	135	0-1		6	10	30	20	55	46,1	14,7	13
664	69,3	46,8	0,25	220	0-1		5	6	46	33	81	48,8	17,1	13
665	52,7	52,5	0,25	3	2-3		3	2	23	23	44	92,6	29,6	13
666	52,4	50,6	0,25	сл. рельеф			6	1	19	31	44	71,4	19,1	13
667	48,6	50,4	0,25	сл. рельеф			5	3	14	49	59	67,7	25,0	13
668	49,5	48,8	0,25	325	2-3		6	11	22	21	51	62,5	16,1	13
669	47,7	49,4	0,25	295	0-3		3	0	17	42	57	80,7	28,2	13
671	46,2	31,2	0,25	190	1-2		4	17	44	38	94	62,8	5,5	13
672	48,4	32,6	0,25	130	1-2		6	3	13	43	52	57,9	8,8	13
673	49,0	33,7	0,25	20	0-1		5	20	32	28	72	60,1	11,2	13
674	49,2	36,5	0,25	40	1-2		6	7	29	67	96	61,3	13,9	13
675	51,9	40,6	0,25	305	0-6		4	16	25	40	74	55,3	16,7	13
676	55,8	44,7	0,25	300	4		6	13	48	43	86	61,4	10,5	13
679	43,6	22,2	0,25	?	11	0	6	22	68	13	109	34,6	8,4	14
680	43,4	21,7	0,25	?	14		мало	9	33	33	70	29,4	5,9	14
681	43,2	21,7	0,25	220	15	0	мало	12	22	21	64	61,2	27,5	14
682	43,3	22,2	0,25	160	14	0	много	29	56	15	95	35,1	8,4	14
683a	42,3	23,0	0,25	225	5	0	много	32	72	38	90	53,0	10,2	14
684	42,5	23,8	0,25	135	6-7	0	есть	19	29	27	71	49,3	5,4	14
685	43,0	23,3	0,25	315	7		0	12	23	20	53	45,8	4,6	14
686	43,4	21,0	0,25	45	8-10		есть	17	28	28	69	47,5	4,6	14
687	43,0	44,7		BCB	7		есть	14	22	3	37	78,8	11,8	15
688	40,8	44,7		80	7-8		есть	3	52	5	57	83,9	20,2	15
689	43,6	48,0		90	мал		есть	7	61	2	65	81,5	15,6	15
690	40,7	48,0		0			есть	2	22	1	24	82,9	11,4	15
691	43,4	36,0					есть		23	3	25	78,8	6,1	15

Таблица 1-1 (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
692	41,0	36,0		180		0	есть	1	16	3	16	86,9	10,5	15
693	43,2	33,5		180		есть	0	10	49	9	48	75,7	18,6	15
694	40,7	33,2		45	1	0	0	11	57	9	70	79,5	11,4	15
697	59,3	37,4		40	6	0	0	6	31	1	37	37,4	6,5	14
698	59,5	40,9		20	1	много	мало	4	18	9	26	38,0	11,5	14
703	64,3	46,9		300	1-3	много	0	7	9	4	20	43,9	28,0	14
704	65,9	43,2		ЮВ	10-14	много	много	13	19	9	39	40,4	27,3	14
715	39,0	10,6		45	мал	много		8	28	9	43	270,9	11,6	16
716	39,2	11,4				много		13	10	7	48	273,0	9,9	16
717	39,1	7,2		180	14	много		5	50	8	57	265,7	7,7	16
721	39,0	5,3		0	мал	много		10	28	8	44	267,7	15,0	16
723	41,0	11,7				много		4	10	3	16	279,7	9,2	17
724	40,9	10,7				много	мало	3	18	7	27	283,3	8,8	17
725	41,0	9,9				много	0	—	20	11	29	228,8	7,0	17
727	40,7	7,9				много	мало	2	15	12	28	277,3	6,6	17
728	41,5	7,7				много	0	3	6	3	12	286,7	9,7	17
729	42,5	8,3						6	15	11	30	291,5	6,1	17
731	42,5	10,3				мало		5	24	13	39	291,2	7,3	17
732	10,3	26,1		45	мал	много		2	10	4	16	173,8	6,7	16
733	9,4	25,7	0,25	315	0-8	много		0	23	15	37	174,1	12,1	16
734	9,0	24,9		165	14	0		9	63	10	76	177,0	8,6	16
736	7,8	24,2				много		2	8	12	20	186,8	6,5	16
741	10,0	23,8				много		2	33	0	32	175,9	6,6	16
743	9,5	20,5				есть		5	49	1	53	186,2	7,9	16
744	8,6	20,3				много		2	3	4	9	191,1	7,1	16
745	7,9	20,9		180	4	много		2	11	4	17	180,6	7,0	16
746	6,1	21,1				есть		7	40	4	45	184,1	8,2	16
750	11,1	26,8		180	12	есть		0	25	30	52	178,7	8,8	16
751	11,8	28,6				есть	много	1	12	9	22	174,8	8,2	16
755	9,0	26,2		240	10	много		0	5	1	6	174,2	6,1	16
756	6,3	26,9						3	5	22	28	178,4	11,6	16
757	5,0	26,9		45	3-4	много		0	10	2	12	181,2	7,4	16
758	4,4	26,2		225	?	есть		2	2	27	30	171,8	13,9	16
759	3,9	26,1		26	6	много		4	13	3	20	180,8	18,3	16
760	2,8	25,0	0,50			есть		3	24	50	71	178,7	10,9	16
762	2,1	24,8						8	26	0	38	175,6	10,7	16

Таблица I-I (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
767	4,2	23,9				0		12	12	7	29	169,0	9,4	16
771	5,3	21,3				есть		3	5	3	11	190,5	12,1	16
772	4,8	20,6				есть		2	20	10	32	185,3	9,3	16
778	3,5	22,2				нет		2	8	3	13	171,2	14,9	16
779	40,8	21,8					мало	9	12	7	26	63,8	21,9	14
780	42,1	22,4						3	11	5	18	42,2	7,0	14
781	41,3	22,5		185		0		5	20	6	30	16,8	5,1	14
782	42,1	19,2		20			108	19	38	1	54	335,2	12,4	14
787	18,3	19,5		200	20	есть		36	40	18	89	192,5	10,0	16
792	18,7	18,6				есть	есть	11	22	23	53	192,1	8,7	16
794	18,8	17,6				есть		7	15	2	22	193,9	6,3	16
798	18,6	14,1				0		13	14	1	26	189,8	9,7	16
800	17,5	13,4						10	9	8	26	198,2	15,6	16
802	16,7	9,9				есть		11	8	7	25	196,0	27,3	16
817	41,1	35,3		355	4	0	мало	14	15	22	45	80,1	10,2	18
818	39,6	36,7		75	3	0	мало	26	13	6	42	84,6	8,8	18
825	32,6	41,9		128	30	много		0	6	14	18	110,0	6,1	18
826	28,4	43,3				много		5	17	21	40	125,4	14,8	18
827	31,9	43,4			3	много		3	12	20	31	120,5	9,9	18
828	32,9	42,3		315		есть	есть	5	21	26	49	121,8	11,5	18
829	33,1	43,6				есть	мало	2	34	12	47	110,7	10,1	18
830	33,0	45,6					0	14	29	1	40	111,0	10,4	18
831	33,7	45,5		160	5	есть		10	10	21	39	119,1	17,5	18
832	35,1	45,4		120	2	много	есть	4	18	11	33	123,0	20,3	18
833	27,6	43,1		180	1		много	3	10	14	25	126,4	7,2	18
834	27,3	37,3		260	2	много	есть	5	14	10	28	129,5	10,7	18
836	25,0	47,0				есть	0	4	9	10	23	81,3	36,5	18
837	25,4	46,2		225	3	есть	мало	4	9	16	29	113,8	32,7	18
845	23,1	46,2				есть	много	2	14	9	24	127,5	30,1	18
846	24,4	46,5		30	3	есть	0	3	9	9	20	128,5	26,4	18
856	15,7	27,0		0	4	0	0	7	13	13	33	176,5	8,0	17
857	16,1	28,5		—	0	мало	0	8	21	14	42	174,9	6,8	17
858	16,6	29,9						1	8	13	22	162,7	8,8	17
859	16,4	34,5				0		4	11	11	26	166,0	10,0	17

Таблица 1—2

Средние направления повала деревьев в точках с ненормированными
пробными площадями

Номер проб- ной пло- щади	Координаты		n	$\overline{A}^\circ$	s	Номер проб- ной пло- щади	Координаты		n	$\overline{A}^\circ$	s
	x	y					x	y			
13	22,8	8,1	7	211	3,2	355	42,2	44,0	66	82,9	5,6
32	27,3	11,6	13	213	6,0	356	42,3	44,3	92	82,7	9,3
41	28,0	12,1	12	210	4,0	357	42,3	44,8	51	83,3	11,9
42	28,6	12,4	19	209,7	1,1	353	42,3	45,4	24	77,7	10,7
58	30,8	14,0	18	210,0	5,4	365	42,4	46,0	41	77,3	10,7
59	31,1	14,2	23	202,8	7,8	367	42,4	46,9	31	83,2	16,6
60	31,8	14,7	10	210,0	5,5	371	42,4	47,3	44	76,0	10,8
67	32,5	15,2	17	214,7	3,2	385	42,9	18,9	31	328,9	11,1
70	33,2	15,6	56	214,5	6,0	386	43,1	18,4	42	333,0	7,1
79	33,8	16,1	107	216,5	3,8	387	43,3	18,0	7	322,1	5,2
80	34,5	16,6	27	206,5	10,1	388	43,5	17,6	24	336,7	9,5
95	37,9	18,9	27	212,4	2,5	389	43,7	17,1	14	336,4	7,2
106	38,3	19,2	7	231,4	7,4	390	43,9	16,7	30	329,3	7,3
139	43,8	22,1	58	20,6	10,1	391	44,2	16,2	28	329,5	9,0
141	44,7	22,4	59	20,7	3,7	392	44,6	15,3	13	326,5	4,6
143	45,6	22,7	60	20,4	1,7	393	44,8	14,9	23	327,4	4,4
152	38,3	23,9	33	104,2	14,7	394	45,0	14,4	33	328,9	6,2
153	38,9	23,3	13	107,3	6,7	395	45,2	14,0	7	332,9	5,2
157	46,6	23,0	14	23,2	6,4	396	45,5	13,5	6	319,2	6,1
158	48,4	23,6	16	18,8	2,2	397	45,9	12,6	6	320,0	5,0
172	50,4	24,2	65	21,8	13,5	398	46,1	12,2	34	317,8	9,8
180	36,1	25,7	21	124,8	7,9	399	46,4	11,8	26	325,0	7,3
181	36,7	25,2	30	121,3	5,8	400	46,6	11,3	13	316,2	8,1
190	34,7	26,9	22	122,5	4,5	401	46,8	10,9	25	324,2	7,2
197	34,0	27,2	63	126,0	7,2	402	47,0	10,4	5	318,0	9,8
204	32,4	28,8	41	133,4	4,3	403	48,1	8,1	8	321,9	8,6
205	33,1	28,2	52	131,0	5,4	407	29,4	13,1	32	209,8	2,3
213	30,9	29,5	44	130,7	7,4	408	40,4	22,2	45	76,4	30,4
214	31,3	29,7	42	129,0	2,7	409	37,9	22,2	115	112,7	42,5
215	31,7	29,4	47	130,0	3,1	412	42,1	22,3	55	43,8	18,6
220	30,1	30,7	51	135,2	4,4	414	47,7	22,1	33	30,4	34,9
221	30,6	30,3	53	136,2	3,7	415	49,6	22,1	14	12,1	8,0
227	29,3	31,4	42	133,1	6,5	416	42,8	21,8	74	34,3	13,0
240	27,5	32,8	34	139,6	10,5	417	41,0	21,6	26	68,7	32,3
241	28,5	32,0	47	142,6	7,5	418	40,2	22,0	25	80,0	26,5
256	26,3	33,7	58	141,5	5,7	419	39,6	22,7	8	19,4	18,4
261	25,1	34,6	22	142,0	11,9	420	37,5	24,5	42	113,6	5,8
276	24,1	35,3	32	138,0	10,0	421	42,4	47,8	63	76,8	15,5
281	21,1	36,4	41	143,9	7,8	683 б	42,3	23,0	40	110,3	7,6
283	22,3	36,1	30	139,5	4,7	683 в	42,3	23,0	8	154,1	22,0
293	20,5	37,5	67	143,6	10,9	706	66,0	44,9	39	46,2	31,7
350	42,2	43,1	105	79,2	6,7	707	67,8	42,6	31	53,7	35,6
351	42,2	43,5	51	80,2	8,2	708	65,9	38,3	30	64,3	37,5
352	42,2	43,8	60	82,7	7,7						

Таблица 1—3

Распределение азимутов поваленных деревьев на пробных площадях

A_0 — начальный азимут в градусах, количество поваленных деревьев по которому записано справа в столбце (0). Для пробной площади против ее номера в k -й колонке l -й строки записано количество деревьев, поваленных по азимуту $A_0 + [k + 10(l-1)] \cdot 5^\circ$. Например, на пробной площади 9 по азимуту $20^\circ + [2 + 10(2-1)] \cdot 5^\circ = 260^\circ$ повалено 5 деревьев.

Номер пробной площади	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	10	1 2 1	2 1 0	2 1 1	0 1 0	3 2 0	0 2 0	0 4 1	0 0 1	1 1 1	0 1 1
2	230	1	0	1	1	1	2	1	1		
3a	190	1 0	1 2	0	1	0	1	0	2	1	1
3	260	1 1	1 1	0 1	1 1	0 1	4	3	5	5	5
3б	30	1 1 1	2 1 0	1 1 0	1 0 1	0 1 0	0 0	1 0	1 1	2 1	0 2
4	270	1 2	0 0	0 1	0 0	1 0	2 0	2 1	4	3	1
5	280	1 1	2	4	4	1	1	0	0	1	2
6	240	4	1	2	3	0	0	2			
7	240	2 3	3 2	4 2	6	11	19	24	9	5	4
8a	5	1 0 1	0 0 3	1 0 1	1 0 1	1 0 3	1 0 1	0 0 2	0 0 1	0 1	1 1
8	245	2	0	0	0	1	1	2	1		
9	200	1 5	1 12	2 5	1 1	2 3	1 3	5 0	5 1	7	6
10	235	1	1	4	8	2	5	0	4		
11	225	2 4	3	3	10	13	13	21	14	11	1
12	190	1 4	2 1	4 1	5 0	3 1	4	4	4	5	2
13	205	1	4	2							
14	210	1 0	1 1	0	0	3	1	2	2	1	2
15a	45	0 0 0	1 0 0	2 0 0	0 2 0	1 0 1	0 1 0	1 0 1	0 0 2	0 0	1 0
15	255	3	1	7	5	6	1	0	1		
16	285	2	1	4	3	1	1	0	0	0	2
17	295	1	2	5	3	6	1	0	1		
18	190	3 1	0 0	1 1	3 0	1 1	3	2	2	4	1
19	220	4 1	7	13	21	10	15	10	6	0	1
20	210	1 3	0 1	2 2	1 1	2 1	1 1	1 1	2	4	4
21	230	2	7	9	11	14	10	12	10	5	
22	215	2 7	2 7	2 4	4 2	5	6	11	7	17	25
23	240	3	3	12	18	25	17	11	11	4	5
24	265	1	3	1	4	6	6	4	2	1	
26	175	1 0	0 1	0 0	0 1	1 0	1 1	1	2	1	2
27	225	1	5	1	1						
28	250	1 5	0 2	0 1	0 3	2 1	4 2	1 2	4 0	3 0	2 0

Продолжение таблицы I—3

Номер пробной площади	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
29a	45	0 1 0 0 0	0 0 0 6 4	2 1 0 1 4	0 1 1 1 1	0 0 0 0 0	2 0 1 0 0	0 2 1 1 1	0 0 1 1 1	1 0 1 1 1	0 0 1 1 1
29	275	4	6	4	1	0	0	1			
30	185	1	0	1	0	3	2	2	1		
31	190	5	5	5	11	17	15	18	14	6	2
32	210	10	0	1	2	5	6				
33	205	3	0	6	4						
34	195	1	1	1	2	6	3	8	4	13	6
35	205	2	1	2	2	2	7	14	3	4	
36	225	2	2	6	10	13	19	12	10	7	3
37	285	1	7	17	14	21	21	14	12	3	5
38	295	1	2	3	1	3	2	1	0	1	
38a	0	3	0	0	0	2	0	0	0	0	0
39	175	0	0	1	0	0	0	1			
40	170	1	2	4	8	7	12	16	15	15	14
41	210	8	5	4	3	1	3	2			
42	200	2	1	4	3	4	3	5	18	23	40
43	215	15	5	1	2	0	2				
44	190	12	0	0	1						
45	270	2	1	18							
46	285	37	0	1	1	0	1				
47	315	1	1	3	2	8	12	21	21	12	12
48	220	14	6	2	2	4	1				
49	175	1	1	1	13						
50	170	2	8	4	10	10	18	22	25	15	11
51	190	2	8	1	7	1					
52	180	1	4	4	6	4	7	5	3	3	1
53	175	1	3	0	0	0	0	0	0	1	0
54	200	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1
55	240	1	0	4	0	2	2	1	0	1	6
56	305	1	2	5	2	1	2	1	1	1	1
57	195	0	2	3	1	3	0	1	1	0	1
58	205	2	1	1	0	2	0	2	0	0	1
59	190	2	0	0	0	1	0	0	0	1	
60	200	4	3	7	6	11	12	15	10	8	3
61	275	4	2	2	3	3	5	15	15	15	15
62	310	11	1	2	3	1	2	1	12	3	4
		1	1	1	5	9	20	27	12		
		1	1	1	1	3	2	1	3	20	5
		1	2	3	1	1	9	22	23	20	5
		4	4	2	1	1	1	1	1	1	2
		4	5	8	13	15	14	11	2	5	2
		2	8	0	1	6	2	5	7	3	2
		2	4	5	2	3	0	1	0	0	0
		1	1								
		3	9	4	11	14	9	22	7	1	2
		2	6	3							
		17									
		9	1	7	1						
		3	1	10	1	6	1	1	1		
		1	2	4	2	1	1				
		2	1	2	5	4	6	6	4	11	16
		14	11	5	3	1					
		1	1	2	1	7	22	24	9	8	3
		6	3	1	1						

Таблица 1—3 (продолжение)

Номер пробной площади	А°	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
63	170	1 4	1 1	6 1	7 1	11	29	27	22	8	6
64	170	1 1	1 1	2	7	16	30	17	20	9	1
65	175	1 2	1 2	2	1	6	14	19	14	11	6
66	180	1 2	1 2	3	4	3	15	17	18	11	7
67	200	2	1	1	13	2	0	1			
68	150	3	6	17	26	11	3	2	1		
69	175	1 7	3 4	0 1	5 1	5 0	2 1	6	9	14	5
70	180	2	0	0	1	4	1	9	33	1	8
71	300	1 3	3 1	0	5	5	17	19	28	19	9
72	310	1 1	0	3	2	2	6	6	7	3	1
73	300	2 2	0 1	2 2	1 2	2	11	8	25	16	5
74	310	1 6	1 3	3	2	3	8	15	9	5	4
75	165	2	1	8	4	15	18	18	10	7	2
76	180	6	15	15	14	19	16	7	4	3	
77	180	4 0	0 0	0 1	27	0	2	12	0	0	0
78	175	2 1	3	7	17	23	23	24	10	5	4
79	195	1 0	3 0	0 2	2	88	0	17	0	0	1
80	180	1	0	1	9	1	0	5	9	1	1
81	310	2 3	0 3	1	1	5	11	27	19	19	6
82	275	1 5	0 5	1 14	0 15	5 25	1 17	3 9	3 6	2 6	4 3
		1 2	3 1	1 2	2 2	4 2	3 0	4 4	4	1	4
84	175	4 1	6	14	27	26	22	14	7	3	2
85	175	1 1	1 1	2	11	17	21	22	18	1	3
86	180	5 1	2	8	11	26	15	9	3	2	0
87	305	1	1	1	2	2	26	8	19		
88	335	4	8	17	18	30	8	8	2	0	1
89	305	1 7	1 7	3 1	6 3	5	6	11	32	33	12
90	310	1 1	1 1	1 1	0 0	4 0	6 1	3 1	3 2	4 1	0 0
		1 1	1 2	0 0	1 3	0 3	1 0	2 1	0 2	1 1	1 0
91	160	2 3	0 1	3	7	15	23	23	12	10	2
92	165	2 4	1 1	3	11	8	20	19	9	4	2
93	200	1 3	1 2	1 2	6 2	11	19	16	13	10	7
94	210	2	3	5	10	12	10	5	4	1	3
95	205	1	14	13	2						
96	215	1 0	2 1	3	11	14	11	18	6	5	6
97	300	1 11	1 5	4 3	2	2	1	15	21	22	16

Таблица 1—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
98	310	3 1	4	5	17	14	25	18	11	8	3
99	330	2	2	6	17	21	31	19	7	1	
100	345	8	15	25	29	8	5	0	1	0	1
101	165	1	3	1	1	1	2	1			
102	155	1 3	1 1	2	3	6	16	28	8	6	4
103	175	2 1	3	12	27	17	14	7	1	1	0
104	150	3 0	1 3	1 1	1	5	9	20	10	9	2
105	205	1 0	1 1	1	5	5	11	12	7	9	3
106	205	1	0	0	0	4	0	0	3		
107	0	2	0	0	2	1	0	3	2	1	2
		2	2	4	2	0	5	1	1	7	2
		0	1	1	0	5	1	2	4	1	1
		3	2	2	6	1	0	0	2	0	3
		0	0	2	1	0	4	0	0	0	0
		1	0	2	0	3	0	0	0	0	0
		0	0	0	2	0	0	4	1	0	3
108	330	5 2	3 1	7 2	2 1	6	9	24	7	9	8
109	330	1	2	5	2	10	33	16	2	3	1
110	325	1 9	1 2	4 3	6	10	25	13	17	17	11
111 _a	45	4	0	0	1	0	0	6	1	0	10
111	135	1 0	0 0	0 7	0 1	0	0	2	0	0	23
112	160	1 1	1 0	3 1	10	22	23	21	10	3	4
113	160	1 0	2 2	2	6	22	31	21	8	3	1
114	340	7 3	2 3	5 1	4 2	9 1	16	13	8	11	8
115	145	2 2	3 0	0 1	10	13	23	31	14	11	14
116	155	2 1	3	2	15	22	35	12	5	1	2
118	355	1 1	3 2	2 0	4 1	4 1	6	9	11	3	5
119	335	2 2	2 1	5 1	7	9	12	17	21	18	9
120	355	3	8	7	24	23	10	6	5	1	
121	350	2	1	8	13	29	15	2			
122	335	2 3	1 2	5 5	4 3	14 1	20 1	12	17	13	5
123	350	2	1	22	16	9	3	3			
124	155	1	12	15	26	28	18	20	8	2	2
125	155	1 0	1 1	3	6	17	37	26	11	4	1
126	125	1 7	1 13	0 4	2 2	0 1	2	0	4	5	9
127	60	3 2	0 2	1 1	1 2	2 0	4 0	0 0	0 1	1 2	0 0
128	105	2 1	5 1	12 0	7 2	10 0	2 2	1 1	0 0	2 0	1 1
1 29	130	1 1	0 0	1 1	0	0	7	7	11	7	1
130	160	6	9	9	1						

Таблица 1—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
131	140	2	0	4	9	27	18	3	0	1	
132	130	1	1	3	1	20	27	15	7	1	3
		0	0	1	0	0	0	0	1	1	2
133	115	3	2	1	0	5	7	44	67	24	7
		3	0	0	1	0	0	1			
134	140	3	13	12	19	12	3	3	3		
135	125	2	1	5	17	23	32	31	22	12	5
		1									
136	140	2	5	10	18	25	19	11	5	3	1
137	60	3	1	1	0	0	1	5	1	1	2
		3	1	2	0	1	0	1	1	0	1
		2	0	0	1						
138	20	1	0	4	3	0	1	0	0	0	0
		0	1	0	0	1					
139	330	2	0	0	1	1	0	2	1	6	9
		19	5	9	4	0	2	0	0	1	1
		0	1								
140	0	1	0	7	6	2	0	21	2	1	2
		0	0	1							
141	0	5	1	0	1	50	3	3	1	0	1
		2	1								
142	350	1	0	5	1	4	22	4	4	4	1
		0	1								
143	5	2	0	0	56	3	1	1	0	3	
144	5	1	1	0	1	0	0	0	1	1	0
		1	1	2	1						
145	140	5	1	5	2	6	8	11	34	26	7
		6									
146	105	2	3	0	1	1	0	0	0	1	0
		2	0	0	1	3	7	3	4	0	0
		1	0	1	1						
147	140	1	1	2	1	3	4	9	38	8	8
		5	1	3	0	2	1				
148	95	3	1	2	1	0	3	1	2	0	2
		0	0	1	1	0	2	2	6	7	2
		0	1	1	0	1	3	1			
149	160	2	7	16	46	24	12	4			
150	140	2	0	1	3	6	19	38	10	2	3
		0	0	1							
151	155	5	5	7	27	38	26	1	2	0	1
152	50	2	1	2	0	0	1	0	0	1	3
		1	10	6	4	5					
153	85	1	0	0	4	4	1	3	1		
154	30	1	3	33	50	57	29	16	3	4	
155	20	3	4	9	11	8	3	2	1		
156	0	1	0	1	6	22	48	64	18	6	
157	15	1	9	0	3	0	1	1			
158	15	4	12								
159	5	1	3	12	32	24	18	2			
160	355	1	2	5	15	14	16	18	9	3	2
		2	1								
161	160	2	5	9	14	24	24	14	9	7	6
		1									
162	165	2	6	9	25	21	11	4	1		
163	145	1	6	1	2	4	6	40	18	7	4
		0	3	0	1						
164	160	2	4	21	44	26	16	10	2	1	
165	130	1	3	0	0	4	1	0	12	61	16
		12	2	1	1						
166	150	2	2	3	15	40	24	6	6	1	
167	40	1	0	2	1	9	15	62	33	22	8
		6	3	6	10	1					

Таблица I—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
168	50	1	7	15	24	46	17	10	9	7	1
169	20	1	1								
170	10	3	1	4	13	22	11	13	2	0	1
		3	2	5	5	28	40	16	8	0	1
171	0	2	0	1	2	8	17	36	30	12	4
		5									
172	0	1	5	15	2	22	4	5	0	1	4
		6	0	1							
173	0	1	4	4	8	17	31	22	9	10	6
		0	1								
174	340	1	0	0	0	4	4	4	3	3	4
		2	1	0	2	0	2	2	2	1	1
		0	1	3	1	3	1	0	1	1	
174'	10	2	0	2	18	5	2	0	0	0	0
		0	1	0	1	2	0	0	1	0	2
		1	1	4							
175	90	1	0	0	0	2	0	2	1	1	0
		4	0	2	0	11	1	11	46	13	2
		7	0	9	0	2	0	2			
176	130	1	1	2	0	15	3	9	21	32	18
		8	0	4							
177	150	6	6	39	64	15	3				
178	150	1	5	14	40	17	8	2			
179	145	1	0	19	18	32	12	5	1		
180	110	2	0	8	4	2	4	1			
181	110	2	9	7	4	7	1	0	0	1	
182	100	2	8	5	20	22	18	20	12	7	1
183	45	2	1	0	5	0	0	12	2	0	6
		0	2	0	1	0	1	0	3		
184	145	1	0	1	1	1	3	4	1	1	0
		1									
185	155	1	1	1	2	2	3	1	0	1	
186	140	4	1	9	2	17	11	48	19	10	5
		6	0	2							
187	120	1	1	4	2	4	1	7	2	4	7
		11	48	11	7	1					
188	90	3	3	36	12	4					
189	150	5	13	43	64	35	0	1			
190	100	1	0	0	2	11	5	4			
191	60	2	0	1	10	0	0	2	0	0	1
		0	0	1	0	2					
192	40	3	8	62	85	60	18				
193	20	2	5	15	48	86	50	22	3	1	1
194	20	4	2	19	41	64	25	6	1	1	
195	160	1	7	4	3	5	2	1			
196	165	4	10	6	8	2					
197	90	3	0	0	1	0	1	27	6	12	15
		0	1	1							
198	25	1	3	5							
199	10	1	1	3	21	10	10	0	1	1	
200	150	1	2	1	1	5	2	7			
201	135	1	0	0	3	0	46	7			
202	125	4	1	1	3	3	18	21	69	34	13
		1									
203	150	6	4	65	11						
204	125	6	6	24	5						
205	120	5	10	8	28	1	1	1			
206	70	2	43	3							
207	20	1	0	1	3	8	29	47	36	8	2
		2									

Таблица I—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
208	0	1	1	2	4	3	2	1	3	1	
209	135	1	1	2	3	0	0	1	3	4	5
		1	1								
210	120	1	1	1	0	7	13	43	65	51	32
		6	1	4							
211	137,5	3	2	45	42	5	2				
212	120	1	0	4	1	2	0	0	1	23	5
		0	1	2	0	2	2	0	3	0	1
		0	0	1	0	0	0	2	0	7	0
		3									
213	110	1	3	3	6	15	9	6	2	1	
214	120	1	11	28	3	4	1				
215	120	1	9	29	9	2					
216	50	5	25	65	81	25	6	1			
217	30	3	1	5	28	1	0	3	0	1	0
		0	1	3	1	3	1	1	0	1	
218	140	1	0	1	3	3	8	6	3	2	0
		1									
219	145	37	15	2	1						
220	115	1	1	2	13	17	19	0	3		
221	125	3	10	20	23	0	1				
222	90	2	1	1	5	14	26	66	17	11	2
		2									
223	65	3	4	2							
224	25	5	2	10	29	31	9	7	2	2	
225	140	1	0	0	1	3	6	9	2	6	2
		0	0	0	1						
226	110	1	1	3	1	1	5	21	31	39	26
		17	8	1	1						
227	120	4	5	6	16	10	1	0	0	1	
228	60	2	0	0	0	0	15	0	0	2	0
		0	13	0	0	0	10				
229	70	2	18	4	0	5	2				
230	45	1	3	5	16	39	18	2	3	1	2
		2	1								
231	50	5	31	78	58	32	2				
232	0	1	0	0	2	1	20	6	4	1	3
		1	0	1	1	0	2	0	0	1	1
		1	4	0	0	1	1				
233	0	2	5	3	0	1	1	0	1	0	1
234	120	2	0	0	0	0	1	1	1	2	4
		3	2	0	1	2					
235	160	5	6	6	2	2	3				
236	145	1	2	1	1	3	4	5	1	1	0
		1									
237	150	1	1	0	4	5	9	11	6	3	
238	120	3	4	10	7	9	16	21	9	7	4
		3	5	1							
239	142,5	1	37	36	5	1	1	1			
240	110	1	0	3	3	3	3	8	4	8	1
		1									
241	120	2	2	0	15	5	5	20			
242	95	1	3	6	17	32	53	25	10	8	0
		3									
243	85	6	5	8	15	20	37	24	4	6	2
243a	0	1	0	0	1	3	4	1	0	2	2
		15	4	4	6	8	4	1			
244	75	4	11	12	32	20	20	15	2	2	1
245	70	7	18	5	0	1					
246	45	1	4	21	75	66	32	6	3		
247	30	1	3	9	23	71	20	8	2	1	1

Таблица I—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
248	5	1	1	2	3	6	6	14	9	3	2
249	0	3	1	2	2	4	6	8	7	7	0
250	0	1	0	1							
		2	4	2	4	4	3	4	3	4	1
251	145	1	1	3	2	5	9	0	1	2	
252	145	1	0	0	0	6	2	3	4	2	1
253	145	1	5	2	5	5	9	1	5	1	
254	145	1	3	12	8	6	12	9	8	1	2
255	150	21	32								
256	130	4	7	26	12	7	2	0	0	1	
257	95	3	10	6	9	17	28	43	35	10	5
258	20	5	5	19	21	28	8	2	6	2	
259	25	1	5	1	2	2	0	0	1		
260	155	1	2	2	5	7	6	0	3	1	0
		1									
261	115	1	1	1	4	1	6	2	3	0	3
		1									
262	105	3	0	3	7	14	23	25	38	15	7
		3	3								
263	105	1	2	4	5	14	38	93	16	4	3
		0	1								
264	60	6	1	6	4	4	8	20	39	21	39
		16	9	4	6	2	4				
265	60	3	4	4	5	26	31	67	73	18	11
		6	4	1							
266	45	1	5	8	22	23	30	7	5	1	2
267	45	4	13	29	94	29	21	6	1		
268	25	1	1	4	9	20	43	25	14	3	1
		1									
269	10	1	0	0	2	3	4	20	20	30	19
		3	4	1	1	1	1				
270	45	3	1	1	12	0	0	1	0	0	2
		0	0	0	1	0	2				
271	10	1	1	2	3	8	9	8	2	1	1
		0	0	2	0	1					
272	145	1	2	0	0	1	2	0	0	2	
273	145	1	5	16	9	13	7	5	2	3	0
		1									
274	132,5	3	1	0	5	9	8	2	3		
275	95	2	1	1	3	2	2	4	7	6	18
		27	16	14	13	5	2	5	1	0	1
276	115	1	3	2	1	13	4	2	3	4	
277	90	2	4	1	11	19	9	27	12	11	3
		2									
278	60	1	2	3	35	9	8	2			
279	20	2	1	2	3	23	28	50	21	3	8
280	5	1	0	1	1	2	4	3	5	4	1
		0	0	1	1	1	1	2			
281	120	2	1	0	14	2	0	23	1	0	3
282	135	1	0	1	10	28	29	7	0	0	1
283	120	2	0	3	4	18	3	2	0	1	
284	60	1	3	0	0	2	0	2	0	0	7
		7	3	7	3	4	4	2	17	1	0
		1	0	1	1	1					
285	75	3	3	3	3	8	11	11	31	27	19
		9	12	3	5	3	3				
286	80	4	3	7	21	54	36	14	11	5	5
		2									
287	15	2	0	0	3	0	0	6	0	1	9
		1	8	40	29	6	13	1	3	5	0
		0	0	1	0	2	1	1	2	3	

Таблица 1—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
288	40	2	3	6	24	21	18	9	5	2	
289	40	1	2	4	12	29	29	15	0	0	0
		2									
290	25	2	0	1	4	7	16	21	16	8	5
		0	3	0	1						
291	135	1	0	3	3	8	5	4	5	0	0
		2									
292	140	1	3	4	8	6	2	6	3	1	
293	75	2	0	0	1	0	2	0	0	1	5
		1	3	5	14	0	32	2	3	1	
294	110	1	4	7	11	26	25	23	7	5	1
295	90	2	2	2	3	8	2	31	44	36	15
		10	3								
296	90	2	1	4	6	8	21	65	24	16	9
		3	2	1	2	2					
297	0	1	1	1	2	7	2	21	6	0	8
		0	0	1	0	0	3	0	0	2	0
		0	1								
298	110	3	3	4	2	8	8	21	18	10	7
		3	2	1	2						
299	70	1	3	0	3	11	12	11	23	23	34
		12	15	3	4	3	1	0	1		
300	65	3	1	5	7	8	14	37	17	16	8
		6	1								
301	75	2	10	13	24	46	31	37	2	4	3
		2									
302	50	2	0	0	2	10	26	18	7	5	0
		1	1	4	1	0	1				
303	30	1	3	1	2	6	9	37	59	54	29
		9	3	0	0	1	1	1			
304	20	1	0	2	2	2	9	24	35	44	30
		23	7	3	1	1	1	1			
305	35	2	3	8	77	76	46	11	4	0	2
		1									
306	25	1	2	3	14	18	33	31	13	6	
307	20	4	3	5	8	29	30	30	6	5	
308	35	1	3	0	2	0	2	0	0	0	0
		1	1	0	0	1					
309	90	2	4	3	4	6	12	29	16	10	1
		4	1	3	1						
310	85	2	1	2	4	8	15	19	33	14	7
		1	5	5							
311	75	6	4	3	9	1	7	16	26	32	10
		24	6	5	4						
312	50	3	0	1	0	2	0	6	3	35	11
		14	5	3	2	2					
313	30	1	1	1	1	0	0	2	6	6	6
		4	1	8	0	0	0	0	0	3	1
		1									
		1	1	4	4	40	122	27	8	1	
314	100	1	1	3	5	7	25	29	20	10	2
315	15	1	2								
		1	0	9	5	4	0	4	3	11	7
316	350	21	5	8	6	0	2				
		4	3	7	4	12	25	23	12	15	4
		3	0	0	1	0	2	1	1	5	0
317	15	1	0	0	1						
318	115	2	4	21	15	27	15	9	1		
		1	0	1	2	1	3	3	2	3	8
		7	18	9	5	7	3	0	2	1	6
319	130	3	1								
320	20	1	4	7	33	71	88	29	10	5	0
321	45	1									

Таблица 1—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
322	55	1	1	4	4	3	0	1			
323	20	4	2	0	1	1	5	3	3	3	9
		1	2	3	4	1	0	0	0	1	1
324	35	1	1	5	5	12	54	39	35	14	10
		4	2	4	2						
325	10	1	0	2	1	0	0	4	8	12	22
		32	16	4	6	1	1	1	0	1	1
326	10	1	0	2	0	3	3	1	1	1	
327	125	3	1	0	4	2	3	3	1	1	
328	50	5	1	4	4	2	2	2	0	0	0
		4	0	4	0	2	2	5	3	8	2
		12	5	1	3	6	0	1	0	3	0
		2	0	4	0	0	1	1	0	1	
329	105	2	5	3	3	4	21	7	11	7	12
		3	3	5	2	0	1				
330	105	2	3	5	2	3	5	10	10	15	7
		5	1								
331	40	3	0	1	2	0	2	4	1	2	4
		7	11	20	21	19	12	11	7	7	3
		3	5	4	3	2	2	1	0	2	
332	60	1	2	3	3	15	15	31	10	10	1
		1	1	4	1	1					
333	45	3	4	5	1	5	17	10	22	7	10
		3	3	0	1	2	2	1			
334	40	1	0	1	1	4	3	9	10	5	6
		0	2	1	2						
335	30	1	2	1	0	4	0	3	2	2	2
		1	1	3	1	2	2	2	3	1	2
336	70	3	3	2	6	9	7	8	25	17	11
		5	5	0	2	1					
337	70	2	0	0	3	6	3	11	48	78	35
		22	7	3	0	2					
338	10	1	1	1	2	2	7	10	32	45	23
		17	5	2	2	1	0	2	0	0	1
339	110	1	2	6	2	4	1	5	5	2	1
		1									
340	100	1	1	2	1	2	5	5	3	17	3
		2	3	3	2	1					
341	110	1	2	8	1	7	4	11	12	4	4
		2	2	4	1						
342	90	3	2	11	7	10	6	12	4	16	3
343	60	3	1	4	25	9	1	4	1	3	1
		1									
344	30	3	2	0	7	0	2	12	1	10	56
		32	5	19	1	4	5	0	0	0	1
345	25	1	2	7	1	1	1	1	5	12	9
		39	48	9	7	2	1	1	1	3	3
		1									
346	60	5	9	8	37	46	7	7	2	1	3
347	40	1	1	2	1	1	4	11	4	1	3
		3	0	1	0	1	1	3	0	0	1
		0	0	1	2	0	0	0	1	1	
348	30	2	5	11	11	40	21	13	10	2	2
		1									
349	20	1	1	1	1	5	0	2	1	5	1
		3	3	4	0	3	0	4			
349a	110	1	1	7	4	12	4	7	3	2	1
		2	1								
350	60	7	4	7	36	32	11	11	4	1	1
351	60	1	1	3	17	14	4	7	3	0	1
		2	0	2							

Таблица I—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
352	45	1 2	0 0	1 1	1 3	0 0	4 1	8	20	7	17
353	40	1 1	3	6	7	18	22	14	13	2	2
354	20	1 5	1 0	3 0	5 0	11 6	15 1	12 3	11	13	4
355	50	1 0	1 0	1 2	0 0	0 1	9	32	5	18	2
356	45	2 6	0 0	1 2	6 0	1 0	1 1	15	22	13	26
357	60	3 1	3	2	8	8	8	8	6	0	5
358	35	4 2	2 4	3 3	5	4	7	11	18	18	10
359	50	5 1	4	3	0	2	0	1	1	0	0
360	5	1 26	2 21	1 16	0 4	0 2	5 2	4 1	4 1	5 2	14 1
361	15	1 5	4 5	0 1	0 2	9 0	19 1	32	39	14	13
362	25	1 1	0 0	2 1	1 0	0 0	4 0	0 0	1 1	0	1
363	60	2 1	4 0	1 1	5 4	4 0	2 2	5 4	0 12	1	2 22
364	5	16 1	10 2	7 4	3 5	3 12	2 7	4	12	13	22
365	55	0 2	1 5	1 2	1 4	2 1	5 2	5 0	18 1	31	6
366	35	9 1	1 1	2 0	4 2	1 4	2 2	5 6	0 0	2	3
367	45	3 1	3 2	3 3	2 8	2 1	3 0	9 0	10 1	4 1	6
368	45	1 1	1 0	1 0	1 1	2 2	6 6	13	1	0	2
369	35	0 2	1 0	0 0	0 1	1 2	0 0	1 1	4	9	26
370	10	12 1	7 2	0 0	0 2	1 6	2 6	0 8	6	7	5
371	45	2 1	0 1	0 4	0 5	2 1	1 1	2	0	0	0
372	40	1 1	1 0	2	4	2	1	0	0	0	0
373	35	1 1	0	2	4	2	1	0	0	0	0
374	270	1 0 0 0 3 1 1	0 0 0 2 0 0	1 2 1 2 1 0	1 0 0 1 0 0	1 0 2 2 4 0	0 0 1 0 0	1 1 1 5 5 1	0 0 0 0 0	1 4 1 2 4 1	0 0 0 0 0 0
375	65	2	3	0	1	1	1	1	1	1	
376	15	1	0	1	0	1	4	7	8	20	14
377	350	8 3 19	10 0 20	5 7 12	3 0 5	1 5 12	1 1 6	2 5 9	1 7 3	0 5 3	1 0 1
378	45	9 5	1 4	10 4	0 0	4 0	0 1	2	2		
379	30	3 7	1 4	3 1	5 0	13 3	9 1	34 1	11	8	6
380	345	1 6 2	0 5 2	0 10 2	0 11 0	0 15 1	2 13 1	1 3	4 4	2 0	3 2

Таблица I—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A ₀	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
381	30	5	1	5	0	7	1	12	11	16	14
		14	8	19	7	7	7	10	2		
382	20	1	1	0	0	0	0	2	0	2	1
		1	0	2							
383	30	1	0	2	1	4	4	2	0	2	
384	25	1	0	1	3	1	3	3	2	2	1
		1	1	0	1						
385	300	1	0	2	3	8	0	6	2	7	2
		1									
386	290	1	0	0	0	1	1	3	1	19	5
		9	4								
387	315	1	4	0	2						
388	310	1	1	1	0	8	2	6	2	3	1
		1									
389	315	1	1	0	4	1	5	3			
390	310	2	0	9	0	13	3	4	1		
391	300	1	0	0	3	6	0	10	2	5	2
392	320	4	1	8							
393	315	1	6	0	17	0	2				
394	310	1	0	8	2	16	3	4	0	1	
395	325	1	3	1	2						
396	320	1	1	3	0	1					
397	315	2	3	0	1	0	1				
398	305	5	8	4	9	0	6	0	2	0	2
399	300	1	0	1	1	12	0	9	1	2	
400	300	1	0	4	2	4	0	2			
401	300	2	0	3	0	9	0	12	1		
402	300	1	0	0	0	3	0	1			
403	310	2	1	1	0	4					
404	210	5									
405	210	32									
406	210	13									
407	200	1	4	25	3	1					
408	20	2	1	1	2	0	3	3	1	3	3
		2	1	3	0	4	4	2	2	2	2
		1	2	0	1	0	0	0	2	1	
409	15	1	2	1	4	2	2	1	4	3	4
		1	5	2	2	2	1	4	4	6	3
		1	4	9	6	4	3	9	8	5	5
		1	2	2	5						
410	10	5	7	5	12	11	4	2	1	2	1
		0	1								
411	280	1	2	0	0	0	1	0	0	0	0
		0	0	0	0	1	0	0	2	0	1
		2	0	0	3	1	0	2	1	2	2
		5	1	3	4	9	1	8	5	3	3
		3	2	0	3						
412	15	1	0	1	16	7	10	5	5	1	2
		1	1	1	0	0	1	2	0	1	1
		0	0	0	1	2					
414	330	1	0	1	0	1	1	4	0	9	0
		2	0	0	0	2	1	0	1	3	0
		1	2	1	0	1	2				
415	340	1	0	0	1	1	1	3	6	0	2
416	10	3	7	6	3	13	15	7	8	5	3
		4	0	0	3	0	0	1			
417	5	1	1	1	0	1	0	0	1	1	2
		0	2	2	3	1	1	0	4	0	0
		2	0	0	3						
418	30	1	1	0	0	2	0	3	1	1	5
		1	0	2	1	0	2	2	0	1	1
		1									

Таблица 1—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A ₀	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
419	60	1 1	0 0	0 1	1	2	0	1	0	1	0
420	85	1 0	0 1	0 0	1 1	4	13	16	5	2	1
421	30	1 6	1 5	0 7	1 1	0 0	1 1	10 2	9 3	4 1	13 2
601	355	1 0	1 3	1 1	0 3	0 5	4 0	1 2	2 2	1 2	0
606	170	1	0	5	0	1					
608	30	1	1	6	0	3	2	3	1	1	
623	160	1 1	0 1	4	14	31	29	35	19	2	2
628	55	1 0	2 1	0	1	3	4	2	5	7	1
629	100	1 1	4 0	8 1	0 0	3 2	6	0	1	1	2
630	20	1 1 0	0 1 1	1 0 0	0 1 1	0 1 1	2 0 0	2 0 1	0 0 1	2 1	3 1
631	340	1	2	6	11	4	1	4	1		
632	65	1	1	1	4	5	1	5	4	1	1
633	65	1 2	0 8	2 8	0 7	2 4	0 3	4 2	3 2	2 2	0
634	25	1 14	1 6	2 1	4 2	0 0	10 1	18 0	29 1	26	30
635	0	1 8	2 3	1 1	3 1	6 0	7 1	22	23	21	19
636	220	1 0 2 2 2 2 1	0 0 0 1 3 0 2	0 0 0 2 3 0	0 1 0 5 2 3	0 0 1 4 1	0 0 3 6 1	0 0 5 3 1	0 0 1 3 2 0	0 0 0 4 6 1	1 0 1 3 3 0
637	225	1 10	0 12	0 8	0 4	1 2	1 1	4 0	2 0	8 1	10
638	265	1 3 0	0 18 0	0 10 0	1 17 2	0 13 0	2 6 1	3 13 1	1 2 13	4 3	7 1
639	295	1 6	0 0	3 0	0 0	4 0	5 1	10 0	13 0	24 0	18 1
640	250	1 14	0 23	0 15	0 8	1 1	0 9	1 3	0 2	2 1	9 1
641	230	1 2 4	0 2 2	0 4 1	0 10 0	1 12 0	0 9 0	2 13 0	2 6 1	3 5	4 8
642	255	1 14	0 13	1 9	2 6	0 6	1 1	9 1	9	9	18
643	240	1 12	0 14	0 9	0 9	2 7	2 3	2 3	3 2	5 3	8
644a	275	2 3	4 2	2 1	7	4	3	3	4	5	0
644b	350	1 0 1 3	0 0 1 0	1 1 0 1	0 0 0 1	1 0 2 1	0 0 1 2	1 2 3 2	0 2 1 1	0 0 0 1	0 3 1
645a	345	2 0 1 0 0	1 0 0 0 0	0 0 1 0 0	0 0 1 1 0	1 0 2 0 2	0 0 1 0 1	1 1 1 0 0	0 1 0 0 0	0 1 1 0 1	0 0 2 0 1

Таблица 1—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A ₀	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6456	270	1 3 2	0 6 1	0 9	1 9	2 9	9	7	7	3	0
646	240	1 6	0 1	2 1	3	3	3	6	8	9	6
647	220	1 16	0 20	2 15	3 5	3 1	3 3	0 1	5	3	13
648	230	1 9	0 13	1 8	1 6	2 4	2 3	1 4	2 4	3 2	10 0
649	245	1 2 4	1 2	1	9	11	22	35	36	25	6
650	255	5 1	2 1	7 1	15	13	19	16	9	3	0
654	35	1 2	1 2	7	17	11	10	10	3	5	0
655	35	1	4	6	8	21	23	10	5	3	1
656	30	2 6	2 4	4 2	6 1	5 1	10 2	17 3	0 1	13 0	6 1
657	30	3 7	2 1	2 5	2 2	4 1	11	13	7	7	12
658	40	2 4	3 2	8 3	4 0	12 2	8 1	4	3	7	4
659	45	2 1	9	14	16	16	11	3	3	1	0
660	35	1 1	2 0	1 1	11	9	7	5	2	3	0
661	10	1 11	3 5	0 4	1 1	2 4	2 1	5 2	4	12	7
662	320	1 7	0 3	1 7	0 7	1 9	0 5	0 6	1 5	2 2	1 1
663	350	1 7	0 8	1 8	0 7	1 4	0 0	2 2	1 3	7 1	4 0
664	5	2 1 11	0 4 9	0 0 5	0 3 4	0 2 1	0 6 1	1 3 2	7 1	5 2	17 1
665	350	1 0 3 3	1 1 3 0	0 1 4 1	0 3 3 0	2 2 2 1	0 1 1 0	0 3 1 1	0 3 2 1	1 2 1 0	0 2 0
666	340	1 1 2	0 0 1	0 1 2	0 0 2	0 3 3	0 5 0	1 7 1	0 4 0	0 3 0	0 8 0
667	350	1 0 1	1 0 1	1 0 3	0 3 2	1 0 7	3 5 0	1 9 1	1 6 1	3 5	1 1
668	20	1 10	2 2	0 4	0 1	4 2	2 1	6 1	4 0	8 1	4 3
669	30	2 8 3	1 2 0	4 4 3	1 3 0	4 2 0	3 3 0	5 4 1	2 0 0	2 0 0	3 0 0
670	330	1 2 11	0 0 2	0 1 1	0 2 0	1 5 6	0 2 0	1 4 0	0 6 1	1 10 2	1 6 0
671	40	1	2	4	10	29	36	11	4	1	
672	15	1 9 1	0 3 0	0 2 0	1 0 0	1 0 1	1 0 1	3 0 0	5 0 0	9 0 0	18 2

Таблица I—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
673	15	2 25 1 0	1 7 2 1	1 1 0	1 0 1	1 0 0	1 2 0	1 0 0	5 0 1	9 0 0	17 0 0
674	10	1 24 1 1	0 11 0 1	0 4 1	0 3 0	1 3 1	0 3 0	3 0 0	4 1 0	9 0 1	26 3 1
675	10	1 6 0	0 10 2	2 2 0	1 2 1	0 0 2	3 2 1	5 1 1	7 0	13 2	16 1
676	15	2 26	1 4	0 4	1 1	1 6	2 1	5 1	7 1	14 13	16 5
651	250	1 1	2 3	0 5	1 0	6 1	11 1	11 1	14 13	13 5	5
652	65	1 14	1 20	0 19	1 4	0 6	2 6	2 26	8 16	5 21	17 1
653	85	1 1	3 10	2 14	17 21	12 21	21 23	26 12	16 8	21 0	1 3
679	15	1	10	14	21	21	23	12	8	0	3
680	10	1	4	4	12	31	15	3	1	4	4
681	10	3 4 2	0 1 0	0 5 1	2 0 0	5 7 0	1 2 0	6 8 1	3 0	4 5	4 1
682	15	2 0	5 1	8	29	24	11	8	6	4	2
683	20	4 5 9 1	0 1 1 0	2 4 1 0	1 1 0 0	5 4 3 0	13 1 0 1	35 4 1	13 3 0	7 12 1	4 1 0
684	20	2 1 1	0 1 1	0 3	3	4	12	38	9	5	0
685	25	1	1	3	10	15	25				
686	20	1	0	2	1	11	16	34	7	1	
687	10	1 3	1 1	0 1	0 5	0 13	0 4	0 6	0 0	2 1	0 1
688	50	3 3 0	0 8 0	3 2 1	0 0 0	1 1 0	6 0 0	22 0 0	5 0 0	3 1 0	0 0 1
689	30	1 10 0	0 8 1	0 7 2	0 4 0	2 2 0	1 3 0	5 1 0	2 1 1	7 1	10 1
690	50	1 0 0	0 3	1 7	0 0	3 3	3 8	8 4	4 2	2 0	0
691	65	1	4	7	8	4	1	1			
692	75	2	4	5	2	1	0	0	2	0	1
693	25	2 17 0	0 7 0	0 1 0	1 0 1	1 0 0	1 1 0	0 1 1	2 0	3 0	10 3
694	5	1 0 1	3 1 1	0 2 0	0 5 2	0 16 18	1 18 16	2 16	0 5	0 2	0 1
697	20	1	3	6	8	12	6	2			
698	15	1	2	2	4	3	4	8	4	1	1
703	0	2 3 6	0 0 0	1 1 3	2 2 1	0 0 1	1 1 0	1 1 4	1 2 0	1 2 1	1 0
704	0	0 6 0	0 0 0	3 3 1	0 1 0	3 1 0	3 0 0	0 4 0	1 0 0	2 2 1	4 0
715	240	1 3	0 1	5 0	1 1	3	5	10	8	4	3
716	255	2 1	1	4	8	4	5	2	1	1	1

Таблица 1—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A_0	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
717	225	1	0	0	0	3	6	3	7	13	9
		8	6	2	0	5					
721	215	1	1	0	2	0	1	2	2	1	6
		5	6	8	4	3	3	1			
723	265	1	1	0	2	3	3	3	3	1	
724	270	2	4	11	2	3	2	3	0	1	
725	270	2	3	2	7	5	11	1			
727	260	2	3	3	7	9	5	1			
728	270	1	1	2	3	1	2	2			
729	275	1	1	7	7	12	3	1			
731	265	1	1	2	3	6	10	11	5	2	1
732	160	2	0	5	2	7					
733	150	3	1	3	4	5	3	8	5	4	1
734	145	1	3	3	3	9	6	14	24	7	5
		3	2	0	0	0	2				
736	160	1	0	2	1	5	2	3	5	1	1
		1									
741	155	1	1	3	4	10	10	3	1	2	
743	160	1	0	1	8	9	11	12	7	5	0
		0	1								
744	180	1	2	2	2	2					
745	170	3	2	6	4	1	1				
746	150	1	0	1	0	4	7	7	11	11	2
		2	1	1	0	1					
750	155	2	2	4	9	5	14	10	5	3	1
751	160	2	1	5	6	4	2	2			
755	165	1	1	2	2						
756	140	1	1	1	1	1	1	3	4	7	5
		2	2	1							
757	170	1	3	4	1	2	1				
758	135	1	0	2	2	2	3	0	3	5	7
		3	2	1							
759	150	1	1	3	1	1	3	0	1	2	3
		2	1	0	1						
760	145	1	3	1	4	6	9	10	18	11	5
		2	3	2	1	1					
762	155	2	3	4	4	6	4	5	2	2	1
		0	1								
767	140	1	1	0	1	0	0	4	5	6	5
		5	3								
771	170	1	0	2	1	4	0	0	2	1	
772	165	1	2	3	4	11	5	3	1	2	
778	145	1	0	1	3	1	2	1	1	0	1
		1	1								
779	30	2	0	0	2	1	3	3	5	3	2
		2	1	0	0	2	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
780	30	2	1	8	2	4	1	0	1		
781	5	1	8	7	11	4					
782	0	2	0	1	0	0	0	1	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		0	0	3	0	3	12	7	6	6	7
		3	7								
787	155	1	1	0	5	1	5	9	24	21	8
		10	5	1	2						

Таблица 1—3 (продолжение)

Номер пробной площади	A ₀	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
792	160	1 1	0 2	1 0	1 1	3 0	10 0	14 1	12	8	1
794	180	2	4	5	7	5	0	1			
797	185	1	1	0	2	0	1				
798	165	1 1	1	1	6	4	3	5	5	0	1
800	170	2 1	0 1	2 0	3 1	3	3	0	3	3	5
802	130	1 0	1 1	2 2	0 1	0 1	0 5	1 3	1 3	0 1	0 2
817	15	1 0 1	1 6 2	1 9 1	0 17	0 5	0 2	1 3	0 1	0 0	0 0
818	50	3 4	1	0	1	1	8	6	5	13	3
825	90	1	1	2	4	9	1	1	1		
826	60	2 1	0 5	1 2	0 9	1 15	1 1	0 0	0 0	1 1	0 3
827	70	2 3	0 12	0 6	0 0	0 1	0 0	2 2	0	6	0
828	70	1 3	0 18	1 9	0 0	0 0	0 0	2 3	5 1	5	4
829	85	1	4	3	4	1	10	15	4	6	
830	70	1 3	0 2	3 3	0	1	5	5	2	4	14
831	65	1 10	1 3	0 3	1 3	1 3	0 2	1 0	5 3	2 1	1
832	95	1 0	2 1	1 3	6 4	11	4	0	0	0	0
833	100	0 1 2	0	1	3	0	14	2	3	0	1
834	110	1 1	2	2	12	3	0	3	3	2	0
836	20	1 0 1	0 0 0	0 0 3	1 1	1 0	0 0	6 0	2 0	0 7	0 0
837	50	3 0 0	0 0 4	2 2	1 3	0 2	0 7	0 4	0 0	0 0	0 1
845	55	1 0 0	0 1 1	1 0 1	1 0	0 1	1 0	1 0	2 3	0 10	0 1
846	40	1 0 0	0 0 2	0 1 7	0 0	0 1	2 0	0 2	0 1	0 3	0 1

Таблица II

Глазомерно определенные азимуты господствующего направления
поваленных деревьев

№ п/п	Координаты в км		А°	№ п/п	Координаты в км		А°
	х	у			х	у	
1	26,8	10,2	205	47	32,1	22,7	170
2	22,3	11,9	200	48	37,3	22,2	160
3	48,0	11,3	330	49	17,3	23,1	180
4	20,8	12,9	200	50	29,8	23,4	75
5	29,4	12,8	225	51	33,7	23,1	140
6	32,0	12,0	220	52	34,8	23,1	168
7	32,8	12,3	220	53	36,9	23,6	150
8	33,0	12,4	205	54	38,1	23,0	130
9	48,8	12,6	355	55	43,1	23,4	45
10	23,1	13,9	200	56	46,3	23,9	35
11	31,7	13,2	230	57	49,7	23,7	20
12	32,7	13,4	240	58	35,5	24,1	145
13	38,1	13,3	270	59	36,9	24,9	140
14	42,7	13,5	305	60	41,0	24,6	80
15	47,3	13,2	320	61	42,7	24,8	50
16	21,1	14,3	190	62	53,2	24,9	20
17	33,2	14,3	205	63	23,5	25,1	175
18	39,5	14,5	275	64	32,4	25,3	140
19	48,0	14,4	330	65	37,9	25,6	115
20	23,9	15,3	200	66	39,6	25,5	90
21	39,8	15,9	300	67	39,7	25,7	86
22	46,4	15,5	340	68	30,4	27,4	140
23	49,6	15,5	345	69	46,3	27,2	50
24	16,3	16,8	185	70	57,5	27,1	15
25	34,3	16,7	215	71	28,7	28,6	170
26	47,6	16,4	345	72	45,8	29,0	55
27	37,2	17,6	240	73	28,1	32,3	170
28	50,1	17,5	355	74	44,8	32,3	50
29	51,2	17,2	355	75	26,7	33,9	140
30	52,6	17,6	355	76	36,1	33,9	110
31	42,4	18,6	220	77	41,9	33,4	80
32	48,9	18,3	10	78	24,8	34,7	120
33	16,6	19,1	190	79	35,0	34,0	150
34	16,5	19,6	180	80	39,5	35,2	90
35	20,1	19,4	190	81	21,5	36,5	157
36	23,0	19,0	183	82	41,1	36,1	70
37	26,6	20,1	180	83	21,6	37,4	145
38	36,4	20,6	170	84	21,7	37,9	130
39	38,3	20,9	90	85	35,4	38,9	100
40	42,8	20,9	20	86	37,8	38,5	75
41	49,1	20,2	20	87	39,4	39,5	90
42	27,9	21,6	175	88	47,5	39,7	48
43	34,4	21,4	180	89	34,9	40,6	100
44	34,6	21,8	160	90	35,0	40,7	100
45	57,3	21,8	10	91	36,7	40,3	95
46	23,1	22,1	180	92	48,0	40,8	60

Таблица III
Средние направления поваленных деревьев,
лежащих внизу и вверху

Номер пробной площади	n_H	$\bar{A}_H$	s_H	n_B	$\bar{A}_B$	s_B
1	2	3	4	5	6	7
9	4	253,8	12,4	4	246,2	22,2
12	8	241,2	89,6	7	122,1	111,4
19	3	231,7	4,7	3	238,3	20,1
21	6	219,2	20,2	6	254,2	10,6
22	12	192,1		12	177,1	91,4
23	3	206,7	40,3	2	265,0	5,0
31	23	202,2	42,1	25	193,0	52,2
34	3	236,7	20,5	3	216,7	16,5
39	2	175,0	15,0	4	206,2	29,9
40	3	163,3	36,8	4	196,2	14,3
44	8	230,6	35,7	9	214,4	10,6
46	12	316,2	22,1	11	312,3	13,4
49	7	147,8	48,6	7	186,4	40,9
50	2	187,5	47,5	2	205,0	20,0
52	9	166,7	59,2	8	146,9	72,0
53	3	178,3	20,5	3	195,0	28,3
54	3	235,0	7,1	4	223,8	14,3
56	8	305,0	69,7	9	319,4	15,7
61	3	303,3	28,7	3	310,0	32,4
62	2	337,5	12,5	2	332,5	25,0
63	7	176,4	41,1	5	181,0	48,5
64	17	199,1	14,4	15	196,0	29,0
65	9	193,3	37,2	7	210,0	9,6
68	6	160,0	5,0	7	189,3	14,7
69	5	208,0	15,0	5	209,0	20,8
71	14	265,0	112,0	12	333,3	35,7
72	5	292,0	93,0	6	329,2	15,6
73	3	250,0	4,2	5	333,0	9,3
74	13	341,2	20,5	12	346,7	17,8
78	4	201,2	8,2	6	215,0	17,3
81	5	18,3	89,0	7	339,3	4,2
82	5	354,0	33,7	7	347,8	41,8
84	12	202,5	21,6	16	166,9	59,1
86	6	202,5	16,3	5	200,0	12,6
89	6	340,0	36,5	7	332,1	14,1
90	2	80,0	15,0	2	335,0	5,0
92	5	193,3	50,7	7	193,6	42,0
93	11	236,4	19,8	11	235,9	25,6
94	3	240,0	10,8	3	220,0	0,0
96	4	246,2	4,0	3	226,7	8,5
99	9	19,4	32,6	18	3,0	15,6
100	4	50,0	56,0	5	12,3	10,3
102	3	190,0	4,1	3	173,0	8,5
104	2	177,5	17,5	2	170,0	20,0
105	3	260,0	42,4	2	0,0	0,0
108	5	42,0	80,0	4	40,0	66,6
114	4	153,8	84,2	4	191,2	97,4
115	17	172,9	7,5	18	170,3	10,7
118	6	25,8	19,7	8	44,4	54,0
119	5	330,0	46,1	5	37,0	53,7
122	19	7,6	35,9	21	11,2	36,1
134	10	164,0	8,0	3	150,0	8,2
145	7	174,3	15,0	7	154,3	17,6
147	7	182,1	13,8	7	165,7	14,2
149	4	177,5	5,6	5	169,0	86,0
150	3	170,0	24,5	3	168,3	2,4
151	11	172,3	11,7	8	173,8	6,0
154	6	47,5	6,3	4	51,2	11,4

Таблица III (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
160	2	22,5	12,5	2	20,0	5,0
163	6	180,8	4,5	7	169,3	19,0
164	8	175,0	6,1	9	183,3	5,3
165	15	118,4	39,5	15	169,0	9,2
166	8	170,6	3,9	10	170,0	13,2
167	6	70,8	20,9	6	72,5	15,7
168	16	91,6	10,6	15	75,3	16,4
169	3	40,0	8,2	3	50,7	10,3
170	3	38,3	2,4	2	35,0	25,0
171	5	25,0	13,4	4	47,5	14,8
173	9	32,2	23,7	9	34,4	6,0
175	7	167,8	12,5	7	170,7	40,0
176	9	166,7	10,0	10	157,5	11,9
177	4	148,8	59,0	4	147,5	13,0
186	10	161,5	21,9	10	149,0	20,7
187	5	141,0	9,7	5	151,0	19,8
189	10	181,0	63,0	8	161,9	4,3
193	3	41,6	12,4	3	36,6	2,0
194	3	35,0	0,0	1	60,0	0,0
202	10	148,9	15,3	9	138,9	23,8
203	7	145,7	29,0	13	160,0	0,0
207	2	50,0	5,0	2	50,0	10,0
210	12	147,5	21,8	13	155,8	12,1
211	9	161,1	85,3	13	143,8	16,1
216	5	74,0	38,9	8	75,0	28,5
222	17	74,4	64,3	41	115,1	14,9
224	3	56,7	36,8	6	47,5	8,0
226	2	162,5	47,5	4	147,5	11,4
230	3	41,7	36,6	4	46,2	29,6
231	3	80,0	14,7	2	65,0	5,0
238	3	116,7	34,0	3	105,0	20,5
239	4	146,2	16,0	4	126,3	34,2
242	7	88,5	61,0	15	119,0	48,6
243	29	59,8	39,1	35	104,3	26,6
244	15	112,0	30,8	18	90,8	14,1
247	2	50,0	3,3	1	65,0	0,0
257	8	118,1	17,3	4	130,0	37,6
258	4	48,8	23,6	6	34,2	3,4
262	4	120,0	12,7	3	113,3	18,4
263	4	105,0	20,0	15	134,3	1,7
264	24	74,6	37,6	26	96,2	13,8
265	30	69,8	46,1	55	91,2	18,6
266	3	71,7	2,4	2	45,5	15,0
268	2	55,0	5,0	2	62,5	7,5
269	3	63,3	6,2	3	35,0	4,1
275	19	134,5	40,2	20	130,2	38,9
277	4	87,5	16,0	3	128,3	30,9
282	4	155,0	3,5	3	160,0	16,3
285	15	120,7	4,1	26	112,1	19,6
286	6	60,8	40,1	12	105,0	8,4
283	4	67,5	20,8	4	66,2	5,4
289	2	67,5	22,5	2	62,5	2,5
290	5	50,0	25,9	4	60,0	23,2
295	5	42,5	43,2	6	142,5	57,0
296	31	119,7	15,2	30	122,0	25,2
299	12	97,5	39,3	15	98,3	41,3
300	6	90,8	39,4	5	79,0	43,0
301	24	78,1	51,3	44	95,7	46,5
303	4	57,5	16,8	6	56,7	18,0
304	3	60,0	7,1	2	70,0	10,0
305	4	60,0	3,5	4	53,8	9,6
306	7	42,9	19,1	4	53,8	24,3
307	2	60,0	20,0	2	60,0	10,0
309	3	130,3	6,2	3	150,0	16,3

Таблица III (продолжение)

1	2	3	4	5	6	7
310	5	116,0	24,2	5	105,0	44,7
311	36	104,0	36,0	39	103,4	32,5
312	13	88,1	28,1	13	98,5	21,0
314	21	79,0	54,9	55	124,0	2,9
316	9	28,9	14,9	9	22,2	16,3
317	12	42,9	10,9	11	46,8	27,8
319	17	103,5	51,1	15	147,3	5,4
325	6	52,5	6,9	3	95,0	28,3
328	18	101,3	53,0	20	125,8	48,3
330	4	115,0	21,5	4	119,0	38,7
331	18	108,9	22,4	18	119,4	32,6
333	7	77,8	18,9	7	87,1	28,4
336	13	121,5	67,5	14	105,0	16,6
337	13	105,8	45,2	25	107,4	6,2
338	8	50,6	17,6	6	46,7	19,3
339	4	57,5	54,1	4	146,2	31,9
340	13	35,0	59,8	13	116,5	44,8
341	8	127,5	33,0	8	127,5	28,5
342	10	104,0	31,8	14	103,9	44,7
348	4	52,5	11,4	2	35,0	15,0
349	6	54,2	19,7	7	129,3	19,9
354	8	64,4	15,9	8	59,4	22,3
360	4	56,2	2,2	2	57,5	22,5
361	3	58,3	4,7	3	58,3	10,3
368	3	78,3	20,1	3	68,3	16,5
377	4	37,5	20,2	4	77,5	48,0
379	6	94,2	35,2	6	86,7	25,4
381	16	78,4	30,8	17	76,8	15,2
634	1	40,0	0,0	2	57,5	3,3
635	3	43,3	2,4	3	21,7	2,4
636	9	90,0	52,2	7	46,4	25,3
638	1	345,0	0,0	1	325,0	0,0
639	3	328,3	12,5	4	335,0	9,6
640	7	308,6	25,3	11	309,5	11,2
641	12	295,4	20,6	10	314,0	16,7
642	12	308,3	15,3	10	321,0	33,9
643	3	300,0	14,1	4	297,5	17,5
644	1	315,0	0,0	2	77,5	3,3
645	5	329,0	50,1	7	324,3	34,6
646	1	270,0	0,0	1	285,0	0,0
647	11	280,0	18,4	10	259,0	38,4
648	5	286,0	16,8	4	290,0	12,7
649	6	269,2	13,0	7	265,7	11,8
650	3	306,7	34,7	3	240,0	49,7
651	5	265,0	48,0	6	271,7	49,8
652	4	118,8	6,5	4	123,8	33,8
653	3	106,7	6,2	2	122,5	2,5
654	2	57,5	2,5	2	60,0	3,3
655	1	90,0	0,0	1	40,0	0,0
656	2	67,5	7,5	2	105,0	0,0
658	2	97,5	2,5	2	75,0	25,0
660	1	50,0	0,0	1	60,0	0,0
661	1	25,0	0,0	1	40,0	0,0
663	2	30,0	0,0	2	60,0	10,0
664	1	10,0	0,0	1	50,0	0,0
665	1	140,0	0,0	1	55,0	0,0
666	2	87,5	12,5	2	92,5	12,5
667	6	79,1	17,6	11	30,0	29,5
668	4	51,2	2,2	5	78,0	11,7
669	3	98,3	49,4	4	58,8	11,9
670	2	35,0	5,0	2	80,0	10,0
671	4	63,8	11,4	4	63,8	4,1
672	8	105,6	46,3	4	12,5	31,3
673	6	71,7	54,8	10	68,5	31,9
674	11	90,4	51,2	11	62,3	11,4
675	12	83,6	38,1	15	0,0	6,6
676	7	59,3	24,4	9	48,3	15,3

Таблица IV

Качественное описание вывала, часто неопределенного происхождения

Номер точки	Координаты в км		Характеристика вывала
	x	y	
1	2	3	4
1	44,8	-3,0	$n = 29$, $\bar{A} = 96^\circ,4$, $s = 12^\circ,2$, количество столбов и хлыстов—23.
2	42,1	-2,8	Восточный склон в 7° , 14 столбов и хлыстов.
3	54,0	5,6	Юго-западный склон в 10° . 19 поваленных стволов в восточном направлении.
4	19,9	6,7	Склон в 3° по азимуту в 60° . Много старых живых деревьев, 4 столба 115 поваленных деревьев, процент сломов—4.
5	20,7	8,0	Северо-восточный склон менее 3° , 139 поваленных стволов, процент сломов—19.
6	43,1	10,0	Направленный вывал на южном склоне.
7	41,6	25,4	Имеется вывал.
8	41,9	25,1	Имеется вывал.
9	47,5	28,1	Старый лес, имеются лишь отдельные поваленные деревья.
10	10,5	30,1	Ветровал, похожий на куликовский вывал.
11	55,8	32,8	Направление восточное.
12	54,8	34,9	Отдельные поваленные деревья.
13	16,7	35,4	Отдельные поваленные деревья.
14	24,5	37,0	Старый лес, отдельные поваленные деревья.
15	61,6	38,6	Есть вывал и сухостой.
16	51,0	39,8	Отдельные поваленные деревья.
17	54,7	39,6	Вывал почти незаметен.
18	9,1	40,5	Имеются отдельные старые деревья.
19	54,9	41,4	Ветровал, возможно, есть и куликовский вывал.
20	19,5	44,6	Отдельные поваленные деревья.
21	17,8	47,7	Старый лес. Возможно, отдельные валежины—куликовского вывала.
22	20,9	48,7	Ветровал.
23	17,9	49,6	Хаотический вывал, не датирован.
24	58,4	50,5	$n = 14$, $\bar{A} = 101^\circ,2$, $s = 18^\circ,6$.
602	42,3	20,7	Имеется малозаметный вывал.
603	41,1	21,1	} Направленный вывал ($\bar{A} = 20^\circ$) с малой дисперсией.
604	42,2	19,9	
605	40,4	17,0	Имеется хаотический вывал, местами выделяется направленность 0° , 3° , 5° , 10° .
609	41,2	19,5	Густой телеграфник. Роща старых живых деревьев
	41,5	19,8	Вывал полностью хаотичен.
610	42,9	18,7	Вывал направлен по азимутам 10° , 0° , 350° .
611	37,6	19,6	Стандартное отклонение около 8° — 12° .
612	37,8	18,7	Хорошо выраженный вывал в южном направлении.
613	37,2	17,3	Хаотический вывал, иногда выделяется ветровал, направленный на северо-запад.
615	35,1	19,4	Четко выраженный вывал.
616	34,0	17,5	Хороший вывал.
617	34,1	17,0	Хорошо выраженный куликовский вывал.
618	27,8	15,2	$\bar{A} = 200^\circ$ — 205° .
624	41,5	39,9	Отличный вывал.
625	40,0	46,0	Направленный куликовский вывал.
695	55,5	37,4	Отличный вывал. Есть старый лес.
699	61,8	40,9	Вывал в направлении 45° .
701	62,6	41,1	Вывал наблюдается только на буграх.
703	64,3	46,9	Поваленные деревья встречаются редко.
704	65,9	43,2	Вывал неопределенного происхождения.
705	66,9	43,0	Ветровал.
706	66,0	44,9	Ветровал.

Таблица IV (продолжение)

1	2	3	4
707	67,8	42,6	Ветровал.
708	65,9	38,3	Ветровал.
709	66,0	35,8	Ветровал.
710	66,1	34,7	Ветровал.
711	67,3	34,6	Ветровал.
712	40,0	15,1	Есть прекрасный вывал 1908 г.
713	39,6	11,5	Есть прекрасный вывал 1908 г.
714	39,9	11,7	Ветровал.
722	38,9	4,8	Есть отдельные поваленные деревья.
726	40,6	8,5	Замерены направления повала $A = 265^\circ, 275^\circ, 285^\circ$.
730	43,9	8,9	Хороший вывал.
735	8,6	24,6	Гарь. Просматривается куликовский вывал.
737	7,3	24,6	Виден четкий куликовский вывал.
738	5,9	24,1	Вывал неопределенного происхождения.
739	7,9	25,0	Отличный вывал.
740	8,6	25,9	Отличный вывал.
742	9,8	20,7	Просматривается вывал.
747	6,1	22,3	Просматривается вывал.
748	7,7	24,9	Просматривается вывал.
749	7,6	26,9	Просматривается вывал.
752	10,2	28,4	Имеется отличный куликовский вывал.
753	10,0	26,6	Имеется отличный куликовский вывал.
754	16,6	25,0	Прослеживается куликовский вывал.
769	3,5	24,5	Есть куликовский вывал.
770	4,0	22,3	Возможно имеются отдельные валежины куликовского вывала.
773	4,8	20,3	Вывал есть.
773'	4,9	19,5	Вывал есть.
783	20,5	24,4	Есть куликовский вывал.
784	20,3	24,4	Есть вывал. Сохранились старые живые деревья.
786	21,7	25,1	Гарь. Местами отлично виден куликовский вывал.
788	19,5	19,6	Отличный куликовский вывал. Давняя гарь. Сохранились старые живые деревья.
789	20,5	21,6	Отличный куликовский вывал.
790	20,3	19,9	Отличный куликовский вывал.
791	18,3	18,7	Отличный куликовский вывал.
793	18,8	17,8	Куликовский вывал. Сохранились старые живые деревья.
795	18,8	15,6	Отличный вывал.
799	18,4	13,6	Вывал есть.
849	64,1	19,6	Старый бор. Гари нет. Стояков мало.
			Вывал есть $\sim A=100^\circ$.
851	64,3	17,6	Есть вывал с $A\sim 0^\circ$ и более свежий с $A\sim 100^\circ$.
853	67,8	13,4	Сильный вывал с $A\sim 90^\circ-110^\circ$ и с $A\sim 40^\circ-60^\circ, 160^\circ-180^\circ$.

Таблица V

Точки, в которых вывал отсутствует или его не удается обнаружить

№ п/п	Координаты в км		Примечание	№ п/п	Координаты в км		Примечание
	x	y			x	y	
1	2	3	4	1	2	3	4
1	30,7	2,9	Вывала нет.	621	21,3	13,2	Вывал не виден.
2	42,3	2,5	"	622	20,4	16,8	Гарь.
3	34,5	3,5	"	627	40,3	49,2	Гарь, вывал не
4	36,5	3,4	"				виден.
5	42,1	4,4	"	696	56,5	37,2	Заболочено. Выва-
6	42,9	4,3	"				ла нет.
7	44,4	4,2	"	700	63,9	41,7	Вывала нет.
8	43,7	4,5	"				Болото.
9	34,6	5,5	"	702	64,0	45,6	Вывала нет.
10	35,4	5,6	"	718	39,0	4,5	"
11	31,4	7,6	"	719	38,7	1,1	Вывал "нигде не
12	45,1	8,3	"				обнаружен.
13	52,8	8,8	Вывала нет.	720	38,9	2,4	Вершина. Вывала нет.
			Ветровал 110°—120°	761	2,4	24,8	Вывала нет.
			Вывала нет.	763	0,5	24,8	Вывал обнаружить
14	22,7	9,9	"				не удастся.
15	16,3	11,5	"	764	1,1	26,2	"
16	49,3	11,9	"	765	2,0	26,5	"
17	15,7	14,9	"	766	5,1	25,1	"
18	16,9	15,6	"	768	3,2	24,2	Вывал не виден.
19	21,0	19,4	"	774	5,4	17,4	Вывал не замечен.
20	62,4	24,1	"	775	6,7	14,3	Вывала нет.
21	51,8	29,9	"	776	7,1	12,5	"
22	33,8	30,8	Вывал не сохра-	777	9,7	10,5	"
			нился.	785	21,0	24,3	Гарь. Много стоя-
23	0,5	31,4	Вывала нет.				ков. Много старых
24	50,2	31,7	"				живых деревьев.
25	65,1	32,4	"	796	19,0	13,6	Остров на болоте.
26	34,2	34,8	Вывал не сохра-				Вывала нет.
			нился.	797	18,9	14,0	Вывал, если и был,
27	65,6	34,3	Вывала нет.				то сгорел. Сохрани-
28	56,0	34,9	Вывал не сохра-				лось мало старых жи-
			нился.				вых деревьев. Много
29	5,7	35,0	Вывала нет.				столбов.
30	53,0	35,3	Вывал не виден.	801	16,1	13,9	По-видимому, выва-
31	52,0	35,1	"				ла нет.
32	54,8	35,0	Вывал не сохра-	803	16,2	9,2	Гарь. Вывала нет.
			нился.				Есть старые живые
33	66,5	35,4	Вывала нет.				деревья.
34	28,5	37,5	Гарь.	804	20,2	5,6	Ветровал.
35	61,4	38,8	Вывала нет.	805	16,0	8,4	Вывала нет. Старый
36	26,8	39,8	Гарь.				живой лес.
37	28,8	39,5	"	806	15,9	9,3	"
38	54,6	39,6	Вывал не виден.	807	16,1	9,8	Вывала нет.
39	65,3	39,4	Вывала нет.	808	10,7	10,8	"
40	64,7	41,2	Вывала нет.	809	10,7	11,3	"
41	17,1	42,4	"	810	8,7	12,4	"
42	25,2	42,9	Гарь.	811	9,6	12,4	"
43	27,2	42,7	"	812	10,1	10,4	"
44	29,1	42,5	"	813	11,3	11,6	"
45	31,1	42,2	"	814	12,2	14,4	"
46	19,5	45,7	Вывала нет.	815	12,8	14,3	"
47	19,7	47,6	"	816	4,6	19,2	Ветровал.
48	21,6	48,9	"	819	25,5	53,5	"
49	15,9	49,6	"	820	25,2	54,3	"
50	18,0	49,4	"	821	25,4	56,4	"
51	50,5	49,6	"	822	25,6	57,7	"
52	56,7	53,2	Гарь, возможен	823	21,6	58,4	"
			вывал.	824	33,3	41,6	Вывал более
619	24,4	11,9	Гарь. Вывал не				поздний.
			виден.				

Таблица V (продолжение)

1	2	3	4	1	2	3	4
835	27,2	45,0	Ветровал.	843	24,8	53,0	Старый лес. Стоя-
838	25,1	50,4	"				ков нет Куликовско-
839	25,9	50,4	"	847	27,0	47,5	го вывала нет.
840	27,0	51,4	Вывала нет.				Вывала нет. Силь-
			Стояков нет. Есть	848	23,0	55,8	ная гарь. Много стоя-
			старые живые де-	852	67,6	17,6	ков.
841	27,8	52,8	рестья.				Ветровал.
			Вывала нет. Стоя-				Практически выва-
			ков мало. Встречают-	854	65,4	24,1	ла 1908 г. нет. Есть
			ся старые живые де-	855	62,4	24,5	вывал $A \sim 90^\circ - 110^\circ$.
			рестья.				Вывала нет.
842	26,1	53,0	Вывала нет. Часто				"
			встречаются старые				
			живые деревья. Стоя-				
			ков нет.				

СВЯЗЬ ПАРАМЕТРОВ ПОРАЖЕНИЙ ВЕТОК ЛИСТВЕННИКИ СО СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИЕЙ

А. Г. ИЛЬИН, В. А. ВОРОБЬЕВ, В. В. БАЙЕР

До настоящего времени не было сделано попытки ввести количественную оценку интенсивности поражений, которая непосредственно связана с величиной световой энергии, поглощенной веткой в момент взрыва. Требовалось найти параметры поражений, которые характеризовали бы их интенсивность. Оказалось, что такими параметрами могут служить сектор поражения ε и диаметр d пораженной ветки слоя 1908 года (рис. 1).

Рассмотрим ветку, расположенную в плоскости, касательной к фронту световой волны. Пусть на единичную площадку участка ветки, перпендикулярного световому потоку, падает энергия q кал/см² светового излучения. Будем считать, что энергия, падающая на такую же площадку, расположенную на краю поражения (в точке а) под углом $\frac{\varepsilon}{2}$ к световому потоку частично от-

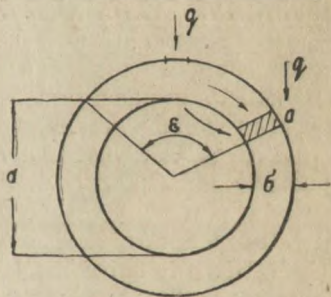


Рис. 1. Параметры, характеризующие интенсивность ожога.

ражается, а поглощенная этим участком энергия полностью расходуется на нагревание коры в этом месте до температуры t , при которой погибает камбий. Эта энергия будет, очевидно, минимальной в пораженном слое. Тогда нетрудно показать, что будет выполняться следующее соотношение:

$$q = \frac{c \cdot h \cdot \Delta t \cdot \delta}{\kappa_n \cdot \cos \frac{\varepsilon}{2}} = \kappa \frac{\delta}{\cos \frac{\varepsilon}{2}} \quad (1)$$

где c — удельная теплоемкость коры, h — удельный вес коры, δ — толщина коры, $\Delta t = t - t_0$, t_0 — начальная температура коры, κ_n — коэффициент поглощения $\kappa = \frac{c \cdot h \cdot \Delta t}{\kappa_n} = \text{const}$ для любого участка ветки. Для горизонтальной ветки с произвольным азимутом α имеем:

$$q = q_0 \sqrt{\sin^2 \varphi_0 + \sin^2 (\alpha - \alpha_0) \cos^2 \varphi_0}, \quad (2)$$

где q_0 — плотность световой энергии в данной точке, α_0 — азимут проекции вектора светового потока на горизонтальную плоскость, φ_0 — угол между горизонтальной плоскостью и направлением светового потока.

Из (1) и (2) получаем:

$$q_0 = \kappa \frac{\delta}{\cos \frac{\varepsilon}{2}} \frac{1}{\sqrt{\sin^2 \varphi_0 + \sin^2 (\alpha - \alpha_0) \cos^2 \varphi_0}} \quad (3)$$

Для ветки, перпендикулярной направлению светового потока

$$\alpha - \alpha_0 = \frac{\pi}{2} \text{ или } \frac{3\pi}{2} \text{ и } q_0 = q.$$

Таким образом, имеется принципиальная возможность при известных параметрах, стоящих в правой части выражения (3), вычислить величину плотности световой энергии в данной точке.

В связи с тем, что многие параметры, характеризующие теплофизические свойства коры, пока не известны, ограничимся качественным рассмотрением полученных выражений, принимая, что $k = \text{const}$ для всех веток. Азимут α каждой ветки известен, угол ε измеряется на каждом спиле, α_0 и φ_0 определяются из геометрических соображений. Остается неизвестным параметр δ , так как мы не знаем, какую толщину коры имела ветка на данном участке в 1908 году. Однако эту величину можно получить косвенным путем. Для каждого диаметра живых веток можно найти среднее значение толщины коры и использовать это значение в дальнейших расчетах.

Для выяснения зависимости между диаметром ветки (без коры) и толщиной коры летом 1964 года в районе эпицентра взрыва были исследованы концы живых веток трех лиственниц, растущих в различных условиях.

Лиственница № 1 — у Заимки Кулика, почва сухая, возраст менее 57 лет. Взято 5 веток возрастом от 27 до 35 лет.

Лиственница № 2 — у Заимки Кулика, болото, возраст — около 75 лет. Взято 8 веток от 16 до 29 лет.

Лиственница № 3 — на берегу Хушмы (у Пристани), почва сухая, возраст — более 57 лет. Взято 5 веток, возрастом от 29 до 75 лет.

Для каждой мутовки измерялся диаметр ветки без коры, возраст, толщина коры. Затем для диаметров 0,5—1,5, 1,5—2,5, 2,5—3,5 и т. д. миллиметров, т. е. со средними значениями диаметров $d = 1, 2, 3$ и т. д. миллиметров вычислялись средние арифметические значения толщины коры веток данного дерева $\bar{\delta}$ и величины несмещенной оценки дисперсии D :

$$\bar{\delta} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_i}{n}; \quad D = \left(\frac{\sum_{i=1}^n \delta_i^2}{n} - \bar{\delta}^2 \right) \frac{n}{n-1}, \quad (4)$$

где n — количество замеров для среднего диаметра d .

Результаты вычислений сведены в табл. 1, и по этой таблице построены графики $\bar{\delta} = f(d)$, приведенные на рис. 2. Из рис. 2 видно, что для диаметров d от 0 до 10 мм зависимость $\bar{\delta} = f(d)$ можно аппроксимировать линейной функцией

$$\bar{\delta} = ad + \delta_0, \quad (5)$$

где величина $a = \text{const}$ для данного дерева, а δ_0 , приблизительно одинаковая для всех деревьев, равна 0,4 мм.

Подставляя (5) в (1), получаем:

$$q = \kappa \frac{ad + \delta_0}{\cos \frac{\varepsilon}{2}} \quad (6)$$

отсюда:

$$d = \frac{q}{\kappa a} \cos \frac{\varepsilon}{2} - \frac{\delta_0}{a} = c_1 \cos \frac{\varepsilon}{2} - c_2 \quad (7)$$

Для лиственницы № 2 величина $c_2 \approx 3$ мм для № 1 и № 3 $c_2 \approx 7$ мм.

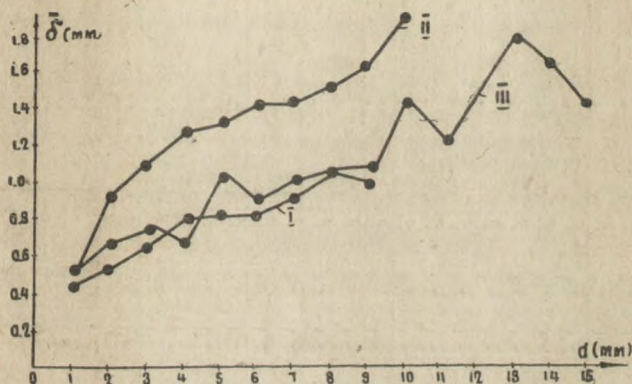


Рис. 2. Зависимость средней толщины коры от диаметра ветки для трех лиственниц.

Рассматривая равенство (7), видим, что существует минимальный порог энергии $q = q_{\min}$, при котором поражения камбия ветки не происходит, т. е. $\varepsilon = 0$ при $d = 0$.

$$q_{\min} = \kappa \delta_0. \quad (8)$$

Зависимости между ε и d соответствующие формуле (7), построенные для ряда значений q , сравнивались с экстремальными зависимостями $\varepsilon(d)$, построенными для некоторых поражений веток лиственниц. Следует заметить, что при малых диаметрах они сильно отличаются от теоретических. Действительно, как правило, кончики веток, имеющих поражения 1908 года, сухие, т. е. имеют $\varepsilon = 360^\circ$. Затем с увеличением диаметра идет обычно резкий спад кривой до $\varepsilon < 180^\circ$ и далее ε изменяется почти по косинусоиде. Это связано, главным образом, с тем, что все наши рассуждения приводятся без учета теплопроводности коры и древесины, которая, очевидно, будет способствовать расширению угла ε и тем значительнее, чем меньше диаметр ветки. Действительно (рис. 1), участки коры и камбия, расположенные под углом к плоскости падения фронта светового излучения, разогреваются не только за счет поглощения световой энергии, но и за счет притока тепла от соседних, более нагретых участков коры и древесины. Это выразится в увеличении угла ε по сравнению с расчетным. Однако при увеличении диаметра ветки теплопроводность играет все меньшую роль, что показывает довольно хорошее совпадение расчетных и экспериментальных зависимостей при больших диаметрах. Заметим, что провал на одной из кривых рис. 3б можно объяснить экранировкой этого участка ветки соседней веткой или боковым отростком этой же ветки, или местным утолщением коры.

Иногда, чаще к границе ожога, встречаются ветки, концы которых остались живыми, и поражение начинается на некотором расстоянии от конца ветки. В таких поражениях с увеличением диаметра ветви сначала увеличивается до $\varepsilon 180^\circ$, затем идет обычный спад до $\varepsilon=0$. Это может

Таблица толщины коры веток

Лиственница № 1				Лиственница № 2			Лиственница № 3		
d	n	$\bar{d}$	D	n	$\bar{d}$	D	n	$\bar{d}$	D
1	20	0,47	0,08	15	0,54	0,08	4	0,54	0,002
2	10	0,54	0,007	18	0,92	0,162	5	0,67	0,014
3	9	0,65	0,035	14	1,05	0,052	6	0,76	0,002
4	7	0,82	0,016	10	1,25	0,022	6	0,9	0,035
5	8	0,78	0,017	11	1,31	0,112	4	1,2	0,015
6	6	0,82	0,038	9	1,39	0,04	6	0,88	0,117
7	3	0,88	0,09	10	1,42	0,106	6	0,95	0,04
8	8	1,56	0,182	11	1,56	0,112	4	1,15	0,031
9				10	1,79	0,121	7	1,28	0,059
10				4	2,06	0,022	6	1,45	0,055
11							1	1,2	
12							1	1,25	
13							4	1,8	0,499
14							2	1,65	
15							1	1,7	

n —число замеров для среднего диаметра d

$\bar{d}$ —средняя толщина коры

D —несмещенная оценка дисперсии

быть объяснено значительной экранировкой концов веток живой хвоей, которая здесь особенно развита. Для проверки этого предположения были подсчитаны количества пучков живой хвои на разных по толщине

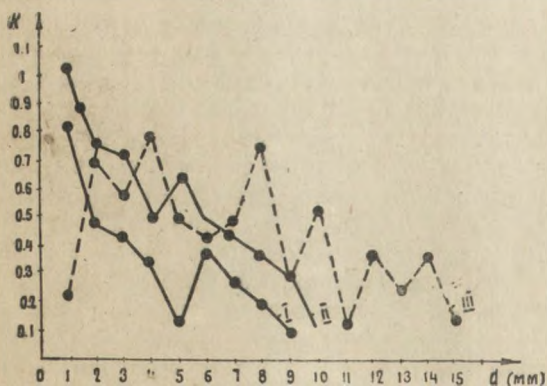


Рис. 5. Зависимость среднего количества пучков живой хвои на единицу длины ветки (K) от диаметра ветки для трех лиственниц.

участках ветвей, взятых с тех же, указанных ранее, трех лиственниц. Оказалось, что затененность ветки с увеличением диаметра падает (рис. 5). Кроме того, это можно объяснить резким изгибанием конца ветки кверху, что способствует уменьшению угла падения вектора светового потока.

Из (6) видно, что величина q для каждой ветки пропорциональна максимальному пораженному диаметру. Действительно, при $\varepsilon=0$

$$q = \kappa(ad_0 + \delta_0),$$

то есть по величине максимального пораженного диаметра можно судить о величине световой энергии, падающей на данную ветку.

Необходимо получить точные данные по теплофизическим свойствам коры, что позволит перейти от качественных к количественным оценкам плотности светового потока в каждой точке. Необходимо оценить ошибки данного метода. Решение задачи с учетом теплопроводности позволит более детально проникнуть в механизм явления.

ИЗУЧЕНИЕ ТЕРМИЧЕСКИХ ПОРАЖЕНИЙ ВЕТОК ЛИСТВЕННИЦ, ПЕРЕЖИВШИХ ТУНГУССКУЮ КАТАСТРОФУ

В. А. ВОРОБЬЕВ, А. Г. ИЛЬИН, Б. Л. ШКУТА,

Экспедицией 1960 года (КСЭ-2) в районе эпицентра взрыва Тунгусского метеорита было обнаружено большое количество деревьев, переживших катастрофу [1]. В основном, это лиственница, являющаяся одной из наиболее пожароустойчивых хвойных пород [2], изредка встречаются кедр, сосна, ель. Эти деревья имеют различного вида механические и термические поражения, датируемые 1908 годом (пожарные подсушины, засмоленные щели и трещины на стволах, сломанные и отсохшие вершины, обломанные и обожженные ветки).

О том, что на деревьях в районе эпицентра взрыва имеются следы мгновенного ожога, было известно, еще во времена экспедиций Кулика [3], однако должного изучения их не было сделано. Поражения на живых ветках постепенно зарастали и в конце концов были полностью скрыты новыми слоями древесины. Вследствие этого обнаружение их представляет значительную трудность.

Летом 1961 года, на ветках лиственниц были найдены специфические поражения, являющиеся следами первичного лучевого ожога Тунгусского взрыва, и начато их систематическое изучение [4]. В результате сбора и обработки образцов веток 33 лиственниц было установлено, что такие поражения имеют только 13 лиственниц, на многих из которых найдено всего по 2—3 поврежденных ветки. У остальных лиственниц либо были полностью сорванные во время взрыва кроны, либо ветки, на которых имелись следы лучевого ожога, засохли.

Было высказано предположение, что эти поражения направлены к одному общему центру, координаты которого, вычисленные по способу наименьших квадратов, равны:

$$\varphi = 60^{\circ} 52,8'; \lambda = 101^{\circ} 55,3'; h = 4800 \text{ м.}$$

Ошибки определения координат были равны соответственно ± 300 м, ± 350 м и ± 550 м. Это создавало впечатление о довольно четкой направленности поражений к одному общему центру. Однако недостаточное количество материала, использованного в расчетах, заставляло с осторожностью относиться к этому результату и требовало его проверки на большем количестве деревьев.

Показано, что поражения данного типа встречаются на расстоянии до 8—9 км от эпицентра взрыва, однако четкая граница их распространения не была установлена.

Оценка световой энергии взрыва, полученная по результатам работ 1961 г., лежит в пределах от $1,2 \cdot 10^{21}$ эрг до $1,4 \cdot 10^{23}$ эрг. Такой разброс

получается из-за неточной оценки величины светового импульса, необходимого для образования подобных поражений, но еще больше из-за отсутствия сведений о точной величине коэффициента прозрачности атмосферы в момент взрыва.

Таким образом, работа 1961 года, являясь сугубо предварительной, послужила толчком к дальнейшему изучению термических поражений со следующими целями.

1. Точное выяснение природы специфических поражений, которые гипотетически относились к лучистому ожогу.

2. Сбор материала в количестве, достаточном для проверки и возможного уточнения упомянутых выше результатов.

3. По возможности точное выяснение границ области обожженного леса.

В настоящей статье излагаются методика и некоторые предварительные результаты последующих трехлетних работ в этом направлении.

Методика сбора и изучения поражений

Одной из главных задач экспедиций 1963—1965 годов была отработка методики сбора и изучения поражений. В ходе полевых работ выяснилось, что не все деревья, сохранившиеся после катастрофы, имеют поражения. Поэтому необходимо было научиться находить по внешнему виду те из них, которые имеют пораженные ветки. Оказалось, что лучевые поражения несут, в основном, деревья с хорошо сохранившейся конусообразной кроной (рис. 1). Такие деревья, обычно относительно более молодые (их возраст порядка 100—150 лет), и гибкие, хорошо перенесли катастрофу. Концы их веток не были обломаны ударной волной и сохранили следы лучевого ожога. Деревья же с бесформенной кроной, толстыми изломанными ветвями обычно не имеют типичных следов лучевого ожога, так как концы ветвей таких деревьев были либо обломаны при взрыве, либо отсохли и обломались в дальнейшем. Возраст таких деревьев составляет обычно 200—300 лет.



Рис. 1. Лиственница, имеющая следы лучевого ожога.

В связи с тем, что сбор образцов поражений сопровождается уничтожением уникального материала, разработанная методика должна быть такой, чтобы можно было получить полную информацию, относящуюся к геометрии поражений, дать по возможности полное описание дерева и усло-

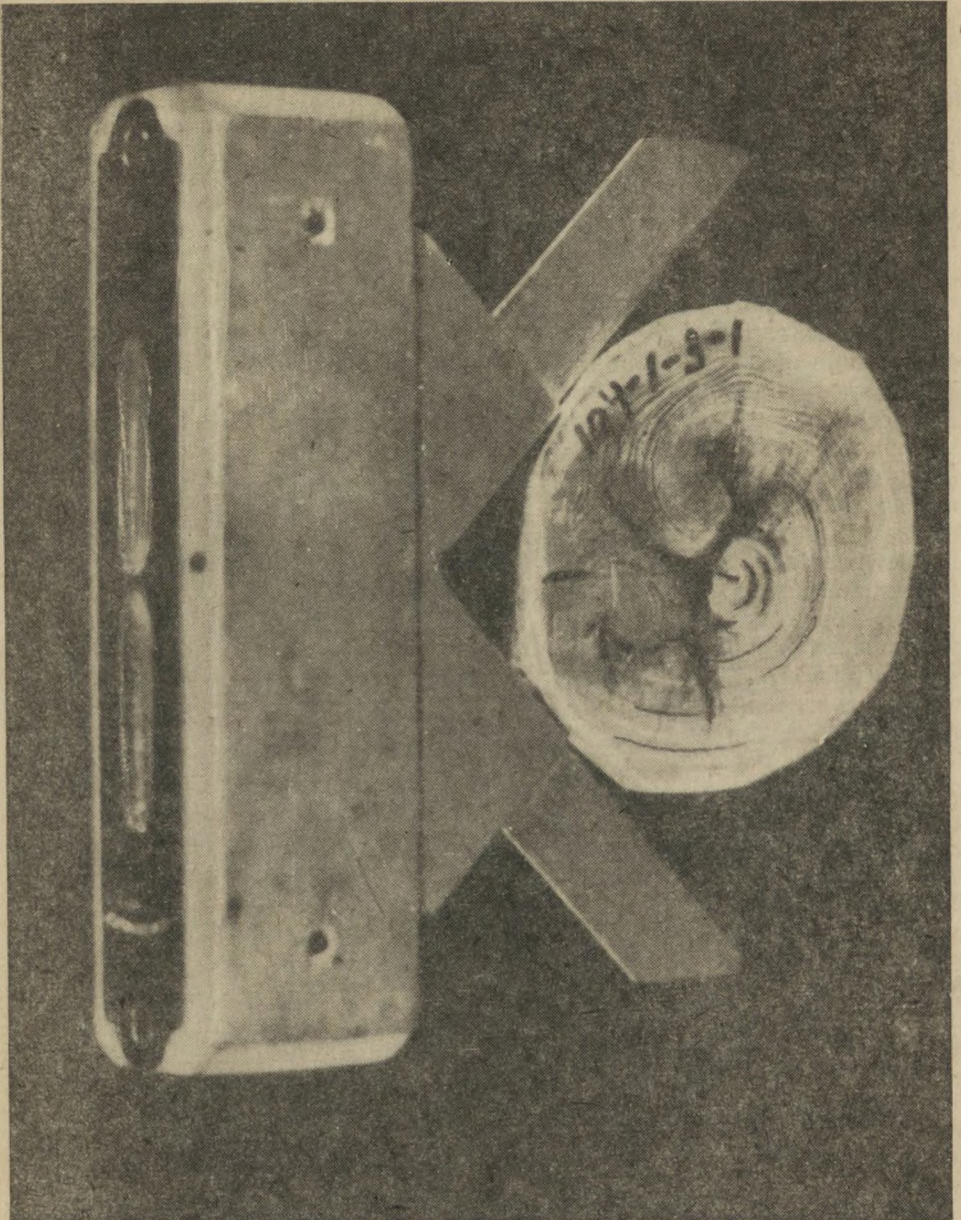


Рис. 2. Отметка верха ветох с помощью уровня.

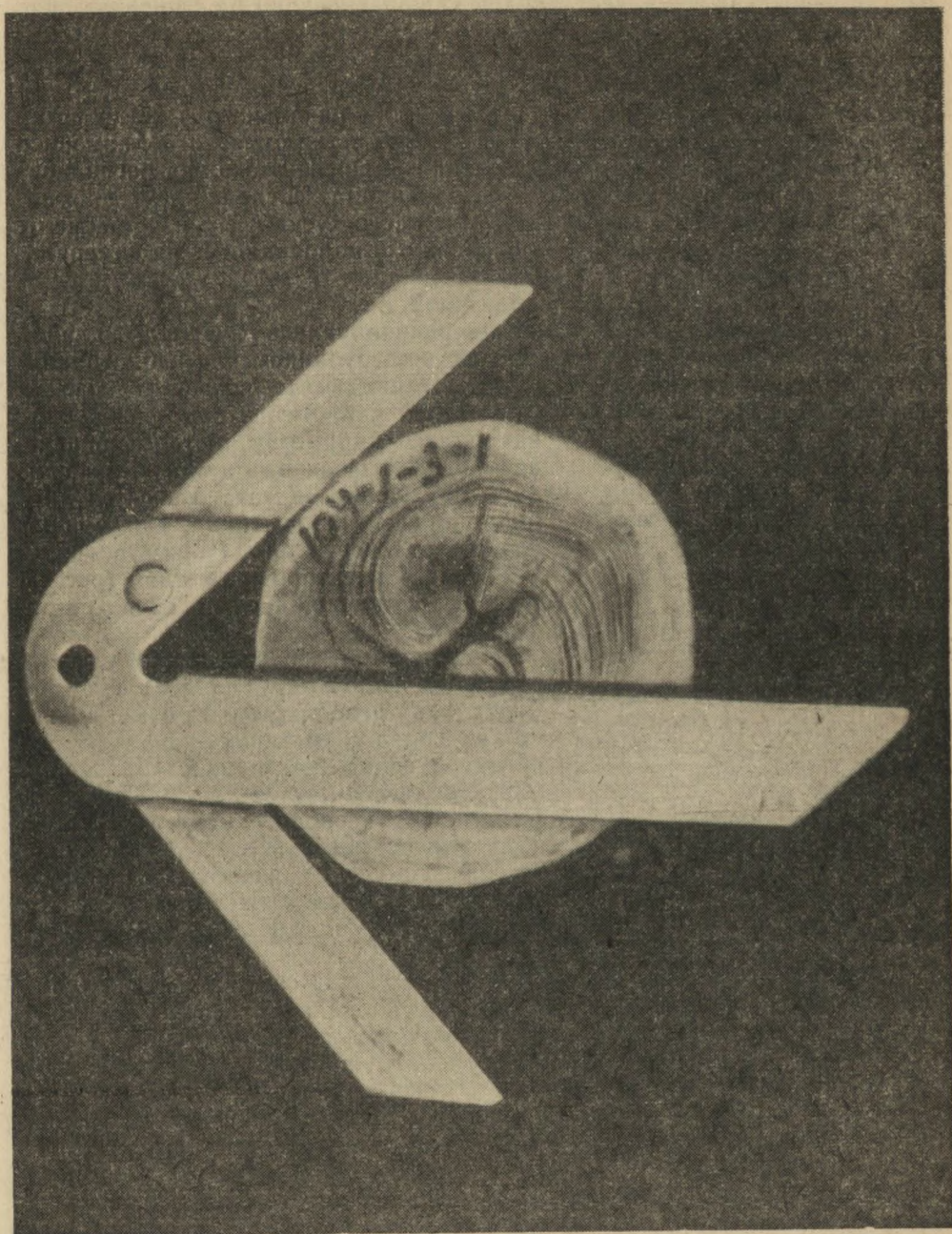


Рис. 3. Проведение вертикали на спиле

вий его произрастания. С учетом этого работа проводилась следующим образом.

Полевая группа выбирала дерево в заранее намеченном месте и привязывалась к местности с точностью до 200 м. Затем описывалась площадка радиусом до 30 м, на которой расположено дерево (рельеф, растительность, почва), составлялся планшет вывала на площадке, производилось описание дерева (высота, диаметр ствола, состояние коры и кроны, форма кроны, азимуты и возрасты пожарных подсушин). Для каждой срезаемой ветки измерялась ее высота над землей h (± 1 м) азимут α ($\pm 5^\circ$) и наклон β от горизонтали начального участка ветки ($\pm 5^\circ$). Затем на очищенном от коры участке ветки отмечался с помощью уровня ее верх (рис. 2), и ветка срезалась. После этого она распиливалась на куски длиной 10 см, начиная с ее конца. После обнаружения поражения 1908 года измерялись α и β каждого куса и его расстояние от ствола. Отобранные образцы с поражениями направлялись на камеральную обработку.

Последняя заключалась в следующем.

Отрезки веток с поражениями распиливались на спилы длиной 1,5—2 см, которые тщательно шлифовались рубанком или напильником. Затем с помощью бинокулярной лупы подсчитывались возраст поражения и спила. Если принадлежность поражения к 1908 году подтверждалась, измерялись параметры, которые определяют геометрические характеристики спила и поражения. К ним относятся диаметр спила D , длина спила, угол γ поражения от вертикали, диаметр ветки 1908 года d и сектор поражения ε (рис. 4). Измерения проводились на обеих сторонах спила.

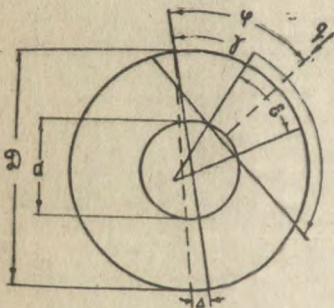


Рис. 4. Геометрические параметры спила и поражения.

Остановимся на способе проведения вертикали и точности данного способа. Вертикаль проводится через отметку верха на спиле с помощью специального приспособления, показанного на рис. 3, способ проведения также ясен из рисунка. Погрешность определяется следующим образом: нижний конец вертикали одной стороны спила переносится на вторую вдоль его оси и там измеряется расхождение

вертикалей Δ . Затем вычисляется угол $\Delta\varphi = \arcsin \frac{\Delta}{D}$, который обычно оказывается не более 5° . Кроме того, при совмещении соседних спилов измеряется величина Δ между нижними концами вертикалей, прикладываемых друг к другу поверхностей. Величина $\Delta\varphi$ получается такого же порядка. Таким образом, максимальную ошибку $\Delta\varphi$ проведения вертикали указанным способом можно считать равной 5° .

Азимут ветки и угол $\varphi = \gamma - 90^\circ$ определяют в пространстве плоскость, в которой должен быть расположен точечный источник света, падающего на ветку. Следует заметить, что этот угол не точно определяет данную плоскость, во-первых, из-за неоднородности толщины коры на поперечном сечении спила, и, во-вторых, из-за того, что за прошедшие более 50 лет положение ветки и ее верха в пространстве могли значительно измениться. Действительно, концы живых веток обычно в 1908 году (или позже) засыхали, и ветка продолжала расти из одного (реже двух) боковых отростков. Возникающий механический крутящий момент мог значительно изменить угол φ . Кроме того известно, что концы живых ве-

ток обычно изогнуты кверху и часто довольно значительно. При нарастании новой массы древесины и удлинении ветки бывший ее конец постепенно опускается. Это также изменяет угол φ . Учет и коррекция всех этих искажений пока не представляются возможными.

Параметры ε и d определяют интенсивность поражений, вопрос об их использовании рассматривается особо [5]. Здесь только заметим, что угол ε значительно зависит от неоднородности толщины коры и изменения угла наклона ветки относительно горизонтальной плоскости, что вносит существенные изменения в расчеты.

Предварительные результаты исследования геометрических параметров поражения

На рис. 5 приведена карта-схема ожога леса, полученная в 1963—1965 годах. Светлыми кружками обозначены деревья, не имеющие поражений, стрелки указывают направления ожога (методику смотри ниже), крестиками отмечено отсутствие направленности.

Как видно из карты, не удалось достаточно точно оконтурить область ожога лишь в восточном направлении, куда она простирается более чем на 12 км от эпицентра [6]. Следы ожога встречаются здесь на расстоянии до 15 км и граница его как будто бы приближается к указанной еще Криновым [3].

Особо необходимо остановиться на связи между ожогом и так называемым «рыхлым кольцом» [7]. Было замечено, что «рыхлое кольцо» встречается только в зоне, где есть ожог, и исчезает вместе с исчезновением его следов. Исследование срезов «рыхлого кольца» под микроскопом показало, что причина его «рыхлости» — замена летних и осенних слоев в кольце 1908 года новым мощным слоем крупных весенних клеток. Это, по-видимому, можно объяснить тем, что в середине лета 1908 года лиственница пережила как бы вторую весну: на ней распускались новые листья взамен старых, мгновенно высохших в момент катастрофы под действием лучистой энергии.

Эти соображения лишний раз свидетельствуют в пользу термической природы изучаемых поражений. Доказательства того, что ожог произведен именно лучистой энергией, приводятся в работе [5]. Здесь уместно обратить внимание на тот факт, что интенсивность поражений, а следовательно и освещенность заметно уменьшается с приближением к границам области ожога.

На карте-схеме (рис. 5) для некоторых деревьев была подсчитана условная освещенность по формуле [5]

$$q' = \frac{ad + \delta_0}{\cos \frac{\varepsilon}{2}},$$

где: $a = 0,1$, $\delta_0 = 0,5$ мм

Эти деревья обведены окружностями, диаметр которых пропорционален полученной величине q' (все прочие деревья, несущие следы ожога, обозначены просто точками).

Область максимальной освещенности сдвинута на 2—3 км к восточному-востоку от эпицентра вывала леса и находится в непосредственной близости от рассчитанного центра свечения [4].

Прделаем следующее геометрическое построение. Через каждый спил с данного дерева (отрезок ветви длиной 10 см) проведем плоскость, перпендикулярную земной поверхности, и отметим ту ее сторону, с кото-

рой расположен след ожога на спиле. На диаграмме это будет обозначаться стрелкой, указывающей в отмеченную сторону.

Все такие плоскости пересекаются в точке с координатами данного дерева и направлены по азимутам соответствующих спилов. Очевидно, что в случае поражения данного дерева точечным источником, находящимся не непосредственно над вершиной, картина будет подобной изо-

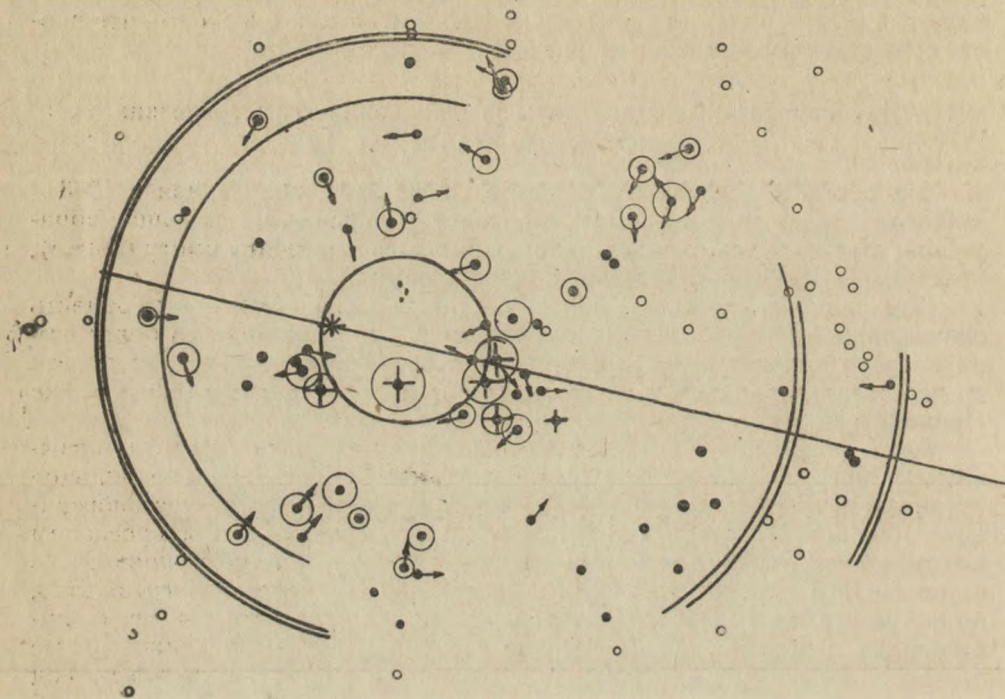
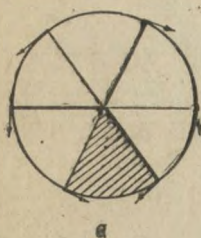


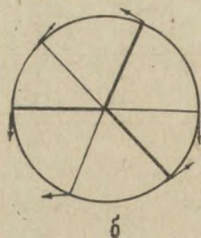
Рис. 5. Карта-схема ожога леса.

браженной на рис. 6-а. В случае ожога с разных сторон или из точки над вершиной получим картину типа рис. 6-б.

На рис. 6-а можно однозначно выделить сектор, в котором должно находиться излучающее тело. Биссектрисе этого угла примем за прибли-



а



б

Рис. 6. Схема ожога ветки дерева при единичном (а) и множественном (б) источнике излучения.

женное направление на источник, что и отмечено стрелкой на карте (рис. 5). В случае рис. 6-б можно выделить два, три и более возможных направления. Будем считать, что имеется направленное поражение, если таких направлений не более двух и, если они не сильно расходятся друг с другом.

Как видно из карты подавляющее большинство деревьев имеют направленное поражение, однако направленность весьма далека от той, которую имеет вывал, что, в частности, объясняется «плоским» ее рассмотрением.

Тем не менее можно сделать вывод, что за время, прошедшее после Тунгусской катастрофы, положение ветвей в пространстве изменилось очень сильно, и первоначальная картина, если она и имела какие-то геометрические закономерности, изменилась почти до неузнаваемости.

Выводы

Изучение термических поражений деревьев в районе падения Тунгусского метеорита дало следующие результаты.

1. Твердо установлено, что описанные поражения на ветвях деревьев есть следы светового ожога. Отсюда следует, что при падении Тунгусского метеорита выделилось очень большое количество световой энергии.

2. Установлены границы области ожога леса, зона максимальной освещенности и зона минимальной освещенности (на западе). Область ожога заметно вытянута в восточном направлении: она простирается на 8 км от центра зоны максимальной освещенности на запад, север и юг и на 11÷14 км на восток, причем центр зоны максимальной освещенности сдвинут на 2 км к востоку от эпицентра, рассчитанного по вывалу леса.

3. Показано, что геометрические характеристики обожженных ветвей сильно изменились за прошедший период времени и вычисление области высвечивания по ним весьма затруднительно. Тем не менее общая картина ожога леса подтверждает восточный вариант траектории Тунгусского метеорита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Г. М. Зенкин и др. Проблема Тунгусского метеорита, стр. 84—86, 1963 г.
2. И. Н. Балбышев. Лесные пожары и борьба с ними. Стр. 115—126, изд. АН СССР, 1963 г.
3. Е. Л. Кринов. Тунгусский метеорит. Стр. 170—171, изд. АН СССР, 1949 г.
4. Г. М. Зенкин, А. Г. Ильин. Метеоритика. Вып. XXIV, стр. 129—140, 1964 г.
5. А. Г. Ильин, В. А. Воробьев, В. В. Байер. Настоящий сборник, стр. 105.
6. В. Г. Фаст. Настоящий сборник, стр. 40.
7. Г. Ф. Плеханов. Проблема Тунгусского метеорита, стр. 3—22. Томск, 1963.

О ВОЗМОЖНОЙ ПРИЧИНЕ ПОВРЕЖДЕНИЯ ВЕТВЕЙ ЛИСТВЕННОЙ В РАЙОНЕ ПАДЕНИЯ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

И. И. ЖУРАВЛЕВ

Нами были изучены представленные на экспертизу шесть образцов поврежденных ветвей лиственной, произрастающей непосредственно в районе падения Тунгусского метеорита, на расстоянии 5—6 км от его места падения.

Результаты изучения позволяют сделать следующие констатации:

1. Повреждение ветвей заключается в отмирании узкой полосы древесины ветвей в части, обращенной вверх или несколько на боковой их стороне, в результате одновременного и внезапного отмирания коры в этих участках. В ряде случаев отмерли концы ветвей.

2. Давность повреждения ветвей легко определяется по образованию каллюсового валика и относится точно ко времени падения метеорита, для всех образцов ветвей, безусловно, это время одно и то же.

3. Рана, образовавшаяся на каждой ветви, а также отмершие концы ветвей полностью затянуты каллюсом, причем так же, как и все элементы ран и отмерших верхушек, имеют совершенно здоровое состояние.

4. Фитопатологический анализ ран, каллюса и отмерших концов ветвей показал, что повреждение не имеет характера инфекционного поражения, которое не может поэтому являться причиной образования ран. Заросшие раны были в свое время предохранены от инфекции выделением смолы, а последующее нарастание каллюса, загнувшегося своими краями внутрь с обеих сторон, предотвратило возможность инфекции в дальнейшем. Древесина ветвей во внутренней части (центральная часть и заболонная) имеют здоровую древесину, и только в отдельных местах наблюдаются очажки гнили. Эта гниль распространяется лишь на центральную часть и по внешнему виду сходна с таковой, вызываемой грибом сосновая губка (*Trametes pini* (Bröt.) Fr.). Происхождение гнили объясняется проникновением возбудителя через концы ветвей, у которых отмирание тканей имеет значительное протяжение (2—5 см), а также в местах отмирания мелких веточек.

В совокупности результаты фитопатологического анализа ветвей позволяют совершенно определенно констатировать, что возникновение ран и отмирание концов ветвей не является результатом инфекции (раневые паразиты, бактериальный ожог, возбудители гнилей и т. д.). Повреж-

дение носит явно физический характер, а именно — тепловой ожог. Помимо отсутствия следов инфекции, за характер теплового ожога говорят следующие обстоятельства:

а) в целом все раны и случаи отмирания их концов и мелких веточек имеют возраст, точно соответствующий падению (времени падения) метеорита;

б) большинство ран имеет ориентацию вверх и в сторону предполагаемого места взрыва метеорита;

в) повреждения, нанесенные массе ветвей крон лиственниц, имеют внезапный характер;

г) характер засмоления ран и отмерших концов ветвей и мелких веточек указывает на отсутствие инфекционного процесса, в частности, характерного для него образования ступенчатости каллюсовых валиков; застывание ран шло нормальным образом, характерным для ран механического происхождения и образования их в результате тепловых ожогов;

д) массовые повреждения ветвей и их концов, равно как и мелких веточек, по совершенно сходной системе (расположение вверх или с боков по направлению к воздействующему фактору и т. д.) резко отличаются от сходных иногда повреждений, вызываемых инфекционными заболеваниями; при инфекционных заболеваниях наблюдается различие во времени поражения и по ориентации в какую-либо сторону;

е) до сего времени не обнаружено заболеваний лиственниц или других пород, которые возникали бы именно на верхней стороне ветви, так как грибы и бактерии требуют для своего внедрения некоторой затененности и повышенной влажности поражаемого участка растения; в данном случае верхняя сторона ветвей не обеспечивает этих условий.

На основании сказанного можно сделать вывод о том, что повреждение частей ветвей лиственницы, обращенных вверх, хорошо просмоленных в местах повреждения, полностью заросших каллюсом и не имеющих следов инфекционного поражения, является результатом теплового ожога. Температура, при которой произошел ожог, может быть установлена на основании имеющихся данных об устойчивости коры древесины пород к воздействию огня и сухого жара вероятно порядка свыше 300 градусов, а учитывая возможность мгновенного воздействия, видимо, не менее 1000 градусов.

К ОЦЕНКЕ СВЕТОВОЙ ЭНЕРГИИ ТУНГУССКОГО ВЗРЫВА

В. К. ЖУРАВЛЕВ

Установление доли энергии, выделившейся при взрыве Тунгусского метеорита в виде света, чрезвычайно важно. Известно, что отношение $f = \frac{E_c}{E}$ (где E — полная энергия взрыва, E_c — энергия светового излучения взрыва) для ядерных взрывов составляет $(3 \div 4) \cdot 10^{-1}$, тогда как для обычного химического взрыва f , по-видимому, не превышает 10^{-5} [1]. Следовательно, определение f дает возможность установить природу взрыва (химический или ядерный). Заметим, что для получения надежного ответа на вопрос о природе взрыва нет необходимости определять f с большой точностью. Погрешность при определении E или E_c может составлять, например, 50%. Величина E может быть определена с достаточной точностью несколькими независимыми методами — по площади вывала леса, по барограммам, магнитограммам и сейсмограммам взрыва. В настоящее время наиболее надежный интервал значений E составляет от $0,8 \cdot 10^{23}$ эрг до $10 \cdot 10^{23}$ эрг [3]. Определение E_c возможно двумя независимыми путями: по границе области ожога деревьев (которая, согласно результатам работ экспедиции 1965 года, находится на расстоянии 8—9 км от эпицентра) и по показаниям очевидцев из Ванавары и окрестных эвенкийских стойбищ. Эти показания содержат детали, по которым можно грубо оценить величину светового импульса в указанных пунктах [1, 2]. Однако при проведении этих расчетов необходимо знать функцию ослабления p или коэффициент прозрачности атмосферы в момент взрыва.

А. В. Золотов [1, 2] рассчитал величину E_c по формуле:

$$E_c = 4\pi D^2 J e^{\mu D}, \quad (1)$$

где J — световой импульс, кал/см^2 ; D — расстояние, км от поверхности светящейся области до точки, в которой определяется J , μ — коэффициент поглощения, км^{-1} , принятый Золотовым равным $0,033 \text{ км}^{-1}$. К. П. Станюкович и В. А. Бронштэн [4], а также К. П. Флоренский [5] подвергли критике расчет Золотова на том основании, что значение μ (или $p = e^{\mu D}$) было взято явно нереальным.

Формула (1) использовалась также в работе [6] для определения E_c по ожогу лиственниц в предположении, что световой импульс на границе области ожога составлял $5 \div 15 \text{ кал/см}^2$. В этом случае световой импульс в Ванаваре $J_B = 0,0004 \text{ кал/см}^2$ при наилучшей прозрачности. Такая величина импульса противоречит показаниям очевидцев в Ванаваре, ощу-

щения которых, если считать их показания достоверными, соответствовали, по крайней мере, $J_B \sim 0,1 \frac{\text{кал}}{\text{см}^2}$. Верхний предел $J_B \simeq 3 \text{ кал/см}^2$.

В упомянутых работах игнорировалось одно существенное обстоятельство, а именно, что при расчете светового импульса сильных взрывов нельзя пренебрегать рассеянным световым излучением. Формула (1) в применении к световому излучению сильных взрывов в лучшем случае может служить лишь для очень грубой оценки нижней границы значений [7], [8], поскольку она не учитывает рассеянного излучения. Наличие в реальной атмосфере рассеянного излучения приводит к существенно более слабой зависимости p от D . Это обстоятельство делает в значительной степени беспредметной упомянутую выше дискуссию о правильном выборе значения p . Формулы для расчета величины J (если известно E_c) или E_c (если известно J) для реальных условий приведены в [8].

Так, световой импульс можно рассчитать по соотношению:

$$J = \frac{E_c p}{4\pi D^2} = \frac{f E p}{4\pi D^2}, \quad (2)$$

которое при $f = 1/3$, значениях J , выраженных в кал/см^2 , E в килотонах , D — в км , преобразуется к виду:

$$J = \frac{1,04 E p}{D^2}. \quad (3)$$

Для достаточно высоких взрывов применима также формула:

$$J = \frac{1,22 E p}{H^2} \cdot \sin^2 \varphi, \quad (4)$$

где φ — угол возвышения центра взрыва, H — высота однородной атмосферы, ее значение принято ниже равным 8 км. Значения p , которые необходимо определить для заданного значения метеорологической дальности видимости S , в зависимости от расстояния до светящейся области, находятся по графикам 7.104 и 7.109 в [8]. На этих графиках приведены значения p для трех значений видимости S : 150 км, 80 и 16 км.

Обычные значения функции ослабления в Ванаваре, по данным Ванаварской метеостанции, за последние десять лет не выходят за пределы 0,6—0,1. В 1963 году были организованы актинометрические наблюдения на Заимке Кулика. Наблюдения проводили В. А. Саложникова и Н. И. Заздравных. Было установлено, что в районе эпицентра Тунгусского взрыва функция ослабления меняется в тех же пределах, что и в Ванаваре. Пределы колебаний в утренние часы составляют 0,5—0,1. Было также отмечено, что на болотах этого района летом нет туманов, которые держатся до 6—7 часов утра. Обычно к 3—4 часам ночи туманы исчезают.

В табл. 1 приводятся результаты расчета энергии E_c для двух значений J (эти значения выбраны на основе данных, взятых из [8]), двух возможных высот взрыва и трех различных значений S , рассчитанные по формулам (2)—(4) и графикам, взятым из [8]. Расстояние от эпицентра световой вспышки до границы ожога принято равным 8 км. Взятые для расчета E_c значения J отнесены к этому расстоянию.

Значения f , соответствующие величинам E_c , данным в табл. 1, оказываются в пределах от 0,006 до 0,5. Рассчитаем теперь величину светового импульса в Ванаваре для двух вариантов взрыва. В обоих случаях примем $f = 0,3$.

1-й вариант. $E = 2000$ кт, $h = 6$ км, $D = 65$ км, экстраполируя график 7.104 из [8] на расстояние 65 км, получим $p = 0,43$.

$$J_B = \frac{1,04 E p}{D^2} = \frac{1,04 \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 0,43}{4,25 \cdot 10^3} = 0,2 \text{ кал/см}^2$$

2-й вариант. $E = 10000$ кт, $h = 12$ км, $D = 65$ км. По графику 7.109 из 8 находим для $S = 80$ км при угле возвышения $\varphi = 10^\circ 5'$, что $p = 0,42$.

$$J_B = \frac{1,22 E p}{H^2} \sin^2 f = \frac{1,22 \cdot 10^4 \cdot 0,42}{64} \cdot 0,033 = 2,7 \text{ кал/см}^2.$$

Сделанные оценки дают основание для следующих выводов.

1. Коэффициент f даже для чистого воздуха оказывается очень высоким. Если принять p порядка 0,4—0,6 — значения, типичные для рассматриваемого района, то даже для $J = 5 \text{ кал/см}^2$ получится $f \sim 0,1$, т. е. величина, типичная для ядерных взрывов.

2. В том случае, если принять $p = 0,8—0,9$, значения f оказываются порядка 0,005, т. е. на два порядка больше, чем при взрывах обычных бризантных взрывчатых веществ.

3. Результаты определения границы области ожога согласуются с показаниями очевидцев в Ванаваре только при учете рассеянного светового излучения и при $f \sim 0,1$.

Следовательно, расчет подтверждает уже высказывавшееся раньше утверждение [2], [6] о необычно высоком значении доли световой энергии, сопровождавшей падение Тунгусского метеорита.

Если причиной светового излучения был взрыв, то можно сделать вывод, что по концентрации энергии на единицу массы взорвавшегося вещества он не отличался от типичного ядерного взрыва. Расчет, выполненный К. П. Станюковичем и В. П. Шалимовым [9], приводит к заключению, что обычный метеорит,двигающийся в нижних слоях атмосферы со скоростью больше 30 км/сек, создает баллистическую ударную волну, световое излучение которой имеет мощность, сравнимую с мощностью светового излучения огненного шара ядерного взрыва. Однако свечение болидов при скоростях свыше 10 км/сек экспериментально не изучено и выводы авторов [9] еще требуют проверки [10]. Подтверждение этого результата будет означать возможность объяснения световых эффектов Тунгусского метеорита в рамках обычных представлений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Золотов А. В., Дядькин И. Г. Результаты исследования радиоактивности и лучевого ожога деревьев в районе Тунгусской катастрофы 1908 г. Отчет экспедиции, г. Октябрьский, 1959.
2. Золотов А. В. Докл. АН СССР, 136, № 1, стр. 84, 1961.
3. Маслов Е. В. Сб. «Проблема Тунгусского метеорита», стр. 105, Томск, 1963.
4. Станюкович К. П., Бронштэн В. А. Докл. АН СССР, 140, № 3, стр. 583, 1961.
5. Флоренский К. П. Метеоритика, 23, стр. 3, 1963.
6. Зенкин Г. М., Ильин А. Г. Метеоритика, 24 стр., 129, 1964.
7. Архипов М. П. Световое излучение атомного взрыва, Воениздат, М., 1965.
8. Действие ядерного оружия. (Пер. с англ.), Воениздат. М., 1963.
9. Станюкович К. П., Шалимов В. П. Метеоритика, 20, стр. 54, 1961.
10. Ромиг М. Ракетная техника и космонавтика, 3, стр. 3, 1965.

К ВОПРОСУ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ТАКСАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК «ДОКАТАСТРОФНОГО» ЛЕСА В РАЙОНЕ ПАДЕНИЯ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

В. И. НЕКРАСОВ, Ю. М. ЕМЕЛЬЯНОВ

До сих пор основными и почти единственными достоверными «следами» Тунгусского метеорита являются колоссальные разрушения леса на площади около 2 000 км². Детальное изучение характера разрушения может позволить подойти к установлению параметров баллистической и взрывной волн, образовавшихся в период падения и взрыва Тунгусского метеорита. Изучение вывала леса было начато еще Л. А. Куликом [1, 2] и продолжено экспедициями 1958—1960 и 1961 гг. [3, 4, 5, 6].

Главное внимание было направлено на установление азимутов поваленных деревьев в различных точках огромной территории, по которым прослеживается движение фронта разрушающих волн. Уделялось также известное внимание оконтуриванию площади вывала, по которой составлено общее представление о мощности волн в различных направлениях. Однако до последнего времени было неясно, в какой степени неоднородность насаждений (различный состав, возраст, полнота, бонитет, физиологическое и санитарное состояние древостоя) определили границы и интенсивность разрушений в том или ином месте района катастрофы.

С целью восстановления картины «докатастрофного» леса в 1960 и 1961 гг. проводился сбор специального материала.

Методика таксации погибшего леса на постоянных пробных площадях была коллективно разработана в 1960 году [4]. Она включала определение азимутов поваленных стволов, картирование и перечет всех погибших деревьев (вываленных с корнем, сломанных на разной высоте и оставшихся на корню, но лишенных крон). Измерялась длина каждого ствола и диаметр у шейки корня. У сломанных деревьев определялись дополнительно диаметры на высоте изломов. Отдельно замерялись упавшие на землю вершины. Одновременно с таксацией погибшего леса проводился по обычной методике перечет древостоя с последующим взятием модельных деревьев на ход роста для главной породы по пропорциональному представительству из высших, средних и низших ступеней толщины и средние модели для сопутствующих пород. На тех пробных площадях, где в 1960 году были взяты модельные деревья только из высших ступеней толщины, в 1961 году были взяты дополнительно недостающие модельные деревья.

Данные перечета погибших и растущих деревьев позволяют, используя модельные деревья, восстановить основные таксационные элементы насаждений, существовавших в 1908 году.

Хорошо поддается восстановлению число стволов на единице площади. Оно определяется суммой погибших во время и после катастрофы и сохранившихся до последнего времени живых деревьев. Высоты и диаметры, которые имели в 1908 году эти деревья, устанавливаются по данным анализов модельных деревьев и перечетным ведомостям таксации погибших деревьев. По модельным деревьям определяется и возраст насаждений в 1908 году. К сожалению, возраст погибших деревьев не определялся прямым подсчетом годовичных колец. Степень же сохранности значительной части погибших деревьев позволяет и через пятьдесят с лишним лет после катастрофы провести такую работу на постоянных пробных площадях. Это даст возможность, установить более точно возраст полностью погибших в 1908 году древостоев. Пока при установлении возраста таких насаждений приходится прибегать к аналогам, пользуясь таксационными данными по числу стволов на единице площади и их размерам, что может привести к некоторым ошибкам.

Полнота насаждений устанавливается путем интерполяции и сопоставления таксационных данных полностью погибших насаждений с существующими однотипными насаждениями, не затронутыми действием метеоритного взрыва. Наиболее сложным моментом в восстановлении картины «докатастрофного» леса является выяснение породного состава погибших насаждений. Пока, пользуясь тем, что смены пород на территории катастрофы не наблюдается [4, 7, 8], при характеристике видового состава леса нами с известной осторожностью использованы данные по

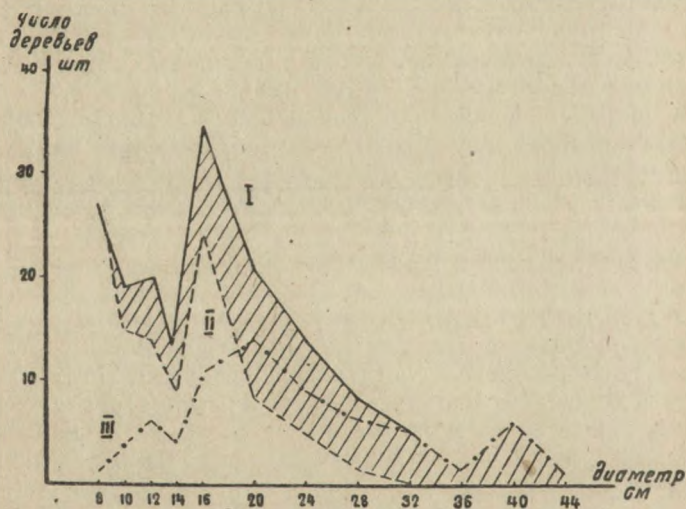


Рис. 1. Распределение деревьев по ступеням толщины в 1908 году.

Пробная площадь СВ-21, заложена в 1961 году. Погибло 252 дерева, сохранилось 728 деревьев на 1 га. Общее на пробной площади — (I), в том числе сохранившиеся деревья — (II), в том числе погибшие деревья — (III)

породному составу существующих насаждений. По-видимому, необходимо дополнительно провести исследования анатомического строения древесины погибших деревьев с целью определения их видовой принадлежности. Эту работу вполне можно выполнить в полевых условиях, так как основные компоненты хвойного леса (сосна, ель, лиственница) хорошо различаются по анатомическим особенностям древесины [9].

Данные проведенной реконструкции (реставрации) картины лесов 1908 года, представленные по 40 пробным площадям*) (см. табл. 1), показывают, насколько неоднородны были леса района катастрофы. Это вполне согласуется с мнением Н. П. Курбатского [10].

Особый интерес, с точки зрения установления параметров взрыва, представляют участки леса, где был частичный вывал, так как только по ним можно судить о нижнем пределе валящего момента и уточнить силу аэродинамического напора в различных участках района катастрофы, над чем работают А. П. Бояркина, Д. В. Демин, И. Т. Зоткин, В. Г. Фаст [11] и другие.

Безусловно, определение величины валящего момента для отдельных деревьев и особенно целых насаждений докатастрофного леса осложняется трудностями объективной оценки и учета физиологического состояния деревьев, которое подвержено значительным изменениям под влиянием пожаров, заболеваний, ветровалов и т. п. факторов.

В этой связи небезынтересны данные о процентном соотношении погибших и сохранившихся деревьев в различных участках района падения и графики распределения деревьев по ступеням толщины и по высотам

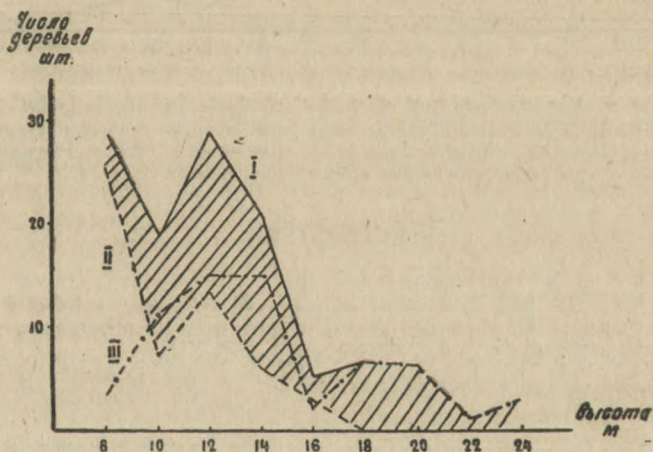


Рис. 2. Распределение деревьев по высотам в 1908 г. Пробная площадь и обозначения те же, что на рис. 1.

как частично поврежденных (рис. 1, 2), так и полностью погибших насаждений (рис. 3).

На графиках 1 и 2 отражено распределение переживших катастрофу деревьев на момент 1908 года (II) и деревьев, погибших во время тунгусского взрыва (III). Хорошо видно (заштриховано), какая группа деревьев была повержена на землю или сломана. Это позволяет надеяться на возможность получения более правильных ответов в работе по моделированию вывала.

В установлении реальной таксационной картины насаждений 1908 года большую помощь оказывают материалы по модельным деревьям. При взятии моделей обычно детально описываются и измеряются основные параметры крон деревьев (форма, протяженность живой части, длина ветвей, форма и размеры горизонтальной проекции кроны и т. п.). С учетом состава, полноты и возраста древостоя могут быть вычислены площа-

*) Расположение пробных площадей дано на карте-схеме в статье В. И. Некрасова и Ю. М. Емельянова «Некоторые итоги и задачи изучения роста леса в районе падения Тунгусского метеорита», помещенной в данном сборнике.

ди боковой проекции крон не только отдельных деревьев, но и целых насаждений, что даст более полное представление о силе сопротивления взрывной волне отдельных типов насаждений.



Рис. 3. Распределение деревьев по ступеням толщины в насаждении 1908 года (I) и в насаждении, сформировавшемся на этой площади после полной гибели «докатастрофного» леса (II). Пробная площадь 6-Ю, заложена в 1960 г. Погибло 364 дерева, растет в настоящее время 528 деревьев на 1 га.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кулик Л. А. За Тунгусским дивом. 1927.
2. Кринов Е. Л. 1949. Тунгусский метеорит. М.—Л., Изд. АН СССР.
3. Флоренский К. П. и др. 1960. Предварительные результаты работ Тунгусской метеоритной экспедиции 1958 г. Метеоритика, вып. XIX.
4. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М., 1963. Особенности роста древесной растительности в районе Тунгусской катастрофы. Сб. «Проблема Тунгусского метеорита». Изд. Томского университета.
5. Фаст В. Г., 1963. К определению эпицентра взрыва Тунгусского метеорита по характеру вывала леса. Сб. «Проблема Тунгусского метеорита». Изд. Томского университета.
6. Флоренский К. П. 1963. Предварительный отчет Тунгусской метеоритной экспедиции, 1961 г. Метеоритика, вып. XXIII.
7. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М. 1964. Изучение роста леса в связи с проблемой Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. XXIV.
8. Бережной В. Г., Драпкина Г. И., 1964. Изучение аномального прироста леса в районе падения Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. XXIV.
9. Вихров В. Е. 1959. Диагностические признаки древесины главнейших лесохозяйственных и лесопромышленных пород СССР. Изд. АН СССР. Ин-т леса.
10. Курбатский Н. П. 1964. О лесном пожаре в районе Тунгусского падения. Лесное хозяйство, 2.
11. Бояркина А. П., Демин Д. В., Зоткин И. Т., Фаст В. Г. 1964. Изучение ударной волны Тунгусского метеорита по вызванным ею разрушениям леса. Метеоритика, вып. XXIV.

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ И ЗАДАЧИ ИЗУЧЕНИЯ РОСТА ЛЕСА В РАЙОНЕ ПАДЕНИЯ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

В. И. НЕКРАСОВ, Ю. М. ЕМЕЛЬЯНОВ

Как известно [1, 2], в районе падения Тунгусского метеорита наблюдается усиленный рост древесной растительности. Не связан ли усиленный рост с воздействиями, которые оказал небесный пришелец? Для суждения о связи этого явления с падением Тунгусского метеорита было решено нанести на карту те места, где наблюдается усиленный рост, чтобы затем сопоставить эти данные с границами вывала леса, лесного пожара и другими материалами. С этой целью методом пробных площадей со взятием модельных деревьев было проведено в течение 1960 и 1961 годов изучение роста древостоев на обширной территории. Предварительные итоги по изучению особенностей роста древесной растительности в районе падения метеорита за 1960 год были опубликованы в 1963 году [3, 4]. Комплексная метеоритная экспедиция 1961 года (начальник К. П. Флоренский) включила в план своих работ завершение исследований по лесу. В 1961 году была закончена закладка пробных площадей по магистральным ходам западного, восточного, северного направлений, а также заложены пробные площади по шестикилометровой сетке во всех секторах исследуемой территории (43 пробных площади).

Исследование динамики роста деревьев неразрывно связано с изучением условий и характера формирования и развития насаждений [5]. Относительно характера происхождения и формирования насаждений, возникших после падения Тунгусского метеорита, имеются в основном две точки зрения. По мнению В. Г. Бережного и Г. И. Драпкиной [6], возобновление леса в этом районе проходило двумя этапами. «Первый этап — возобновление из семян, сохранившихся в почве во время пожара. За этот период, продолжавшийся, по их мнению, два—три года, появилось около 11% современного древостоя. Второй этап — возобновление за счет налета семян от окружающих древостоев и оставшихся живых деревьев».

По нашему же мнению, о ходе восстановления лесной растительности лучше всего можно судить по возрастному составу насаждений, сформировавшихся на месте уничтоженных катастрофой лесов. Проведенное нами изучение распределения 165 модельных деревьев по возрастным категориям (рис. 1) показывает, что лес, особенно в центральной части вывала, возобновился почти исключительно за счет семян, сохранившихся в период катастрофы и самосева предварительного возобновления.

Из графика видно, что возобновительный период продолжался в течение 14—18 лет. В сложившихся после катастрофы условиях в первые 2—3 года проросли лишь семена, попавшие на обнаженные или слабо

минерализованные огнем, открытые участки почвы. Семена же, находившиеся в лесной подстилке, в полигональных трещинах, в шишках на ветвях поваленных деревьев, в первые годы не участвовали в возобновлении. Чтобы эти семена проросли и дали всходы, потребовалось определенное время, необходимое для минерализации не только подстилки, но и покрывшей землю хвои и ветвей поваленных деревьев, для оттаивания почвы в полигональных трещинах, полного раскрытия или минерализации шишек и освобождения из них семян. Наиболее благоприятный пе-

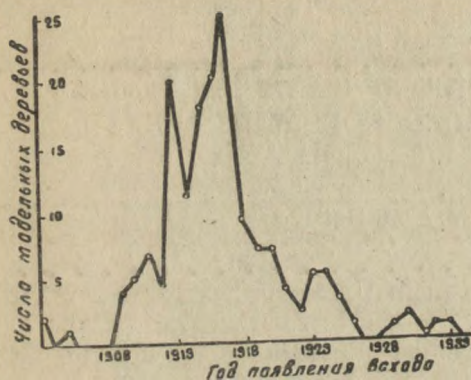


Рис. 1. Динамика появления всходов после катастрофы 1908 г.

Определена по возрасту 165 модельных деревьев сосны и лиственницы, взятых в зоне массового вывала.

территории вывала и пожара, где древостой погиб полностью, не произошло смены хвойных пород лиственными. Сплошной вывал на огромной площади с довольно пересеченным рельефом не позволил обсеменить со стороны эту территорию даже мягколиственными породами (березой, осинкой), имеющие легкие, снабженные пушком или крылышками семена, способные пролетать очень большие расстояния. Приуроченность многих стволов сосны и лиственницы «послеметеоритного» происхождения к полигональным трещинам, нахождение в лесной подстилке старых насаждений под шестисантиметровым моховым слоем и в полигональных трещинах шишек сосны, ели и лиственницы со всхожими, жизнеспособными семенами, удивительно равномерное размещение деревьев по площади, при относительно небольшой полноте насаждений (400—1000 стволов на гектар) не только согласуются, но и хорошо подтверждают описанную выше динамику восстановления древесной растительности в районе массовой гибели хвойных насаждений.

По нашему мнению, очень маловероятно также и сколь-нибудь значительное обсеменение территории вывала и пожара от сохранившихся единичных деревьев и небольших куртин, как на этом настаивают В. Г. Бережной и Г. И. Драпкина [6].

Как уже упоминалось выше, деревья в настоящее время размещены на площади равномерно, без загущенных участков, характерного признака для леса, возобновившегося от семенников. Это подтверждается также тем, что среди сохранившихся во время катастрофы деревьев в основном встречаются лиственницы, и если согласиться с В. Г. Бережным и Г. И. Драпкиной, то вокруг них должен был бы возникнуть лиственный лес, а на самом деле в составе молодого поколения имеются древостой даже с преобладанием сосны.

риод для прорастания семян и роста деревьев наступил в центральной зоне катастрофы лишь на 5 и 10-й годы после падения метеорита. Тот факт, что после 17—18 лет возобновительный период прекратился, убедительно показывает, что непосредственно после катастрофы обсеменение свободной от леса территорий со стороны практически почти не происходило.

Лишь в последние годы, то есть спустя 30—40 лет после падения метеорита, отмечается появление подроста из семян «послеметеоритного» происхождения.

О таком характере формирования насаждений свидетельствует также тот факт, что на

По мере удаления от центра в формировании древостоев действительно начинают играть роль сохранившиеся после катастрофы молодняки и уцелевший подрост, о чем свидетельствует возрастной состав насаждений. Наряду с деревьями 60—90-летнего возраста в таких насаждениях можно встретить от 20 до 100 деревьев на 1 га старшего поколения (150—250 лет), послуживших семенниками. Послеметеоритный самосев сыграл определенную роль в формировании этих насаждений, поэтому они отличаются значительно большим числом стволов на 1 га (свыше 2500—3000) и массовым количеством разновозрастного подроста. Конечно, это количество стволов не идет ни в какое сравнение с количеством самосева на естественных гарях, где число растений достигает 10—100 тысяч на га.

При нанесении на карту данных лесотаксации по продуктивности древостоев наметилась концентричность по отношению к центру (г. Стойковича) в расположении пробных площадей с молодняками разной интенсивности роста (рис. 2). Она проявилась в том, что ближе к центру расположились насаждения (зона I), в которых отмечается лучший рост деревьев по сравнению с более удаленными от центра участками (зона II). Сорокалетние лиственничники в зоне I имеют средние высоты 12—14 м и запасы древесины 45—90 м³ при числе стволов более 8 см в диаметре 680—1040 шт. на 1 га (табл. 1). В 45—50-летнем возрасте средние высоты равны 13—16 м и запас древесины находится в пределах 70—150 куб. м при 540—1272 стволов на 1 га. Сосняки в 40—50 лет имеют среднюю высоту 12—13 м и запас древесины 45—70 куб. м при 384—896 стволов на 1 га. Средние высоты березняков (порослевого происхождения) — 12—15 м. При 820—1244 стволов на 1 га березняки имеют запас древесины 60—90 куб. м. Не редки случаи, когда модельные деревья лиственничники имеют в 45—50 лет высоты 20—22 м и диаметры 20—24 см, а сосны — высоты 15—16 м и диаметры также 20—24 см. Средние годовичные приросты по высоте таких деревьев достигают 35—40 см, а по диаметру 0,5—0,6 см. Все эти насаждения произрастают на различных участках рельефа, на склонах северных и южных румбов, как на мощных суглинистых иллювиально-гумусных почвах с профилем 150—200 см, так и на маломощных щебнистых, полигональных, иногда слабо оподзоленных почвах (профиль до 30—40 см). В типологическом отношении эти насаждения также весьма разнообразны.

Расположенные за этой зоной разновозрастные 40—50-летние молодняки «послеметеоритного» происхождения (зона II) уступают по основным таксационным показателям молодняка центра (табл. 2). Нетрудно заметить, что средние высоты лиственничники в 45-летних древостоях 12—13 м, запасы древесины составляют 40—70 куб. м при 580—904 стволах на 1 га. Большинство сосняков в 40—50 лет имеют среднюю высоту 10—11 м и запас древесины на 1 га от 20 до 60—80 куб. м, в зависимости от числа стволов (от 280 до 1316). Лишь на пробной площади 18-В запас древесины составляет 150 куб. м на 1 га. Но это объясняется тем, что на 1 га в этом насаждении произрастает 1052 дерева диаметром выше 8 см. По средней же высоте насаждение на этой площади ничем не отличается от других молодняков этой периферийной зоны.

Анализируя рост модельных деревьев разновозрастных насаждений, сформировавшихся за много лет до катастрофы 1908 года, мы можем представить себе, как развиваются в этих местах обычные разновозрастные насаждения. Ведь характер формирования древостоя оказывает существенное влияние на динамику роста деревьев.

Для сравнения роста деревьев можно взять двухсотлетние сосновые и лиственничные насаждения (пробные площади 16-В, 13-З и 8-ВЮ). Сосняк с голубично-лишайниковым покровом состава 6С4Л (пр. пл. 16-В)

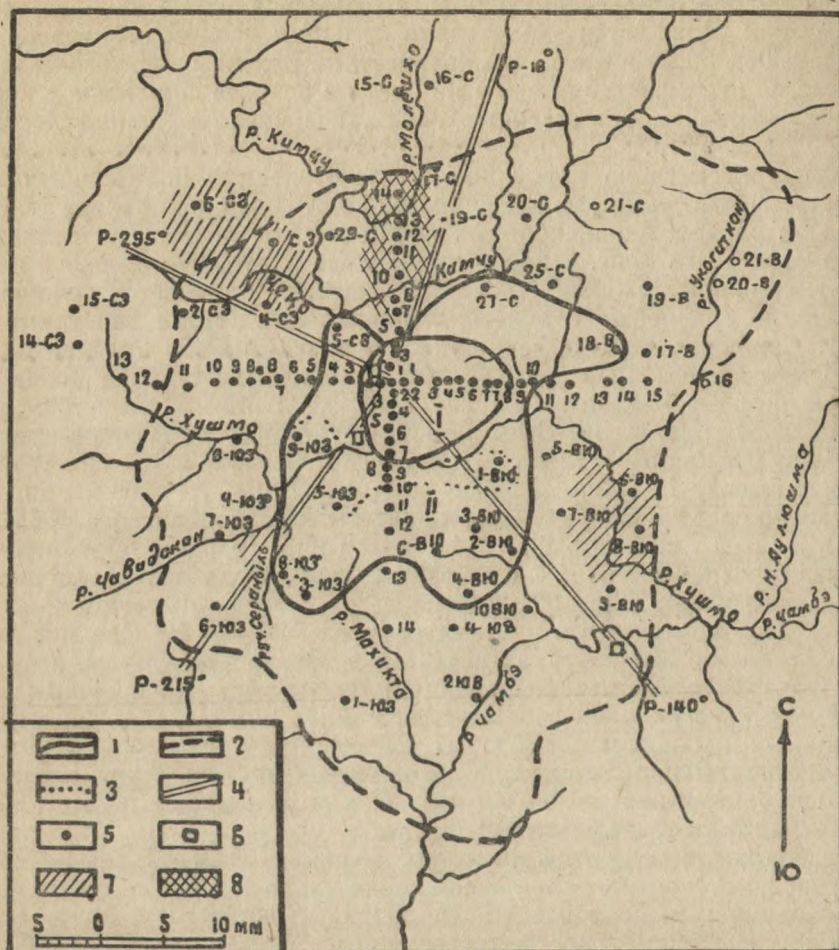


Рис. 2. Карта-схема расположения пробных площадей и границы усиленного роста насаждений и деревьев
1 — границы зон усиленного роста молодняков (зона I — центральная зона, зона II — периферийная зона);
2 — граница заметного вывала леса; 3 — граница зоны молодняков с относительно меньшей энергией роста в высоту; 4 — радиальные маршруты, 5 — пробные площади; 6 — избушки; 7 — участки сосредоточения модельных деревьев, переживших катастрофу 1908 года и обнаруживших увеличение прироста по диаметру и по высоте 1908 года; 8 — участок сосредоточения модельных деревьев, переживших катастрофу 1908 года, где совершенно не обнаружено увеличение прироста по высоте и по диаметру после 1908 года.

расположен к востоку от р. Укагиткон на маломощной легкосуглинистой почве, подстилаемой туфами. Высоты модельных деревьев сосны в 50-летнем возрасте, т. е. 150 лет назад, составили 4,0—5,0 м, лиственницы — 6,0—6,5 м. В лиственнично-сосновом насаждении (состав 8Л2С) такого же возраста с лишайниковым покровом (пр. пл. 13-3) в 50-летнем возрасте модельные деревья лиственницы имели высоты 4,1; 5,3; 8,1 м, сосны — 7, 0 м. На пробной площади 8-ВЮ модельные деревья сосны одновозрастного, тоже двухсотлетнего сосново-лиственничного насаждения (состав 8С2Л) на маломощных, суглинистых щебнистых почвах в 50 лет имели высоты 5,9; 8,5; 9,7 м. Сейчас запасы древесины на 1 га этих двухсотлетних насаждений составляют 127—164 куб. м.

Из приведенных примеров видно, что обычные одновозрастные насаждения района Подкаменной Тунгуски значительно отстают в росте по высоте от насаждений центральной зоны и от большинства насаждений периферийной зоны. Еще нагляднее можно проследить разницу в ходе роста модельных деревьев лиственницы, сосны и ели по данным табл. 4. Если к 40-летнему возрасту в обычных насаждениях района высота деревьев очень редко превышает 5 м, то в насаждениях центральной (2-С, 4-Ю, 7а-В) и периферийной (2-ВЮ, 4-3) зон она, как правило, выше 10 м у деревьев средних и высших ступеней толщины.

Можно думать, что наиболее вероятной причиной таких различий в росте послужили как раз особенности формирования молодняков. Рост деревьев в разреженном состоянии с самых ранних этапов развития древостоя привел к отсутствию конкуренции между растениями, к лучшему обеспечению питанием, светом, лучшему и более раннему прогреванию почвы и т. п. Если численность стволов на 1 га в 50-летнем возрасте составляет в районе падения метеорита не более 1500 экземпляров, то на обычных гарях в том же районе насчитывается в этом возрасте 8,0—10,0 тыс. экземпляров.

Анализ территориального расположения на местности пробных площадей с насаждениями разной энергии роста показывает, что имеется тенденция к уменьшению энергии роста по высоте в окраинных частях периферийной зоны (см. пр. пл. 27-С, 10-В, 2-ЮЗ). Кроме того, интересно, заметить, что молодняки, расположенные непосредственно к югу от р. Хушмо (пр. пл. 9-ЮЗ, 3-ЮЗ; 8-Ю, 9-Ю и 1-ВЮ), также обладают относительно меньшей энергией роста в высоту. С чем связаны эти отмеченные особенности, с пожарными ли явлениями, с интенсивностью ли вывала деревьев, которая определялась силой взрывной волны, или другими причинами, сказать пока трудно. Ответ на этот вопрос даст дальнейший анализ материала после окончательной разработки лесо-типологической классификации и увязки таксационных материалов с данным исследованием комплексной экспедиции по другим направлениям.

При изучении роста древесной растительности основное внимание обращалось на усиленный рост деревьев, появившихся после Тунгусского падения. Что же касается деревьев, переживших катастрофу, то ранее отмечалось [2; 3; 7], что у многих из них наблюдается за последние 50 лет усиленный прирост по диаметру, а в целом ряде случаев и по высоте. Эти деревья в 1908 году занимали в древостоях различное положение (среди них были и господствующие и угнетенные), они имели возраст от 20—40 до 250 лет, находились на разном расстоянии от центра и были повреждены при взрыве в различной степени.

Дальнейшая обработка полевых материалов позволила выявить дополнительные сведения о распределении по площади деревьев, имеющих после 1908 года усиление прироста. Были использованы анализы модельных деревьев и спилов на высоте пня, взятых при рекогносцировочных маршрутах в 1958 году, радиальных маршрутах 1960 года по азимутам

18, 140, 215 и 295°, а также анализы модельных деревьев, взятых на постоянных пробных площадях, заложенных в 1960 и в 1961 годах. Нанесение на карту данных по сравнительному приросту более 200 деревьев, переживших катастрофу (табл. 4, 5), показало, что выделяются участки большего сосредоточения деревьев, давших положительный прирост после 1908 года, по сравнению с предшествующим 20—50-летием, и по диаметру и по высоте.

Эти участки различны по площади и как бы разбросаны по территории. Однако на некоторые районы, где заметнее проявляется такая картина, следует, по нашему мнению, обратить внимание. Прежде всего, следует указать на юго-западный участок в районе руч. Сераныль и юго-восточный по р. Хушмо, попадающие в основном в зону вывала леса, и северо-западный участок, северо-западные границы которого располагаются за пределами установленных границ метеоритного вывала. Положительный прирост на этих участках дали как 70—80-летние деревья, так и 300-летние «старцы».

Естественно было предположить, что увеличение прироста деревьев по диаметру определяется так называемым световым приростом после значительного разреживания древостоя. Когда дело касается молодых и приспевающих насаждений, этот довод весьма убедителен, но когда речь идет о значительном (в 2,5—3,0 раза) повышении прироста 250—300-летних деревьев, занимавших господствующее положение в своих древостоях, и к тому же получивших серьезные повреждения (сильные ожоги, обрыв ветвей и т. п.) в год катастрофы, то увеличением почвенного и светового питания объяснить такое явление довольно трудно.

Пока нельзя дать окончательный ответ о причинах усиления роста переживших катастрофу деревьев. Можно предположить, что наряду с экологическими факторами и фитоценоотическими условиями в увеличении прироста спелых и перестойных деревьев благоприятную роль могло сыграть и омоложение крон, произошедшее при их восстановлении после обрыва сучьев во время катастрофы 1908 года. Надо полагать, что это явление может представить большой интерес для дендрологов и лесоводов.

Интересно отметить, что выявляется также участок, расположенный в основном в междуречьи рек Кимчу и Мошешко, где у переживших катастрофу деревьев совершенно не обнаруживается увеличения прироста по высоте и диаметру, хотя там был довольно значительный вывал леса и заметны повреждения крон.

Чтобы показать, с чем связаны те и другие особенности роста переживших катастрофу деревьев, по-видимому, потребуется проведение дополнительных исследований. Прежде всего надо в натуре попытаться оконтурить эти участки. Для этого, по-видимому, будет достаточно заложить серию пробных площадей по небольшим магистральным визирам, пересекающим эти участки в нескольких направлениях. На пробных площадях следует выявить происхождение древостоев, наличие пожаров, установить последствия метеоритного взрыва в кронах деревьев, изучить почвенно-грунтовые особенности участков и т. д. Надо думать, что дальнейшее изучение особенностей роста лесных насаждений в районе падения Тунгусского метеорита позволит выяснить причины, вызвавшие ускорение роста переживших катастрофу деревьев, что, в свою очередь, может оказать помощь в решении как чисто метеоритных вопросов, так и лесохозяйственных, направленных на повышение продуктивности лесов севера.

ЛИТЕРАТУРА

1. Флоренский К. П., Вронский Б. И., Емельянов Ю. М., Зоткин И. Т., Кирова О. А. 1960. Предварительные результаты работ Тунгусской метеоритной экспедиции 1958 года. Метеоритика, вып. XIX.
 2. Емельянов Ю. М., Некрасов В. И. 1960. Об аномальном росте древесной растительности в районе падения Тунгусского метеорита. ДАН СССР, т. 135, 5.
 3. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М. 1963. Особенности роста древесной растительности в районе падения Тунгусского метеорита. Сб. «Проблема Тунгусского метеорита». Изд. Томского ун-та, Томск.
 4. Колесников В. И. 1963. Аномальное возобновление древесной растительности в районе Тунгусской катастрофы. Сб. «Проблема Тунгусского метеорита». Изд. Томского ун-та, Томск.
 5. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М. 1964. Изучение роста леса в связи с проблемой Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. XXIV.
 6. Бережной В. Г., Драпкина Г. И. 1964. Изучение аномального прироста леса в районе падения Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. XXIV.
 7. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М., 1962. Повлияла ли Тунгусская катастрофа на рост леса? Природа, № 2.
-

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МНОГОФАКТОРНОГО ДИСПЕРСИОННОГО АНАЛИЗА ДЛЯ ОЦЕНКИ ФАКТОРОВ, ОКАЗАВШИХ ВЛИЯНИЕ НА ИЗМЕНЕНИЕ ХОДА РОСТА ДРЕВЕСНОЙ РАСТИТЕЛЬНОСТИ В РАЙОНЕ ТУНГУССКОГО ПАДЕНИЯ

Ю. М. ЕМЕЛЬЯНОВ, В. Б. ЛУКЬЯНОВ, Р. Д. ШАПОВАЛОВА, В. И. НЕКРАСОВ

Обработка лесотаксационных данных междуречья р. Чамбе и р. Чуны [1, 2], проведенная с использованием критерия знаков, позволила статистически достоверно установить связь между усиленным приростом деревьев и Тунгусским падением [3]. Была выявлена связь усиленного прироста с некоторыми факторами геоботанического характера.

Используя терминологию, применяемую в математической статистике [4—6], такие зависимости можно охарактеризовать как «парные взаимодействия» между эффектом Тунгусского падения и каждым из рассматриваемых геоботанических факторов. Однако с помощью критерия знаков нельзя было выявить целый ряд эффектов (как линейных, так и их взаимодействий), представляющих существенный интерес. Поэтому в дальнейшем обработка данных проводилась методом многофакторного дисперсионного анализа по схеме полного факторного эксперимента [6, 7].

Обработке подлежали данные, характеризующие средний текущий прирост деревьев. Проверка с помощью χ^2 -критерия показала, что значения текущих приростов (y) не подчиняются закону нормального распределения; в то же время для них хорошо выполняется логарифмически-нормальное распределение. Поэтому в качестве выходного параметра при проведении факторного анализа были взяты логарифмы средних текущих приростов по диаметру ($\lg 100 y$).

В табл. 1 приведена часть рабочей матрицы, соответствующей плану полного факторного эксперимента для 6 исследуемых факторов. Все факторы варьировались на двух уровнях, которые обозначены в таблице знаками «+» и «—». В первых 6 столбцах приведены условия эксперимента, который природа «поставила» в районе падения Тунгусского метеорита в период времени до и после 1908 года. В этом эксперименте «варьировались» направление по странам света, возраст деревьев, их порода, расстояние от предполагаемого эпицентра и диаметр деревьев. Так, например, в строке 7 приведено среднее значение логарифма текущего прироста до 1908 года для деревьев, расположенных в секторах ЮВ—СЗ (включая деревья на пробных площадях лесотаксационного разреза В-3), возрастом свыше 100 лет (C^+), диаметром менее 20 см (F^-), росшие на расстоянии до 10 км от центра (E^-). В соответствии с уровнем 4 фактора (D^-) в выборку включались лишь данные по сосне и кедру. Результаты статистического анализа приведены в табл. 2.

Из 63 подлежавших оценке эффектов (линейных и их взаимодействий) выделено 7. В последнем столбце приведены средние суммы, про-

порциональные величинам эффектов и характеризующие степень влияния каждого фактора на увеличение прироста деревьев по диаметру. В нижней части таблицы приведены предельные значения средних сумм для различных уровней значимости (0,001; 0,01, и 0,05).

Таблица 1

Факторы		А Эффект Тунгус- ского па- дения	В Направление по странам света	С Возраст деревьев	Д Порода деревьев	Е Расстоя- ние от центра катастро- фы	Ф Диаметр деревьев	Выходной параметр, $Y = \lg 100 y$
Уровни факто- ров	— +	до 1908 г., после 1908 г.	С, Ю, СВ, ЮЗ В, З, ЮВ, СЗ	до 100 лет св. 100 лет	Сосна+кедр Листвен- ница+ель+ +береза	до 10 км св. 10 км	до 20 см св. 20 см	
Порядковые номера	1	—	—	—	—	—	—	1,342
	2	+	—	—	—	—	—	1,030
	3	—	+	—	—	—	—	0,958
	4	+	+	—	—	—	—	1,048
	5	—	—	+	—	—	—	0,908
	6	+	—	+	—	—	—	1,002
	7	—	+	+	—	—	—	0,908
	8	+	+	+	—	—	—	1,002
	57	—	—	—	+	+	+	1,211
	58	+	—	—	+	+	+	1,180
	59	—	+	—	+	+	+	1,297
	60	+	+	—	+	+	+	1,414
	61	—	—	+	+	+	+	0,944
	62	+	—	+	+	+	+	0,864
	63	—	+	+	+	+	+	0,870
	64	+	+	+	+	+	+	0,932

Таблица 2

Факторы и взаимодействия	Обозна- чение	Средние суммы
Возраст	С	—7,183
Диаметр	Ф	7,083
Порода	Д	—2,733
Эффект Тунгусского падения × направление по стра- нам света	АВ	2,209
Возраст×диаметр	СФ	—1,943
Расстояние от эпицентра	Е	—1,881
Эффект Тунгусского падения×возраст ×диаметр	АСФ	—1,841
$t_{0,05} \cdot s_p = 1,648; t_{0,01} \cdot s_p = 2,166$	$t_{0,001}$	$s_p = 2,768$

На фоне эффектов, связанных с экологическими факторами (С, Д, Ф и СФ), выделено взаимодействие эффекта Тунгусского падения с на-
правлениями по странам света, значимое для 1%-го уровня значимости.
Положительная величина взаимодействия АВ может быть интерпретиро-
вана, в частности, как увеличение текущего прироста после 1908 года
в направлении СЗ—ЮВ. Аналогичный результат был получен нами

ранее [3] при биостатистической обработке лесотаксационных материалов с помощью критерия знаков.

Эффект Е, характеризующий изменение текущего прироста в зависимости от расстояния от эпицентра, также можно трактовать с точки зрения эффекта Тунгусского падения. Отрицательная величина эффекта Е (прирост на расстояниях до 10 км выше прироста на более далеких расстояниях) может быть обусловлена вывалом леса и пожаром в центральной части района падения. Однако интересно отметить, что с помощью критерия знаков был получен противоположный результат: явление усиленного прироста оказалось значимым для деревьев, растущих на расстоянии свыше 100 км от эпицентра [3].

Правда, при анализе с помощью критерия знаков использовались данные по относительному приросту, в то время как в настоящей работе в качестве выходного параметра взяты значения текущего прироста. Для уточнения вопроса о влиянии расстояния на величину прироста необходимы дополнительные исследования.

Значимым оказалось также тройное взаимодействие — АСF (эффект Тунгусского падения $\times$ возраст $\times$ диаметр). Этот результат согласуется с установленным с помощью критерия знаков явлением усиленного прироста после 1908 года для деревьев различного возраста и диаметра.

Чтобы оценить, в какой степени результаты расчета могут зависеть от нарушения нормального закона распределения значений выходного параметра, аналогичный расчет провели и для непреобразованных значений текущего прироста. При этом были получены результаты, аналогичные приведенным в табл. 2. Дополнительно на границе 5%-го уровня значимости был выделен значимый эффект Тунгусского падения (А), а также три взаимодействия второго—четвертого порядка.

Полученные результаты не исчерпывают всех возможностей методов многофакторного дисперсионного анализа. В настоящих публикациях (см. также [3]) приводятся лишь первые результаты, которые тем не менее позволяют сделать весьма важное заключение о наличии эффекта увеличенного прироста в ЮВ и СЗ направлениях. Особо следует отметить тот факт, что явление увеличенного прироста деревьев, переживших катастрофу, статистически достоверно наблюдается не в местах наибольших разрушений, вызванных взрывной волной (ЮЗ и ТВ), а в противоположных секторах, лежащих непосредственно под траекторией полета Тунгусского метеорита. Полученные данные позволяют надеяться, что дальнейшая работа в этом направлении позволит вскрыть причины влияния Тунгусского метеорита на изменение хода роста древесной растительности в этом районе.

ЛИТЕРАТУРА

1. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М. Сб. «Проблема Тунгусского метеорита». Изд. Томского университета, г. Томск, стр. 59, 1963 г.
2. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М. См. настоящий сборник, стр. 123.
3. Шаповалова Р. Д., Лукьянов В. Б., Емельянов Ю. М., Некрасов В. И. См. наст. сборник, стр. 137.
4. Налимов В. В. Применение математической статистики при анализе веществ. Физматгиз, М., 1960 г.
5. Бейли Н. Статистические методы в биологии. М., Изд. ИЛ, 1962; Изд. «Мир», 1964 г.
6. Урбах В. Ю. Биометрические методы. М., Изд. «Наука», 1964 г.
7. Налимов В. В., Чернова Н. А. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов. М., Изд. «Наука», 1965 г.

БИОСТАТИСТИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЛЕСОТАКСАЦИОННЫХ ДАННЫХ ИЗ РАЙОНА ПАДЕНИЯ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ ЗНАКОВ

Р. Д. ШАПОВАЛОВА, В. Б. ЛУКЬЯНОВ, Ю. М. ЕМЕЛЬЯНОВ, В. И. НЕКРАСОВ

Как известно, в 1958 году было обнаружено явление повышенного прироста деревьев в районе падения Тунгусского метеорита [1, 2]. В последующие годы был собран материал [3, 4], позволивший на сегодня провести биостатистическую обработку лесотаксационных данных. На начальном этапе статистического анализа использовался один из методов непараметрической статистики (критерий знаков), поскольку для применения этого метода не существенны ограничения, связанные с характером распределения исследуемых параметров [5, 6].

Знак «+» приписывался деревьям, у которых текущий прирост за 50 лет после 1908 года был больше текущего прироста до 1908 года, а знак «—» тем деревьям, которые после 1908 года росли хуже, чем до 1908 года. Обработка материала по установлению достоверности явления ускоренного роста деревьев проводилась в зависимости от диаметра, возраста и породы деревьев, расстояния от эпицентра и от направлений по странам света. Деревья были разбиты на группы в соответствии с перечисленными факторами (см. табл. 1).

При дальнейшей обработке, в связи с ограниченностью материала по кедр, ели и березе, нам представлялось возможным при сравнении совокупностей объединить по принципу биологической близости сосну с кедром, а ель и березу с лиственницей.

Явление эффекта ускоренного роста в районе падения оказалось значимым при 5%-ном уровне значимости уже для всей совокупности исследованных деревьев (+122 —94). Группировка материала при оценке значимости эффекта по странам света приведена на рис. 1. В каждом квадранте показано распределение деревьев по приросту в зависимости от возраста (дифференциация может быть продолжена и по другим факторам). Из схемы видно, что эффект усиленного прироста проявляется только в ЮВ квадранте (+28 —12; значимо для 1%-ного уровня значимости) и в СЗ квадранте (+42 —25; значимо для 5%-ного уровня значимости). При 5%-ном уровне значимости эффект сохраняется для совокупности СЗ—СВ (+74—58), а для совокупности СЗ—ЮВ (+70—37) эффект усиливается (значим при 1%-ном уровне значимости). Остальные совокупности оказываются незначимыми при 5%-ном уровне значимости.

Этот факт позволил в дальнейшем статистическом анализе отказаться от разбиения на квадранты и разбить весь материал по двум направлениям — СЗ—ЮВ и СВ—ЮЗ. При подобном разбиении материала еще

ярче выявляется связь усиленного прироста деревьев после 1908 года с направлением. В направлении ЮВ—СЗ усиленно растут как деревья, пережившие катастрофу в возрасте до 100 лет (вне зависимости от расстояния), так и более старые деревья (на расстоянии свыше 10 км от эпицентра).

Таблица 1

Факторы Порода деревьев	До 100 лет								Свыше 100 лет							
	до 10 км				св. 10 км				до 10 км				св. 10 км			
	С— СВ	В— ЮВ	Ю— ЮЗ	З— СЗ	С— СВ	В— ЮВ	Ю— ЮЗ	С— СЗ	С— СВ	В— ЮВ	Ю— ЮЗ	З— СЗ	С— СВ	В— ЮВ	Ю— ЮЗ	З— СЗ
Листвен- ница	+4 —5			+5 —1	+5 —8	+5 —2	+6 —8	+2 —3	+3 —1	+2 —1	+1 —3	+7 —6	+1 —8	+8 —3	+5 —7	+8 —6
Ель	+2				+1 —1	+1		+1			+1	+2 —2			+1 —1	+2
Береза	+2			+1 —2	—	—2	+3									
Сосна	+3 —4	+1	+2 —1	+3 —1	+7 —1	+4 —1	—3	+3					+3 —5	+7 —3	+1 —1	+2 —2
Кедр				+1	+1			+2				+1 —2				+2
Дм. до 20 см	+2 —4			+6 —4	+9 —6	+8 —2	+6 —7	+6 —2	+1		+1	+5 —3	+2 —5	+7 —1	+3 —4	+7 —4
Дм. св. 20 см.	+9 —	+1	+2 —1	+4	+5 —4	+2 —3	+3 —4	+2 —4	+2 —1	+2 —1	+1 —3	+5 —7	+2 —8	+8 —5	+4 —5	+7 —4

Примечание к табл. 1: Материал, полученный на пробных площадях лесотаксационных разрезов север—юг и восток—запад, включен соответственно в квадранты СВ, ЮЗ и ЮВ, СЗ. Цифры в клетках таблицы означают количество деревьев с увеличенным после 1908 г. приростом (со знаком «+») и уменьшенным (со знаком «—»). Например, запись (+4 —5) означает, что имеется 4 дерева с повышенным приростом и 5 деревьев с пониженным после 1908 г. приростом.

Для того, чтобы выявить влияние других факторов, были построены аналогичные схемы с таким расчетом, чтобы каждый изучаемый фактор рассматривался на первой ступени классификации. Полученные при этом результаты приведены в табл. 2. Как видно из нее, явление усиленного

Таблица 2

Порода		Возраст		Расстояние		Диаметр	
ЛБЕ*)	СК**)	до 100 л.	св. 100 л.	до 10 км	св. 10 км	до 20 см	св. 20 см
+79 —70	+43 —24 ^{xxx})	+65 —43 ^{***})	+57 —51	+41 —29	+81 —65 ^{***})	+63 —42 ^{***})	+59 —52

*) Лиственница береза, ель.

**) Сосна, кедр.

***) Значимо для уровня значимости 0,05.

прироста оказалось значимым при 5%-ном уровне значимости для пород деревьев, объединенных в группу сосна—кедр, для деревьев, переживших катастрофу в возрасте до 100 лет, для деревьев, растущих на расстоянии свыше 10 км от эпицентра, а также для деревьев, имеющих диаметр меньше 20 см.

Результаты анализа материала по критерию знаков свидетельствуют о необходимости продолжения работы по оценке явления усиленного при-

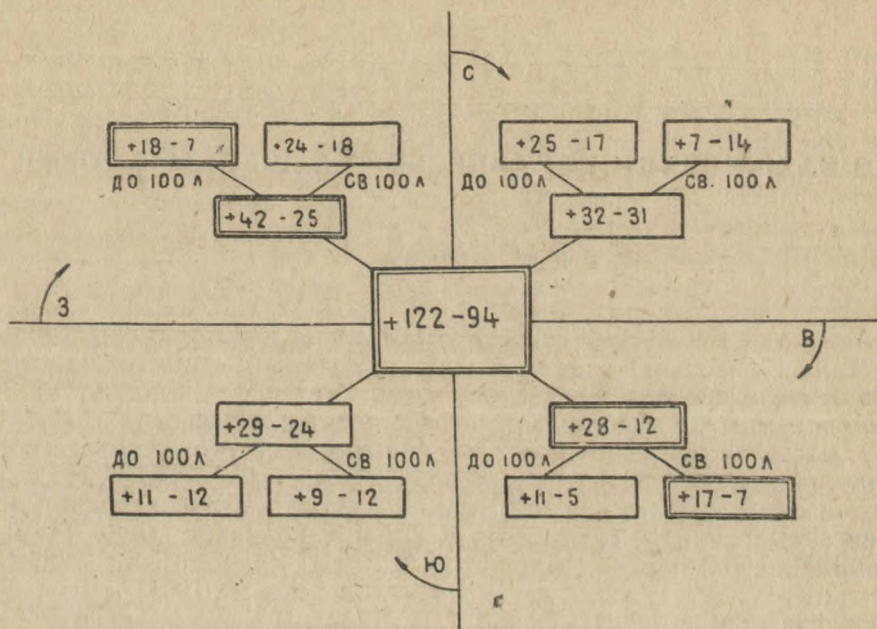


Рис. 1. Двойными рамками обведены совокупности, значимые на 1 и 5%-ных уровнях. Полукруглые стрелки около осей координат показывают отнесение материала, полученного на соответствующем лесотаксационном разрезе, в данный сектор.

роста деревьев в районе Тунгусского падения с использованием более мощных (включая и параметрические) критериев.

ЛИТЕРАТУРА

1. Емельянов Ю. М. Загадка Тунгусского метеорита. Газета «Московский университет», № 34—40 от 21/V—13/VI 1959 г.
2. Емельянов Ю. М., Некрасов В. И. ДАН СССР, 135, 5, 1960 г.
3. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М. Сб. «Проблема Тунгусского метеорита». Изд. Томского университета, г. Томск, стр. 59, 1963 г.
4. Некрасов В. И., Емельянов Ю. М. См. настоящий сборник.
5. Урбах В. Ю. Биометрические методы. Изд. «Наука», М., 1964 г.
6. Налимов В. В. Применение математической статистики при анализе вещества. Физматгиз, М., 1960 г.

О НАХОЖДЕНИИ КОСМИЧЕСКОГО ВЕЩЕСТВА В ТОРФЕ

Ю. А. ЛЬВОВ

Академик Вернадский (1941) указывал на необходимость систематических наблюдений за поступлением космического вещества на поверхность Земли. Основная масса космического материала выпадает на Землю, по-видимому, в виде тонкодисперсного пылевого вещества. В последние годы делаются многочисленные попытки выделить космическое вещество из земных субстратов с помощью различных методов. На содержание космической (метеорной) пыли исследуются глубоководные отложения (Pettersson H., Fredriksson K., 1958), полярные льды (Thill E., Schmidt R., 1961), почвы (Nininger H. H., 1951; Кринов Е. Л., 1963; Флоренский К. П., 1963), осадочные породы (Skolnick H., 1961) и атмосфера на различных высотах (Назарова Т. Н., 1962). В Советском Союзе поиски космических частиц сосредотачивались главным образом в районах падений метеоритов.

В Сибири одним из наиболее перспективных субстратов для поисков мелкодисперсного космического вещества, по-видимому, является торф верховых болот. Эти болота развиваются в условиях исключительно атмосферного водного и минерального питания (Кац Н. Я., 1941; Тюремов С. Н., 1949).

Как правило, верховые болота имеют выпуклую форму. На водораздельных пространствах Западной Сибири превышение уровня центральной части олиготрофного (верхового) торфяника над окружающими болото суходолами часто превышает два метра. Соответственно этому в большинстве случаев мощность пласта верхового торфа составляет в олиготрофных торфяниках 2—3 м. Однако весьма распространены торфяники, сложенные верховым торфом на большую глубину. В отдельных болотных массивах мощность верховой залежи достигает 6—10 метров.

Распространены верховые болота чрезвычайно широко. Они встречаются во всех северных районах европейской и азиатской части СССР. В пределах Западно-Сибирской низменности они являются одним из наиболее обычных ландшафтов и наблюдаются от степной до тундровой зон включительно, имея максимум своего развития в лесной зоне (Кац Н. Я., 1948). В Средней и Восточной Сибири верховые болота занимают значительно меньшие площади, чем в Западной Сибири, но небольшие олиготрофные торфяники встречаются здесь достаточно часто.

Основу растительного покрова верховых олиготрофных болот составляют сфагновые мхи, наиболее распространенным из которых является сфагнум фускум (*Sphagnum fuscum* Klingr). Остатки этого мха

образуют основную массу торфа, получившего название фускум-торф. Весьма важной особенностью торфов, образованных остатками мхов, является строгая последовательность отложения отмершего растительного волокна. Живой частью болотного мха оказывается только его верхушка, имеющая возраст 2—5 лет у разных видов. По мере образования нового годового прироста нижняя часть стебля отмирает и с течением времени превращается в торф. Отмершие, но не разложившиеся части стеблей мха образуют рыхлую дернину толщиной в разных условиях 10—25 см. Эта дернина носит название очеса.

Ежегодный прирост дернины сфагнум фускум различен в разных природных зонах и составляет от 0,6 см в лесотундре до 2,5 см и более в наиболее оптимальных местообитаниях в пределах лесной зоны. Средние показатели прироста этого вида сфагна равны 1—1,5 см. Отмершие части мха при превращении в торф разлагаются и спрессовываются, поэтому вертикальный прирост торфяной залежи значительно меньше прироста дернины и составляет в лесной зоне (под Архангельском) 3—4 мм в год (Кац Н. Я. и др., 1936). В Сибири этот показатель несколько меньше, в нашем районе прирост залежи составляет, по-видимому, несколько более 2 мм в год. Исходя из этих данных, можно ориентировочно определить возраст верхних горизонтов залежи.

Олиготрофные сфагновые мхи обитают в условиях высокой кислотности среды. Кислотность болотной воды в верховых торфяниках составляет 4,6—4,8 pH. Закисная болотная среда способствует хорошему сохранению подверженного коррозии вещества.

Таким образом, на основании изложенного мы считаем, что поиски космического вещества в пределах Сибири предпочтительнее проводить в торфе, а не в каком-либо другом типе отложений. Главные преимущества верхового торфа как субстрата для поисков космических частиц заключается в следующем:

- 1) полная идентичность субстрата на огромной территории;
- 2) надежная гарантия от возможности переотложения и загрязнения неатмосферными осадками;
- 3) хорошая сохранность частиц, содержащих железо;
- 4) возможность послойного отбора образцов с приблизительной датировкой каждого слоя.

Для обоснования методики выделения мельчайших минеральных включений из торфа и для предварительной оценки возможного количества частиц на единицу объема нами была обработана стратиграфическая колонка образцов верхового торфа, взятая летом 1963 г. в районе среднего течения р. Кети (Западная Сибирь) в окрестностях поселка Максимкин Яр.

На участке верхового болота была выбрана площадка с ровной поверхностью и торфяной залежью на глубину более метра, сложенной фускум-торфом. С площадки были тщательно срезаны кустарнички на уровне поверхности моховой дернины. Затем на глубину около метра был заложен шурф, одна из стенок которого была срезана по возможности ровно. У борта шурфа была размечена площадка размерами 25×25 см. После этого ножом срезались пласты торфа от поверхности и до глубины 80 см. Верхние два пласта, взятые в слое очеса, имели толщину 10 см каждый. Все последующие пласты были толщиной 5 см.

Каждый пласт-образец в лаборатории промывался сквозь сито с диаметром ячеей 0,25 мм под струей водопроводной воды. Прошедшая сквозь сито вода с частицами аморфного органического вещества — гумуса и с мелкими минеральными частицами собиралась в большом стеклянном сосуде. Чистота отмывки торфяного волокна контролировалась путем просмотра образчиков торфа под микроскопом.

Вымытый из торфа гумус отстанвался до его полного осаждения. Для ускорения оседания взвеси использовались химические осадители. Для этого в торфяную воду добавлялась щелочь до создания слабой щелочной реакции, а затем производилось осаждение алюмокалиевыми квасцами. После полного осаждения взвеси вода сливалась, а образованные квасцами хлопья разрушались разбавлением большим количеством воды. При этом частицы осадка не теряли способности оседать полно и быстро. Далее пробы отмывались от органического вещества пропусканием через отстойник, находящийся на сильном магните, в котором улавливались минеральные частицы размером от 15—20 микрон и выше. При обработке последующих образцов весь этот процесс был упрощен: торф промывался прямо над отстойником.

Основную массу минерального осадка составляли крупинки песка и бесформенные хлопья, часть которых притягивается магнитом. В осадке под бинокулярной лупой подсчитывались и измерялись частицы определенной морфологической структуры: шарики, колбочки, полусферы и пр. Каждая учтенная частица измерялась и характеризовалась по четырем показателям: форме, цвету, прозрачности и состоянию поверхности.

Среди выделенных частиц преобладали следующие группы:

I. Темноокрашенные непрозрачные, по-видимому, металлические сферулы:

- 1) черные блестящие шарики с гладкой поверхностью;
- 2) черные матовые шарики, неблестящие;
- 3) черно-серые шарики с матовой поверхностью и слабым «свинцовым» блеском;
- 4) темно-коричневые шарики со слабо блестящей гладкой поверхностью.

II. Силикатные сферулы:

- 5) белые непрозрачные шарики с блестящей поверхностью (часть шариков содержит пузырьки газа);
- 6) белые прозрачные шарики с блестящей гладкой поверхностью;
- 7) светло- и темно-коричневые шарики с гладкой блестящей поверхностью;
- 8) совершенно прозрачные «стеклянные» шарики с блестящей поверхностью;

III. Несферические частицы:

- 9) пустотелые колбочки светло- и темно-коричневые, тонкостенные с блестящей гладкой поверхностью;

Кроме указанных частиц, в отдельных образцах обильно, в других более редко были обнаружены сложные частицы в виде гроздей мелких белых силикатных шариков по 4—6 шариков в грозди, неправильной формы сферул с оттянутыми в противоположные стороны двумя хвостиками, сплавленных между собой силикатных шариков, белых силикатных шариков с черным, видимо, металлическим напылом в виде гребешка, точек или мелких черных шариков, хорошо заметных на белом фоне большого шарика. В белых непрозрачных шариках достаточно часто наблюдаются пузырьки газа, главным образом в частицах, превышающих размер 60.

При определении обилия тех или иных частиц в образце нами учитывались металлические и силикатные шарики.

В слоях торфа разного возраста было обнаружено различное количество интересующих нас частиц. Приблизительно равное количество силикатных шариков (120—140 шариков в образце) наблюдается в трех верхних слоях. Зато в четвертом слое на глубине 25—30 см количество силикатных шариков резко увеличивается и достигает 387. Можно ориен-

тировочно определить возраст этого слоя. Первый и второй слои взяты в неразложившейся дернине, возраст которой 20—25 лет. Учитывая, что прирост торфяников района реки Кети составляет несколько более 2 мм в год, мы можем ориентировочно определить верхнюю границу 4-го слоя возрастом 40—45 лет, а нижнюю 60—65 лет, то есть, согласно приблизительным расчетам, в этом образце содержится слой 1908 года. Следует указать, что в таком случае в этом образце могут оказаться вулканические частицы, выброшенные в атмосферу извержениями вулканов Катмай (1912 г.) и Мон-Пеле (1902 г.). Однако все эти подсчеты требуют основательного уточнения.

Распределяются шарики по классам следующим образом. В слое 4 м на каждые 10 белых непрозрачных силикатных шариков приходится 6 белых прозрачных, 3 прозрачных коричневых и 1 шарик иного типа. В более высоких слоях в сумме это отношение несколько иное. Здесь на 10 белых непрозрачных шариков приходится 3 белых прозрачных и 1 иного типа. Во всяком случае эти показатели очень близки, во всех этих слоях преобладают силикатные белые прозрачные и непрозрачные шарики. Количество металлических шариков и полусфер в верхних слоях торфяной залежи незначительно. Резко увеличивается число металлических шариков в слое 2, образовавшимся в период примерно 1940—1953 г..

В порядке ориентировочной оценки можно сосчитать количество ежегодно выпадающих из атмосферы сферических частиц. Как уже указывалось, возраст двух верхних современных слоев определяется в 20—25 лет. Число шариков, найденных в них, равно 311. Площадь образца равна 1/16 кв. м. Следовательно, в этих слоях на 1 кв. м выпадало 200—250 сферических частиц ежегодно.

Содержание космических частиц в торфе можно сопоставить в какой-то мере с содержанием их в неторфяных почвах. Действительно, в верхних горизонтах почвы, отбираемых на анализ, шарики накапливаются в течение определенного срока. Наиболее приемлемым сроком для подсчета можно считать продолжительность жизни дерева, что в среднем для сибирских пород составляет 200—300 лет. По отмирании дерева происходит некоторая передвижка почвы. Этот срок сопоставим с возрастом нижних образцов нашей колонки, также насчитывающей 200—300 лет. Во всей толще торфа, представленной на профиле (рис. 1), в наших образцах содержится более 1000 шариков, что дает в пересчете на 1 кв. м более 15000 частиц. По-видимому, в аэробных условиях неторфяных почв значительная часть этих частиц разрушается.

При магнитной сепарации почвенной пробы улавливается лишь небольшая часть сферических частиц. Мы предприняли отбор магнитных частиц магнитом Сочнева из уже просмотренной пробы осадка из торфа, содержащей более 150 сферических частиц. Магнитом удалось отобрать лишь около двух десятков шариков.

Для уточнения и отработки методики выделения сферул из торфа нижний слой колонки был отмыт более тщательно, чем предыдущие образцы. Промывочная вода пропусклась через отстойник дважды. Выяснилось, что при первой промывке в отстойнике задержалось только около одной пятой части шариков. При этом относительное содержание частиц разных типов в осадках после первой и второй промывок оказалось близким между собой.

Первоочередной задачей дальнейшей работы по исследованию содержания сферических частиц в слоях торфяной залежи, помимо отработки методики их выделения из торфа, мы считаем анализ еще нескольких стратиграфических колонок торфа, отобранных на большой территории. В случае получения сходных результатов из разных колонок можно

будет говорить о новом удобном методе поисков космической пыли и возможности датировки определенных слоев торфяной залежи. Изучение стратиграфической колонки показывает, что при исследовании космических частиц в торфе можно воспользоваться многими методическими положениями хорошо разработанного в палеоботанике спорово-пыльцевого анализа.

ЛИТЕРАТУРА

- Вернадский В. И. О необходимости организации научной работы по космической пыли. Проблемы Арктики, 15, 1941.
- Кац Н. Я. Болота и торфяники. Учпедгиз, М., 1941.
- Кац Н. Я. Типы болот СССР и Западной Европы. Географгиз, М., 1948.
- Кац Н. Я., Кириллович М., Лебедева Н. Движение поверхности сфагновых болот и формирование их микрорельефа. Землеведение, т. XXXVIII, в. 1, 1936.
- Кринов Е. Л. Метеоритная и метеорная пыль, микрометеориты. В сб.: «Сихотелинский железный метеоритный дождь», т. 2, АН СССР, М., 1963.
- Назарова Т. Н. Исследование метеорной пыли на ракетах и искусственных спутниках Земли. В сб.: «Искусственные спутники Земли», вып. 12, 1961.
- Тюремнов С. Н. Торфяные месторождения и их разведка. Госэнергоиздат, М., 1949.
- Nininger H. H. Condensation globules at meteor crater. Science, 113, No. 2948, 1958.
- Pettersson H., Fredriksson K. Magnetic spherules in deep-sea deposits. Pacific Science, 12, No. 1, 1958.
- Skolnick H. Ancient meteoritic dust. The geol. Soc. of America Bull., Dec., 1961.
- Thill E., Schmidt R. Spherules from Antarctic ice cap. Journ. geophys. Res., 66, No. 1, 1961.
-

О ПОИСКАХ ВЕЩЕСТВА ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

Г. М. ИВАНОВА, Р. Э. БРУВЕР, Ю. А. ЛЬВОВ, Н. Н. БОРОНТОВА

В ряде публикаций [8, 13, 16, 17] было высказано предположение о том, что вещество Тунгусского метеорита выпало на поверхность Земли в виде тонкой пыли. Были сделаны попытки найти это вещество в районе катастрофы и определить закономерности его распределения [7, 8, 13, 14]. В результате нескольких лет работы экспедиции Комитета по метеоритам АН СССР было выяснено, что в районе катастрофы и в его окрестностях в почвенных пробах содержится в том или ином количестве микроскопические железно-никелевые и силикатные частицы, имеющие, как правило, сферическую форму [7]. Подобные шарики были неоднократно обнаружены в пробах почвы из мест падений метеоритов Сихотэ-Алинь [3, 4, 6], Кунашак [15], Богуславка [5].

В связи с этим обнаруженные в районе падения Тунгусского метеорита мельчайшие железно-никелевые и силикатные шарики были определены как вещество Тунгусского метеорита, и на основании их количественного содержания в пробах почвы, взятых вблизи района катастрофы, был предположительно очерчен шлейф рассеивания вещества Тунгусского метеорита [13]. В пределах шлейфа рассеивания наименьшие количества шариков были обнаружены в пробах из центра катастрофы и наибольшие приблизительно 200 частиц на 1 м кв. площади пробы были получены в пробах, отобранных на известном удалении в северо-северо-западном направлении от района катастрофы.

Некоторые из этих предположений вызывают сомнения. На основании многочисленных исследований известно, что аналогичные шарики находили в почвах [1], глубоководных осадках [19, 22], в материковых льдах Антарктиды и Гренландии [21], в древних осадочных [23] и даже изверженных породах [10]. Кроме того, подобные же частицы вылавливались с помощью ракет специальными ловушками из верхних слоев атмосферы [18]. Приблизительно выяснено количество космического вещества, постоянно выпадающего на земную поверхность. Из сводки Райта и Ходжа [24] видно, что ежегодно на Землю выпадает 10^5 — 10^6 тонн космического вещества. Одновременно было определено, что морфологически одинаковые частицы могут иметь и вулканическое и промышленное происхождение [20, 24].

Можно считать установленным, что на земной поверхности имеется фон космического вещества, закономерности распределения и выпадения которого, количественные и качественные, пока остаются неизвестными.

В 1964 году отрядом в составе Б. Березовского, Р. Брувера, Е. Истоминой, В. Краснова, В. Подурец, М. Профатиловой и А. Рубаха был произведен отбор проб почвы в долине реки Таймуры с целью обнаружения в них метеоритных шариков. Маршрут пересекал шлейф рассеивания вещества Тунгусского метеорита. В работе отряда принимал участие геолог Б. И. Вронский, в течение ряда лет проводивший подобные работы в районе Тунгусской катастрофы.

Пробы отбирались вдоль всего течения р. Таймуры с интервалом 30—50 км. Места отбора проб выбирались на высоких незатопляемых террасах и должны были удовлетворять следующим требованиям: открытая поверхность с минимальным уклоном, отсутствие мохового покрова, мерзлотных полигонов и выходов по близости траппов. Пробы отбирались с площади 1 кв. м на глубину 5 см., включая дернину.

В полевых условиях почва подвергалась промывке на сите с размером ячеек 1,5 мм для удаления растительных остатков и крупной минеральной фракции. Просушенный и тщательно перемешанный материал квартовался и две части его отбирались для последующих лабораторных исследований. Одна из частей пробы перед магнитной сепарацией подвергалась трехкратному отмучиванию для удаления тонкодисперсной глинистой фракции и органики. Во второй пробе отбор магнитной фракции производился без отмучивания. Далее материал многократно обрабатывался магнитом с магнитным потоком $2 \cdot 10^{-4}$ вебер.

Из магнитной фракции вручную под бинокулярным микроскопом немагнитными иглами отбирались шарики. При этом оказалось, что при отмучивании теряется приблизительно 30—35% шариков. При отборке шарики измерялись с помощью окулярной шкалы.

В настоящее время обработаны полностью три пробы, взятые в низовьях Таймуры в пределах указанного шлейфа рассеивания. В пересчете на 1 кв. м в одной из проб было обнаружено 164 шарика (соответственно 124 шарика в варианте с отмучиванием). В другой пробе обнаружено 280 сферических частиц при обработке почвы «сухим» методом и 180 частиц при обработке «мокрым» методом.

Наибольшее количество частиц имело размеры 40—60 микрон, более крупные и более мелкие частицы встречались значительно реже. Основную часть шариков составляли черные блестящие, среди них встречались матовые и шероховатые сферулы. Наряду с ними в большом количестве были обнаружены красно-бурые шарики, по-видимому, подвергшиеся коррозии.

Часть шариков была отправлена на спектрографический анализ в СО АН СССР, где выяснилось высокое содержание никеля в частицах (см. статью Н. В. Арнаутова и А. Д. Киреева в наст. сборнике).

В процессе отбора магнитной фракции было обнаружено, что ручным магнитом отбирается только часть магнитного материала. При повторных обработках магнитом отбирались все новые и новые порции магнетита с высоким содержанием сферул.

Третья проба из низовьев р. Таймуры была просмотрена Н. Боронтовой. Для анализа была взята четвертая часть пробы, обработанная «сухим» методом. Тщательный просмотр этой пробы позволил выявить в ней 133 шарика, из которых 55 силикатных. В пересчете на 1 кв. м площади пробы это дает 532 шарика.

Кроме того, Г. Ивановой, Н. Боронтовой и Н. Сусловым была просмотрена часть магнетитовой фракции из пробы почвы, взятой вблизи центра района катастрофы (пристань на р. Хушме), где, по имеющимся данным [16], наблюдается весьма малое содержание сферических частиц в почвах.

Проба была отобрана с площади 0,5 кв. м на глубину 3 см. В лабораторных условиях магнитом Сочнева из просушенной пробы была отобрана магнитная фракция. Отбор производился в общей сложности около 50 часов при приблизительно 120—150 касаниях магнита с почвой в минуту. Из более 38 граммов общего веса магнитной фракции было просмотрено около двух граммов или, приблизительно, двадцатая часть пробы. В этом количестве материала было обнаружено 27 сферул, в числе которых 17 силикатных, что в пересчете составляет более тысячи шариков на 1 кв. м площади пробы.

Можно определенно считать, что несмотря на весьма продолжительную и интенсивную отборку магнитного материала из почвы, значительная часть его не была извлечена. Все эти данные говорят о высоком фоновом содержании сферических частиц, в том числе и обладающих магнитными свойствами, в почвах района катастрофы и его окрестностях.

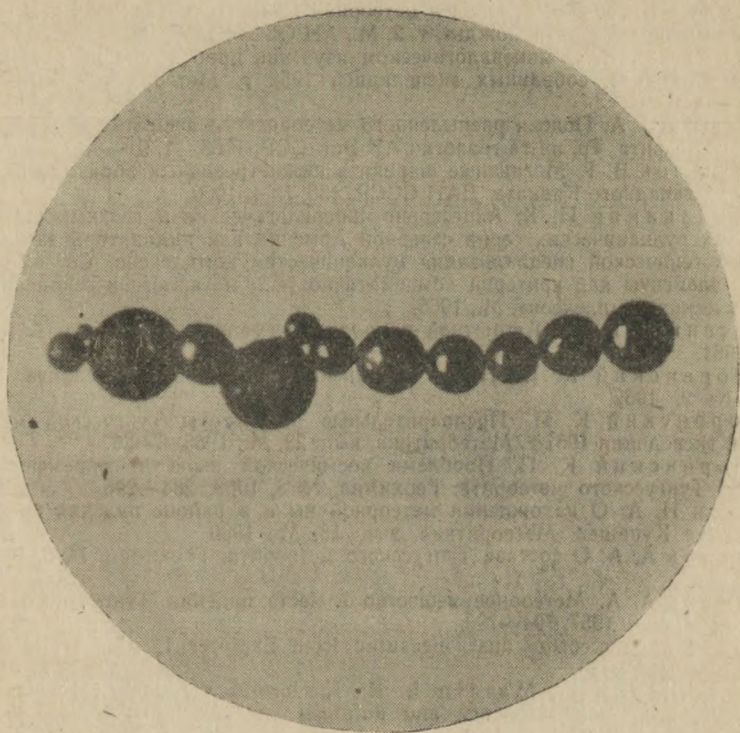


Рис. 1. Сферические магнитные частицы, выделенные из проб почвы, взятых в районе нижнего течения реки Таймуры

В апреле 1965 года нами в северных районах Томской области на удалении от крупных поселков до нескольких десятков километров, для избежания промышленного загрязнения, были отобраны пробы снега с площади 1 кв. м на всю глубину снежного покрова. Содержащиеся в снеге частицы собирались в отстойнике, снабженном сильным магнитом. Во всех четырех пробах были получены весьма близкие результаты — 48, 53, 66 и 69 шариков. Согласно этим данным в год на почву выпадает из атмосферы около 100 сферических частиц на 1 кв. м. Значительную часть шариков (180 из 236) составляли металлические. Спектральный анализ их, проведенный в СО АН СССР, показал малое в среднем для группы шариков содержание никеля.

Все изложенное позволяет нам выразить сомнение в оценке сферических частиц, найденных ранее в почвах междуречья Подкаменной и Нижней Тунгусок, как вещества Тунгусского метеорита.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бгатов В. И., Черняев Ю. А. О метеорной пыли в шлиховых пробах. Метеоритика, вып. 18, М., 1960.
2. Вронский Б. И. Краткий обзор исследований внеземной пыли. Метеоритика, вып. 24, 1964, стр. 41—50.
3. Кринов Е. Л., Фонтон С. С. Обнаружение метеоритной пыли на месте падения Сихоте-Алинского железного метеоритного дождя. ДАН СССР, т. 85, № 6, 1952, стр. 1227—1230.
4. Кринов Е. Л., Фонтон С. С. Метеоритная пыль с места падения Сихоте-Алинского железного метеоритного дождя. Метеоритика, вып. 11, 1953, 122—131.
5. Кринов Е. Л. К вопросу о распылении метеорных тел. Сб. «Иссл. ионосферы и метеоритов», № 2, 14, АН СССР, 61—67.
6. Кринов Е. Л. Метеоритная и метеорная пыль, микрометеориты. В ст.: «Сихоте-Алинск. железн. метеоритн. дождь», т. 2, М., АН СССР, 1963, 240—279.
7. Кирова О. А. О минералогическом изучении проб почвы из района падения Тунгусского метеорита, собранных экспедицией 1958 г. Метеоритика, вып. 20, 1961, 32—39.
8. Кирова О. А. Поиски распыленного метеоритного вещества в районе падения Тунгусского метеорита. Тр. ин-та геологии АН Эст. ССР, 1963, 11, 91—98.
9. Малышек В. Г. Магнитные шарики в нижнетретичных образованиях южного склона Северо-Западного Кавказа. ДАН СССР, 130, № 4, 1960.
10. Мнацаканян И. Х. Акцессорно-минералогические и геохимические особенности меловых вулканических серий северной Армении как индикаторы комагматичности и металлогенической специализации вулканических комплексов. Сб. «Акцессорные минералы и элементы как критерий комагматичности и металлогенической специализации магматических комплексов». М., 1965.
11. Фесенков В. Г. О кометной природе Тунгусского метеорита. Астроном. ж., 38, № 4, 1961.
12. Флоренский К. П. Новое в изучении Тунгусского метеорита 1908 года. Геохимия, № 2, 1962.
13. Флоренский К. П. Предварительные результаты Тунгусской метеоритной комплексной экспедиции 1961 г. Метеоритика, вып. 23, М., 1963, 3—29.
14. Флоренский К. П. Проблема космической пыли и современное состояние изучения Тунгусского метеорита. Геохимия, № 3, 1963, 284—296.
15. Юдин И. А. О нахождении метеорной пыли в районе падения каменного метеорного дождя Кунашак. Метеоритика, вып. 18, М., 1960.
16. Явнелъ А. А. О составе Тунгусского метеорита. Геохимия, № 6, 1957, 553—556.
17. Явнелъ А. А. Метеорное вещество с места падения Тунгусского метеорита. Астроном. ж., 34, № 5, 1957, 794—796.
18. Dubin M. Meteoritic dust measured from Explorer 1. Planet and Space Sci., 2, N 2—3, 1960, 121—129.
19. Fredriksson K., Martin L. R. The origin of black spherules found in Pacific islands, deep-sea sediments, and antarctic ice. Geochim. et Cosmochim. Acta, 27, 1963, 245—248.
20. Hodge P. W., Wildt R. A search for airborne particles of meteoritic origin. Geochim. et Cosmochim. Acta, N 14, N 1/2, 1958, 126—133.
21. Thiel E., Schmidt R. Spherules from Antarctic ice cap. Journ. Geophys. Res., 66, N 1, 1961, 307—310.
22. Hunter, Parkin. Cosmic dust in recent deep-sea sediments. Proceed. of the Royal Society, ser. A, v. 255, 1282, 1960.
23. Skolnick H. Ancient meteoritic dust. The Geological Society of America. Bulletin. Dec. 1961.
24. Wright F. W., Hodge P. W., Langway Ch. S., Jr. Studies of Particles for extraterrestrial origin. 1. Chemical analyses of 118 particles. Journ. Geophys. Res., 68, N 19, 1963, 5575—5587.

СПЕКТРОГРАФИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ШАРИКОВ, НАЙДЕННЫХ В РАЙОНЕ ПАДЕНИЯ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

Н. В. АРНАУТОВ, А. Д. КИРЕЕВ

Исследованию подверглись около 30 металлических шариков в диаметре от 10 до 50 микрон (три экземпляра — порядка 100 микрон). Таким образом, навеска анализируемого вещества составляла десятитысячные доли миллиграмма.

Для анализа столь малых количеств вещества был использован метод микроспектрального локального анализа, разработанного нами для диагностики мелких зерен минералов в аншлифах, штучах и шлифах [1, 2].

Анализируемые шарики зачеканивались в алюминиевую пластинку, и место зачеканки подвергалось воздействию микроискры от генератора, собранного по схеме Н. В. Королева [4]. Противозлектродом служила острозаточенная алюминиевая игла.

Для исследования было подготовлено четыре образца. Первый образец содержал одно зерно ок. 100 микрон, второй — два зерна по 100 микрон, третий и четвертый — по 12—15 шариков величиной 10—50 микрон.

Минимальной достаточной навеской для анализа в нашем случае оказались два зерна по 100 микрон, что соответствует 0,008 мг по весу (удельный вес принят 7,7).

Образец № 3 (групповой) весом около 0,02 мг исследовался на равномерность распределения никеля по всему объему. Для выяснения этого положения спектрограмма была получена в два приема: первый спектр получен в результате испарения шариков в течение первой минуты горения искры, второй спектр — в течение последующей минуты. Оба спектра идентичны, что позволяет судить о том, что распределение никеля по всему объему исследуемых шариков равномерно.

Количественная оценка содержания никеля в шариках производилась по эталонным образцам железо-никелевых сплавов и образца Сихотэ-Алиньского метеорита из коллекции Института геологии и геофизики.

Эталоны и Сихотэ-Алиньский метеорит в виде соответствующих по объему опилок зачеканивались в алюминиевые пластинки и сжигались в аналогичных условиях с испытываемыми образцами с помощью микроискры.

Время экспонирования каждого спектра составляло 45 сек. Использовались фотопластинки спектральные, тип II, чувствительностью 16 ед. ГОСТ. Определение производилось по искровой линии никеля — NiP 2416,14 Å. В качестве элемента внутреннего стандарта использовалось железо.

Линии сравнения: FeП 2417,86 и FeП 2410,52.

Градуированный график строился в координатах $\lg \frac{J_N}{J_{Fe}}$, $\lg C$ (концентрации в %).

Наклон градуированных графиков по обоим линиям сравнения 42° .

Содержание никеля в шариках, определенное нами в двух параллельных групповых пробах, составляет 18,85% (среднее из четырех значений: 17,8, 19,0, 20,0, 18,6).

Критерием правильности анализа считали полученные результаты выполненных точно таким же способом и на одной и той же спектрограмме двух параллельных образцов Сихотэ-Алинского метеорита. Среднее из 4-х определений содержания никеля в нем определено 5,4%, что хорошо согласуется с литературными данными [3].

Присутствие других элементов, в том числе и серы, не обнаружено.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арнаут Н. В. Диагностика микроспектральным методом мелких включений минералов непосредственно в шлифах, аншлифах у штуфов. Сб. «Методические материалы для лаб. геол. управлений и экспедиций», М., 1963.
 2. Арнаут Н. В. Микроспектральный анализ в атмосфере инертных газов. Сб. «Количественный анализ минералов и горных пород. физическими методами». Сиб. отд. изд. «Наука», 1965.
 3. Заварицкий А. Н. и Кваша Л. Г. Метеоритика СССР. Изд. АН СССР, М., 1952.
 4. Генкин А. Д., Королев Н. В. Определение небольших зерен минералов в рудах. Геология рудных месторождений, № 5, 1961.
-

К ВОПРОСУ О КАЖУЩЕМСЯ ЗАПАЗДЫВАНИИ НАЧАЛА МАГНИТНОГО ВОЗМУЩЕНИЯ ОТНОСИТЕЛЬНО МОМЕНТА ВЗРЫВА ТУНГУССКОГО КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛА 1908 г.

А. В. ЗОЛОТОВ

В последние годы опубликовано более 10 работ, посвященных изучению геомагнитного эффекта, вызванного взрывом Тунгусского космического тела 1908 г. [1—13]. Различные авторы этих работ подходят к объяснению Тунгусского геомагнитного возмущения по-разному, но общей основой интерпретации геомагнитного эффекта во всех работах является кажущееся запаздывание начала магнитного возмущения относительно момента взрыва $\Delta T_m = 2,3$ мин. [2].

Количественное значение времени запаздывания ΔT_m используется для количественной оценки некоторых параметров Тунгусского взрыва. Например, в работе [3] по времени запаздывания ΔT_m определяется энергия взрыва, в работах [9—11] — высота взрыва. Существенным недостатком оценок высоты и энергии Тунгусского взрыва в этих работах является то обстоятельство, что в них не учтена ошибка определения кажущегося запаздывания магнитного возмущения ΔT_m .

Поскольку интерпретация геомагнитного эффекта и оценка параметров Тунгусского взрыва в работах [1—13] основаны на явлении запаздывания геомагнитного возмущения, то представляет интерес найти ошибку в определении ΔT_m . В работе [2] и других работах [7—9, 11] за время запаздывания $\Delta T_m = 2,3$ мин. принимается разница времени начала магнитного возмущения ΔT_m , определенного по Иркутской магнитограмме $T_0 = 0$ час. 19,5 мин. [2], и времени взрыва космического тела T_0 , определенного по сейсмограмме в работе [14]: $T_0 = 0$ час. 17,2 мин. по Гринвичскому времени. Однако при этом не была учтена ошибка в определении моментов T_0 и T_m . Очевидно, что без учета этой ошибки не может быть и речи о количественной оценке высоты и других параметров Тунгусского взрыва по величине ΔT_m .

В 1925 г., когда была опубликована работа [14], еще не были известны точные координаты эпицентра Тунгусского взрыва. При расчете момента взрыва T_0 в работе [14] расстояние от эпицентра до Иркутска было принято равным 893 км, тогда как в действительности это расстояние равно 970 км. Кроме того, в работе [14] скорость сейсмических волн была принята равной 7,56 км/сек., тогда как действительное значение скорости сейсмических волн Тунгусского взрыва равно 3—3,2 км/сек. [15; 16]. Тогда время движения сейсмической волны от эпицентра до Иркутска будет равно около 5 мин., а не 1 мин. 58 сек.,

как это было принято в работе [14]. В связи с этим ошибка в определении момента взрыва $T_0=0$ час. 17,2 мин. в работе [14] сравнима со временем предполагаемого запаздывания начала магнитного возмущения ΔT_m . И, действительно, в работе [15], по данным той же Иркутской сейсмограммы, которая была использована в работе [14], момент Тунгусского взрыва имеет значение $T_0=0$ час. 15,1 мин., которое почему-то не было учтено в работах [1—13]. Но не это главное. Еще большую ошибку в вычислении ΔT_m вносит ошибка начала отсчета времени на сейсмограмме и магнитограмме, которая также не была учтена в работах [1—13].

Ошибка в определении момента взрыва T_0 и начала магнитного возмущения T_m складывается из ошибки отсчета времени по отметкам на диаграмме Δt_i и ошибки начала отсчета времени Δt_0 на диаграмме (магнитограмме, барограмме и сейсмограмме). Ошибка отсчета времени по отметкам на магнитограмме $\Delta t_m=\pm 0,2$ мин. [13], а ошибка отсчета времени по сибирским барограммам периода 1908 г. $\Delta t_b=\pm 6,6$ мин. [15]; еще большую величину имеет ошибка начала отсчета этих станций. В работе [15] сделан детальный анализ данных всех сибирских и других станций мира за 30 июня 1908 г. По данным работы [15], ошибка начала отсчета времени сибирских станций периода 1908 г. доходит до 30 мин. и более.

Нами исследовано распределение момента Тунгусского взрыва T_0 , определенного по материалам 36 источников (в том числе и Иркутской сейсмической станции), использованных в работе [15]. По этим данным средняя квадратичная ошибка определения момента взрыва T_0 по одной станции (в том числе и Иркутской станции) равна 8,5 мин. По наиболее достоверным данным 13 сибирских станций средняя квадратичная ошибка определения момента взрыва T_0 по одной станции равна 7,5 мин. [15]. Эта ошибка фактически представляет собой среднюю квадратичную ошибку начала отсчета времени метеорологических и других станций (в том числе и Иркутской станции) периода 1908 г. [15].

Таким образом, средняя квадратичная ошибка определения начала магнитного возмущения T_m , по данным Иркутской станции, равна не менее $\pm 7,5$ мин. Средняя квадратичная ошибка определения среднего значения момента Тунгусского взрыва T_0 , по наиболее достоверным данным всех Сибирских станций, равна $\pm 2,1$ мин. [15].

Тогда средняя квадратичная ошибка определения кажущегося запаздывания магнитного возмущения $\Delta T_m = T_m - \bar{T}_0$ относительно момента Тунгусского взрыва равна $\pm 7,8$ мин., что в несколько раз превышает время предполагаемого запаздывания магнитного возмущения $\Delta T_m = 2,3$ мин. [2].

При таком соотношении ошибки Δt измеряемой величины $\Delta t_m = T_m - T_0$, когда $\Delta t_m \gg \Delta T_m$, количественная оценка величины времени запаздывания магнитного эффекта Δt_m и тем более количественная оценка мощности и высоты взрыва и других явлений, сделанная по величине ΔT_m , в работах [1—13], не имеет фактической основы.

Таким образом, по имеющимся данным магнитных, сейсмических и метеорологических Сибирских станций периода 1908 г., последовательность во времени Тунгусского взрыва и начала магнитного возмущения не имеет однозначной интерпретации. По этим данным с равной вероятностью можно предположить, что начало магнитного возмущения T_m могло быть до и после или одновременно с моментом взрыва T_0 .

Из всего изложенного можно сделать вывод, что запаздывание магнитного возмущения, вызванного Тунгусским взрывом не является фактом, оно может быть только на правах предположения. При анализе Тунгусского магнитного эффекта с равной вероятностью можно предположить, что между началом магнитного возмущения и мо-

ментом взрыва запаздывания практически не существует. Это обстоятельство существенно расширяет возможности исследования причин и механизма магнитного эффекта Тунгусского взрыва, так как кажущийся факт запаздывания в какой-то мере ограничивал возможные варианты объяснений механизма магнитного возмущения. Например, при отсутствии задержки магнитного возмущения относительно момента Тунгусского взрыва можно предположить несколько новых вариантов объяснения причины магнитного возмущения, которые исключались из рассмотрения в предыдущих работах:

1. Тунгусское магнитное возмущение могло возникнуть непосредственно при пролете космического тела через ионосферу, тогда магнитное возмущение могло начаться до взрыва тела.

2. Магнитное возмущение могло возникнуть вследствие потока заряженных частиц, образовавшихся после взрыва. В этом случае задержка начала магнитного возмущения относительно момента взрыва может практически отсутствовать. Могут быть и другие варианты объяснения магнитного эффекта Тунгусского взрыва, не связанные с наличием задержки начала магнитного возмущения и с действием ударной волны взрыва.

Для решения вопроса о том, существует или отсутствует запаздывание Тунгусского магнитного возмущения относительно момента взрыва, необходимо провести дополнительное исследование.

ЛИТЕРАТУРА

1. Плеханов Г. Ф. и др. О геомагнитном эффекте взрыва Тунгусского метеорита. Известия вузов, «Физика», № 2, 1960.
2. Иванов К. Г. Геомагнитные явления, наблюдавшиеся на Иркутской магнитной обсерватории вслед за взрывом Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. 21, 46, 1961.
3. Иванов К. Г. Об энергии взрыва Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. 21, 44, 1961.
4. Идлис Г. М. и Карягина З. В. О кометной природе Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. 21, 32, 1961.
5. Обашев С. О. О геомагнитном эффекте Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. 21, 49, 1961.
6. Иванов К. Г. О причине последующих изменений поля в геомагнитном эффекте Тунгусского метеорита. Геомагнетизм и аэрономия, № 4, 616, 1961.
7. Плеханов Г. Ф. и др. О влиянии взрыва Тунгусского метеорита на геомагнитное поле. Геология и геофизика, № 6, 1961. Изд. СО АН СССР.
8. Иванов К. Г. Геомагнитные эффекты взрывов в нижней атмосфере. Геомагнетизм и аэрономия, т. 2, № 1, 153, 1962.
9. Плеханов Г. Ф. и др. Некоторые итоги изучения проблемы Тунгусского метеорита. Геология и геофизика, № 1, 111, 1963. Изд. СО АН СССР.
10. Иванов К. Г. О высоте взрыва Тунгусского метеорита. Астрономический журнал, т. 40, № 2, 329, 1963.
11. Ковалевский А. Ф. Магнитный эффект взрыва Тунгусского метеорита. Проблема Тунгусского метеорита. Труды Томского отд. Географического общества СССР, т. 5, 187, 1963. Изд. Томского университета.
12. Журавлев В. К. К вопросу об интерпретации геомагнитного эффекта 1908 г. Проблема Тунгусского метеорита. Труды Томского отд. Географического общества СССР, т. 5, 195, 1963. Изд. Томского университета.
13. Иванов К. Г. Геомагнитный эффект Тунгусского падения. Метеоритика, вып. 24, 141, 1964.
14. Вознесенский А. В. Падение метеорита 30 июня 1908 г. в верховьях р. Хатанги. Мирозведение, т. 14, № 1, 25, 1925.
15. Астапович И. С. Новые материалы по полету большого метеорита 30 июня 1908 г. в Центральной Сибири. Астрономический журнал, т. 10, № 4, 465, 1933.
16. Фесенков В. Г. О воздушной волне, произведенной падением Тунгусского метеорита 1908 г. Метеоритика, вып. 17, 3, 1959.

О МЕХАНИЗМЕ МАГНИТНОГО ЭФФЕКТА ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

В. К. ЖУРАВЛЕВ, Д. В. ДЕМИН, Л. Н. ДЕМИНА

Возмущение магнитного поля, совпавшее по времени с сейсмическими и барическими эффектами Тунгусского метеорита, было обнаружено только в 1959 г. [1, 3, 4]. Предположение о возможности существования магнитного возмущения, связанного с Тунгусским метеоритом, было высказано независимо рядом участников КСЭ, в связи с чем осенью 1959 года были разосланы соответствующие запросы в магнитные обсерватории, функционировавшие в 1908 году. Одним из оснований для этого предположения явился факт замечательного сходства сейсмических и барических эффектов, а также картины разрушений на месте падения с эффектами высотного ядерного взрыва, с одной стороны, и сообщения о геомагнитных эффектах ядерных взрывов 1958 года — с другой. Как выяснилось, магнитный эффект 30 июня 1908 года оказался бы уникальным геомагнитным явлением, не имеющим ничего общего с магнитными эффектами обычных метеорных потоков [2], если бы он был обнаружен до 1958 года*. В работах [3, 4, 5, 6, 7] было показано, что магнитные возмущения Тунгусского метеорита и высотных ядерных взрывов мегатонной мощности, проведенных США и Англией в 1958 году, имеют амплитуду и длительность примерно одного порядка, а также очень сходную морфологию. Этот же вывод сделан в работах К. Г. Иванова [8, 9].

Несмотря на довольно большое число работ, посвященных геофизическим эффектам сильных взрывов, до настоящего времени нет количественной теории магнитных эффектов ядерных взрывов. Обзоры этих работ сделаны в [5] и [8].

Все авторы, рассматривающие магнитные эффекты ядерных взрывов, проведенных на высотах ниже 100 км, считают первичными причинами магнитного возмущения ударную волну и радиоактивное излучение взрыва, хотя относительная роль этих факторов оценивается по-разному. Существует несколько различных гипотез о механизме геомагнитного эффекта ядерных взрывов.

Открытие магнитного эффекта Тунгусского метеорита, казалось бы, представило замечательную возможность прямого сопоставления обычного и ядерного взрывов, имеющих сравнимую мощность и высоту. Прямой эксперимент для такого сопоставления в настоящее время неосуществим: для этого пришлось бы поднять на высоту порядка 10 км не-

*) Если бы Тунгусское падение произошло после 1958 г., Иркутские магнитogramмы, без сомнения, рассматривались бы как веское свидетельство факта ядерного взрыва, а естественный характер явления в целом был бы далеко не очевиден.

сколько миллионов тонн взрывчатых веществ и осуществить их одновременную детонацию.

Можно было ожидать, что, сравнивая магнитограммы Тунгусского взрыва и ядерных взрывов, удастся выяснить роль ионизирующего излучения в механизме эффекта.

В действительности оказалось, что сходство тех и других возмущений настолько велико, что напрашивается вывод: радиоактивное излучение ядерного взрыва не играет сколько-нибудь определяющей роли как для возникновения эффекта, так и для его длительности, амплитуды, характера развития во времени. Учитывая, что при ядерном взрыве в верхнюю атмосферу инжектируется огромное число высокоэнергетических зарядов и квантов (общая энергия радиоактивных излучений составляет 10% полной энергии взрыва), этот вывод представляется маловероятным.

Можно, конечно, также сделать допущение, что одинаковые магнитные возмущения могут быть вызваны совершенно различными причинами. Попытки объяснить изучаемые эффекты, исходя из этого положения были сделаны А. Ф. Ковалевским [5] и К. Г. Ивановым [10]. Начальная фаза для ядерных взрывов объясняется действием радиоактивного излучения, для Тунгусского метеорита — приходом ударной волны в слой Е. Главная фаза объясняется термической ионизацией газа на высотах Е-слоя ударной волной в случае метеорита и действием осколков взрыва, поднявшихся в атмосферу, или движениями газа в ионосфере после прохождения ударной волны — для ядерных взрывов. Такой подход в самой постановке вопроса вызывает возражения, поскольку можно считать доказанным, что мощности взрывов метеорита и бомб были одного порядка. Ионизация воздуха ударной волной имеет место и для ядерных взрывов, тем не менее главная фаза Тунгусского эффекта была более длительной и интенсивной по сравнению с взрывами 28/IV, 1/VIII и 12/VIII 1958 года, а не наоборот, как можно было бы ожидать, исходя из позиции авторов работ [5, 10 и др.].

Единственным принципиальным различием между эффектами метеорита и ядерных бомб можно считать запаздывание первой фазы (импульса) 30/VI 1908 года.

Однако можно выразить сомнение в реальности этого запаздывания. В отличие от ядерных взрывов, в случае Тунгусского метеорита истинный момент взрыва неизвестен. Он рассчитывается по началу возмущения на сейсмограммах, при этом постулируется некоторая вероятная скорость распространения сейсмического возмущения и воздушной ударной волны. Систематическая погрешность при этом может быть сравнима с временем запаздывания (порядка 3 минут), несмотря на высокую точность отметок времени на самописцах. То, что эта ситуация могла иметь место, подтверждают данные, приведенные в работе [11].

Согласно информации Национальной Академии наук США, ударная волна ядерного взрыва 12/VIII 1958 года достигла поверхности земли в эпицентре в 10 часов 32 мин. 08 сек. Определение этого момента по сейсмограммам в Токио дало величину 10 час. 34 мин., т. е. погрешность составляла почти 2 мин. [11]. Истинный же момент взрыва в этом случае — 10 час. 30 мин. 0,6 сек — с точностью до нескольких секунд совпал с начальным импульсом геомагнитного возмущения. Не исключено, что запаздывание и в случае Тунгусского взрыва является фиктивным, и наиболее точный момент взрыва дают магнитограммы. Правда, оценки по времени запаздывания высоты и мощности взрыва дали вполне разумные значения [6], [12], укладывающиеся в пределы, установленные другими методами. Надо, однако, иметь в виду, что эти пределы пока еще очень широки: высота определена с точностью ± 4 км, а крайние значения

мощности взрыва различаются на порядок [15]. Уточнить истинный момент взрыва по сейсмограммам, по-видимому, можно, проведя эксперименты по определению скорости распространения сейсмических возмущений на трассе Заимка Кулика — Иркутск.

Таким образом, качественное сравнение Тунгусского магнитного эффекта с магнитными эффектами ядерных взрывов приводит к заключению об их чрезвычайно большом, если не полном, сходстве. Конечно, имеются и некоторые различия, проанализированные, например, в [4, 6]. Можно ли считать эти различия принципиальными — этот вопрос, на наш взгляд, пока остается открытым. Следующим этапом является проведение количественного сравнения и расчета эффектов. В настоящее время это сделать трудно из-за недостаточности информации об условиях проведения и параметрах ядерных взрывов, с которыми производится сравнение, и из-за большой погрешности значений высоты и мощности взрыва Тунгусского метеорита.

Оценки времени распространения ударной волны были сделаны К. Г. Ивановым, на основании их была рассчитана высота и энергия взрыва [1, 12].

Однако этот расчет был основан на использовании теории, строго описывающей движение фронта ударной волны в неоднородной атмосфере лишь в начальной стадии ее распространения.

Нами сделана попытка использования более строгой теории, развитой Ю. П. Райзером для распространения фронта ударной волны по экспоненциальной атмосфере в сторону уменьшения плотности [13]. Исходные данные расчета и его результаты приведены в табл. 1. Параметры атмосферы (плотность (ρ), давление (p_n), скорость звука (C) на разных высотах были взяты из [14] (средние значения для стандартной атмосферы).

На основании данных Е. В. Маслова [15], были взяты три варианта параметров взрыва Тунгусского метеорита: минимальный (вариант № 1 в табл. 1), оптимальный (№ 2), максимальный (№ 3). Остальные варианты в табл. 1 соответствуют ядерным взрывам, с которыми проводилось сравнение. Были взяты данные для ядерных взрывов 1/III 1954 года (Бикини) — № 4 [16], 28/IV 1958 года (о-в Рождества) [17] — № 5, 12/VIII 1958 года (о-в Джонстон) [11] — № 6, а также с ядерными взрывами № 7 и 8, мощность и высота которых приводятся в работах [18] и [19] со ссылкой на сообщение Комиссии по атомной энергии США. Для взрыва № 5 точное значение мощности неизвестно, поэтому было принято ориентировочное значение 1 Мт, высота, так же ориентировочно, была взята 10 км.

Масштаб высоты рассчитывался по формуле: $\Delta = \frac{p_h}{\rho_c \cdot g}$,

где p_h — атмосферное давление на высоте взрыва,

ρ_c — плотность воздуха на высоте взрыва,

g — ускорение свободного падения.

Показатель энтропии воздуха для различных высот подсчитывался по формуле:

$$\gamma = \frac{c_h^2 \rho_c}{p_h}, \quad (2)$$

где C_h — скорость звука на высоте h . Высота слоя E , как и в работе [8], была принята равной 85 км, поэтому расстояние, пройденное ударной волной до ионосферы, определялось по формуле

$$R_E = 85 - h, \text{ км} \quad (3)$$

где h — высота взрыва.

Таблица 1

№ варианта	Энергия взрыва E		Высота взрыва, h (км)	Масштаб высоты, Δ (м)	Расстояние от точки взрыва до слоя E, R_E (м)	Плотность на высоте взрыва, ρ_c (кг/м ³)	Показатель изэнтропии, γ	Показатель автомательности, α	Коэффициент пропорцион., μ	Атм. давление на высоте взрыва, p_h (н/м ²)	Параметры газа за фронтом уд. волны в ионосфере			Время ухода волн на ∞ , τ (сек)	Условное время прихода волн в слой E , $-t$ (сек)	Наличие магнитного эффекта
	дж	Мт									скорость, u (м/сек)	плотность, ρ (кг/м ³)	давление, p (н/м ²)			
1	$8 \cdot 10^{15}$	2	6	$7,3 \cdot 10^3$	$7,9 \cdot 10^4$	0,66	1,4	5,7	0,23	47000	133	$7,9 \cdot 10^{-5}$	0,28	1024	260	+
2	$5,2 \cdot 10^{16}$	12	9	$6,7 \cdot 10^3$	$7,6 \cdot 10^4$	0,47	1,4	5,7	0,23	30660	502	$3,3 \cdot 10^{-5}$	1,69	274	63	+
3	$9,6 \cdot 10^{16}$	23	12	$6,4 \cdot 10^3$	$7,3 \cdot 10^4$	0,32	1,4	5,7	0,23	19900	896	$2,1 \cdot 10^{-5}$	3,43	148	34	+
4	$6,7 \cdot 10^{16}$	15	0	$8,6 \cdot 10^3$	$8,5 \cdot 10^4$	1,2	1,3	6,1	0,245	100908	195	$4,7 \cdot 10^{-4}$	2,68	723	234	+
5	$4 \cdot 10^{15}$	1	10	$7 \cdot 10^3$	$7,5 \cdot 10^4$	0,4	5,7	0,23	27000	27000	127	$5,3 \cdot 10^{-5}$	0,171	1016	262	+
6	$4,2 \cdot 10^{15}$	1	43	$7,6 \cdot 10^3$	$4,2 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^{-3}$	1,6	4,9	0,26	306	512	$7,1 \cdot 10^{-5}$	5,55	94	56	+
7	$1 \cdot 10^{17}$	25	3,6	$7,4 \cdot 10^3$	$8,1 \cdot 10^4$	0,85	1,4	5,7	0,23	62200	420	$8,5 \cdot 10^{-5}$	3,01	340	84	—
8	$2,5 \cdot 10^{17}$	60	3,6	$7,4 \cdot 10^3$	$8,1 \cdot 10^4$	0,85	1,4	5,7	0,23	62200	665	$8,5 \cdot 10^{-5}$	7,52	215	53	—

Примечание: Знак плюс в последней колонке указывает на наличие геомагнитного эффекта, знак минус — на отсутствие.

При рассмотрении движения ударной волны нас интересовал только момент времени t_E , когда ударная волна уходит на расстояние R_E от точки взрыва, т. е. момент, для которого функции-представители [13] равны 1, а

$$A(-t_E)^{\alpha} = \rho_0 \cdot \Delta. \quad (4)$$

Здесь ρ_0 — плотность воздуха в слое E , которая выражалась через плотность воздуха на высоте взрыва

$$\rho_0 = \rho_c e^{-\frac{R_E}{\Delta}}. \quad (5)$$

Показатель автомодельности находился линейным интерполированием значений, приведенных в [13]. С учетом найденного значения α и γ , рассчитанного по (12), находился коэффициент μ из условия

$$\tau = 25 \left(\frac{\Delta^5 \cdot \rho_c}{E} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (6)$$

где τ — время распространения ударной волны от точки, находящейся на высоте $h + 3\Delta$ до бесконечности.

Величина A в формуле (4), согласно [13], определяется как

$$A = \frac{\Delta \rho_c}{e^3 \tau^{\alpha}}. \quad (7)$$

Скорость воздуха за фронтом ударной волны на расстоянии R_E определялась по формуле

$$u = \frac{2\mu E^{\frac{1}{2}} e^{\frac{R_E}{\alpha\Delta} - \frac{3}{\alpha}}}{(\gamma + 1) \Delta^{3/2} \rho_c^{1/2}}. \quad (8)$$

Плотность воздуха за фронтом ударной волны

$$\rho = \frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \rho_c e^{-\frac{R_E}{\Delta}}. \quad (9)$$

Избыточное давление

$$p = \frac{2}{\gamma + 1} \cdot \frac{\mu^2 E}{e^{\frac{6}{\alpha} \Delta^3}} \cdot e^{\frac{2R_E}{\alpha\Delta} - \frac{R_E}{\Delta}}. \quad (10)$$

Время прихода ударной волны в слой E в специальной („обратной“) системе временных координат [13]:

$$(-t) = t_E = e^{\frac{3}{\alpha}} \cdot \frac{\alpha}{\mu} \left(\frac{\Delta^5 \rho_c}{E} \right)^{\frac{1}{2}} \cdot e^{-\frac{R_E}{\alpha\Delta}}. \quad (11)$$

Исходные данные, приведенные в табл. 1, подставлялись в формулы (8—11).

Расчет проводился на электронной вычислительной машине для восьми вариантов, перечисленных в табл. 1. По полученным резуль-

татам были рассчитаны: скорость фронта ударной волны на расстоянии 3Δ от точки взрыва

$$D_{3\Delta} = \sqrt{\frac{\mu^2 E}{\Delta^3 \rho_c} + C_{3\Delta}^2} \quad (12)$$

($C_{3\Delta}$ — скорость звука на высоте $h + 3\Delta$), скорость фронта ударной волны на расстоянии R_E от точки взрыва

$$D_E = \alpha \frac{\Delta}{t_E}, \quad (13)$$

плотность энергии ударной волны на высоте 85 км:

$$U = \frac{\rho u^2}{2}. \quad (14)$$

Результаты этих вычислений приведены в табл. 2.

Так как ускорение ударной волны в экспоненциальной атмосфере происходит только при условии

$$D_{3\Delta} > C_{3\Delta},$$

то для взрывов № 1, 4 и 5 значения u , ρ , p , D_E и U физического смысла не имеют. В этих случаях ударная волна затухает на расстоянии порядка $h + 3\Delta$ и дальше распространяется звуковая волна.

Таблица 2

№ варианта	$D_{3\Delta}$, м/сек	D_E , м/сек	U Дж/м ³	Наличие магнитного эффекта	Примечание
1	290	160	(0,7)	+	Волна затухает выше $h + 3\Delta$
2	320	605	4,1	+	
3	380	1070	8,7	+	
4	300	210	(8,9)	—	Волна затухает выше $h + 3\Delta$
5	290	150	(0,4)	+	Волна затухает выше $h + 3\Delta$
6	470	670	9,2	+	
7	300	500	7,5	—	
8	350	800	18,5	—	

Из полученных таблиц видно, что какой-либо корреляции между наличием или отсутствием магнитного эффекта и интенсивностью ударной волны не наблюдается. Не удается установить связь и между интенсивностью ударной волны и величиной амплитуды или энергии магнитного возмущения для тех случаев, когда магнитный эффект имел место.

Заметим, что в литературе отсутствуют какие-либо указания на магнитные эффекты, подобные рассматриваемым, при движении в ионосфере космических кораблей и спутников, хотя интенсивности ударных волн могут быть, по-видимому, сравнимыми.

Все это позволяет высказать сомнение в обоснованности теорий, в которых ударная волна выступает как основная причина геомагнитного возмущения. По отношению к ядерным взрывам этот вывод не является неожиданным, однако, в этом случае возникает вопрос о причине высоко-

го уровня ионизации для случая Тунгусского метеорита. Высказывавшиеся предположения о ядерной природе Тунгусского взрыва до сих пор квалифицировались как фантастические и научно не обоснованные [22]. Однако недавно ядерная гипотеза была поддержана в работе Коузена, Атлури и Либби [23]. Но прежде чем обращаться к этому варианту, естественно попытаться найти объяснение в рамках более привычных представлений.

Возникает вопрос, не мог ли служить источником дополнительной ионизации след болида в плотных слоях атмосферы. Тело, входящее в атмосферу Земли со скоростью 7 км/сек на высотах от 6 до 60 км, создает след с концентрацией электронов 10^{11} — 10^{12} см $^{-3}$ [24], т. е. на много порядков выше, чем ионосферная концентрация и концентрация, создаваемая ядерными взрывами на высотах, рассматриваемых в настоящей статье [16]. Взаимодействие ударной волны со следом в принципе могло бы вызвать магнитные возмущения. Серьезным затруднением для этого предположения является тот факт, что траектория метеорита, которая в настоящее время является наиболее вероятной (азимут 115°), находится к северо-востоку от Иркутской магнитной обсерватории. То же относится к варианту траектории Е. Л. Кринова и последнему варианту траектории И. С. Астаповича [25]. При этих траекториях, при любом механизме возмущения изменение магнитного склонения должно было бы иметь восточное направление, тогда как в действительности, согласно последним данным К. Г. Иванова, эта вариация имела противоположное направление [9] (ранее считалось, что возмущение в D -составляющей вообще отсутствовало). Высказанное предположение требует специального анализа. В частности, далеко не очевидно, что магнитные эффекты ядерного взрыва и взаимодействия ударной волны со сравнительно узким столбом ионизированной плазмы дадут возмущение практически одинакового характера.

Чтобы оценить, в какой степени на полученный результат может повлиять неопределенность метеорологических условий, нами был проведен расчет параметров ударной волны оптимального варианта Тунгусского взрыва с учетом вариаций температуры, плотности и давления, типичных для Средней Сибири в июле.

Входящие в формулы (6), (8), (9), (10), (11) значения Δ и ρ_c были рассчитаны для экстремальных значений температуры, давления и влажности. В табл. 3 приведен в качестве примера результат расчета на основе данных станции Игарка за июль 1952 года для высоты 9 км. Эти данные, взятые из Аэроклиматического справочника СССР (1957 г.), можно считать типичными.

При изменении температуры в пределах 225—251°К и давления 299—327 мбар масштаб высоты Δ меняется в пределах от 6 до 8 км, а ρ_c от 0,415 до 0,507 кг/м 3 . Определены параметры ударной волны при 4 различных комбинациях предельных значений Δ и ρ_c .

Из табл. 1, 2 и 3 видно, что разброс плотности энергии, избыточного давления и других параметров, который может быть вызван изменением метеорологических условий, не превышает разброса, связанного с неопределенностью значения мощности взрыва. Следовательно, представляется маловероятным, чтобы сделанный выше вывод об отсутствии корреляции между параметрами ударной волны и наличием магнитного возмущения мог быть изменен, если бы в нашем распоряжении были точные данные о состоянии атмосферы 30 июня 1908 года.

Этот вывод должен быть снова рассмотрен, когда будут опубликованы более подробные сведения о параметрах ядерных взрывов, а также в том случае, если удастся уточнить высоту и мощность взрыва Тунгусского метеорита.

Таблица 3

№ варианта	Энергия взрыва, E (дж)	Высота взрыва, h (км)	Масштаб высоты, Δ (м)	Расстояние от точки взрыва до слоя, E, R_E (м)	Плотность на высоте взрыва, ρ_c (кг/м ³)	Параметры газа за фронтом уд. волны в слое E			Время ухода волны на ∞ , τ (сек)	Условн. время прихода волны в слой E , $(-t)$ (сек)	Плотность энергии уд. волны в ионосфере, U (дж/м ³)
						скорость u (м/сек)	плотность ρ (кг/м ³)	давление, p (н/м ²)			
9	$5,2 \cdot 10^{16}$	9	$6 \cdot 10^3$	$76 \cdot 10^3$	0,507	484	0,000036	1,69	284	66	4,21
10	$5,2 \cdot 10^{16}$	9	$8 \cdot 10^3$	$76 \cdot 10^3$	0,415	297	0,00019	3,28	401	128	8,35
11	$5,2 \cdot 10^{16}$	9	$6 \cdot 10^3$	$76 \cdot 10^3$	0,415	796	0,000008	0,99	195	36	2,50
12	$5,2 \cdot 10^{16}$	9	$8 \cdot 10^3$	$76 \cdot 10^3$	0,507	268	0,00023	3,28	443	142	8,25

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов К. Г. Метеоритика. 1961, в. 21, 44, 46.
2. Калашников А. Г. Докл. АН СССР, 1949, 66, 3.
3. Плеханов Г. Ф., Ковалевский А. Ф., Журавлев В. К., Васильев Н. В. Известия вузов СССР. «Физика», 1960, 2, 236.
4. Плеханов Г. Ф., Ковалевский А. Ф., Журавлев В. К., Васильев Н. В. Геология и геофизика. 1961, 6, 94.
5. Ковалевский А. Ф. Труды СФТИ, 1962, 41, 87.
6. Ковалевский А. Ф. В сб.: «Проблема Тунгусского метеорита». Томск, 1963, 187.
7. Журавлев В. К. В сб.: «Проблема Тунгусского метеорита». Томск, 1963, 195.
8. Иванов К. Г. Геомагнетизм и аэрономия. 1962, 2, 153.
9. Иванов К. Г. Метеоритика. 1964, 24, 141.
10. Иванов К. Г. Геомагнетизм и аэрономия. 1961, 1, 616.
11. Uyeda H., Maeda H., Kimpara A., Obayashi T., Ishikawa S., Kagaobata I. Journ. Geomagn. and Geoelectr., 1959, II, 65, 62.
12. Иванов К. Г. Астрон. журн., 1963, 40, 329.
13. Райзер Ю. П. Журн. прикл. мех. и техн. физ., 1964, 4, 49.
14. Тверской П. Н. Курс метеорологии. Л., ГИМИЗ, 1962.
15. Маслов Е. В. В сб.: «Проблема Тунгусского метеорита». Томск, 1963, 105.
16. Действие ядерного оружия (пер. с англ.). Воениздат. М., 1963.
17. Mason R., Vitousek M., Nature. 1959, 184, N 4688, 52.
18. Machta L., List R., Telegradad K. Journ. Geoph. Res. 1962, 67, 1399.
19. Oksman J., Kataja E. Annales Academie Scientiarum Fennical A VI, Physica, Helsinki. 1962.
20. Золотов А. В. Докл. АН СССР, 1961, 136, 84.
21. Плеханов Г. Ф. В сб.: «Проблема Тунгусского метеорита», Томск, 1963, 3.
22. Флоренский К. П. Метеоритика, 1963, 323, 3.
23. Cowan C., Atluri C. R., Libbi W. F., Nature, 1965, 206, 861.
24. Klaimon J. AIAA. 1964, 2, 4.
25. Астапович И. С. В сб.: «Физика комет и метеоров», Киев, 1965, 105.

К ВОПРОСУ О ЗАВИСИМОСТИ ГЕОМАГНИТНОГО ЭФФЕКТА, ВЫЗВАННОГО ЯДЕРНЫМ ВЗРЫВОМ, ОТ ВЫСОТЫ ВЗРЫВА

А. В. ЗОЛОТОВ

Известно, что ядерные взрывы, произведенные в атмосфере, вызывают заметное возмущение магнитного поля Земли [1—7]. Однако в работе [6] отмечается очень интересный факт, который заключается в том, что взрывы, произведенные на поверхности Земли, заметного воздействия на геомагнитное поле не оказывают. Это явление до сих пор обоснованного объяснения не имеет. По этому вопросу в литературе опубликовано только одно предположение [8]. Авторы работы [8] считают, что геомагнитный эффект крупного воздушного взрыва можно объяснить возмущением ионосферы ударной волной. По их мнению, отсутствие геомагнитного эффекта наземного взрыва можно объяснить тем, что при малой высоте взрыва энергия ударной волны рассеется раньше, нежели волна достигнет верхних слоев атмосферы [8]. Однако это предположение фактически и расчетными данными не проверено.

Объяснение факта отсутствия или, по крайней мере, резкого ослабления геомагнитного возмущения наземного взрыва по сравнению с высотным взрывом имеет большое значение для правильной интерпретации геомагнитного эффекта, вызванного крупным воздушным взрывом. Поэтому рассмотрим этот вопрос несколько подробнее.

Из экспериментальных данных известно, что геомагнитный эффект, вызванный крупным воздушным взрывом, зависит от высоты взрыва — с уменьшением высоты геомагнитный эффект уменьшается [4; 7]. В работе [7] приводится зависимость амплитуды геомагнитного возмущения A_m от высоты взрыва H_0 в интервале изменения H от 40 до 400 км. Однако в данном случае нас интересует зависимость $A_m = f(H_0)$ в интервале изменения H_0 от 0 до 80—100 км. В качестве примера на рис. 1 представлены магнитограммы, записанные на станции Джарвис после ядерных взрывов, произведенных над островом Джонстон 1 и 12 августа 1958 г. на высоте 75 и 42 км [3—4] и над о. Рождества 28 апреля 1958 г. на высоте около 18 км [5]. Анализ этих магнитограмм показывает, что при изменении высоты взрыва от 75 до 18 км геомагнитный эффект от этих взрывов ослабляется незначительно — всего в несколько раз, эффект остается в пределах одного порядка величины, рис. 1. Но при уменьшении высоты взрыва от 18 км до 0 геомагнитный эффект резко падает до нуля. Как уже было сказано, по данным работы [6], геомагнитный эффект наземного ядерного взрыва не отмечается совсем. Отсюда следует, что при

наземном взрыве основное ослабление геомагнитного эффекта, вызванного этим взрывом, происходит в нижних плотных слоях тропосферы.

Это явление можно объяснить тем, что при уменьшении высоты взрыва существенное значение в ослаблении геомагнитного эффекта имеет не расстояние от точки взрыва до ионосферы, а «оптическая» толщина атмосферы. Известно, что половина массы атмосферы сосредоточена в приземном слое толщиной около 5 км. Поэтому при уменьшении высоты взрыва от ионосферы до Земли вначале (от 75 км до 15–20 км) в разреженной атмосфере происходит сравнительно медленное ослабление геомагнитного эффекта в основном за счет геометрического фактора —

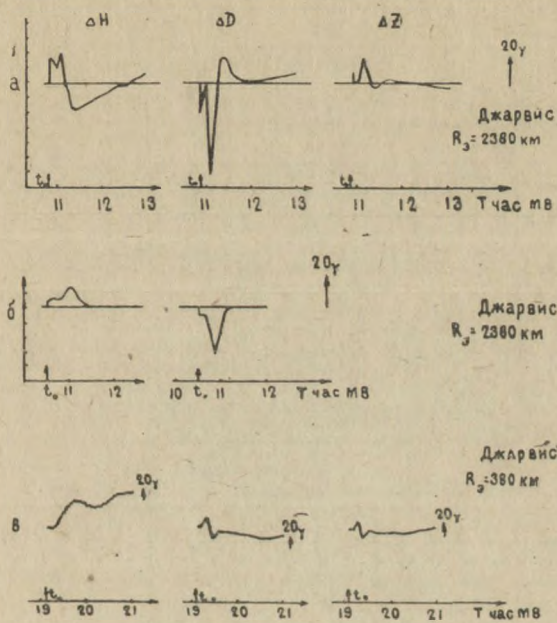


Рис. 1. Магнитограммы ядерных взрывов, записанных на ст. Джарвис

а) взрыв над островом Джонстон, 1. 8. 58 г., $h \approx 75$ км, б) взрыв над островом Джонстон, 12. 8. 58 г., $h \approx 42$ км, в) взрыв над островом Рождества 28. 4. 58 г., $h \approx 18$ км, t_0 — момент взрыва

увеличения расстояния. Например, геомагнитный эффект двух взрывов примерно одинаковой мощности, произведенных над о. Джонстон на высоте 75 и 42 км, отличается всего в 1,5–2 раза (рис. 1 и 2). При дальнейшем уменьшении высоты взрыва от 15–20 км до Земли происходит существенное увеличение плотности атмосферы, поэтому на этом участке, несмотря на незначительное относительное изменение расстояния от точки взрыва до ионосферы, т. е. при слабом влиянии геометрического фактора, происходит резкое ослабление геомагнитного эффекта. По-видимому, такой же характер ослабления при изменении высоты взрыва должна иметь и та сила, которая вызывает возмущение геомагнитного поля. Поэтому сила, возмущающая геомагнитное поле, должна удовлетворять основному условию: при изменении высоты взрыва от ионосферы до поверхности Земли ослабление возмущающей силы должно иметь следующий вид:

1. На участке от 75 до 15—20 км — плавное уменьшение, в основном за счет геометрического фактора — увеличения расстояния от точки взрыва до ионосферы.

2. На участке от 15—20 км до поверхности Земли — резкое уменьшение, в основном за счет увеличения плотности нижних слоев атмосферы; на этом участке кривая должна иметь точку перегиба.

Рассмотрим, какая возможная причина возмущения геомагнитного поля удовлетворяет этому условию. По литературным данным, имеется два предположения о том, что причиной, возмущающей геомагнитное поле после взрыва, может являться ударная волна или ионизирующее излучение [3—9]. Следует отметить, что здесь речь идет об основной фазе геомагнитного эффекта, связанной с возмущением состояния ионосферы

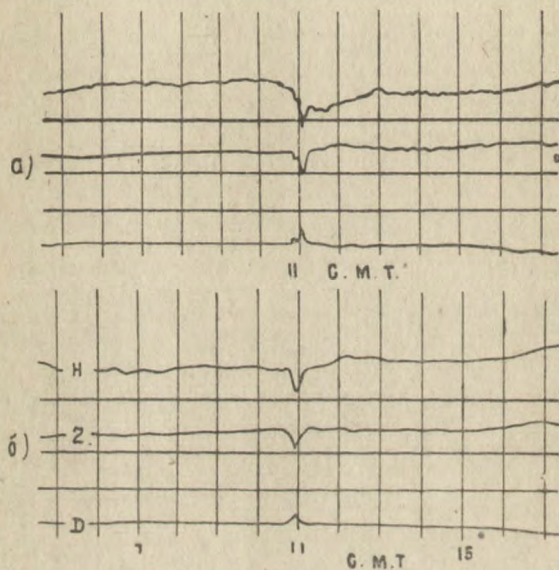


Рис. 2. Магнитограммы ядерных взрывов, записанных на ст. Гонолулу [6]

а) взрыв над островом Джонстон, 1. 8. 58 г., $h \approx 75$ км, б) взрыв над островом Джонстон, 12. 8. 58 г., $h \approx 42$ км

после взрыва ударной волной или ионизирующим излучением. Начальная, относительно кратковременная стадия геомагнитного возмущения, вызванная расширением плазмы после взрыва и не связанная с ионосферой, здесь не рассматривается.

На рис. 3 представлены кривые зависимости интенсивности ударной волны (кривая 1) и относительной интенсивности гамма-излучения (кривые 2 и 3) на уровне нижнего края слоя E ионосферы ($h_i = 80$ км) от высоты взрыва H_0 мощностью $E = 10^{23}$ эрг. Кривая 1 рассчитана по известным формулам работы [10]. Для учета изменения атмосферного давления с высотой при расчете интенсивности ударной волны для каждого значения высоты взрыва, по данным [11—12], вычислялось среднее значение давления в слое атмосферы от точки взрыва до ионосферы. Это приближение является вполне удовлетворительным для выяснения хода кривой 1. Кривые 2 и 3 на рис. 3 рассчитаны для гамма-излучения с энергией соответственно 2 и 5 Мэв [13]. Для определенности при расчете источник гамма-излучения был принят как точечный. Тогда относитель-

ная интенсивность гамма-излучения на расстоянии r от источника определяется следующей формулой:

$$\frac{I_{\gamma}}{I_0} = \frac{e^{-\mu r}}{r^2} = \frac{e^{-\frac{\mu}{\rho V} \cdot \rho S}}{r^2}, \quad (1)$$

где I_0 и I_{γ} — интенсивность гамма-излучения соответственно на расстоянии 1 м и на расстоянии r от источника, μ и $\mu/\rho V$ — соответственно линейный и массовый коэффициенты поглощения гамма-лучей в воздухе, для $E_{\gamma} = 2$ Мэв $\mu/\rho V = 0,004$ м²/кг, для $E_{\gamma} = 5$ Мэв

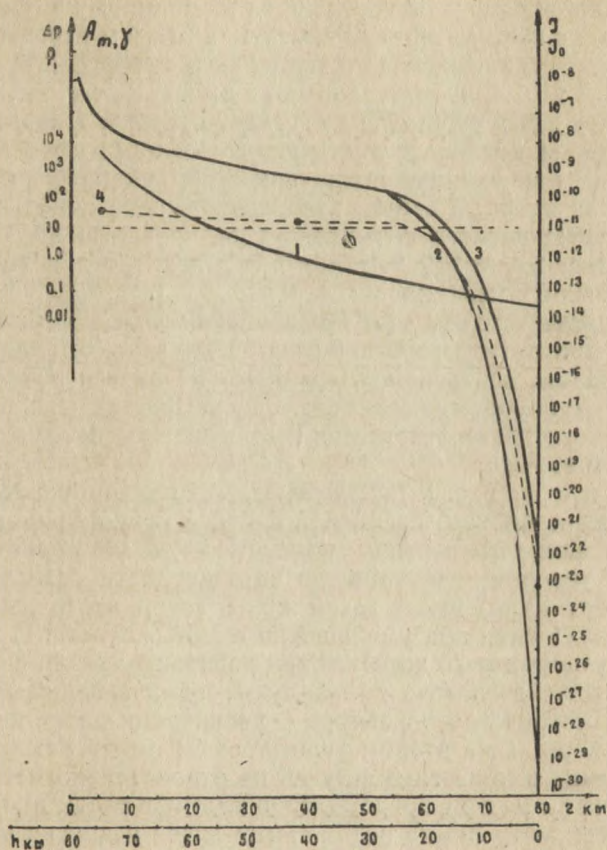


Рис. 3. Ослабление интенсивности ударной волны (1) и относительной интенсивности гамма-излучения (2 и 3) на уровне нижнего края Е ионосферы в зависимости от высоты ядерного взрыва

2) — $E_{\gamma} = 2$ Мэв.

3) — $E_{\gamma} = 5$ Мэв.

4) — —●— экспериментальные данные [3—6]

$\mu/\rho V = 0,0027$ м²/кг [13], ρV и ρS — объемная и поверхностная плотности слоя атмосферы от точки взрыва до ионосферы соответственно в кг/м³ и в кг/м², r — расстояние от точки взрыва до ионосферы в метрах. Изменение плотности атмосферы с высотой учитывается через величину ρS , которая вычислялась по данным работ [11—12].

Здесь следует отметить, что в работе [3] приводятся кривые ослабления гамма-излучения ядерных взрывов при прохождении через атмосфе-

ру по вертикали от точки взрыва до ионосферы. Однако эти кривые рассчитаны по формулам поглощения гамма-излучения точечного источника в однородной среде, что при расчете поглощения гамма-излучения в реальной атмосфере с переменной плотностью по высоте приводит к большой ошибке, так как в этом случае μ зависит от высоты. И действительно, при расчете по формулам для однородной атмосферы кривая ослабления гамма-излучения имеет вид экспоненты [3], тогда как с учетом переменной плотности атмосферы кривая поглощения гамма-излучения по вертикали существенно отличается от экспоненты и имеет точку перегиба (рис. 3).

Кривая 1 на рис. 3 наглядно показывает, что ударная волна, как возможная причина, возмущающая геомагнитное поле, не удовлетворяет основному необходимому условию, сформулированному выше, — она имеет плавный ход на всем интервале изменения высоты взрыва без резкого ослабления (без точки перегиба) в пределах тропосферы. И действительно, если ядерный взрыв, произведенный на высоте 18 км, вызывает заметное геомагнитное возмущение [5], то согласно кривой 1 взрыв на поверхности Земли также должен вызвать вполне обнаружимое геомагнитное возмущение, так как ударная волна при этом ослабнет всего в 4 раза. И наоборот, если ядерный взрыв, произведенный на поверхности Земли, не вызывает геомагнитного возмущения [6], то взрыв на высоте 18 км также не должен вызывать заметного геомагнитного возмущения, что противоречит экспериментальным данным [5]. Заметное увеличение интенсивности ударной волны при прохождении через ионосферу наблюдается только при высоте взрыва более 60 км (рис. 3, кривая 1).

Таким образом, действием ударной волны нельзя объяснить резкое ослабление возмущения геомагнитного поля при взрыве в тропосфере и нельзя объяснить факт отсутствия геомагнитного возмущения при наземном ядерном взрыве.

Кривые 2 и 3 на рис. 3 показывают, что ионизирующее излучение, например, гамма-лучи, как возможная причина возмущения геомагнитного поля после ядерного взрыва, полностью удовлетворяет основному необходимому условию — ослабление интенсивности гамма-лучей в атмосфере (по вертикали) имеет такой же характер, что и ослабление геомагнитного возмущения при уменьшении высоты взрыва. И действительно, на первом участке от 75 до 20 км при распространении в разреженной атмосфере ослабление потока гамма-лучей происходит плавно, в основном за счет геометрического фактора — увеличения расстояния от источника до ионосферы, а на втором участке от 20 км до Земли происходит резкое ослабление потока гамма-лучей на относительно небольшом расстоянии в основном за счет поглощения в плотных слоях атмосферы. При взрыве на поверхности Земли поток гамма-лучей и других видов излучений практически полностью поглотится в пределах тропосферы, не достигнув ионосферы. Поэтому дополнительной ионизации ионосферы не произойдет, в связи с этим не произойдет и геомагнитное возмущение. Экспериментальные точки с точностью до постоянного множителя практически совпадают с кривой ослабления гамма-лучей (рис. 3).

Таким образом, с точки зрения характера ослабления геомагнитного эффекта при уменьшении высоты взрыва наиболее вероятной причиной образования основной фазы геомагнитного эффекта ядерного взрыва является не ударная волна, как это предполагается в работах [8—9], а гамма-излучение и другие виды ионизирующих излучений, образующихся в результате этого взрыва, так как характер поглощения ионизирующих излучений в реальной атмосфере полностью объясняет все особенности ослабления геомагнитного возмущения при уменьшении высоты взрыва и, что особенно важно, объясняет факт отсутствия геомагнитного эффекта наземных ядерных взрывов.

Как известно, взрыв Тунгусского космического тела произошел в пределах тропосферы на высоте 5—10 км [14—16]. В работе [17] показано, что в этом случае (при низком воздушном взрыве) ударная волна при подходе к слою *E* ионосферы ослабнет настолько, что не сможет вызвать заметное геомагнитное возмущение. В связи с этим изучение вопроса, рассмотренного в данной статье, представляет интерес для выяснения механизма образования геомагнитного возмущения Тунгусского взрыва 1908 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лейпунский О. И. О возможном магнитном эффекте при высотных ядерных взрывах атомных бомб. ЖЭТФ, 1960, т. 38, № 1, 302.
 2. Альперт Я. Л. Высотные атомные взрывы. Природа, 1962, № 8, 3.
 3. A. G. Mc. Nish. J. Geophys. Res., 1959, v. 64, № 12, 2253.
 4. S. Mathushita. J. Geophys. Res., 1959, v. 64, № 9, 1149.
 5. R. G. Mason, M. J. Vitousek. Nature 1959, v. 184, № 4688, 52.
 6. H. Maeda. J. Geophys. Res., 1959, v. 64, № 7, 863.
 7. H. A. Bomke. J. Geophys. Res., 1964, v. 69, № 15, 3125.
 8. Плеханов Г. Ф. и др. О влиянии взрыва Тунгусского метеорита на геомагнитное поле. Геология и геофизика, 1961, № 6, Изд. СО АН СССР.
 9. Иванов К. Г. Геомагнитные эффекты взрывов в нижней атмосфере. Геомагнетизм и аэрномия, 1962, т. 2, № 1, 153.
 10. Коробейников В. П. и др. Теория точечного взрыва. Физматгиз, 1961.
 11. Мартынов А. К. Экспериментальная аэродинамика. Оборонгиз, 1958.
 12. Михневич В. В., Хвостиков И. А. Изучение высоких слоев атмосферы. Изв. АН СССР, серия геофизическая, 1957, № 11, 1393.
 13. Лейпунский О. И. Гамма-излучение атомного взрыва. Атомиздат, 1959.
 14. Золотов А. В. Новые данные о Тунгусской катастрофе 1908 г. ДАН СССР, 1961, т. 136, № 1, 84.
 15. Плеханов Г. Ф. и др. Некоторые итоги изучения проблемы Тунгусского метеорита. Изд. АН СССР (Сибирское отд.), Геология и Геофизика, 1963, № 1.
 16. Маслов Е. В. К вопросу о высоте и мощности взрыва Тунгусского метеорита. Проблема Тунгусского метеорита. Труды Томского отд. географического общества СССР, 1963, т. 5, 105. Изд. Томского университета.
 17. Золотов А. В. О термической ионизации ионосферы ударной волной Тунгусского взрыва 1908 года. Геомагнетизм и Аэрномия, 1965, т. 5, № 3, 584.
-

О РАДИОАКТИВНОСТИ ОБРАЗЦОВ ТУНГУССКИХ ДЕРЕВЬЕВ

А. В. ЗОЛОТОВ

По вопросу о радиоактивности образцов Тунгусских деревьев, как и по многим другим вопросам, относящимся к Тунгусской катастрофе 1908 г., идет много споров, однако ни в одной лаборатории до сих пор еще не проведено полное исследование образцов из района катастрофы. По изучению радиоактивности тунгусских образцов, кроме нашей лабо-

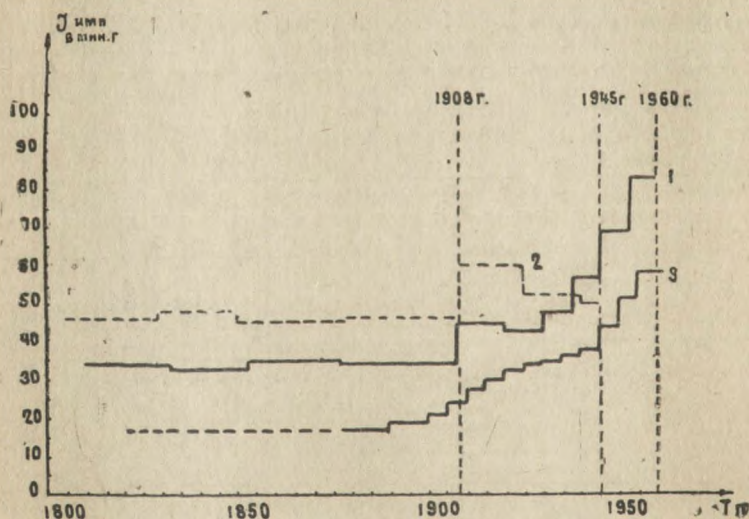


Рис. 1. Распределение радиоактивности по сечению дерева.

1 — лиственница из эпицентра, 150 лет, 2 — лиственница-сухара из эпицентра, 140 лет, 3 — сосна из г. Октябрьского (Баш. АССР), 85 лет.

ратории [1], в настоящее время проведены следующие исследования (имеется в виду послойное изучение радиоактивности деревьев).

1. Проведен радиохимический анализ одного образца дерева в лаборатории Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР (1960 г.) [1].

2. Проведено радиофотографическое исследование 5 поперечных срезов деревьев (1960) [3].

3. Проведено послойное исследование золы тунгусских деревьев, взятых в двух точках (1961 г.) [3].

К сожалению, эти две точки были выбраны не совсем удачно. Например, одна точка выбрана на склоне горы Фаррингтон. Со склона горы радиоактивные осадки легко смываются дождями. Поэтому не случайно,

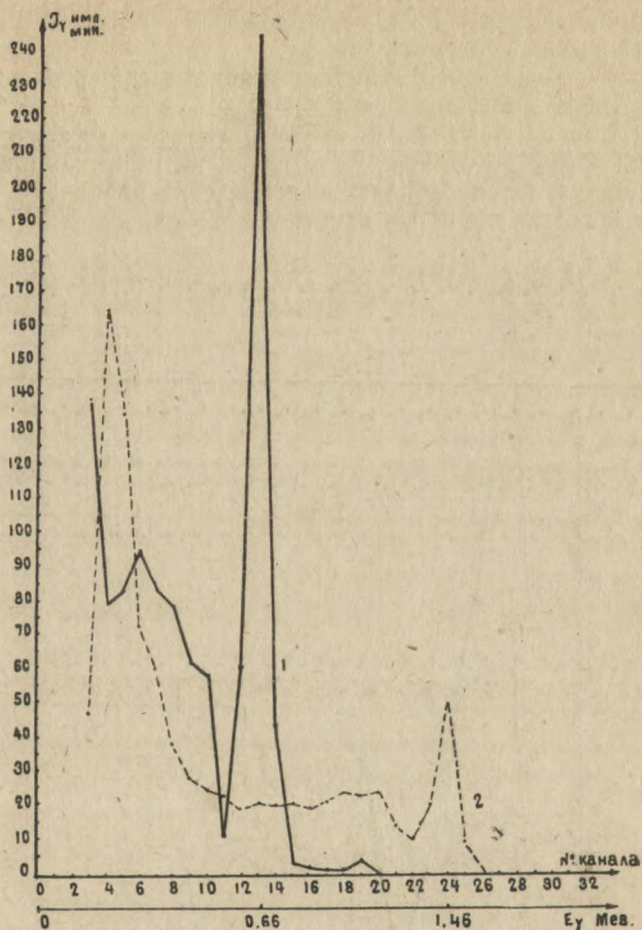


Рис. 2. Спектр гамма-излучения эталонных источников:
1 — Cs — 137, 2 — K — 40.

что даже многолетние осадки последних лет по образцам с горы Фаррингтон отмечаются очень слабо [3].

На основании этих малочисленных измерений, по-видимому, нельзя делать категорических утверждений относительно наличия или отсутствия радиоактивной аномалии образцов Тунгусских деревьев, как это делается в работах [2—4].

В лаборатории радиоактивных методов Волго-Уральского филиала Всесоюзного НИИ Геофизики в течение 1959—1965 гг. проведено послойное исследование более 100 срезов Тунгусских деревьев по 7, 10 и 15 слоев из каждого среза дерева — всего более 1000 образцов золы. Результаты этих измерений показывают, что большинство образцов тунгусских деревьев, переживших катастрофу, имеет повышенное значение радиоактивности слоев древесины непосредственно после 1908 г. В наружных

10—15 слоях древесины наблюдается 2-й скачок радиоактивности, который объясняется радиоактивными осадками последних лет. Показано, что увеличение радиоактивности в слоях древесины после 1908 г. обусловлено содержанием искусственных радиоактивных изотопов элементов.

В качестве примера на рис. 1 представлены типичные кривые распределения радиоактивности по слоям древесины образцов тунгусских деревьев, переживших катастрофу 1908 г.

Для сравнения на рис. 1 приводится кривая для среза сосны из района г. Октябрьского (Башкирская АССР).

В лаборатории проводилось также исследование спектра гамма-излучения золы образцов тунгусских деревьев на многоканальном спектрометре. Разрешающая способность спектрометра равна 10% (рис. 2). На рис. 3 представлены типичные спектральные кривые для образцов тун-

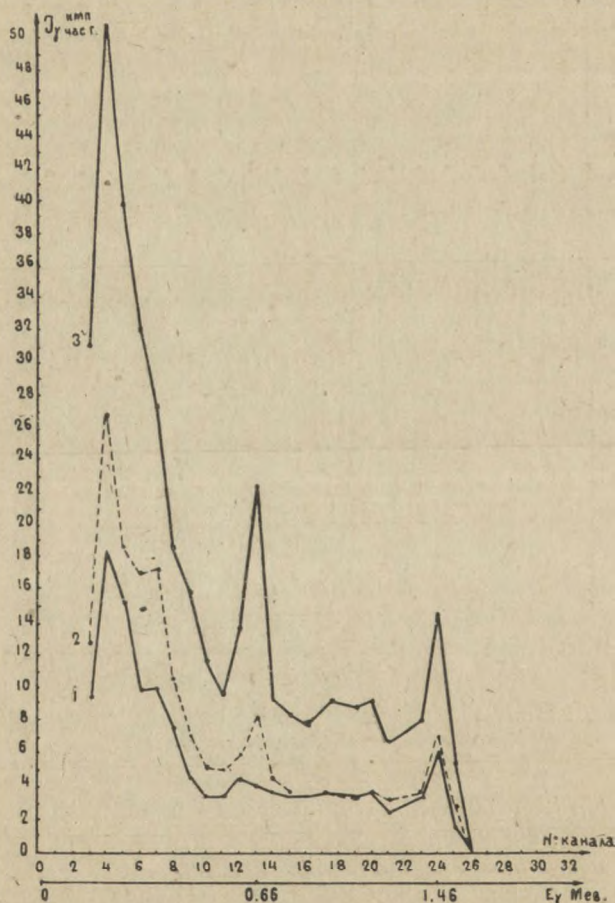


Рис. 3. Спектр гамма-излучения золы лиственницы из района Тунгусской катастрофы 1908 г.
1 — слой до 1908 г. (1810—1853 гг.), 2 — слой после 1908 г. (1908—1920 гг.), 3 — слой после 1945 г. (1945—1960 гг.).

гусских деревьев. Кривые на рис. 3 четко показывают, что в слоях тунгусских деревьев после 1908 г. в 13-м канале анализатора, который соответствует энергии регистрируемого гамма-излучения $E_{\gamma} = 0,66$ Мэв, об-

наруживается радиоактивный изотоп цезий — ^{137}Cs — период полураспада 26 лет, $E_\gamma = 0,66 \text{ Мэв}$ [5, 6]. Ни в одном из исследованных образцов в слоях дерева до 1908 г. цезий-137 не обнаруживается; для этих образцов показания анализатора в 13 канале, соответствующем энергии гамма-излучения цезия-137, $E_\gamma = 0,66 \text{ Мэв}$, находятся в пределах ошибки измерений.

Для сравнения на рис. 4 представлены спектрограммы гамма-излучения образцов деревьев из района г. Октябрьского. Рисунок показывает, что цезий-137 четко проявляется (пик в 13 канале) только в слоях дерева

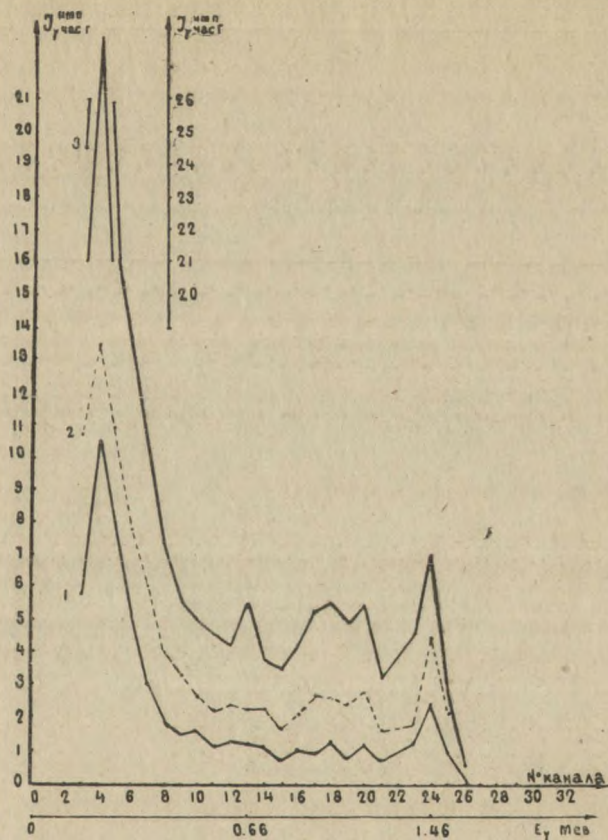


Рис. 4. Спектр гамма-излучения золы сосны из района г. Октябрьского (Башкирская АССР).
1 — слой до 1908 г. (1877—1900 гг.), 2 — слой после 1908 г. (1910—1920 гг.), 3 — слой после 1945 г. (1945—1962 гг.).

после 1945 г. (глобальные радиоактивные осадки последних лет). В слоях до 1945 г. показания в 13 канале находятся в пределах ошибки измерений.

Таким образом, радиоактивная аномалия образцов тунгусских деревьев — повышенная радиоактивность слоев древесины после 1908 г. — существует; эффект мал, но существует.

Однако по поводу датирования к 1908 г. повышенного содержания искусственных радиоактивных изотопов в слоях древесины с 1908 по 1945 г. со стороны некоторых авторов возникли возражения, которые сводятся к тому, что по мнению автора работы [2], повышенную радиоактивность слоев дерева после 1908 г. можно объяснить диффузией ра-

диоактивных элементов из внешних слоев дерева во внутренние слои. Если такие возражения возникли, то с ними необходимо считаться и учитывать в дальнейших исследованиях. Но следует также учесть, что перемещение элементов в клетчатке растущего дерева, по-видимому, не является простой физической диффузией, этот процесс относится к более сложным биологическим явлениям. Например, хорошо известно, что в процессе роста дерева калий перемещается из внутренних отмирающих слоев к внешним биологически более активным слоям дерева. Измерение содержания калия в золе показывает, что оно в золе внешних слоев дерева составляет 15—20%, даже 25%, что на порядок больше, чем в золе внутренних слоев (2—3—5%). Этот биологический процесс идет в обратную сторону, чем физическая диффузия, и создает область устойчивого максимума содержания калия во внешних слоях в течение всей многолетней жизни дерева. Цезий, как спутник калия, и другие микроэлементы возможно также претерпевают этот процесс и накапливаются во внешних слоях дерева. Тогда этот процесс будет ослаблять и уменьшать эффект более раннего заражения деревьев радиоактивными элементами.

Поэтому, если Тунгусская радиоактивная аномалия существует, то как бы мала она ни была, ее нужно исследовать всесторонне и до конца. При современном уровне науки и техники имеется возможность однозначно решить вопрос о связи радиоактивности тунгусских образцов с Тунгусским взрывом 1908 года.

ЛИТЕРАТУРА

1. А. В. Золотов. Некоторые данные по исследованию образцов почвы и растений в районе Тунгусской катастрофы 1908 г. ДАН СССР, 1961, т. 140, № 1, 103.
2. К. П. Флоренский. Предварительные результаты Тунгусской метеоритной комплексной экспедиции 1961 года. Метеоритика, 1963, вып. 23.
3. Сборник статей под редакцией Г. Ф. Плеханова. Проблема Тунгусского метеорита. Изд. Томского университета. Труды Географического общества СССР (Томский отдел), т. № 5, 1963.
4. Г. Ф. Плеханов и др. Некоторые итоги изучения проблемы Тунгусского метеорита. Изд. АН СССР (Сибирское отд.), Геология и Геофизика, № 1, 1963.
5. Г. Сиборг и др. Таблица изотопов. Изд. ИЛ., 1956.
6. Б. С. Дзержевский, Л. К. Пекер. Схемы распада радиоактивных ядер. Изд. АН СССР, 1958.

К ВОПРОСУ О ВОЗМОЖНОСТИ ПЫЛЕВОЙ СТРУКТУРЫ ТУНГУССКОГО КОСМИЧЕСКОГО ТЕЛА

А. В. ЗОЛотов

Несмотря на длительные, в течение нескольких десятков лет, исследования Тунгусского явления, до сих пор в литературе нет единого мнения о структуре и размерах тунгусского космического тела. Одни авторы считают, что это было рыхлое снегообразное тело, другие в своих расчетах принимали космическое тело за монолитную глыбу из льда, камня или железа [1—2]. В настоящее время некоторыми авторами разрабатывается гипотеза о том, что тунгусское космическое тело представляло собой рой частиц, составляющий голову гипотетической кометы, или пылевое облако с плотностью $\rho \ll 1 \text{ г/см}^3$ и поперечным сечением в несколько квадратных километров [3—4].

Таким образом, в различных предположениях, в зависимости от мнения того или иного автора, размеры тунгусского космического тела меняются от 10 м, если автор считает, что тело было глыбой [1,5], до нескольких километров, если автор считает, что тело было облаком пыли [4], а плотность тела меняется соответственно от $1\text{--}8 \text{ г/см}^3$ до $0,01\text{--}0,001 \text{ г/см}^3$ и менее, т. е. размеры и плотность тунгусского космического тела меняются на 3—4 порядка величины.

Отсюда мы видим, что оценка, хотя бы по порядку величины, размеров космического тела имеет большое значение для изучения Тунгусского явления.

Не отдавая предпочтения какому-либо из перечисленных мнений, произведем оценку верхнего значения размеров тунгусского космического тела на основании фактических данных.

Одним из основных фактов в районе Тунгусской катастрофы является радиальный вывал леса с практически единым центром (рис. 1) с общей площадью области поваленных деревьев около 2000 км^2 [6] и средним радиусом этой области 25 км. Радиальный характер вывала леса с малыми размерами эллипса рассеяния направлений поваленных деревьев относительно эпицентра ($2 \times 3 \text{ км}$ [4]) (рис. 1) говорит о том, что ударная воздушная волна, которая произвела разрушения в тайге, имела практически единый центр. Наличие стоячего леса, сохранившегося на корню после катастрофы и расположенного внутри области радиально поваленного леса [7], говорит о том, что центр ударной волны находился в воздухе на некоторой высоте от поверхности земли, не менее 5 км [8].

Статистическая обработка карты поваленного леса дает возможность сделать ряд конкретных оценок некоторых параметров ударной волны и космического тела. Например, по размерам области стоячего леса в районе эпицентра взрыва и характеру разброса азимутов поваленных деревьев можно определить высоту взрыва [8, 9], по размерам области поваленного леса можно оценить мощность взрыва [8, 9], по

статистической обработке поля направлений поваленных деревьев можно определить соотношение интенсивности взрывной и баллистической волн, исходя из которого можно определить и размеры космического тела.

Отсюда мы видим, что для определения размеров и возможной структуры тунгусского космического тела очень важным вопросом является вопрос о соотношении интенсивности взрывной и баллистической волн и их роли в повале леса. Для решения этого вопроса в первую очередь необходимо выяснить, какая волна взрывная или баллистическая произвела радиальный вывал леса.

Рассмотрим этот вопрос подробнее.

При оценке параметров взрывных явлений и ударных волн, по-видимому, целесообразно отвлечься от интерпретации и точки зрения различных исследователей на природу Тунгусского явления и механизм взрыва космического тела, поэтому будем рассматривать эти вопросы (оценку параметров) независимо от механизма и причины образования ударных волн.

Для статистической обработки карты разрушений поле направлений поваленных деревьев¹⁾ представим как поле векторов.

Центр поля векторов можно определить методом наименьших квадратов (метод наименьших квадратов достаточно полно изложен в литературе [10] и уже использован для определения координат эпицентра Тунгусского взрыва [11], поэтому повторять его изложение, по-видимому, нецелесообразно).

Центр совокупности векторов при достаточно большом количестве векторов, по-видимому, можно принять за центр разрушений. Однако здесь следует отметить, что при взрыве движущегося тела, вследствие влияния баллистической волны, которое проявляется в искажении строгой радиальности вывала леса, центр совокупности векторов и эпицентр взрыва могут и не совпадать. Действительный эпицентр взрыва в сложном тунгусском случае может оказаться на несколько километров впереди центра разрушений по направлению полета тела.

В данной статье анализ отклонений направлений поваленных деревьев от центра разрушений производится относительно центра совокупности поля векторов, который получен методом наименьших квадратов и имеет координаты

$$\varphi = 60^{\circ}53'11''; \lambda = 101^{\circ}55'11''$$

и относительно оси симметрии области разрушений, которая имеет азимут $294^{\circ} \pm 1^{\circ}$ (рис. 1). Ось симметрии области поваленного леса по-видимому, можно принять за проекцию траектории космического тела над районом разрушений.

При обработке карты поваленного леса примем следующие обозначения:

расстояние от центра совокупности векторов до направления поваленного дерева по перпендикуляру $r = OM$ (рис. 2) будем называть линейным отклонением направления поваленного дерева от центра разрушений;

угол δ между направлением поваленного дерева и направлением от этого дерева на центр разрушений (рис. 2) будем называть угловым отклонением направления данного поваленного дерева от центра разрушений.

Анализ линейных отклонений r направлений поваленных деревьев от центра разрушений показал, что среднее квадратичное отклонение

¹⁾ Автор использует выражение «направление/поваленного дерева» вместо «среднее направление повала деревьев на пробной площади» и «дерево» — вместо «совокупность деревьев на пробной площади». Размеры площадей 0,25 га. (Прим. ред.).

по оси симметрии области разрушений равно $\sigma_x = 2,05$ км, а по перпендикулярной оси $\sigma_y = 1,65$ км.

Интересно отметить, что среднее квадратичное линейное отклонение вдоль оси симметрии (проекция траектории космического тела) заметно больше, чем по перпендикулярной оси:

$$2,05 \text{ км} = \sigma_x > \sigma_y = 1,65 \text{ км}. \quad (1)$$

Это обстоятельство дает возможность оценить протяженность взрыва космического тела.

Допустим, что на высоте $H = 5-7$ км над лесным массивом произошел мощный сферический взрыв точечного заряда, который произвел радиальный вывал леса радиусом 25—30 км. Очевидно, что направления поваленных деревьев будут иметь некоторый разброс относительно эпицентра взрыва, который характеризуется средним квадратичным отклонением

$$\sigma_r^2 = \sigma_x^2 + \sigma_y^2. \quad (2)$$

Если рельеф окажется однородным, то средние квадратичные отклонения по двум взаимно-перпендикулярным осям σ_x и σ_y будут равны

$$\sigma_x = \sigma_y. \quad (3)$$

Это условие характеризует сферическую симметрию взрыва.

Далее допустим, что на высоте 5—7 км над лесом произошел мощный цилиндрический взрыв линейного заряда длиной $l = 3-5$ км, который произвел в общем радиальный вывал леса на расстоянии до 20—30 км. Однако в этом случае, по-видимому, будет наблюдаться некоторая осевая симметрия эпицентральной части вывала леса.

Среднее квадратичное отклонение направлений поваленных деревьев от эпицентра (эпицентром цилиндрического взрыва будет проекция центра линейного заряда) по координате X , направленной параллельно оси линейного заряда, будет равна:

$$\sigma_x = \frac{l}{2} + \sigma_y, \quad (4)$$

где σ_y — среднее квадратичное отклонение по оси Y , направленной перпендикулярно оси цилиндрического заряда.

Тогда длину цилиндрического заряда можно определить по формуле:

$$l = 2(\sigma_x - \sigma_y). \quad (5)$$

Следует отметить, что значения σ_x и σ_y зависят не только от размеров заряда, но и от высоты и мощности взрыва.

Равенство (5) имеет смысл при условии

$$\sigma_x > \sigma_y, \quad (6)$$

которое для воздушного протяженного взрыва имеет место тогда, когда высота взрыва не превышает нескольких значений (2—3) протяженности взрыва, т. е. в том случае, когда при подходе к поверхности Земли ударная волна протяженного взрыва еще не успеет выравняться в строго сферическую волну (из экспериментальных данных известно, что при цилиндрическом взрыве ударная волна выравнивается в сферическую волну на расстоянии нескольких длин цилиндрического заряда [12]).

Тогда в области разрушений будет наблюдаться некоторое отклонение от строгой цилиндрической симметрии, вследствие чего появится некоторая осевая симметрия, при которой $\sigma_x > \sigma_y$.

Тунгусское космическое тело, по-видимому, взорвалось во время движения, поэтому естественно, что его взрыв имеет некоторую протя-

женность вдоль траектории. Статистический анализ линейных отклонений r (рис. 1) показал, что в тунгусском случае условие (6) выполняется, поэтому имеет место и равенство (5). Из этого равенства следует, что при условии (6) протяженность взрыва не может быть больше удвоенного значения σ . Это условие можно использовать для оценки верхнего значения протяженности взрыва тунгусского космического тела:

$$l_T \leq 2\sigma_x = 4 \text{ км.} \quad (7)$$

Таким образом, протяженность Тунгусского взрыва на порядок меньше размеров области разрушений, поэтому его можно считать компактным единым центральным взрывом.

Как уже отмечалось выше, вывод о центральном взрыве уже был сделан в литературе [4], в сущности, этот вывод непосредственно следует из радиальности вывала леса, но конкретной оценки протяженности взрыва и анализа следствий этого вывода до сих пор не было сделано.

Рассмотрим далее, какие выводы можно сделать из малой протяженности Тунгусского взрыва. В дальнейших рассуждениях будем исходить из очень простого и очевидного факта, что независимо от характера и механизма взрыва космического тела неизбежным является то, что прежде чем взорваться, тело должно долететь до точки взрыва. Отсюда следует, что в любом случае к моменту взрыва (будь то «быстрое взрывообразное испарение тела», по К. П. Станюковичу [1, 5], или «быстрое взрывообразное механическое разрушение тела», по Г. И. Покровскому [13], или «быстрое взрывообразное выравнивание баллистической волны облака космической пыли», по Г. Ф. Плеханову [4] и др.) баллистическая волна, образованная летевшим телом, была уже сформировавшейся.

При малых размерах области взрыва по сравнению с областью разрушений к моменту подлета тела к области своего собственного взрыва, независимо от его дальнейшего развития механизма, еще до начала взрыва над областью разрушений (над проекцией конечного участка траектории) уже существовала баллистическая волна. На участке области разрушений вдоль проекции конечного отрезка траектории космического тела баллистическая волна пришла раньше, чем взрывная волна. Поэтому, если мощность баллистической волны была достаточной для вывала леса, то она должна была его произвести. В этом случае при малом наклоне полета тела ($\beta = 5-17^\circ$ [7]) длина активного участка траектории L , с точки зрения разрушений баллистической волной, должна быть сравнима с размерами области вывала леса, т. е. L должна быть не ме-

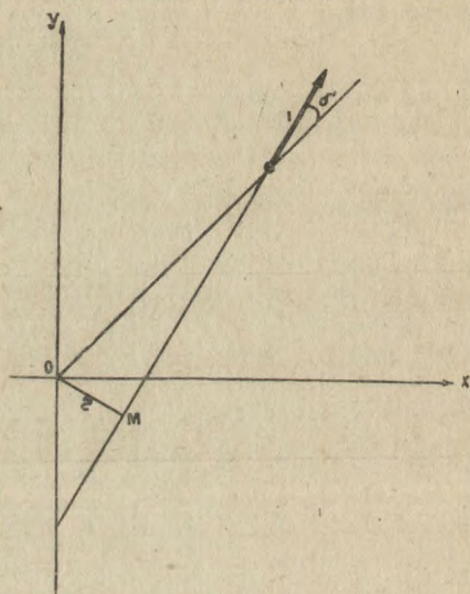


Рис. 1. Изображение поваленного дерева как вектора для обработки карты поваленного леса. l — поваленное дерево, O — эпицентр взрыва, $r-OM$ — линейное отклонение направления поваленного дерева от эпицентра, δ — угловое отклонение направления дерева от эпицентра.

нее 25—30 км. При малой протяженности Тунгусского взрыва область разрушений делится на две части:

1) область, в которой баллистическая волна пришла раньше взрывной волны — юго-восточная часть области вывала леса, расположенная вдоль конечного участка траектории;

2) область, в которой, наоборот, взрывная волна пришла раньше баллистической волны — северо-западная часть области разрушений. От места взрыва до границы области разрушений, т. е. в среднем на расстояние 25 км, ударная волна взрыва распространяется в течение более 60 сек. Следовательно, в пределах области разрушений вдоль проекции траектории космического тела существуют участки, на которые баллистическая волна на несколько десятков секунд пришла раньше взрывной волны. При достаточной мощности баллистическая волна должна успеть повалить деревья на этих участках еще до прихода взрывной волны.

Таким образом, если мощность баллистической волны была достаточной для вывала леса, то в условиях взрыва тунгусского космического тела (малая высота взрыва и малый угол наклона траектории космического тела) она должна произвести полосовой осесимметрический вывал леса. Причем эта полоса должна пересекать всю область разрушений вдоль траектории от края вывала леса до района эпицентра (рис. 2).

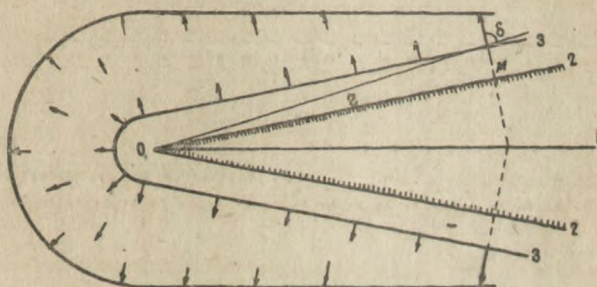


Рис. 2. Схема вывала леса баллистической волной при малом наклоне и малой высоте полета космического тела: 1 — проекция траектории космического тела, 2 — проекция баллистической волны в момент взрыва, 3 — проекция баллистической волны после взрыва, 0 — эпицентр взрыва, $r = OM$ — линейное отклонение направления поваленного дерева от эпицентра, δ — угловое отклонение направления поваленного дерева от эпицентра.

Поскольку ударная волна валит дерево перпендикулярно своему фронту, а проекция фронта баллистической волны в момент взрыва проходит через эпицентр, то при вывале леса баллистической волной должны выполняться следующие условия:

1. Должны существовать углы отклонения направлений поваленных деревьев от направления на эпицентр, близкие к 90° , $\delta = 90$ (рис. 2).

2. На периферии области разрушений должны существовать линейные отклонения r направлений поваленных деревьев от эпицентра, сравнимые с радиусом области разрушений $r = 25—30$ км (рис. 2).

Причем первое условие является необходимым условием вывала леса баллистической волной при малом наклоне траектории и малой высоте взрыва космического тела.

Проведем статистический анализ угловых δ и линейных r отклонений направлений поваленных деревьев от центра разрушений (рис. 1), по фактическим данным карты поваленного леса.

На рис. 3 и 4 представлены распределения угловых отклонений δ и распределение линейных отклонений r направлений поваленных деревьев от центра совокупности всех поваленных деревьев, как векторов. Рис. 3 и 4 показывают, что из всей совокупности поваленных деревьев,

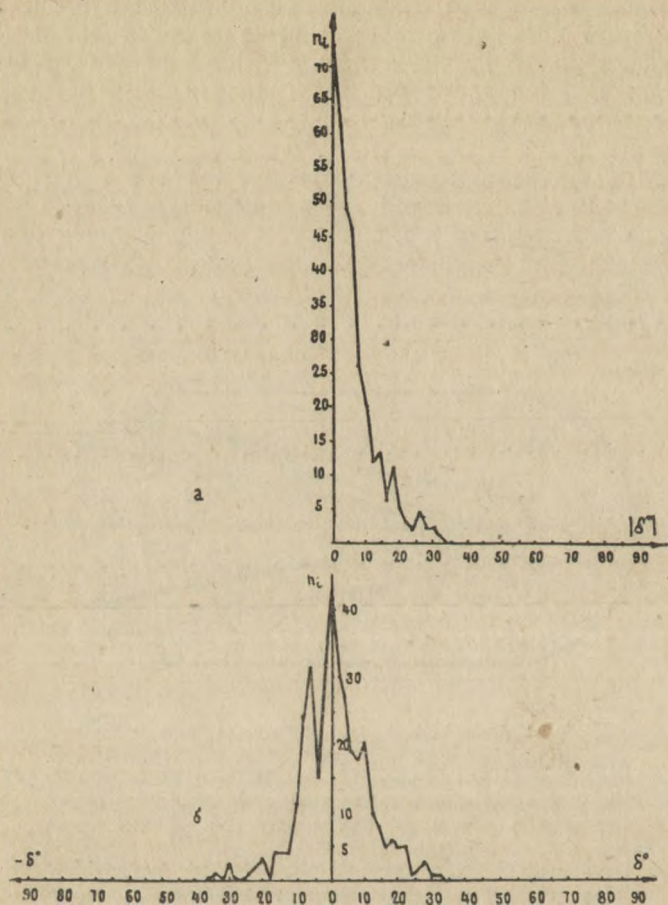


Рис. 3. Распределение угловых отклонений δ направлений поваленных деревьев от эпицентра в районе Тунгусского взрыва 1908 г. Интервал группирования $\Delta\delta = 2^\circ$.

нет ни одного с углом отклонения от эпицентра, превышающим 33° , при среднем квадратичном угле отклонения $\sigma(\delta) = 7^\circ$, т. е. $\delta \ll 90^\circ$ и нет ни одного с линейным отклонением от центра разрушений, превышающим 10 км, при среднем квадратичном отклонении $\sigma(r) = 1,9$ км, т. е. $r \ll 30$ км.

Таким образом, на основании анализа карты поваленного леса можно сделать вывод, что при Тунгусском взрыве баллистическая волна движавшегося космического тела вывала леса не произвела, она не повалила

ни одного дерева, во всей области разрушений вывал леса был произведен только взрывной сферической волной. Факт вывала леса в основном взрывной сферической волной отмечается и другими авторами [5].

По существу, этот вывод является очевидным и непосредственным следствием факта радиальности вывала леса. И действительно, если интенсивность баллистической волны больше интенсивности взрывной волны, то вывал леса должен иметь полосовой осесимметричный характер, чего не наблюдается в действительности. Если же интенсивность взрывной волны больше интенсивности баллистической волны, то вывал леса

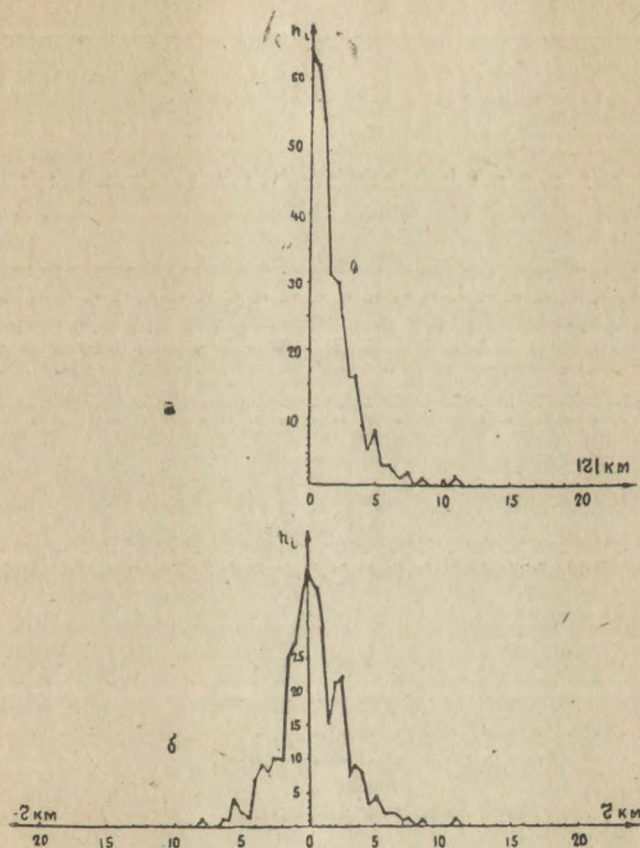


Рис. 4. Распределение линейных отклонений r направленных поваленных деревьев от эпицентра в районе Тунгусского взрыва 1908 г. Интервал группирования $\Delta r = 0,5 \text{ км}$.

должен иметь радиальный характер, что и наблюдается в действительности. Новым результатом статистической обработки карты поваленного леса является оценка протяженности Тунгусского взрыва и вывод о том, что при малой протяженности взрыва к моменту его наступления баллистическая волна существовала над областью разрушений, но ее мощность была меньше мощности взрывной волны и была недостаточной, чтобы произвести вывал леса. Это обстоятельство является существенным, так как оно определяет верхнее значение энергии баллистической волны.

Из экспериментальных данных по крупным взрывам известно, что избыточное давление на фронте ударной волны, которая валит деревья равно $0,1—0,14 \text{ кг/см}^2$ [14]. Тогда в любой точке в пределах всей области

разрушений на земной поверхности избыточное давление на фронте баллистической волны не могло быть более $0,1 \text{ кг/см}^2$, так как баллистическая волна вывала леса не производила. Таким образом, для баллистической волны имеет место условие:

$$\Delta P_0 \leq 0,1 \text{ кг/см}^2, \quad (8)$$

которое выполняется во всей области разрушений, в том числе и в зоне максимального действия баллистической волны.

Это условие можно использовать для оценки верхнего значения энергии баллистической волны Тунгусского космического тела.

Так же как и взрывная сферическая волна, баллистическая волна имеет зону максимального действия, которая расположена в области нерегулярного (трехударного) [15] отражения баллистической волны от поверхности Земли на расстоянии от проекции траектории примерно равным высоте полета тела. В Тунгусском случае при взрыве тела на высоте 5—10 км, минимальное расстояние от эпицентра до зоны максимального действия баллистической волны равно 7—14 км. В зоне максимального действия в результате взаимодействия прямой падающей и отраженной волн образуется головная ударная волна с вертикальным фронтом, которая распространяется вдоль поверхности Земли и производит основные разрушения [15]. В зоне максимального действия давление на фронте головной ударной волны в несколько (в 2—5) раз превышает давление на фронте прямой падающей волны [16] (рис. 5). Поэтому избыточное давление на фронте прямой падающей волны в зоне максимального действия не менее чем в 2 раза меньше давления на фронте головной ударной волны, которая валит деревья, т. е. для прямой баллистической волны на расстоянии $r_2 = \sqrt{2} \cdot H$ (где H — высота взрыва космического тела) от конечного участка траектории имеет место неравенство:

$$\Delta P_0 = 0,05 \text{ кг/см}^2. \quad (9)$$

Известно, что давление ударной баллистической волны можно рассматривать по законам движения ударной волны цилиндрического взрыва [17]. Тогда давление на фронте прямой баллистической волны можно рассчитать по формулам для цилиндрического взрыва, эквивалентного действию баллистической волны [17]:

$$\frac{\Delta P_0}{\bar{P}_1} = \frac{4\gamma}{(\gamma + 1) \cdot (\sqrt{16\sqrt{2}\gamma\alpha R_2^{3/2} + 1} - 1)}; \quad 2 \leq R_2 < \infty, \quad (10)$$

$$\text{где } R_2 = \frac{r_2}{r_0} \text{ — безразмерный параметр,} \quad (11)$$

r_2 — радиус ударной волны в метрах,

$$r_0 = \sqrt{\frac{E_0}{\bar{P}_1}} \text{ — динамическая длина цилиндрического взрыва в метрах,} \quad (12)$$

E_0 — энергия взрыва на единицу длины в кгм,

$\bar{P}_1$ — среднее значение давления в кг/см^2 , в нижнем слое атмосферы толщиной, равной высоте взрыва,

γ — показатель адиабаты Пуассона,

α — постоянный множитель, для цилиндрического взрыва $\alpha = 0,983$.

Подставив значение избыточного давления на фронте баллистической волны $\Delta P_0 = 0,05 \text{ кг/см}^2$ в формулу (10), получим значение безразмерного параметра R_2 . Подставив далее найденное значение R_2 и расстояние $r_2 = \sqrt{2} \cdot H$ в формулу (11), получим значение динамической

длины r_0 эквивалентного цилиндрического взрыва. Далее, по значению r_0 и формуле (12) определим максимальное значение удельной энергии E_0 цилиндрического взрыва, эквивалентного действию баллистической волны.

По значению динамической длины r_0 эквивалентного цилиндрического взрыва имеется возможность определить и размеры космического тела. С точки зрения образования баллистической волны, космическое тело,

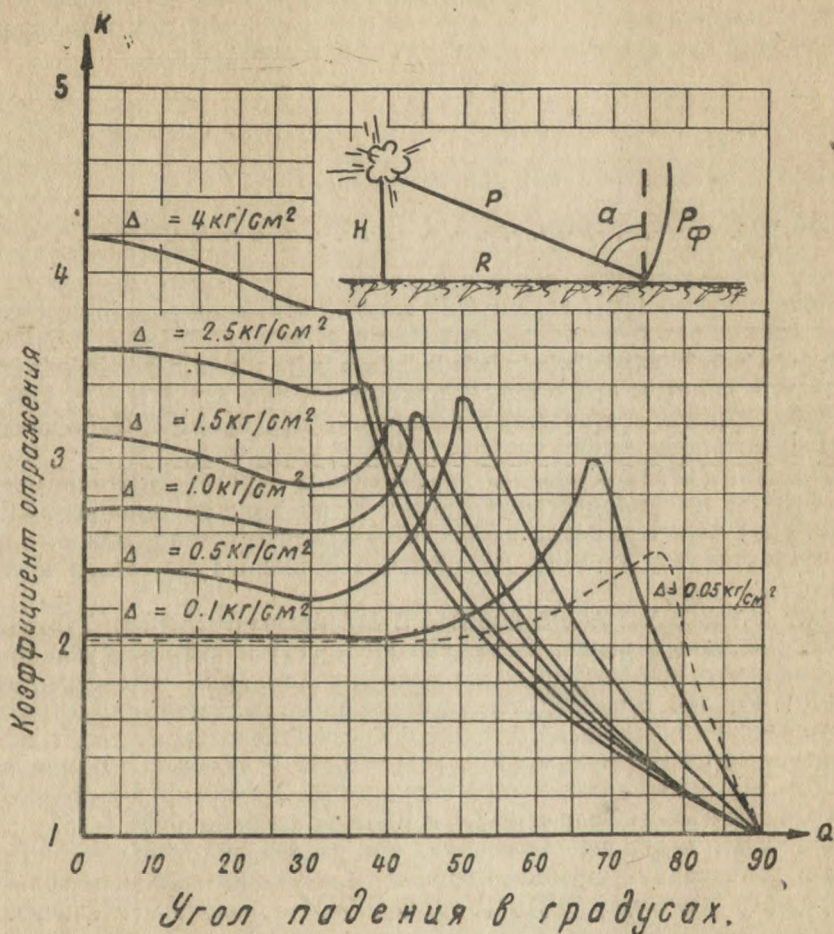


Рис. 5. Зависимость коэффициента отражения K от угла падения α и избыточного давления на фронте падающей волны ΔP .

независимо от его природы и структуры, имеет вполне определенные эффективные размеры.

И действительно, если, по мнению авторов работы [4], космическое тело, как облако пыли, могло образовать единую, общую для центрального сгустка (роя частиц) баллистическую волну, которая в результате резкого торможения «выравнилась» в сферическую волну и произвела все разрушения в тайге, то с точки зрения образования баллистической волны этот сгусток пыли должен иметь соответствующее эффективное сечение. А если же рой частиц был настолько редким, что каждая частица или пылинка образовала отдельную самостоятельную баллистическую волну, то в этом случае не будет ни эффективных размеров тела, ни об-

щей единой для всего роя баллистической волны. Таким образом, если какое-либо тело, независимо от структуры (монолит или рой частиц), при сверхзвуковом полете в атмосфере образовало единую баллистическую волну, то оно имеет вполне определенное значение эффективного поперечного сечения, которое можно рассчитать по известным параметрам баллистической волны.

Связь между диаметром d , эффективным поперечного сечения тела, летящего со сверхзвуковой скоростью v и образующего баллистическую волну, и между характерным параметром эквивалентного цилиндрического взрыва r_0 выражается следующей формулой [18]:

$$r_0 = \sqrt{\frac{c_x \gamma}{2}} \cdot M d, \quad (13)$$

где c_x — коэффициент сопротивления,

$M = \frac{v}{a_1}$ — число Маха,

a_1 — скорость звука в воздухе.

Из уравнений (10), (11) и (13) следует, что величина динамической длины эквивалентного цилиндрического взрыва r_0 полностью и однозначно характеризует параметры космического тела и баллистической волны, образуемой полетом этого тела в атмосфере; при известном r_0 каждому значению скорости соответствует вполне определенное значение диаметра эффективного поперечного сечения космического тела.

Формула (13) показывает, что, определив характерный параметр эквивалентного цилиндрического взрыва r_0 по данным обработки карты поваленного леса и задавая скорость космического тела, можно определить эффективный диаметр поперечного сечения тунгусского космического тела.

Для каждого значения скорости в конкретных условиях Тунгусского взрыва, описанных выше, формулы (10), (11) и (13) при условии (9) дают максимальные размеры тела (для случая шара — его эффективный диаметр). На рис. 6 приводятся максимальные значения диаметра поперечного сечения космического тела в зависимости от скорости его полета, рассчитанные по формулам (10), (11) и (13) и условию (9) для минимального значения $c_x = 0,92$ (при скорости $v > 1$ км/сек.) и для трех значений высоты взрыва тела $H = 5,7$ и 10 км (рис. 6) кривые 1—3.

До сих пор мы не делали никаких предположений относительно механизма и характера Тунгусского взрыва. Все оценки получены только на основании фактических данных о вывале леса и экспериментальных данных по крупным взрывам. Полученные конкретные параметры баллистической волны накладывают вполне определенные ограничения на размеры d , и скорость v космического тела. Как уже отмечалось выше, с точки зрения образования баллистической волны космического тела, независимо от его природы и структуры, можно рассматривать как единое целое с определенными эффективными размерами. Поэтому при рассмотрении любой гипотезы о Тунгусском явлении, независимо от точки зрения исследователя, по-видимому, необходимо учитывать полученную зависимость между размерами тунгусского космического тела и его скоростью, представленную на рис. 6. Графики на рис. 6 (кривые 1—3) дают четкое представление о возможных значениях максимальных размеров тунгусского космического тела в зависимости от его скорости. Например, если авторы работы [4] считают, что тунгусское космическое тело имело скорость 10—50 км/сек, то даже при минимальной скорости $v = 10$ км/сек тело могло иметь диаметр эффективного поперечного сечения не более 70 м, а при скорости $v = 50$ км/сек — не более 14 м.

Если бы тело имело большие размеры, то при этих скоростях оно образовало бы более мощную баллистическую волну, которая должна была бы произвести полосовой вывал леса, чего не наблюдается в действительности (рис. 3 и 4). Но при этих размерах (14—70 м) тунгусское космическое тело облаком космической пыли или роем частиц, по-видимому, быть не может.

Кривые 1—3, представленные на рис. 6, получены на основании фактического материала, они имеют объективное содержание, поэтому при решении вопроса о возможности пылевой или какой-либо другой струк-

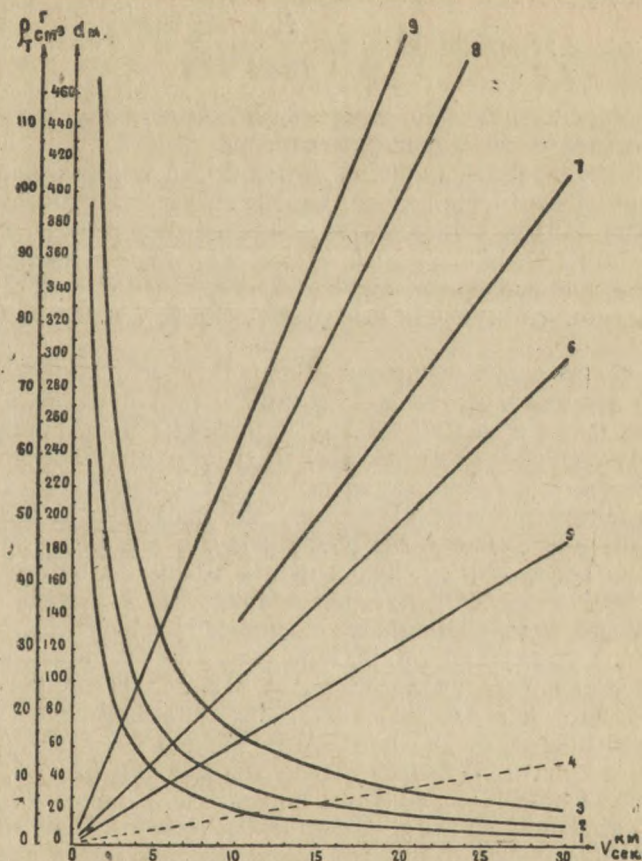


Рис. 6. Зависимость диаметра (1—3) и плотности (4—9) космического тела от скорости при различной высоте взрыва.

1. $H=5$ км, $r_2=7$ км, $c_x=0,92$.
2. $H=7$ км, $r_2=10$ км, $c_x=0,92$.
3. $H=10$ км, $r_2=14$ км, $c_x=0,92$.
4. $H=10$ км, $r_2=14$ км, $c_x=0,92$, $E_K=4 \cdot 10^{23}$ эрг.
5. $H=7$ км, $r_2=10$ км, $c_x=0,92$, $E_K=2,5 \cdot 10^{23}$ эрг.
6. $H=7$ км, $r_2=10$ км, $c_x=0,92$, $E_K=2,5 \cdot 10^{23}$ эрг.
7. $H=10$ км, $r_2=14$ км, $c_x=3,6$, $E_K=4 \cdot 10^{23}$ эрг.
8. $H=7$ км, $r_2=10$ км, $c_x=2,0$, $E_K=2,5 \cdot 10^{23}$ эрг.
9. $H=5$ км, $r_2=7$ км, $c_x=0,92$, $E_K=2 \cdot 10^{23}$ эрг.

туры тунгусского космического тела с этими данными не считаются нельзя — их необходимо учитывать.

Теперь сделаем предположение, что взрыв космического тела и все разрушения в тайге произведены за счет кинетической энергии этого тела. Тогда будет иметь место соотношение

$$E_n \leq E_k = \frac{m_k v_k^2}{2}, \quad (14)$$

связывающее полную энергию E_n , выделившуюся при взрыве, конечную массу m_k и скорость v_k космического тела с его кинетической энергией E_k . При этом предположении из формул (10), (11) и (13) и соотношения (14) найдем минимальные значения возможной плотности космического тела ρ_T :

$$\rho_T = 6,86 \cdot 10^{-2} \cdot c_x^{3/2} \frac{E_k}{r_2^3 a_1^3} \left(\frac{\Delta P}{P_1} \right)^{-4} \cdot v, \quad (15)$$

где $\bar{P}_1$ и $\bar{a}_1$ — среднее значение давления и скорости звука в нижнем слое атмосферы толщиной, равной высоте взрыва.

На рис. 6 представлены кривые зависимости минимально возможной плотности космического тела от его скорости, вычисленные соответственно по формуле (15) и условию (9). Кривые рассчитаны для $H=5, 7$ и 10 км, r_2 соответственно $7, 10$ и 14 км; для трех значений $c_x=0,92; 2$ и $3,6$ и трех минимальных значений энергии $E_k=2 \cdot 10^{23}; 2,5 \cdot 10^{23}$ и $4 \cdot 10^{32}$ эрг, соответствующих высоте взрыва $5, 7$ и 10 км (рис. 6, кривые 4—9).

Физические кривые 4—9 на рис. 6 означают, что, задавая определенную скорость космического тела, по формуле (14) находим необходимую массу и вкладываем ее в максимальные размеры тела, определенные по формуле (13), тогда по формуле (15) получаем минимально возможное значение плотности, соответствующее данной скорости этого тела. Например, если авторы работы [4] считают, что космическое тело двигалось со скоростью 10 — 50 км/сек и все разрушения в тайге произошли за счет его кинетической энергии, то при скорости 10 км/сек оно должно иметь массу около 800 тысяч тонн, которая необходима для того, чтобы кинетическая энергия тела сравнялась с энергией взрыва $E_k=4 \cdot 10^{23}$ эрг (около 10 млн. т тротила) [5, 8, 9]. При скорости 50 км/сек необходимая масса тела должна быть около 32 тысяч тонн. Если теперь мы вложим эти 800 тыс. тонн в максимальные размеры тела диаметром 70 м, то получим минимальное значение плотности, равное $4,5$ г/см³ (рис. 6, кривая 4), а при скорости 50 км/сек, когда мы вложим 32 тыс. тонн в размеры тела диаметром 14 м, получим плотность не менее 22 г/см³.

Если не считаться с этими расчетами и принять для космического тела меньшую плотность, то при той же массе тело будет иметь большие размеры. Тогда, двигаясь с той же скоростью, тело с большими размерами создаст более мощную баллистическую волну, которая должна произвести полосовой вывал леса, что противоречит действительности. Отсутствие полосового вывала леса ограничивает верхнее значение энергии баллистической волны. Исходя из соотношения (14), при известной скорости это обстоятельство ограничивает размеры и плотность космического тела. При скорости 10 км/сек космическое тело не может иметь плотность менее $4,5$ г/см³. Если даже принять, что протяженность тела была в несколько раз больше диаметра поперечного сечения, то и в этом случае плотность тела не может быть меньше 1 — 5 г/см³ соответственно для скорости 10 и 50 км/сек.

Таким образом, при скорости 10 км/сек и более эффективный диаметр космического тела не мог быть более 50 — 70 м, а соответствующая плотность не могла быть менее $4,5$ г/см³ (или 1 г/см³ для сильно вытя-

нутого тела). Но при таких размерах и плотности тунгусское космическое тело, по-видимому, не могло быть роем частиц или облаком космической пыли.

Эти выводы мы получили из простого и очевидного факта, что вывал леса имеет радиальный характер и произведен взрывной волной, что поэтому мощность баллистической волны слабее взрывной волны. Определенное значение мощности баллистической волны, которая существовала над областью разрушений, но не произвела вывал леса, накладывала вполне определенные ограничения на размеры и скорость тела.

Из всего сказанного можно сделать вывод, что независимо от своей природы тунгусское космическое тело должно быть компактным и достаточно плотным единым телом с эффективным диаметром не более нескольких десятков метров.

Рассмотрим другую гипотезу о Тунгусской катастрофе, которая основана на предположении о возможности так называемого «теплового взрыва» монолитного космического тела при полете в плотных слоях атмосферы за счет его кинетической энергии [1].

Так называемый «тепловой взрыв» тунгусского *космического тела по К. П. Станюковичу, возможен при конечной скорости $v_k = 30$ км/сек [1, 5]. Тогда диаметр космического тела не может быть более 23 м (рис. 6, кривая 3), а соответствующая плотность тела не может быть меньше 13 г/см^3 (рис. 6, кривая 4). (В действительности тело должно иметь плотность около $50\text{--}100 \text{ г/см}^3$ (рис. 6, кривая 7), так как при скорости 30 км/сек значение c_x равно не 0,92 как это принято в расчете минимальных значений ρ_T , а значительно больше: $c_x = 3\text{--}4$ [1]. Если плотность принять меньше этого значения, то в предположении, что тело взорвалось за счет кинетической энергии для того, чтобы сохранить необходимую массу, оно должно иметь большие размеры, чем 23 м. Но при больших размерах при скорости 30 км/сек баллистическая волна будет иметь большую мощность и должна будет произвести полосовой вывал леса, что не наблюдается в действительности.

Таким образом, с точки зрения гипотезы Станюковича мы приходим к дилемме:

1. Либо мы должны считать тело сверхплотным, $\rho_T = 13 \text{ г/см}^3$ и более.
2. Либо должны отказаться от предположения, что взрыв тела произошел за счет его кинетической энергии и считать, что тело взорвалось за счет внутренней энергии самого тела — химической или ядерной. При этом предположении соотношение (14) не имеет места и вышеизложенные противоречия устраняются.

Эти примеры наглядно показывают, насколько важно при изучении тунгусской проблемы учитывать соотношение интенсивностей взрывной и баллистической волны.

Оценка верхнего значения мощности баллистической волны дает еще одну очень интересную возможность анализа возможных значений параметров космического тела. Предположим, что взрыв космического тела произошел за счет его кинетической энергии. Тогда согласно формуле (14) при определенной скорости тело должно иметь определенную массу, необходимую для создания наблюдаемой мощности взрыва. По известной массе и плотности для каждого конкретного тела (например, ледяного — $\rho_T = 1 \text{ г/см}^3$, каменного — $\rho_T = 3 \text{ г/см}^3$ и железного — $\rho_T = 7,8 \text{ г/см}^3$) определяются его размеры. По известной скорости и размерам тела определяется интенсивность баллистической волны. Эта задача достаточно хорошо разработана в литературе [17, 18]. И наоборот, если задана интенсивность баллистической волны, то по известному параметру r_0 и размерам тела определяется скорость этого тела.

Кривая 4 на рис. 6 показывает, что в тунгусском случае ледяное, каменное и железное тело на конечном участке пути могут иметь скорость соответственно не более 2, 7 и 18 км/сек. Если бы эти тела имели большую скорость, то они образовали бы более мощную баллистическую волну и произвели бы полосовой вывал леса, чего не наблюдается в действительности. Например, при скорости 30 км/сек ледяное тело должно иметь массу около 90 тысяч тонн и диаметр около 55 м. При таких размерах и скорости на конечном участке пути при подлете к точке взрыва ледяное тело должно произвести полосовой вывал леса шириной около 100 км, каменное тело — около 70 км, железное тело — около 40—50 км. Ничего подобного в действительности не наблюдается.

Таким образом, реальные (ледяное, каменное и железное) тела с плотностью $1-8 \text{ г/см}^3$ в тунгусских условиях не могли иметь скорость более 2, 7 и 18 км/сек (в действительности эти скорости должны быть еще меньше, так как к реальным условиям ближе подходит кривая 5 (рис. 6), по которой скорости будут равны соответственно 0,6; 2 и 5 км/сек.). Но при таких малых скоростях взрыв космического тела в воздухе за счет его кинетической энергии невозможен [1]. При таких скоростях тело должно было упасть на Землю как обычный метеорит.

Из всего сказанного можно сделать вывод, что тунгусское космическое тело не могло быть облаком космической пыли или роем частиц, т. е. оно не могло быть кометой, оно не могло быть также и обычным ледяным, каменным или железным метеоритом.

Тунгусское явление представляет собой, по-видимому, новое еще неизвестное и более сложное явление природы, чем это считалось до сих пор.

ЛИТЕРАТУРА

1. Станюкович К. П., Шалимов В. П. О движении метеорных тел в атмосфере Земли. Метеоритика, вып. 20, 54, 1960.
2. Бронштэн В. А. К вопросу о движении в атмосфере Тунгусского метеорита. Метеоритика, вып. 20, 72, 1960.
3. Фесенков В. Г. О природе комет и условиях падения их на Землю. Метеоритика, вып. 21, 3, 1961.
4. Плеханов Г. Ф. и др. Некоторые итоги изучения проблемы Тунгусского метеорита. Геология и Геофизика, № 1, 111—122, 1963.
5. Станюкович К. П., Бронштэн В. А. О скорости и энергии Тунгусского метеорита. ДАН СССР, т. 140, № 3, 583, 1961.
6. Флоренский К. П. Проблема космической пыли и современное состояние изучения Тунгусского метеорита. Геохимия, № 3, 1963.
7. Кринов Е. Л. Тунгусский метеорит. Изд-во АН СССР, 1949.
8. Золотов А. В. Новые данные о Тунгусской катастрофе, 1908. ДАН СССР, т. 136, № 1, 84, 1961.
9. Маслов Е. В. К вопросу о высоте и мощности взрыва Тунгусского метеорита. Сб. ст. «Проблема Тунгусского метеорита». Изд. Томского университета. Труды Географического общества СССР (Томский отдел), том № 5, 1963.
10. Шиголов Б. М. Математическая обработка наблюдений. Физматгиз, 1962.
11. Фаст В. Г. К определению эпицентра взрыва Тунгусского метеорита по характеру вывала леса. Сб. ст. «Проблема Тунгусского метеорита». Изд. Томского университета. Труды Геофизического общества СССР (Томский отдел), том № 5, 1963.
12. Садовский М. А. Опытные исследования механического действия ударной волны взрыва. Труды сейсмологического института, № 116, Изд. АН СССР, 1945.
13. Покровский Г. И. О возможных механических явлениях при движении метеорных тел. Метеоритика, вып. 20, 1961.
14. Гвоздев М., Яковкин В. Атомное оружие и противоатомная защита. Изд. ДОСААФ, М., 1958.
15. Яковлев Ю. С. Гидродинамика взрыва. Судпрогиз, 1961.
16. Глушко А. П. Атомное оружие и противоатомная защита. Военизг, 1958.
17. Коробейников В. П. и др. Теория точечного взрыва. Физматгиз, 1961.
18. Черный Г. Г. Течения газа с большой сверхзвуковой скоростью. Физматгиз, 1959.

БИБЛИОГРАФИЯ ЛИТЕРАТУРЫ О ТУНГУССКОМ МЕТЕОРИТЕ

Н. В. ВАСИЛЬЕВ, В. А. ФИЛИМОНОВА

За пятьдесят с лишним лет, прошедших с начала изучения Тунгусского метеорита, в различных литературных источниках было опубликовано значительное число статей и других материалов, посвященных этому вопросу. Нередко эти работы напечатаны в изданиях, ставших ныне библиографической редкостью, или вышедших за рубежом. Особый интерес представляют многочисленные, рассеянные в дореволюционных газетах и журналах сообщения о геофизических аномалиях лета 1908 г., аномалиях, оказавшихся впоследствии связанными с Тунгусским падением.

Непрекращающаяся работа по исследованию этого замечательного явления, а также большой интерес широких кругов общественности к рассматриваемому феномену делает оправданной попытку составления библиографического указателя по проблеме Тунгусского метеорита. Авторами настоящей публикации была предпринята попытка такого рода.

Приводимый ниже список работ разделен нами на следующие разделы:

I. Публикации по Тунгусскому метеориту до 1920 года (отечественные и зарубежные)

Известно, что в этот период времени вопрос о Тунгусском метеорите как таковой еще не стоял. Тем не менее, в 1908 г. и в примыкающие к нему годы было опубликовано значительное число заметок, характеризующих аномальные геофизические явления лета 1908 г., прежде всего наблюдения пролета над Центральной Сибирью гигантского болида и сообщения о необычайных световых явлениях конца июня — начала июля 1908 г. Эти сведения имеют принципиальный интерес, ибо они сообщены современниками события по горячим следам.

II. Научные публикации по Тунгусскому метеориту (отечественные и зарубежные).

III. Научно-популярные статьи и заметки по рассматриваемым проблемам на русском и иностранном языках.

Следует заметить, что этот раздел включает в себя наряду с материалами, имеющими несомненную научную ценность, публикации явно ненаучные, хотя, быть может, и популярные. Примером может служить «гипотеза» о Тунгусском метеорите как о световом луче, генерируемом лазером, посланном инопланетной цивилизацией. Нам представляется, однако, вероятным, что материалы такого рода будут представлять инте-

рес для историков науки, которые изучают не только историю ее успехов, но и историю заблуждений, которые неизбежно возникают при разработке крупных научных проблем.

Публикуемая ниже библиография охватывает около 400 названий. Есть основание полагать, что она не является всеобъемлющей и что какое-то количество материалов, имеющих отношение к рассматриваемому вопросу, не попало в поле зрения авторов. Представляется вероятным, однако, что сказанное относится лишь к сравнительно небольшим заметкам и отдельным статьям популяризаторского характера, но не к работам, в которых изложен основной фактический материал.

Внутри разделов принято алфавитное расположение фамилий авторов или заглавий.

Работы одного автора показаны в хронологическом порядке их опубликования.

Часть материалов, взятых из разных библиографических источников, не просмотрена *de visu* ввиду их отсутствия в фондах библиотек.

Большое число работ и ограниченный объем публикации не позволяют дать аннотаций к подавляющему числу статей и заметок, поэтому авторы ограничились лишь краткими замечаниями к некоторым из них.

В настоящий список включены работы, вышедшие по 1965 год включительно.

Указатель составлен доц. Томского медицинского института Н. В. Васильевым и ст. библиографом научной библиотеки Томского гос. университета В. А. Филимоновой.

Редактор — доц. Н. В. Васильев.

I. Публикации о Тунгусском метеорите до 1920 г. (отечественные и зарубежные)

Адрианов. Пришелец из небесного пространства. — «Сибирская жизнь», 1908, 29 июня.

Апостолов Л. Еще о светлой ночи 30 июня 1908 г. — «Мироведение», т. XV, вып. 3, 1926.

Белая ночь [на 18 июня 1908 г. в г. Кургане]. — «Сибирская жизнь», 1908, 26 июня.

Болид 16 июля 1908 г. — «Астрономическое обозрение», 1908, № 5, с. 160.

Перепечатка фантастических сведений из газеты «Голос Томска» о падении метеора верстах в 11 от Канска.

Глазенап С. Ясные зори. — «Новое время», 1908, № 11599.

Димо Н. Сложная радуга и белая ночь в Саратове. — «Метеоролог. вестник», т. XVIII, № 7, 1908.

Еще к падению метеора. — «Голос Томска», 1908, 4 июля.

Первоначальные сведения о падении болида в 11 верстах от Канска («Голос Томска», 1908, 3 июля) не подтвердились. В ответ на запрос редакции была получена телеграмма: «Удар был порядочный. Падения камня не было».

Землетрясение. — «Сибирская жизнь», 1908, 27 июля.

Сообщается о сильном колебании почвы в Канском уезде 17 июня 1908 г. в 7 ч. утра, как о следствии предполагаемого взрыва упавшего большого аэролита.

Иванов. [О вечерних сумерках в ночь с 17 на 18 июня 1908 г.] — «Астрономическое обозрение», 1908, № 5, с. 150.

Кулеш Г. К. [Корреспонденция о падении болида 17 (30 июня 1908 г.)] — «Сибирь» [Иркутск], 1908, 2 июля.

Метеор 7 сентября 1908 г. — «Астрономическое обозрение», 1908, № 6, с. 179.

Сообщение о Филимоновском метеорите.

Метеор, молния или землетрясение? — «Голос Томска», 1908, 15 июля.

Наблюдение в селе Карелинском за летящим небесным телом. Предполагается, что это была шаровая молния.

Метеорологические наблюдения по международной системе станций 2-го разряда в России. — «Летописи Николаевской Главной физической обсерватории». Ч. II, СПб., 1910.

Наблюдения метеорологической обсерватории Московского сельскохозяйственного института. 1908 г. М., 1910, июнь 1908 г., с. 30—36 (3 табл.).

Нагорский В. Ф. Ночное сияние, наблюдавшееся в северной стороне неба 17—18 и 18—19 июня в местностях среднего течения Волги. — «Метеорол. вестник», 1908, июль.

Надеин И. Круги около солнца. — «Метеорол. вестник», 1908, с. 411.

Надеин И. Светящиеся облака. — «Записки по гидрографии», вып. 31. 1909, с. 381—387.

Наши корреспонденты. — «Сибирь», 1908, 2 июля.

Собранные корреспондентами «Сибири» сведения у очевидцев о необычайных небесных явлениях 17 июня 1908 г.

Необыкновенная заря 30 июня нового стиля [1908 г.] — «Метеорол. вестник», 1908, № 8, с. 289.

Необычайная заря в ночь с 17 на 18 июня 1908 г. — «Астрономическое обозрение», 1908, № 6, с. 174.

Необычайные сумерки в ночь с 30 июня на 1 июля 1908 г. — «Астрономическое обозрение», 1908, № 6, с. 178.

Подробности падения болида. — «Голос Томска». 1908, 3 июля.

Сообщение об остановке поезда вследствие падения раскаленного болида в 11 верстах от г. Канска.

Руднев Д. Д. Светящиеся ночные облака. — «Труды студенческих научных кружков физико-математического факультета С.-Петербургского ун-та», т. 1, вып. 1, 1909, с. 69—70.

Явление светящихся ночных облаков наблюдалось летом 1908 г. почти повсеместно в Средней России и Европе до Копенгагена. Особенно сильным было оно в ночь с 17 на 18 июня (с 30 июня на 1-е июля) 1908 г.

Руднев Д. Д. Светящиеся облака в Орловской губернии. — «Метеорол. вестник», т. 18, № 7, 1908, с. 271.

О светлых ночах с 17 по 18 июня 1908 г. в Орловской губернии.

Светящиеся облака. — «Русское слово», 1908, 20 июня.

О сиянии неба, о серебристых облаках на севере, наблюдавшихся в Аткарске, Киеве и др. местах России.

Святский Д. О. Иллюминация сумерек. — «Природа и люди», 1908, № 37.

Автор предполагает, что световые явления, наблюдавшиеся ночами 30 июня и 1 июля 1908 г. можно объяснить тем, что кристаллы облаков-циррусов, отражая лучи солнца, освещали небосклон, что и вызвало этот эффект.

Северное сияние 30 июня н. с. 1908 г. — «Метеорол. вестник», 1908, № 12, с. 423.

Сообщение из Берлина, Копенгагена и Кенигсберга о световых явлениях 17 июня 1908 г. — «Амурский край» [Благовещенск], 1908, № 136.

Сообщение из Берлина о световом явлении 17—18 июня 1908 г. — «Сибирская заря» [Иркутск], 1908, № 142.

Сообщение о полярном сиянии 17 июня 1908 г. в г. Друскениках Гродненской губернии. — «Новое время», 1908, 25 июня (8 июля).

Сообщение о пролете болида над Кежмой. — «Красноярец», 1908, 13 июля.

О наблюдениях очевидцев Тунгусского падения.

Сообщение о северном сиянии в ночь на 18 июня 1908 г. в Пензе, Тирасполе и др. местах. — «Далекая окраина» [Владивосток], № 346, приложение.

Сообщение из Пензы, Славянска и Тирасполя о наблюдавшемся в ночь на 18 июня северном сиянии. — «Дальний Восток» [Владивосток], 1908, № 134, приложение.

Срезневский Б. Пурпурные зори в окрестностях Юрьева. — «Метеорол. вестник», 1908, с. 270.

Томилиа. Описание светового явления, происходившего 17 июня текущего года в Тимском уезде Курской губернии, в слободе Мантурове и других местах того же уезда. — «Природа и люди», 1908, № 37, с. 665.

Шенрок А. М. Заря 17 (30) июня 1908 г. — «Ежемесячный бюллетень Николаевской Главной физической обсерватории», 1908, № 6.

Шипчинский В. Северное сияние 30 июня 1908 г. — «Метеорол. вестник», т. XVIII, 1908, с. 423.

Критика взглядов Бренделя, толкующего светлую ночь 17 (30) июня как северное сияние.

Эффектное зрелище. — «Сибирская жизнь», 1908, 20 июня.

О необыкновенном закате солнца в г. Томске 17 июня 1908 г.

Яковлев Г. — «Астрономическое обозрение», 1908, № 6, с. 176.

О наблюдавшихся световых явлениях на северо-западе горизонта в дер. Юрьевке Херсонской губ. Елисаветградского уезда с 17 по 30 июня и 2—6 июля 1908 г.

Литература на иностранных языках, вышедшая до 1920 года

F. S. Archenhold. Über die außergewöhnliche mitternächtliche Lichterscheinung am 30. Juni 1908. 8 Jargang, H. 19, Juli 1, 1908.

M. Brendel. Über das Nordlicht vom 30. Juni. Meteorologische Zeitschrift, N 12, 1908.

T. W. Backhouse. The «Sky—coloured Clouds». Nature, v. 78, N 2015, 1908.

F. Busch, Chr. Jensen. Tatsachen und Theorien der atmosphärischen Polarisation nebst Anleitung zu Beobachtungen verschiedener Art. Mitteilungen aus dem Physikalischen Staatslaboratorium in Hamburg. Wissenschaft. Anstalten, XXVIII, 1910, Hamburg, 1911.

F. Busch. Leuchtende Nachtwolken am Nordhorizont. Meteorologische Zeitschrift, N 7, 1908.

F. Busch. Über die Leuchterscheinung in den Nächten vom 30. Juni bis zum 2. Juli 1908 (Fortsetzung). Bericht. Mitteilungen der Vereinigung der Astronomie und Kosmischen Physik, 18 Jahrgang, 1908.

T. W. Backhouse. The «Sky—coloured Clouds» or Twilight Glows. Nature, August 20, 1908.

B. Brauner. The recent nocturnal glows. Nature, July 9, 1908.

M. Brendel. Сообщение. Physikalische Zeitschrift, N 20, 1908.

O. v. Gellhorn. Leuchtende Nachtwolken? Weltall, 8 Jahrgang, H. 19, Juli 1, 1908.

O. v. Bellhorn. Сообщение. Weltall, H. 222, 8 Jahrgang, 1908.

Ch. I. P. Cave. A remarkable solar halo. Nature, July 16, 1908.

Dämmerungserscheinungen am 30 Juni und 1 Juli in England. Meteorologische Zeitschrift, September, 1908.

W. F. Denning. Genial June. Nature, 9 July, 1908.

W. F. Denning. The Sky Glows. Nature, 16 July, 1908.

Eine eigenartige Lichterscheinung. Meteorische Zeitschrift, Bd. 25, H. 8, 1908.

E. Esclançon. Sur les variations de la durée du crépuscule. Comptes rendus hebdomadaires des Séances l'Acad. de Science. Séance du 6 Juillet, 1908.

W. Foerster. Mitteilung betreffend das Erscheinen der sogenannten leuchtenden Wolken. Mitteilungen der Vereinigung von Freunden der Astronomie, S. 62, 1908.

Короткие сообщения. Hemel en dampkring, 1908X1909, t. VI, S. 139—141.

Короткие сообщения. Ciel et terre, 29, N 10, 16 Juillet 1908.

- Короткие сообщения. Bulletin de la Société astronomique de France, p. 476, p. 375, 1908.
- Короткие сообщения. Nature, N 20022, V. 78, p. 305, 1908.
- W. Krebs. Photographien der Nachtdämmerung des 30. Juni 1908 und einer Bishopschen Aureole. Meteorologische Zeitschrift, Februar, 1910.
- W. Krebs. Eine interessante Farbenerscheinung. Weltall, 8 Jahrgang, H. 23, September 1, 1908.
- W. Krebs. Photographien der Nachtdämmerung des 30. Juni 1908 und einer Bishopschen Aureole. Physikalische Zeitschr., 9 Jahrgang, 1908.
- W. Kaufmann. Leuchtende Wolke. Physikalische Zeitschrift, 9 Jahrgang, N 18, 1908.
- W. Köppen. Abnorme Dämmerungen am 29 Juni bis 1 Juli 1908. Meteorologische Zeitschrift, Dezember 1908.
- W. Krebs. Die Lichterscheinungen am Nachthimmel des 30. Juni 1908. Das Weltall, 9 Jahrgang, H. 1, 1 Oktober, S. 9, 1908.
- Lueurs crépusculaires du 30 juin et du 1-er juillet. Revue néphologique, juillet N 31, p. 240, 1908.
- Lueurs crépusculaires. Bulletin mensuel de l' Observatoire Météorologique de l' Université d' Upsala. V. XL, 1908, p. 42.
- Lueur crépusculaire. Liel et terre, v. 29, N 10, 16 juillet, p. 252, 1908.
- The night — glows at the beginning of July. Nature, August 20, 1908, p. 377.
- I. W. Phillips. Brilliant sky glows, June 30 and July 1, 1908. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 34, N 147, p. 202, July 1908.
- I. Plassman. Сообщение. Kosmische Physik, ss. 62—70, 1908.
- Reimann. Сообщение. Meteorologische Zeitschrift, N 7, 1908.
- M. Rudzsky. Meteorologische Zeitschrift, N 7, 1908.
- The Recent Night — Glows. Nature, July 30, p. 306, 1908.
- R. D. Les lueurs crépusculaires dans les nuits du 29 juin au 2 juillet 1908. Revue Scientifique, t. J, N 8, p. 242, 1908.
- F. de Roi. Les illuminations crepusculaires des 30 juin 1-er juillet 1908. Gazette astronomique, N 8, p. 61, 1908.
- Report on twilight phenomena on June 30 and July 1 1908 in Holland. Kon. Ned. Met. Inst. Onweders, Optische Verschijnseln, v. 29, 1908, p. 92.
- Сообщения. Natur und Kultur, 1908.
- Сообщения. Wiener Urania, 1908.
- Сообщения. Hamburgischer Korrespondent, 3 und 30 Juni 1908.
- Сообщения. English Mechanic, 1908.
- Сообщение. Nordlivländische Zeitung, N 140, 1908.
- Сообщение. Nature, September 3, p. 440, 1908.
- Сообщение. Nature, July 9, p. 228, 1908.
- Сообщение. Nature, July 16, p. 263, 1908.
- Сообщение. Popular Astronomy, v., p. 455, 1908.
- C. I. Stevens. A long lived solar halo. Nature, July 9, 1908, p. 221.
- Сообщение. Symon's Meteorological Magazine. N 519, July 1908, v. NLIII, p. 119, 1908.
- A. Schoenrock. Dämmerungserscheinungen am 30 Juni 1908 in Rußland. Meteorologische Zeitschrift, August 1908.
- A. Stentzel. Die Dämmerungsanomalien im Sommer 1908. Meteorologische Zeitschrift, Oktober, 1909.
- R. Süring. Die ungewöhnlichen Dämmerungserscheinungen im Juni und Juli 1908. Berichte der Preussischen Meteorologischen Institute, s. 79, 1908.
- Weber. Сообщение. Astronomische Nachrichten, Bd. 178, N 4262, 1908.
- E. Wasmuth. Über eine merkwürdige Nordlichterscheinung. Meteorologische Zeitschrift, Dezember, 1909, ss. 572—573.
- F. H. Wilterdink. Über die Lichterscheinung am Nachthimmel aus dem Anfang des Juli. Astronomische Nachrichten, N 4270, Bd. 178, 1908.
- M. Wolf. Über die Lichterscheinungen am Nachthimmel aus dem Anfang des Juli. Astronomische Nachrichten, Bd. 178, N 4266, 1908.
- M. Wolf. Meteorologische Zeitschrift, Dezember, 1908.

II. Научные публикации о Тунгусском метеорите (отечественные и зарубежные)

Астапович И. С. Абсолютная яркость болидов и метеоров. — «Бюллетень коллективных наблюдений любителей астрономии», 1932, № 16, с. 33—35.

Астапович И. С. Новые материалы по полету большого метеорита 30 июня 1908 г. в Центральной Сибири. — «Астрономический журнал», т. 10, вып. 4, 1933, с. 465—486. Библиогр.: 66 назв.

Краткий обзор прежних работ. Новые материалы о Тунгусском метеорите. Новые показания очевидцев. О геофизических явлениях, сопровождавших полет, о мощности взрыва. Оценка яркости, цвета, формы болида, характера взрыва, скорости полета. Найдены пределы для траектории и радианта метеорита.

Астапович И. С. Новые исследования падения большого сибирского метеорита 30 июня 1908 г. — «Природа», 1935, № 9, с. 70—72. Библиогр.: с. 72 (5 назв.).

Астапович И. С. Метеоритные кратеры на поверхности Земли. — «Мироведение», т. XXV, № 2, 1936, с. 92—103. Разд.: «Сибирские кратеры», с. 101—103. Библиогр.: с. 103 (20 назв.).

Астапович И. С. Результаты аэрофотосъемки района падения Тунгусского метеорита. — «Бюллетень Центр. Комиссии по метеорам», 1939, № 1, с. 2—3.

Астапович И. С. Некоторые данные о аэрофотосъемке места падения большого сибирского метеорита 30 июня 1908 г. — «Бюллетень Центр. Комиссии по метеорам», 1940, № 16, с. 3—4.

Астапович И. С. Впечатление первых европейцев о буреломе Тунгусского метеорита. — «Природа», 1948, № 5, с. 26—27.

Астапович И. С. Землетрясение 30 июня 1908 г. в Енисейской тайге в связи с падением Тунгусского метеорита. — «Природа», 1948, № 1, с. 86—87.

Астапович И. С. Большой Тунгусский метеорит. 1. История исследования. 2. Результаты исследований. — «Природа», 1951, № 2, с. 23—32; № 3, с. 13—23. Библиогр.: с. 22—23 (59 назв.).

Астапович И. С. Метеорные явления в атмосфере Земли. М., Физматгиз, 1958. Библиогр.: с. 591—624 (1004 назв.).

О Тунгусском метеорите: на с. 515.

Астапович И. С. Несостоятельность гипотезы падения на Землю Тунгусского метеорита 30 июня 1908 г. — «Астрономический циркуляр», 1963, апрель, 15, № 238, с. 2—4.

Белых С. Я. Астрономические определения по Подкаменной Тунгуске. — «Известия Всесоюз. Треста основных геодез. и грав. работ», 1934, № 6.

Бережной В. Г. и Драпкина Г. И. Изучение аномального прироста леса в районе падения Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 162—169. Библиогр.: 6 назв.

Болота района падения Тунгусского метеорита. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 34—47.

Перед загл. авт.: Ю. А. Львов, Л. И. Лагутская, Г. М. Иванова и др. Библиогр.: 15 назв.

Бояркина А. П., Демин Д. В. и Фаст В. Г. О статистической характеристике вывала леса в районе взрыва Тунгусского метеорита. — «Доклады Второй сибирской конференции по математике и механике. 24—29 сент. 1962 г.» Томск, 1962, с. 155.

Бронштэн В. А. К вопросу о движении в атмосфере Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 20, 1961, с. 72—86. Библиогр.: 15 назв.

Бронштэн В. А. Проблемы движения крупных метеоритов. — «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 75—81. Библиогр.: 27 назв.

Васильев Н. В. Тунгусская катастрофа 1908 года и ее влияние на здоровье населения Тунгусско-Чунского района Красноярского края. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 134—138. Библиогр.: 7 назв.

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.

Вернадский В. И. О необходимости организованной научной работы по космической пыли. Доклад, прочитанный в Москве на заседании Комитета по метеоритам Академии наук СССР 28 февраля 1941 г. — «Проблемы Арктики», 1941, № 5, с. 55—64. Библиогр.: 21 назв.

Вернадский В. И. Об изучении космической пыли. — «Мироведение», 1932, № 5, с. 32.

Виноградов А. П. Академик В. И. Вернадский и метеоритика. — «Метеоритика», вып. 4, 1948, с. 3—9.

Вознесенский А. В. Падение метеорита 30 июня 1908 г. в верховьях р. Хатанги. — «Мироведение», т. XIV, № 1, 1925, с. 25—38.

Описание сейсмических явлений, сопровождавших падение метеорита. Световые явления замечены лишь 17% наблюдателей в восточной части области.

Вронский Б. И. Краткий обзор исследований внеземной пыли. — «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 41—50.

Приводятся результаты выделения и изучения различными методами «космических шариков», в том числе приводятся данные по сбору шариков из почв района падения Тунгусского метеорита.

Гипотеза профессора П. Л. Драверта в свете результатов экспедиции 1960 года. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 173—176.

Перед загл. авт.: Н. В. Васильев, Ю. А. Львов, А. Б. Ошаров и др.

Гипотеза проф. П. Л. Драверта о падении двух глыб Тунгусского метеорита на правобережье р. Кети не подтверждается. Бурелом на р. Кети объясняется как следствие ураганов, случающихся изредка в таежных местах.

Демин Д. В. О среднем квадратическом отклонении азимутов поваленных деревьев, как параметра вывала. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 94—96.

Драверт П. Л. Утраченные метеориты Азиатской части СССР. — «Метеоритика», вып. 4, 1948, с. 102—111.

В числе других метеоритов упоминается и Тунгусский метеорит.

Драверт П. Л. Бурелом и ожог леса бассейна р. Кети. — «Метеоритика», вып. 4, 1948, с. 112—114.

Драверт П. Л. и Астапович И. С. К вопросу об ощущении лучистой теплоты болидов. — «Природа», т. 27, № 3, 1938, с. 108—109.

Приводятся свидетельства очевидцев падения болидов (в том числе и Тунгусского), об ощущении теплоты при их полете. В дополнение к ст. П. Л. Драверта И. С. Астапович приводит предположительные данные, о том, что яркость Тунгусского метеорита превосходила 20- или 22-звездную величину.

Емельянов Ю. М. Радиофотографическое исследование срезов деревьев из района падения Тунгусского метеорита. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 153—158. Библиогр.: 6 назв.

Емельянов Ю. М. и Некрасов В. И. Об аномальном росте древесной растительности в районе падения Тунгусского метеорита. — «Доклады АН СССР», т. 135, № 5, 1960, с. 1266—1269.

Ерохина А. А. Таежные гумусированные длительно-сезонно-мерзлотные почвы тайги Красноярского края (по данным района падения Тунгусского метеорита). — «Тезисы докладов к конференции почвоведов

Сибири и Дальнего Востока» (ноябрь—декабрь 1962 г., Новосибирск). Горно-Алтайск, Кн. изд., 1962, с. 70—72.

Журавлев В. К. К вопросу об интерпретации геомагнитного эффекта 1908 года. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 195—197. Библиогр.: 17 назв.

Журавлев В. К., Кошелев В. А. и Васильев Н. В. Поиски восточного вывала. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 163—167.

К вопросу о гипотезе И. С. Астаповича о существовании направленного вывала леса восточнее центра, установленного Л. А. Куликом. Материалами данной экспедиции эта гипотеза не подтверждается. Необходимо дальнейшие обследования района между верховьями рек Илим-пеи и Чамбы, чтобы получить полную уверенность в том, что Куликовский центр является единственным местом, где сохранились следы Тунгусской катастрофы.

Заславская Н. И., Зоткин И. Т. и Кирова О. А. Распределение по размерам космических шариков из района Тунгусского падения. — «Доклады АН СССР», т. 156, № 1, 1964, с. 47—49. Библиогр.: 9 назв.

Зенкин Г. М. и Ильин А. Г. О лучевом ожоге деревьев в районе взрыва Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 129—140. Библиогр.: 8 назв.

Зенкин Г. М. и др. Характеристика деревьев, переживших Тунгусскую катастрофу в ее эпицентре. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 84—85.

Золотов А. В. Новые данные о Тунгусской катастрофе 1908 г. — «Доклады АН СССР», т. 136, № 1, 1961, с. 84—87. Библиогр.: 8 назв.

Автор приходит к выводу, что отношение световой энергии взрыва Тунгусского метеорита к его полной энергии имеет тот же порядок, что и при ядерном взрыве. Тунгусское космическое тело взорвалось за счет внутренней энергии.

Золотов А. В. Некоторые данные по исследованию образцов почвы и растений в районе Тунгусской катастрофы 1908 г. — «Доклады АН СССР», т. 140, № 1, 1961, с. 103—106.

Зоткин И. Т. Об аномальных оптических явлениях в атмосфере, связанных с падением Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 20, 1961, с. 40—53. Библиогр.: 47 назв.

Иванов К. Г. Геомагнитные явления, наблюдавшиеся на Иркутской магнитной обсерватории вслед за взрывом Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 21, 1961, с. 46—48. Библиогр.: 8 назв.

Иванов К. Г. О причине последующих изменений поля в геомагнитном эффекте Тунгусского метеорита. — «Геомагнетизм и аэронмия», т. 1, № 4, 1961, с. 616—618.

Иванов К. Г. Об энергии взрыва Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 21, 1961, с. 44—45.

Иванов К. Г. О высоте взрыва Тунгусского метеорита. — «Астрономический журнал», т. 40, вып. 2, 1963, с. 329—331. Библиогр.: 9 назв.

Иванов К. Г. Геомагнитный эффект Тунгусского падения. — «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 141—151. Библиогр.: 35 назв.

Идлис Г. М. и Карягина З. В. О кометной природе Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 21, 1961, с. 32—43. Библиогр.: 34 назв.

Изучение ударной волны Тунгусского метеорита по вызванным ею разрушениям леса. — «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 112—128.

Перед загл. авт.: А. П. Бояркина, Д. В. Демин, И. Т. Зоткин и др. Библиогр.: 12 назв.

Итоги прошлогодних работ на Подкаменной Тунгуске. — «Вестник АН СССР», 1939, № 4—5, с. 181.

Краткое сообщение о работе экспедиции 1938 г. Дана такая оценка: «Эта работа входит теперь в мировую литературу и вызывает всеобщий интерес».

К истории Тунгусского метеорита 30 июня 1908 г. [Содержание]: Т. Н. Науменко. Наблюдение полета Тунгусского метеорита. — В. П. Россин. Белая ночь в Наровчатке 30 июня 1908 г. — Л. Ф. Брюханов. Гром и ураган на Кежме (Ангаре) 30 июня 1908 г. — П. Т. Каншин. Громовые звуки 30 июня 1908 г. в Кузнецком Алатау. — Т. А. Кокорина. Воздушная волна 30 июня 1908 г. на Ангаре. — «Метеоритика», вып. 2, 1941, с. 119—122.

Кириченко Л. В. и Гречушкина М. П. О радиоактивности почвы и растений в районе падения Тунгусского метеорита. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 139—152.

Кирова О. А. О минералогическом изучении проб почв из района падения Тунгусского метеорита, собранных экспедицией 1958 г. — «Метеоритика», вып. 20, 1961, с. 32—39. Библиогр.: 7 назв.

Кирова О. А. Поиски распыленного метеоритного вещества в районе падения Тунгусского метеорита. [Доклад на расшир. пленуме Комиссии по метеоритам Акад. наук Эстон. ССР. Сент. 1960 г.] — «Труды Ин-та геологии АН Эстон. ССР», т. 11, 1963, с. 91—98. Библиогр.: 7 назв.

Ковалевский А. Ф. Магнитный эффект взрыва Тунгусского метеорита. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 187—194. Библиогр.: 15 назв.

Ковалевский А. Ф. и Васильев Н. В. К вопросу о свечении ночного неба летом 1908 года. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 15, 1963, с. 198—202. Библиогр.: 43 назв.

Колесников В. И. Аномальное возобновление древесной растительности в районе Тунгусской катастрофы. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 73—83.

Кошелев В. А. О кратероподобном образовании в районе верховьев реки Верхняя Лакура. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 171—172.

Кошелев В. А. Работы на озере Чеко и их предварительные результаты. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 168—170.

Кренделев Ф. П. Заседание объединенного ученого совета по геолого-географическим наукам. — «Геология и геофизика», 1962, № 5, с. 140—141.

Большое место в работе ученого совета заняло обсуждение отчета КСЭ.

Кринов Е. Л. Гигантский метеорит. — «Природа», 1947, № 12, с. 3—13.

О Сихоте-Алинском метеорите. Изучение данного метеорита даст материалы для изучения обстоятельств падения знаменитого Тунгусского метеорита.

Кринов Е. Л., Л. А. Кулик — организатор метеоритики в СССР. — «Метеоритика», вып. 4, 1948, с. 14—30.

«Полный список напечатанных научных работ и научно-популярных статей и заметок Л. А. Кулика», с. 27—30.

Кринов Е. Л. Сихотэ-Алинский метеоритный дождь. М.—Л., Изд. АН СССР, 1948. 63 с. Библиогр.: 19 назв.

Обзор работ в районе падения Сикото-Алиньского метеорита. Высказывается мнение о необходимости сопоставления этих результатов с данными о Тунгусском падении.

Кринов Е. Л. О состоянии вопроса по изучению падения Тунгусского метеорита. [Доклад на 1-й метеоритной конференции. Москва, Март, 1949 г.] — «Метеоритика», вып. 7, 1950, с. 31—37.

Кринов Е. Л. Тунгусский метеорит. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1949. 196 с. Библиогр.: с. 193—194 (34 назв.).

Кринов Е. Л. Сихотэ-Алинский и Тунгусский метеориты. М., «Знание», 1951. О Тунгусском метеорите: с. 15—24.

Кринов Е. Л. Гигантские метеориты. (Тунгусский и Сихотэ-Алинский). М., Изд-во АН СССР, 1952. 93 с. Библиогр.: 12 назв.

Кринов Е. Л. К вопросу о влиянии рельефа на распространение взрывной волны при падении Тунгусского метеорита. [Тезисы доклада]. — «Метеоритика», вып. 11, 1954, с. 137.

Кринов Е. Л. Основы метеоритики. М., Гостехтеоретиздат, 1955. Гл. II, § 12. Тунгусский и Сихотэ-Алинский метеориты, с. 93—116.

Кринов Е. Л. Метеориты М., Физматгиз. 1958. Разд.: Метеоритные кратеры. Тунгусский и Сихотэ-Алинский метеориты, с. 41—60.

Кринов Е. Л. Где же Тунгусский метеорит? — «Природа», 1960, № 5, с. 57—62.

О природе и условиях падения метеорита 1908 г.

Кринов Е. Л. Итоги изучения падения Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 18, 1960, с. 17—18.

Тезисы доклада на VIII Метеоритной конференции. Июнь 1958 г.

Кринов Е. Л. Метеориты. — В кн.: «Астрономия в СССР за 40 лет. 1917—1957 гг.» М., Физматгиз, 1960, с. 187—205. Библиогр.: с. 508—522.

Кринов Е. Л. Девятая Метеоритная конференция. Решение по вопросу изучения падения Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 20, 1961, с. 5—12.

Кринов Е. Л. Метеоритные кратеры на поверхности Земли. — «Метеоритика», вып. 22, 1962, с. 3—30. Библиогр.: 50 назв.

В число достоверных кратерообразующих метеоритов автор включает также Тунгусское падение. Хотя здесь и не было обнаружено кратера, тем не менее оно относится к числу падений гигантских космических тел, сопровождавшихся взрывом. Отсутствие кратера объясняется возникновением взрыва в воздухе, поскольку тело не представляло собой обычный метеорит, а являлось ядром кометы.

Кринов Е. Л. Развитие исследований по метеоритике. — «Вестник АН СССР», 1962, № 9, с. 140—141.

Кринов Е. Л. Метеоритные кратеры на поверхности Земли. [Доклад на расшир. пленуме Комиссии по метеоритам Акад. наук Эстон. ССР. Сент., 1960 г.] — «Труды Ин-та геологии АН Эстон. ССР», т. 11, 1963, с. 11—24. Библиогр.: 14 назв.

Кувшинников В. М. и Колобкова Г. П. К вопросу о падении глыб Тунгусского метеорита в районе Лакурского хребта. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 159—162.

Кулик Л. А. Вопросный листок метеоритной экспедиции о метеорите 30 июня 1908 г. на Подкаменной Тунгуске. Красноярск, 1921.

Кулик Л. А. Затерянный Филимоновский метеорит 1908 г. — «Мироведение», № 1 (40), 1921, с. 74.

Одно из первых сообщений о Тунгусском метеорите.

Кулик Л. А. Вопросный листок о метеорите 30 июня 1908 г. на Тунгуске. Новониколаевск, 1922.

Кулик Л. А. Отчет Метеоритной экспедиции о работах, произведенных с 19 мая 1921 г. по 29 ноября 1922 г. — «Известия Российской АН», т. XVI, VI серия, 1922, г. 391—410.

Краткие сведения, собранные первой Метеоритной экспедицией в восточной части Енисейской губернии относительно Тунгусского падения.

Кулик Л. А. Поиски затерянного Филимоновского метеорита 1908 г. — «Мироведение», т. XI, № 1 (42), 1922, с. 79—80.

Кулик Л. А. К вопросу о связи метеоритов с кометами. — «Мироведение», т. XV, № 2, 1926, с. 173—178.

Появление серебристых облаков и падение Тунгусского метеорита автор связывает с моментом наибольшего приближения Земли к орбите кометы Понс-Виннеке.

Кулик Л. А. Метеориты 30 июня 1908 года и пересечение Землей орбиты кометы Понс-Виннеке. — «Доклады АН СССР». Серия А, окт., 1926, с. 185—188.

Кулик Л. А. К вопросу о месте падения Тунгусского метеорита 1908 г. — «Доклады АН СССР». Серия А, № 23, 1927, с. 399—402.

Кулик Л. А. К истории болида 30 июня 1908 г. — «Доклады АН СССР». Серия А, № 23, 1927, с. 393—398.

Кулик Л. А. Космические дары Сибири. — «Сибирские огни», 1927, № 6, с. 162—171.

Кулик Л. А. Тунгусский метеорит. — «Мироведение», т. XVI, № 4, 1927, с. 231—232.

Кулик Л. А. Результаты экспедиции за Тунгусским метеоритом в 1927 году. — «Мироведение», т. XVII, № 3, 1928, с. 182.

Краткое сообщение о докладе Л. А. Кулика на годовом общем собрании совета Русского о-ва любителей мироведения и оценка этого доклада.

Кулик Л. Бразильский двойник Тунгусского метеорита. — «Природа и люди», 1931, № 13—14, с. 6—11.

В газете «Дейли Геральд» от 6 марта 1931 г. сообщалось о падении метеорита в Бразилии, и это явление объявлялось аналогичным Тунгусскому падению. В статье приводятся данные, характеризующие сходство и различие указанных явлений.

Кулик Л. А. Метеоритика в Академии наук за 15 лет. — «Вестник АН СССР», 1932, № 11, с. 67.

Краткий отчет о работе Метеоритного отдела Акад. наук СССР. За 15 лет (1917—1932 гг.) отдел собрал большое количество материалов по целому ряду падений. в том числе и по Тунгусскому, потребовавшему десятилетия работы и 5 лет экспедиций. Открытия этих лет привлекают внимание всего мира и были предметом суждений астрономических конгрессов в Лейдене, Кембридже и США.

Кулик Л. А. К 25-летию Тунгусского метеорита (1908—1933 гг.) — «Мироведение», т. XXII, № 2, 1933, с. 63—66.

Содержится описание депрессий и обсуждается вопрос о причинах их возникновения. Вероятный центр падения метеорита — Южное болото.

Кулик Л. А. Метеориты в порядке дня. — «Мироведение», т. XXII, № 1, 1933, с. 58—69.

Кулик Л. А. Предварительные итоги метеоритных экспедиций 1921—1931 гг. — «Труды Ломоносовского ин-та геохимии, кристаллографии и минералогии АН СССР», вып. 2, 1933, с. 73—81.

В результате экспедиций имеется большое число указаний на огромное, наблюдавшееся нашими современниками падение метеорита, ударившегося о почву со взрывом. Работы по исследованию места падения не закончены. О задачах дальнейшего изучения Тунгусского падения.

Кулик Л. А. Данные по Тунгусскому метеориту к 1939 году. — «Доклады АН СССР». Новая серия, т. 22, № 8, 1939, с. 520—524.

Кулик Л. А. Метеоритная экспедиция на Подкаменную Тунгуску в 1939 г. — «Доклады АН СССР». Новая серия, т. 28, № 7, 1940, с. 597—601.

Курбатский Н. П. О лесном пожаре в районе Тунгусского падения в 1908 г. — «Метеоритика», вып. 25, 1964, с. 168—172. Библиогр.: 7 назв.

Левин В. Ю. К вопросу о скорости и орбите Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 11, 1954, с. 132—136. Библиогр.: 10 назв.

Левин В. Ю. О некоторых актуальных проблемах метеоритики. — «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 16—21.

Львов Ю. А. и Иванова Г. М. Провальные (термокарстовые) депрессии на крупнобугристых торфяниках района падения Тунгусского метеорита. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 57—58.

Любарский К. А. К вопросу о Тунгусском метеорите 30 июня 1908 г. — «Известия АН Туркм. ССР», 1959, № 6, с. 128—129.

Магнитометрические работы в районе падения Тунгусского метеорита. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон, лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 113—123.

Перед загл. авт.: А. Ф. Ковалевский, В. Г. Фаст, Г. М. Иконникова и др.

Библиогр.: 15 назв.

Мальцев В. А. Метеоры и геофизика. — «Мироведение», 1933, № 5, с. 37.

Маслов Е. В. К вопросу о высоте и мощности взрыва Тунгусского метеорита. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 105—112.

Морозов Н. Метеорные катастрофы и их влияние на умы людей. — «Мироведение», т. XVIII, № 3, с. 149—153, с илл.

О влиянии метеорных катастроф на развитие религиозных представлений у людей.

Некоторые данные о распределении химических элементов в почвах и растениях в районе падения Тунгусского метеорита. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 125—133.

Перед загл. авт.: А. Ф. Ковалевский, И. В. Резников, Н. Г. Снопов и др.

Библиогр.: 8 назв.

Некоторые итоги изучения проблемы Тунгусского метеорита. — «Геология и геофизика», 1963, № 1, с. 111—122.

Перед загл. авт.: Г. Ф. Плеханов, Н. В. Васильев, Д. В. Демин и др.

Библиогр.: 46 назв.

Некрасов В. И. Изучение роста леса в районе падения Тунгусского метеорита. — «Лесное хозяйство», 1962, № 1, с. 22—24.

Некрасов В. И. и Емельянов Ю. М. Повлияла ли Тунгусская катастрофа на рост леса? — «Природа», 1962, № 2, с. 102—105.

На основании данных лесотаксационных работ 1960 г. делается вывод об ускоренном росте леса после 1908 г. и берется под сомнение возможность объяснить это чисто экологическими причинами.

Некрасов В. И. и Емельянов Ю. М. Изучение роста леса в связи с проблемой Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 152—161. Библиогр.: 5 назв.

Некрасов В. И. и Емельянов Ю. Н. Особенности роста древесной растительности в районе падения Тунгусского метеорита. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 59—72. Библиогр.: 10 назв.

Некрытов Н. И. и Журавлев В. К. Визуальное определение границ вывала. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон, лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 87—93.

О геомагнитном эффекте взрыва Тунгусского метеорита. — «Известия высш. учеб. заведений. Физика», 1960, № 2, с. 236—237.

Перед загл. авт.: Г. Ф. Плеханов, А. Ф. Ковалевский, В. К. Журавлев, Н. В. Васильев.

О поляризации эффекте, вызванном падением Тунгусского метеорита. — «Известия высш. учеб. заведений. Физика», 1963, № 5, с. 177—179.

Перед загл. авт.: Г. Ф. Плеханов, Н. В. Васильев, В. К. Журавлев и др.

Библиогр.: 6 назв.

О серебристых облаках. — «Новое время», 1908, № 11600.

О Тунгусском метеорите. — «Природа», 1959, № 11, с. 84—85; 1960, № 3, с. 109.

Дискуссия на семинаре в Институте физических проблем Академии наук СССР. Содержание доклада В. Н. Родионова и М. А. Цикульского о распространении взрывной волны на месте падения Тунгусского метеорита и письмо Е. Л. Кринова по поводу его выступления по докладу.

Обашев С. О. О геомагнитном эффекте Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 21, 1961, с. 49—51. Библиогр.: 5 назв.

Обручев С. В. О месте падения большого Хатаниского метеорита 1908 г. — «Мироведение», т. XIV, № 1, 1925, с. 38—40.

Обручев С. В. О месте падения большого Хатангского метеорита «Природа», 1951, № 12, с. 36—38. Библиогр.: 7 назв.

В результате ознакомления с аэрофотосъемкой болота в районе падения Тунгусского метеорита, автор приходит к выводу, что место падения метеорита должно находиться не в Южном болоте, а между ним и северо-западным торфяником. Автор считает, что будет целесообразным, если в предстоящих экспедициях примут участие не только астрономы и метеорологи, но и геоморфологи и болотоведы.

Падение болида. — «Природа и люди», 1908, № 40, с. 714.

Описывается падение болида 2 июля 1908 г. в 11 ч. 45 м. вечера, наблюдавшееся астрономической Буржской обсерваторией. Высказывается предположение, что этот болид описан в газете «Голос Томска» (далее следует текст известной фантастической заметки о падении метеорита вблизи Канска).

Плеханов Г. Ф. Предварительные итоги двухлетних работ Комплексной самостоятельной экспедиции по изучению проблемы Тунгусского метеорита. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 3—21. Библиогр.: с. 19—21. (68 назв.).

Плеханов Г. Ф. Некоторые итоги работы Комплексной самостоятельной экспедиции по изучению проблемы Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 170—176. Библиогр.: 36 назв.

Плеханов Г. Ф., А. Ф. Ковалевский, В. К. Журавлев, Н. В. Васильев. О влиянии взрыва Тунгусского метеорита на геомагнитное поле. [Краткое сообщение]. — «Геология и геофизика», 1961, № 6, с. 94—95.

Покровский Г. И. О возможных механических явлениях при движении метеорных тел. — «Метеоритика», вып. 20, 1961, с. 95—102.

Покровский Г. И. О возможном варианте взрыва метеоров. — «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 108—111.

Полканов А. А. К истории Тунгусского метеорита падения 30 июня 1908 г. О явлениях, сопровождавших падение Тунгусского метеорита. Из наблюдений в окрестностях г. Костромы в 1908 г. (д. Мал. Андрейково, в 13 км от г. Костромы). — «Метеоритика», вып. 3, 1946, с. 69.

Выписка из дневника за 1908 г.

Предварительные результаты работ Тунгусской метеоритной экспедиции. 1958 г. — «Метеоритика», вып. 19, 1960, с. 103—104.

Перед загл. авт.: К. П. Флоренский, Б. И. Вронский, Ю. М. Емельянов и др.

Библиогр.: 15 назв.

Природа Тунгусского падения. [Статьи]: В. Г. Фесенков. Не метеорит, а комета. — К. П. Флоренский и И. Т. Зоткин. Новые поиски, новые результаты. Экспедиция 1961 г. — Н. И. Пьявченко. Кратера не было. [Болота междуречья Подкаменной Тунгуски и Чуни]. — «Природа», 1962, № 8, с. 24—42.

Проблема Тунгусского метеорита. [Сборник статей]. Томск, Изд-во Томского ун-та, 1963, 214 с. (Геогр. о-ва СССР. Томское отд. Бетатрон. лаборатория Томского гос. мед. ин-та. Труды, т. 5.).

Проверка одной гипотезы. Связан ли вывал леса в бассейне реки Кети с падением Тунгусского метеорита? — «Природа», 1961, № 7, с. 98—99.

Перед загл. авт.: Ю. А. Львов, Н. В. Васильев, А. Б. Ошаров и др.

Решение Девятой метеоритной конференции по вопросу изучения падения Тунгусского метеорита. — «Метеоритика», вып. 20, 1961, с. 9—13.

Рихтер Ч. Ф. Элементарная сейсмология. М., 1963. Разд.: «Метеоритное землетрясение 1908 г.», с. 150—151.

Родионов С. П. О значении метеоритики. [Вступительное слово при открытии 9-й метеоритной конференции]. — «Метеоритика», вып. 20, 1961, с. 14—15.

В конце статьи автор подчеркивает значение изучения проблемы Тунгусского метеорита.

Самойлович Б. А. К вопросу о Тунгусском метеорите. — «Колыма», 1953, № 7, с. 43—45.

Хронология изучения Тунгусского метеорита. Объяснение отсутствия осколков распылением и испарением тела метеорита в земной атмосфере. В момент удара превращение кинетической энергии в тепловую вызвало колоссальный взрыв, испарение и раздробление метеорита. Тепловой удар и необычайной силы волна — причины бурелома и ожогов.

Святский Д. О. Лесной пожар от метеорита в XIII веке. — «Вестник знания», 1927, № 22, стлб. 1365—1366.

Сходные явления при падении метеоритов Великого Устюга в XIII в. и Тунгусского.

Святский Д. Сходные черты в метеорных явлениях 1908 г. на Тунгуске и XIII близ Великого Устюга. — «Мироведение», т. XVII, № 2, 1928, с. 117—119.

Синоптико-метеорологические условия лета 1908 года. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 179—186.

Перед загл. авт.: З. П. Коженкова, В. А. Брок, Л. П. Федюшина и др.

Библиогр.: 8 назв.

Станюкович К. П. Об эффектах падения больших метеоритов. (Тезисы доклада на Восьмой метеоритной конференции. Москва, 3—5 июня 1958 г.) — «Метеоритика», вып. 18, 1960, с. 19.

При полете гигантского метеорита на высоте 5—10 км возникает мощная баллистическая волна. Эта волна производит на земной поверхности значительные разрушения. Возможно, такое явление было при падении Тунгусского метеорита.

Станюкович К. П. К вопросу об испарении ледяных метеорных тел. — «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 66—69. Библиогр.: 5 назв.

Станюкович К. П. и Бронштэн В. А. О скорости и энергии Тунгусского метеорита. — «Доклады АН СССР», т. 140, № 3, 1961, с. 583—586. Библиогр.: 13 назв.

Станюкович К. П. и Федынский В. В. О разрушительном действии метеоритных ударов. — «Доклады АН СССР». Новая серия, т. 57, № 2, 1947, с. 129—132.

Кратерообразующие метеориты, приближающиеся к Земле с большой скоростью, порождают мощную ударную волну в воздухе. Такая волна производит разрушения вдоль проекции траектории метеорита на земную поверхность еще во время полета, иногда на значительном расстоянии от места падения.

Суслов И. М. К розыску большого метеорита 1908 г. — «Мироведение», т. XVI, № 1, 1927, с. 13—18.

Опросные данные о падении Тунгусского метеорита.

Сытинская Н. Н. К вопросу о траектории Тунгусского метеорита. [Доклад на 5-й Метеоритной конференции. Июнь 1953 г.] — «Метеоритика», вып. 13, 1955, с. 86—91. Библиогр.: 7 назв.

Тресков А. К вопросу о сейсмических волнах, сопровождавших падение Тунгусского метеорита 30 июня 1908 г. — «Астрономический журнал», т. 11, вып. 6, 1934, с. 597—599.

Фаст В. Г. Об ударной волне, вызванной Тунгусским метеоритом. — «Доклады Второй сибирской конференции по математике и механике». Томск, 1962, с. 154.

Фаст В. Г. К определению эпицентра взрыва Тунгусского метеорита по характеру вывала леса. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 203—211. Библиогр.: 5 назв.

Фаст В. Г., Ковалевский А. Ф. и Плеханов Г. Ф. Некоторые замечания к статье Г. М. Идлиса и З. В. Карягиной «О кометной природе Тунгусского метеорита». — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 203—211. Библиогр.: 31 назв.

Федынский В. В. Метеоры. — В кн.: «Астрономия за тридцать лет». М.—Л., Гостехтеоретиздат, 1948, с. 89—102.

Федынский В. В. Метеоры. М., Техгиз, 1956. О Тунгусском метеорите с. 54—55.

Фесенков В. Г. Метеоры и метеориты. Алма-Ата, Изд-во АН Казах. ССР, 1949. О Тунгусском метеорите, с. 10—13.

Фесенков В. Г. Помутнение атмосферы, произведенное падением Тунгусского метеорита 30 июня 1908 г. — «Метеоритика», вып. 6, 1949, с. 8—12.

Фесенков В. Г. О деятельности Комитета по метеоритам АН СССР и других научно-исследовательских учреждений, работающих в области метеоритики, за 1949 год. — «Метеоритика», вып. 8, 1950, с. 32—37.

Фесенков В. Г. Успехи метеоритики в 1953—1954 гг. — «Метеоритика», вып. 14, 1956, с. 5—13.

В статье говорится об успешном продолжении работы по изучению Тунгусского падения.

Фесенков В. Г. О воздушной волне, произведенной падением Тунгусского метеорита 1908 г.— «Метеоритика», вып. 17, 1959, с. 3—7.

Фесенков В. Г. Основные достижения метеоритики за последнее время.— «Метеоритика», вып. 18, 1960, с. 5—16. Библиогр.: 44 назв.

Фесенков В. Г. Некоторые проблемы метеоритики.— «Метеоритика», вып. 20, 1961, с. 16—26. Библиогр.: 40 назв.

Фесенков В. Г. О кометной природе Тунгусского метеорита.— «Астрономический журнал», т. 38, вып. 4, 1961, с. 577—592. Библиогр.: 8 назв.

Фесенков В. Г. О природе комет в условиях падения их на Землю.— «Метеоритика», вып. 21, 1961, с. 3—14. Библиогр.: 13 назв.

Теория кометного происхождения Тунгусского метеорита. О некоторых неясностях обстоятельств падения. Детальное исследование данного падения должно расширить сведения о природе комет вообще.

Фесенков В. Г. О природе Тунгусского метеорита.— «Метеоритика», вып. 20, 1961, с. 27-31. Библиогр.: 5 назв.

Фесенков В. Г. Об условиях падения на Землю комет и метеоритов.— «Труды Ин-та геол. АН Эст. ССР», т. 11, 1963, с. 5—9.

Доказательства кометной природы Тунгусского метеорита.

Фесенков В. Г. К вопросу о природе комет.— «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 61—64. Библиогр.: 11 назв.

Фесенков В. Г. Некоторые успехи метеоритики.— «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 5—15. Библиогр.: 16 назв.

Фесенков В. Г. Об аномальных световых явлениях, связанных с падением Тунгусского метеорита.— «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 177—179.

Фесенков В. Г. Об орбите Тунгусского метеорита.— «Метеоритика», вып. 25, 1964, с. 163—167.

Фесенков В. Г. и Кринов Е. Л. Новое о Тунгусском метеорите.— «Вестник АН СССР», 1960, № 12, с. 32—36.

Теория кометного происхождения Тунгусского метеорита.

Фетт В. Атмосферная пыль. Пер. с нем. М., «Иностр. лит.», 1961. 336 с. Библиогр.: 52 назв.

Филиппов С. В. Тунгусский метеорит. Иркутск, Кн. изд., 1961. 46 с. Библиогр.: с. 45—46 (28 назв.).

Обстоятельства падения и поиски метеорита, показания очевидцев его падения. Работы Л. А. Кулика. Гипотезы происхождения метеорита, выдвинутые советскими и зарубежными учеными, несостоятельность фантастических гипотез писателей Б. Ляпунова и А. Казанцева.

Флоренский К. П. Некоторые впечатления о современном состоянии района падения Тунгусского метеорита 1908 г.— «Метеоритика», вып. 12, 1955, с. 62—71.

Флоренский К. П. Новое в изучении Тунгусского метеорита 1908 г.— «Геохимия», 1962, № 2, с. 187—189.

Флоренский К. П. Предварительные результаты Тунгусской метеоритной комплексной экспедиции 1961 г. (Доклад на 10-й Метеоритной конференции, Май 1962 г.).— «Метеоритика», вып. 23, 1963, с. 3—29. Библиогр.: 17 назв.

Флоренский К. П. Проблемы космической пыли и современное состояние изучения Тунгусского метеорита.— «Геохимия», 1963, № 3, с. 284—296. Библиогр.: 37 назв.

Цикулин М. А. Приближенная оценка параметров Тунгусского метеорита 1908 г. по картине разрушений лесного массива. (Доложено

на 99-й метеоритной конференции, проходившей в Киеве 2—4 июня 1960 г.) — «Метеоритика», вып. 20, 1961, с. 87—94.

Шалимов В. П. Некоторые оценки скорости разрушения поверхности крупных метеорных тел, движущихся в атмосфере с большими сверхзвуковыми скоростями. — «Метеоритика», вып. 24, 1964, с. 70—74. Библиогр.: 12 назв.

Шумилова Л. В. Очерк природы района падения Тунгусского метеорита. — «Труды Томского отд. Геогр. о-ва СССР. Бетатрон. лабор. Томского мед. ин-та», т. 5, 1963, с. 22—23. Библиогр.: 7 назв.

Явнелъ А. А. Метеоритное вещество с места падения Тунгусского метеорита. — «Астрономический журнал», т. 34, вып. 5, 1957, с. 794—796. Библиогр.: 7 назв.

Явнелъ А. А. О составе Тунгусского метеорита. — «Геохимия», 1957, № 6, с. 553—556. Библиогр.: 7 назв.

Явнелъ А. А. Метеоритное вещество на месте падения Тунгусского метеорита. [Тезисы доклада]. — «Метеоритика», вып. 17, 1959, с. 8.

Научные публикации, вышедшие на иностранных языках после 1920 года.

N. T. Bobrovnikoff. The Podkamennaya Tunguska Meteorite. Publications of the Astronomical Society of the Pacific. V. XL, N 234, p. 143, 1928; v. XL, p. 382, 1927.

I. G. Growther. More about the Great Siberian Meteorite. Scientific American, 1931, v. 144, p.p. 314—317.

H. C. Dake. Great siberian meteorite of 1908. Mineralogist, v. 27, N 12—1; p. 253—254, 1959.

I. G. Growther. Osiris and the Atom. London, 1932, p.p. 23—39.

Eime neue Expedition zur Erforschung des Sibirischen Riesenmeteors. Das Weltall, 32 Jahrgang, 4/5 Heft, Januar 1933.

Hunt I. N., Palmer R., Penney S. W. Phil. Trans., v. 252, p. 275, 1960.

H. S. Hogg. The Tunguska meteori event. Journ. Roy. Astron. Soc. Canada, v. 56, N 4, p.p. 174—179, 1962.

R. V. Jones. Sub—acoustic waves from large explosions. Nature, N 4812, p. 229, v. 193, 1962.

Chr. Jensen. Die Verfolgung der neutralen Punkte der atmosphärischen Polarisation in Arnsberg i. W. während eines Zeitraums von 19 Jahren. Meteorologische Zeitschrift, März, 1937.

E. L. Krinow. Der Tungusker Meteorit. Chemie der Erde, N 3, 19, 1958.

E. L. Krinow. Die 8 Meteoritenkonferenz der Akad. d. Wiss. d. Ud SSH, Chemie der Erde, XXB, H. 1, s. 18, 1959.

E. L. Krinow. Tunguska and Sikhote-Alin Meteorite. The Moon, Meteorits and Comets. B 66. Solar System, Pergamon Press, p.p. 208—218.

L. A. Kulik. The Question of the Meteorite of June 30, 1908, in Central Siberia. Popular Astronomy, V. XLV, N 10, p. 559, 1937.

L. A. Kulik. Das Tunguska—Meteor vom 30. Juni 1908. Weltall, 32 Jahrgang, 7 Heft, April 1933.

L. A. Kulik. Weltall, 28 Jahrgang, H. 10/11, 1929.

L. A. Kulik. Petterman's Mitteilungen, v. 74, H. 11/12, 1928, Gotha.

W. Kryshanowsky, J. Astapowitsch. Die Koralle, 5, 4, 175—178.

C. P. Olivier. «Comets», p.p. 198—205, London, 1930.

L. la Paz. The Energy of the Podkamennaya Tunguska, Siberia, Meteoritic Fall, Popular Astronomie, v. 56, p.p. 330—1, 1948.

Сообщение. The Times, December 24, 1930. The Siberian meteor. The Times, December 15, 1930.

Сообщение. Manchester Guardian, January 1, 1931.

Scorer R. S. The dispersion of a pressure pulse in the atmosphere. Proceedings of the Royal Society. A 201, 137, 1950.

R. Süring. Meteorologische Zeitschrift, Bd. 47; s. 490, 1930.

Urey H. C. Cometary collisions and tektites. Nature, v. 197, N 4864, p.p. 228—230, 1963.

F. G. Watson. Between the Planets. Cambridge, 1956.

F. I. W. Whipple. On phenomena related to the great siberian meteor. Quart. Journal of the Royal Meteorological Society, v. 60, p. 505, 1934.

F. I. W. Whipple. The Great Siberian Meteor and the waves, seismic and aerial, which in produced. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, v. 56, July 1930, N 236.

F. I. W. Whipple. Выступление по докладу Спенсера. *The Geographical Journal*, v. LXXXI, N 3, March, p. 245, 1933.

F. I. W. Whipple. Реферат доклада «The Great Siberian Meteor and the waves, seismic and aerial, which it produced». *The Observatory*, v. LIII, N 672, p. 143, 1930.

P. Tschirwinsky. Meteorit vom 30 Juni 1908 im Ausflussgebiet der Flüsse Tunguska in Sibirien. *Centralblatt für Mineralogie*, s. 550, 1923.

E. Tams. Das grosse sibirische Meteor vom 30. Juni 1908 und die bei seinem Niedergang hervorgerufenen Erde—und Luftwellen. *Zeitschrift für Geophysik*, Bd. 7, 1931, s. 34—37.

E. L. Krinow. Meteoritenkrater auf der Erde. *Urania*. DDR, Bd. 21, N 10, s. 377—382, 1958.

III. Научно-популярная литература о Тунгусском метеорите (отечественная и зарубежная)

Альтов Г. и Журавлева В. Путешествие к эпицентру полемики.— «Звезда», 1964, № 2, с. 130—138.

Астапович И. С. Сибирский метеорит.— «Известия ВЦИК», 1938, 6 июля.

Баратова С. О фантастике и людях без крыльев.— «Техника-молodeжи», 1948, № 9, с. 26.

Бронштэн В. А. Легенды, выдаваемые за гипотезы.— «Природа», 1963, № 10, с. 90—91.

По поводу гипотезы о происхождении Тунгусского метеорита, содержащейся в статье А. Казанцева «Гости из Космоса стучатся в дверь» («Сов. Россия», 1963, 11 мая).

В защиту научной истины.— «Природа», 1959, № 12, с. 3—6.

В поисках метеоритных кратеров.— «Молодой ленинец» [Томск], 1964, 10 января.

«В тайгу за метеоритом».— «Красное знамя» (Томск), 1929, 4 апреля.

Вронский Б. И. Да, поиски продолжаются! — «Юный техник», 1959, № 3, с. 59—63.

Пolemика с А. Казанцевым о происхождении Тунгусского метеорита.

Вронский Б. И. Загадка остается загадкой.— «Советская Россия», 1959, 27 декабря.

Критика гипотезы А. Казанцева. О задачах дальнейшего исследования Тунгусского падения.

Вронский Б. И. Тайна Тунгусского метеорита.— «На севере дальнем». Лит.-худож. альманах, кн. [3] (14), 1959, с. 124—138.

Впечатления и выводы, полученные в экспедиции 1958 г. к месту падения Тунгусского метеорита. История вопроса. Polemика с А. Казанцевым.

Вронский Б. И. Кто он, таинственный пришелец?— «Вокруг света», 1960, № 8, с. 1—7; № 9, с. 39—43; № 10, с. 22—25.

Записки участника экспедиции к месту падения Тунгусского метеорита. История исследований и гипотезы о происхождении Тунгусского метеорита.

Вронский Б. И. Тайна Тунгусской катастрофы. Падение метеоритов или ядерный взрыв? — «Природа», 1960, № 3, с. 88—91.

Гигантские метеориты.— «Вестник знания», 1927, № 22, стлб. 1345—1354.

Популярный рассказ о метеоритах, в том числе и о Тунгусском.

Гигантские метеориты.— «Вокруг света», 1953, № 10, с. 8.

О Тунгусском и Сихотэ-Алинском метеоритах СССР.

Григорьев В. Тунгусское диво.— «Известия», 1960, 7—9 декабря.

Долгих Е. Тунгусский метеорит.— «Кузбасс» [Кемерово], 1958, 5 августа.

Долгушин. Метеорит с Чуни.— «Красноярский рабочий», 1928, 3 января.

Дядькин И. Г. Гость из Космоса.— «Ленинец» [Уфа], 1959, с 27 по 29 октября.

Евгеньев И. и Кузнецова Л. Тунгусский метеорит найден.— «Знание — сила», 1957, № 12, с. 59—60.

О находке частиц Тунгусского метеорита в пробах почв, привезенных Л. А. Куликом с места падения метеорита.

Евгеньев И. Б. и Кузнецова Л. И. За огненным камнем. М., Географгиз, 1958. 213 с.

Очерк о советском ученом Л. А. Кулике.

Рец.: Бурмин В. Подвиг ученого.— «Сибирские огни», 1959, № 8, с. 183—184.— Станюкович К. П. и Федынский В. В.— «Астрономический журнал», 1959, т. 36, вып. 2, с. 380—381.

Емельянов Ю. М. Загадка Тунгусского метеорита.— «Моск. университет» [газета], 1959, от 21 мая по 13 июня.

Ероховец А. Метеорит или звездный корабль? (Тунгусское диво).— «Сибирские огни», 1960, № 10, с. 114—137; № 11, с. 131—157; № 12, с. 117—150.

За Тунгусским метеоритом.— «Человек и природа», 1929, № 4, с. 64; № 19, с. 44.

Краткие сообщения о 4-й экспедиции Л. А. Кулика к месту падения Тунгусского метеорита.

Зигель Ф. Неразгаданная тайна.— «Знание — сила», 1959, № 6, с. 40—42.

Зигель Ф. Ю. Ядерный взрыв над тайгой.— «Знание — сила», 1961, № 12, с. 24—27.

К итогам работы экспедиции А. В. Золотова в районе Тунгусской катастрофы.

Золотов А. По следам гостя из Космоса.— «Смена», 1962, № 17, с. 26—27; № 18, с. 20—21; № 19, с. 30—31.

Отрывки из дневника доц. А. Золотова, трижды побывавшего в районе Тунгусской катастрофы и сделавшего там любопытные наблюдения.

Зоткин И. К разгадке тайны Тунгусского метеорита.— «Красное знамя» [Томск], 1964, 27 июня.

Результаты экспедиций 1958—1962 гг. О кометной природе Тунгусского метеорита.

Зоткин И. Т. и Флоренский К. П. Встреча с кометой.— «Знание — сила», 1962, № 5, с. 40—43.

О кометном происхождении Тунгусского метеорита.

Казанцев А. Взрыв.— «Вокруг света», 1946, № 1, с. 39—46.

Рассказ-гипотеза о взрыве 30 июня 1908 г.

Казанцев А. Н. Гость из Космоса. Полярные новеллы. М., Географгиз, 1958. 238 с.

Рец.: Перель Ю. Г.— «Астрономический журнал», т. 36, вып. 2, 1959, с. 381—384.

Казанцев А. Поиски продолжаются.— «Юный техник», 1958, № 9, с. 51—55.

Казанцев А. И не метеорит, и не комета.— «Учительская газета», 1961, 22 ноября.

Научно-фантастическая гипотеза: Тунгусский метеорит — космический корабль.

Ковалевский А. и Фаст В. Тунгусское диво будет изучено.— «За советскую науку» [Томск, ТГУ], 1960, 31 октября.

Когинов Ю. Тайна Тунгусского дива.— «Советская Россия», 1959, 28 августа.

Кожевников С. Тайна Тунгусского взрыва.— «Подъем», 1962, № 2, с. 110—119; № 3, с. 105—118.

Кочевой. На поиски метеорита.— «Власть труда» [Иркутск], 1927, 25 марта.

О готовящейся экспедиции Л. А. Кулика к месту падения Тунгусского метеорита, о планах этой экспедиции.

Кринов Е. Тунгусское диво.— «Знание — сила», 1951, № 8, с. 12—14. Библиогр.: с. 14. (12 назв.).

О несостоятельности различных точек зрения о неметеоритном происхождении Тунгусского метеорита с позиций метеоритной теории.

Кринов Е. Марсианский корабль? Нет, метеорит.— «Труд», 1960, 14 января.

Кринов Е. Л. Небесные камни. Метеоры и метеориты. М., Воениздат, 1961. 85 с.

Тунгусский метеорит, по мнению автора, представляет собой ядро кометы, столкнувшейся с Землей.

Кринов Е. Л. Вестники Вселенной. Л.—М., Географгиз, 1963. Разд.: «Тунгусский метеорит», с. 60—80.

Кринов Е. Л., Явнель А. А. и Зоткин И. Т. Окончена ли история полувековой загадки? О Тунгусской катастрофе.— «Техника — молодежи», 1962, № 3, с. 32—34.

Крыжановский В. За Тунгусским метеоритом.— «Красная Нива», 1928, № 44, с. 18—19.

О самоотверженной работе экспедиций 1927—1929 гг. под руководством Л. А. Кулика.

Кулик Л. А. В поисках Тунгусского метеорита.— «Вечерняя Москва», 1927, 22 сентября.

Кулик Л. А. Падение и поиски Тунгусского метеорита.— «Красное знамя» [Томск], 1927, 14 декабря.

Кулик Л. А. Там, где упал Тунгусский метеорит.— «Наука и техника», 1927, № 39, с. 1.

Кулик Л. А. Тунгусский метеорит.— «Красная газета», 1927, № 237 (1555).

Кулик Л. А. Тунгусский метеорит или ... фантазия? — «Вестник знания», 1927, № 22, стлб. 1355—1364.

Автор ведет полемику с теми, кто отрицает факт Тунгусского падения и приводит ряд доказательств о катастрофе в 1908 г. в Тунгусской тайге.

Кулик Л. А. За Тунгусским метеоритом.— «Хочу все знать», 1928, № 4, с. 107.

Кулик Л. А. На поиски Тунгусского метеорита.— «Известия», 1933, 21 марта.

Лалетин А. Следопыты Тунгусского дива.— «Труд», 1960, 27 ноября.

Левин Б. Ю. Метеориты. М., «Знание», 1952. О Тунгусском метеорите, с. 16—20.

Луцкий В. Накануне раскрытия тайны. Новая экспедиция на поиски Тунгусского метеорита.— «Известия», 1958, 29 июня.

О нахождении металлических шариков в пробах почв с места падения Тунгусского метеорита.

Ляпунов Б. Из глубины Вселенной.— «Знание — сила», 1950, № 10, с. 4—7.

Гипотеза: Тунгусский метеорит — космический корабль.

Мальцев В. Снова в тайге.— «Красная газета», веч. вып., 1929, 1 июня.

Сообщение о работе 3-ей Метеоритной экспедиции.

Мар Я. Ученые расспрашивают тайгу. Там, где не упал Тунгусский метеорит.— «Комсомольская правда», 1961, 24 сент.

Поиски Тунгусского метеорита в предполагаемых местах его падения. Об экспедициях 1958—1961 годов.

Михайлов А. А. Разгадка Тунгусского метеорита.— «Огонек», 1951, № 24, с. 20—21.

Беседа с дир. Глав. астрон. обсерватории в Пулкове А. А. Михайловым.

Нет, это не только романтика!— «Молодой ленинец» [Томск], 1964, 5 января.

Нифантов. Еще о Сибирском метеорите.— «Вечерняя Москва», 1928, 12 февраля.

О Тунгусском метеорите.— «Наука и жизнь», 1951, № 9, с. 17—20.

Перед загл. авт.: В. Г. Фесенков, А. А. Михайлов, Е. Л. Кринов и др.

Ответ писателям А. Казанцеву и Б. Ляпунову на их фантастические статьи об искусственном происхождении Тунгусского метеорита. Цель настоящей статьи — устранить распространившееся среди широких слоев населения представление о Тунгусском метеорите, как о марсианском корабле и показать истинную природу явления, имевшего место в июне 1908 г. в районе Подкаменной Тунгуски.

Пель Д. Чунская загадка. 1. Звезда упала. 2. Тысяча верст по воде.— «Красноярский рабочий», 1927, 24 и 25 марта.

Рассказ о Тунгусской катастрофе, свидетельства очевидцев. Сообщение об экспедиции Л. А. Кулика, выезжающей из Красноярска на поиски метеорита.

Плеханов Г. и Васильев Н. Исследования загадки Тунгусского метеорита продолжаются.— «Красное знамя» [Томск], 1960, 23 октября.

Об экспедиционных работах в 1959—1960 гг. Результаты обследования места Тунгусской катастрофы в районе междуречья Хушмо-Кимчу.

Плеханов Г. Ф., Васильев Н. В. и Кошелев В. А. Поиски Тунгусского метеорита продолжаются.— «Наука и жизнь», 1961, № 5, с. 76—78.

О деятельности КСЭ летом 1960 года.

По следам Тунгусского метеорита.— «Человек и природа», 1929, № 23, с. 41.

Краткий отчет Л. А. Кулика о работе метеоритной экспедиции в районе Подкаменной Тунгуски.

По следам Тунгусской катастрофы. Томск, Кн. изд., 1960. 159 с.

Перед загл. авт.: Н. В. Васильев, Д. Демин, А. Ероховец и др.

Библиогр.: 94 назв.

О работе экспедиции в составе научных работников и студентов ряда городов Сибири, ставившей целью проверку предположения о ядерной природе Тунгусского взрыва. История изучения Тунгусского метеорита, критический разбор существующих теорий, результаты наблюдений экспедиции летом 1959 г.

Рец.: Буткевич А. В поисках научной истины.— «Природа», 1961, № 12, с. 121.

Полевицкая В. Новое о Тунгусском метеорите.— «В защиту мира», 1961, № 11, с. 88—89.

Описываются известные крупные метеоритные кратеры. В объяснении Тунгусского взрыва автора придерживается кометной гипотезы. Результаты Кетской группы.— «Молодой ленинец» [Томск], 1964, 5 января.

Серебристые облака. КСЭ подводит итоги.— «Молодой ленинец», 1964, 15 января.

Славентатор. Таежная тайна.— «Вокруг света», 1929, № 5.

Смирнов. За Тунгусским дивом.— «Всемирный следопыт», 1929.

Смирнов-Сибирский. За небесным камнем. [М.], «Мол. гвардия», 1931. 44 с.

Об экспедиции Л. А. Кулика 1926—1928 гг.

Соловьев А. В. Там, где упал Тунгусский метеорит. Ист.-геогр. очерк. Л., 1928. 36 с.

Краткий очерк истории изучения Сибири, а также ее природы. Дана схематическая карта района падения Тунгусского метеорита.

Соляник В. Метеорит и электрическое поле.— «Юный техник», 1959, № 3, с. 64—65.

Взрыв и разрушения при падении Тунгусского метеорита автор объясняет как результат взаимодействия электрического поля Земли и мощного электрического заряда, который нес в себе метеорит.

Струков Н. Экспедиция Л. А. Кулика в тайгу за метеоритом.— «Огонек», 1928, № 49, с. 7—9.

Суслов И. М. Где лежит метеорит 1908 г.— «Власть труда» [Иркутск], 1926, 3 декабря.

Сытин В. Л. В Тунгусской тайге. Л., 1929, с. 56. Впечатление участника экспедиции под рук. Л. А. Кулика в 1928 г.

Сытин В. Экспедиция за Тунгусским метеоритом в 1928 году. [Предварительные сообщения].— «Северная Азия», 1928, № 5—6 (23—24), с. 189—190.

Тунгусский метеорит перестал быть загадкой.— «Речник Енисея», 1957, 17 сентября.

Перепечатка статьи Е. Л. Кринова и А. А. Явнеля из «Комсомольской правды», где сообщается, что на основании находок металлических шариков в пробах почв с места падения метеорита наша наука полностью раскрыла былую загадку таинственного в прошлом природного явления.

Фесенков В. Г. и Кринов Е. Л. Тунгусский метеорит или... марсианский корабль?— «Литературная газета», 1951, 4 августа.

Часть световых явлений, наблюдавшихся 30 июня 1908 г., рассматривается как случай обыкновенный, так как ежегодно в северных широтах наблюдаются серебристые облака, не имеющие отношения к свечению продуктов радиоактивного распада. Poleмика с А. Казанцевым и Б. Ляпуновым с позиций кратерообразующего метеорита.

Флоренский К. П. Поиски продолжаются.— «Знание — сила», 1959, № 4, с. 20—22.

Новая экспедиция к месту падения Тунгусского метеорита.

Флоренский К. П. «Тунгусское диво».— «Комсомольская правда», 1959, 8 февраля.

Флоренский К. П. Встреча с пришельцем из Космоса.— «Комсомольская правда», 26 ноября 1961 г.

К итогам работы Тунгусской комплексной метеоритной экспедиции.

Штернфельд А. Метеорит или космический корабль?— «Вокруг света», 1959, № 10, с. 9—12.

О происхождении Тунгусского метеорита.

Янковский К. По исчезающим следам Тунгусской катастрофы.— «Знание — сила», 1960, № 2, с. 6—8.

Янковский К. По исчезающим следам Тунгусской катастрофы.— «Знание — сила», 1960, № 2, с. 6—8.

Воспоминания давнего исследователя, участника экспедиции Л. А. Кулика, о находках в тайге, сделанных им, как о возможных остатках после взрыва Тунгусского метеорита.

Янковский К. И. По следам Тунгусской катастрофы.— «Комсомольская правда», 1960, 31 января.

Янковский К. В поисках неизвестного.— «Знание — сила», 1961, № 6, с. 16—20.

Исследование района Тунгусской катастрофы.

Популярные статьи на иностранных языках

Gäste aus dem Weltenraum? Neue Berliner Illustrierte, 2 Maiheft, 1959.

Ein Eisblock aus dem Weltraum? Neue Untersuchungen über den Tunguska-Meteor. Universum, Bd. 14, N 17—18, s. 539, 1959.

Florensky K. P. Did a comet collide with the Earth in 1908? Sky and Telescope, N 5, v. 26, p.p. 268—269, 1963.

Ketman Georges. Une explosion atomique en 1908 ou une météorite extraordinaire? Sci et vie, N 509, p.p. 93—97, 1960.

L. A. Kulik. La météorite de Sibérie. La Nature, v. 67, p. 129—131, 1939.

R. Mai. Mineralogische Untersuchungen an Bodenproben aus dem Fallgebiet des Tunguskischen Meteoriten. Sterne, Bd. 38, N 11—12, s. 241, 1962.

Nouvelles recherches sur la meteorite tombee en 1908 en Sibirie. Nature (France), 1960, N 3304.

H. Nininger. Out of the Sky. Denver, 1952.

Pybka Przemyslaw. Meteoryt Tunguski. Wszechswiat, 1961, N 4, 77—81.

M. Visoslav H. O kometni naravi Tunguskega meteorite. Proteus, 1963 (1964), 26, N 9—10, p. 244—248.

О ЗАГАДОЧНОЙ «СИБИРСКОЙ ТЬМЕ» 18 СЕНТЯБРЯ 1938 ГОДА

Ю. М. ЕМЕЛЬЯНОВ

18 сентября 1938 года на значительной территории Ямало-Ненецкого национального округа и в северной части Красноярского края (Таймырский нац. округ) произошло своеобразное затмение, получившее впоследствии название «Сибирская тьма». Оно продолжалось несколько часов и во многих пунктах сопровождалось практически полной темнотой.

Первое описание «затмения» было дано В. Н. Андреевым в журнале «Природа» [1]. Там же им была опубликована карта распространения этого явления. Южная граница «затмения» проходила через Тарко-Сале, Янов-Стан и пересекала Енисей примерно в 60—80 км севернее Туруханска. Западная граница проходила через устье Оби при впадении ее в Обскую губу (примерно в 120—150 км восточнее г. Салехарда) и уходила дальше на ССЗ к поселку Щучье. Северная граница «затмения» (по мнению В. Н. Андреева) проходила почти по 68 градусу северной широты, слегка отклоняясь от этой параллели, при движении на восток, к северу.

Таким образом, вся область, охваченная «затмением», представлялась в виде полосы, вытянутой по направлению движения «затмения» с запада на восток (с некоторым отклонением к северу). Существенно отметить, что ширина этой полосы к востоку заметно уменьшается. Объяснить такое изменение ширины полосы «затмения» было затруднительно. Однако, как будет видно из дальнейшего, это затруднение может быть ликвидировано, если учесть, что северная граница «Сибирской тьмы» была указана В. Н. Андреевым не вполне точно.

По мнению автора (В. Н. Андреева), «причины этого поразительного явления следует, очевидно, искать не в космических факторах, а в атмосферных» [1]. Тем не менее, уже чуть ниже автор отмечает, что источник затемнения «... находился на значительной высоте над поверхностью земли и не был связан с помутнением нижних слоев атмосферы, так как в период затемнения ни запахов, ни заметных взвешенных частиц не наблюдалось».

И. С. Астапович в монографии «Метеорные явления в атмосфере Земли» [2] прямо связывает наблюдавшееся явление с вторжением в земную атмосферу облака космической пыли. Например, под картой распространения «Сибирской тьмы» (рис. 269) [2] стоит подпись: «Район, охвачен облаком космической пыли 18 сентября 1938 года в Ямало-Ненецком округе».

В феврале 1963 г. мне довелось побывать в г. Норильске и в г. Дудинке, где удалось собрать некоторые дополнительные данные о «Сибирской тьме». В публикации В. Н. Андреева [1] полностью отсутствуют данные о каких бы то ни было наблюдениях «затмения» в этих районах.

Всего в 1963 г. было опрошено 12 очевидцев, которые были в этих местах осенью 1938 года (9 человек в Норильске и 3 человека в Дудинке). Очевидцы опрашивались в разное время и независимо друг от друга. Результаты опроса приведены в табл. 1.

В то же время, кроме того, были предприняты попытки найти документальные записи о «затмении» 18 сентября 1938 г. в архивных материалах метеостанций в Норильске и в Дудинке. Эти попытки увенчались лишь частичным успехом. В Дудинке архивные материалы 1938 года, к сожалению, не сохранились. Однако сотрудник станции П. И. Кузьмин вспоминал, что он, в свое время, при обработке этих материалов 1938 года встречал упоминание о красно-желтой мгле в южной четверти горизонта. По его словам, солнце было закрыто мглой, но хорошо просматривалось сквозь нее.

В Норильске журналы метеонаблюдений за 1938 г. сохранились. В записи от 18 сентября в них, наряду с другими сведениями о метеобстановке, в частности, говорится, что с 14 до 16 часов наблюдалось «сильное потемнение неба с желтым оттенком». Эти данные также включены в табл. 1.

Таким образом, собранные сведения убедительно показывают, что явление «Сибирской тьмы» распространялось и на эти районы. Но так как интенсивность «потемнения» здесь (особенно в Дудинке) была значительно меньше, чем в районе устьев рек Оби и Таза [1], то следует признать, что именно здесь, в районе гг. Дудинка и Норильск, проходил северный край полосы «затмения».

В то время как в южных частях Обской и Тазовской губ потемнение было практически полным, «... небо и земля не отличались друг от друга по освещению и окраске: все казалось однородным, черным, абсолютно лишенным света» [1], то в Норильске полной темноты не было и все очевидцы упоминают лишь о сильных сумерках, сравнивая их с «полярными сумерками». Кроме того, все очевидцы упоминают об окраске неба в это время в желто-красно-коричневые тона. Можно отметить, что совершенно аналогичные описания явления «Сибирской тьмы» приводят В. Н. Андреевым для пунктов, расположенных около границ полосы «затмения» (Ям-Сале-Епоко), а также для всех остальных пунктов при начальных и конечных стадиях «затмения».

Как уже упоминалось выше, в Дудинке «Сибирская тьма» проявлялась лишь в виде «красно-желтой мглы» или «жидкого тумана» в южной части горизонта, через которые «хорошо просматривалось солнце».

Таким образом, по-видимому, более правильным следует считать в качестве северной границы «Сибирской тьмы», линию, проходящую от Епоко (Восточное побережье Обской губы) к Дудинке, чуть южнее последней, и дальше севернее Норильска через южную часть озера Пясино (рис. 1). Если принять в качестве северной эту границу «Сибирской тьмы», то при взгляде на карту становится очевидным, что ширина полосы «затмения» практически не изменяется при движении облака на восток. Ширина полосы «затмения» на всем известном протяжении составляет 300—320 км. Такая форма полосы «затмения», по-видимому, более правдоподобна, чем сужающаяся к востоку (по В. Н. Андрееву [1]).

Движение облака в общем, в восточном направлении, вероятно, не вызывает сомнений в настоящее время. Таково мнение и В. Н. Андреева [1] и И. С. Астаповича [2], об этом вполне согласно между собой говорят и показания очевидцев. Однако теперь, в связи с уточнением границ

Таблица 1

Фамилия, имя и отчество наблюдателя и место наблюдения	Время начала потемнения и продолжительность "затмения"	Степень и цвет потемнения	Направление движения черного облака	Запах и присутствие посторонних частиц в атмосфере
1	2	3	4	5
Павлов Григорий Алексеевич, г. Норильск	Среди дня стало "сильно темнеть". "Затмение" продолжалось несколько часов	Освещение словно в сильные сумерки. Цвет освещения темнооранжевый. "Словно солнце пробивалось"	С запада	Посторонних запахов заметно не было
Самбурский Александр Львович, г. Норильск	Темнота наступила в 11 часов дня и продолжалась около часа	Стало совсем темно, как в полные сумерки. Как будто все закрыло облако тумана или пыли темнокоричневого цвета	Облако шло с Дудинки (с ЗСЗ)	Дымом не пахло
Старицкий Георгий Георгиевич, г. Норильск	В 3—4 часа дня внезапно потемнело. "Затмение" продолжалось 15—20 минут	Равномерная мгла, на месте, где было солнце, виднелось красное закатное свечение	Направления движения облака наблюдатель не помнит. Отмечает только, что северо-запад был более светлым.	Посторонних запахов заметно не было
Тростин, г. Норильск	Потемнело в середине дня, темнота держалась долго	Равномерная мгла, через которую просвечивал слабый контур диска солнца	—	Запаха не было
Торопко, г. Норильск	Явления не помнит	Явления не помнит		
Семенов Александр Григорьевич	Явления не помнит	Явления не помнит		
Плешаков, г. Норильск	Явления не помнит	Явления не помнит		
Седов, г. Норильск	Явления не помнит	Явления не помнит		
Мураханов, г. Норильск	Явления не помнит	Явления не помнит		

Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5
Лепетченко Дмитрий Савельевич, г. Дудинка	Мгла появилась после обеда и держалась до- вольно долго (в течение нескольких часов)	Желтоватая мгла вверх	Мгла появилась с за- пада, со стороны остро- ва Кабацкого	Пыли и запаха не было
Чабан Иван Андреевич, г. Дудинка	Явление было про- должительным	Небольшая облачность в виде жидкого тумана. Через нее видно солнце.	Явление наблюдалось на юге	Запаха не было
Григорьев, г. Дудинка	Явления не помнит			
Из журнала метеонаб- людений, г. Норильск (оз. Долгое)	с 14 до 16 часов	Сильное потемнение неба с жел- тым оттенком	—	—
Кузьмин Петр Ивано- вич (по памяти об опи- сании явления в мате- риалах метеостанции в Дудинке)	—	Сквозь мглу хорошо просматрива- лось солнце. Освещение в это вре- мя было красно-желтым	Явление наблюдалось в южной четверти гори- зонта	Ощущался запах гари. В воздухе была пыль (зола)

включая фазы перехода от нормального освещения к «сильному потемнению» и обратно, естественно, должно быть больше. Судя по описаниям «Сибирской тьмы» в различных местах [1], продолжительность фаз перехода от нормального освещения к освещению во время «затмения» и, наоборот, составляет около 30 минут. Поэтому в качестве времени начала потемнения в г. Норильске (оз. Долгое) можно принять 13 часов 30 минут, т. е. на 30 минут раньше того времени, которое указано в журнале метеонаблюдений. Время окончания «затмения» принято равным 16 часов 30 минут, т. е. на 30 минут позже того времени, что указано в журнале метеонаблюдений (16 ч.).

Таблица 2

Населенный пункт	Часовой пояс	Местное время (поясное)		Московское время (декретное)	
		начала «затмения»	окончания «затмения»	начала «затмения»	окончания «затмения»
Ныда	V	9 час.	11 час.	7 час.	9 час.
Хальмер-Седе	V	8 час 30 мин.	14 час.	6 час. 30 мин.	12 час.
Игарка	VI	13 час.	17 час.	10 час.	14 час.
Норильск (оз. Долгое)	VI	13 час. 30 мин. (14 час.)*	16 час. 30 мин. (16 час.)*	10 час. 30 мин.	13 час. 30 мин.

Примечание: В журнале метеостанции приведено местное солнечное время.

Располагая этими данными о времени начала и окончания «затмения» в различных пунктах (см. табл. 2), можно сделать попытку оценить, хотя бы приближенно, скорость распространения «затмения», а, следовательно, и скорость движения черного облака. Для этого удобно сопоставить, например, время начала «затмения» в Хальмер-Седе (6 час. 30 мин. по московскому времени) и в Норильске (московское время, соответственно, 10 час. 30 мин.). Расстояние между Хальмер-Седе и Норильском 440 км. Отсюда легко получить скорость движения черного облака:

$$440 \text{ км} : 4 \text{ час.} = 110 \text{ км/час.}$$

Аналогичный результат дает также сопоставление времени окончания «затмения» в Ныде и в Хальмер-Седе. «Затмение» окончилось в Ныде в 9 часов по московскому времени, а в Хальмер-Седе в 12 часов. Расстояние между этими населенными пунктами около 270 км. Отсюда скорость движения облака в ВСВ-направлении оказывается равной:

$$270 \text{ км} : 3 \text{ час.} = 90 \text{ км/час.}$$

Сопоставление времени окончания «затмения» в Ныде и в Игарке (расстояние около 600 км) дает скорость распространения облака

$$600 \text{ км} : 5 \text{ час.} = 120 \text{ км/час.}$$

Учитывая малую точность определения времени начала и окончания «затмения» (30 минут), полученные результаты следует признать удовлетворительными. Кроме того, как это будет видно из дальнейшего, оценка скорости движения облака по времени окончания «затмения» в Ныде и в Хальмер-Седе, которая дает 90 км/час, может быть занижена.

В самом деле, если сопоставить время начала «затмения» в разных населенных пунктах западной части полосы «затмения» (например, в Ныде и в Хальмер-Седе), то получается, что «затмение» в этих местах началось практически одновременно. В Хальмер-Седе даже на полчаса раньше, несмотря на то, что этот населенный пункт расположен много восточнее Ныды. Этот факт свидетельствует, по нашему мнению,

о том, что черное облако появилось почти одновременно над всей западной частью полосы «затмения». (Возможно даже в форме более или менее правильного круга, диаметром около 300 км).

Точность оценок скорости движения черного облака в большой мере зависит от правильности этого предположения. Наиболее точными эти результаты, естественно, были бы в том случае, если бы формирование облака закончилось одновременно над всей территорией западной части полосы «затмения». Но если же, например, в Ныде этот процесс закончился несколько раньше, чем в Хальмер-Седе (что вполне вероятно, так как Ныда расположена близко от западной границы полосы «затмения», то тогда оценка скорости движения облака по времени окончания «затмения» в этих пунктах будет заниженной.

К этому, кстати, имеются некоторые основания. Облако, по-видимому, было неоднородным и состояло, вероятно, из нескольких частей. Об этом можно судить по описаниям явления «Сибирской тьмы», сделанным некоторыми очевидцами. В. Н. Андреев, например, при описании явления в Хальмер-Седе упоминает о просветлении после полного потемнения в начале «затмения» и о последующем вторичном потемнении почти до полной темноты [1]. Об аналогичном протекании «затмения», с просветлением в середине, упоминает также В. Н. Болдырев в рассказе «Черное покрывало» [3].

Теперь следует вернуться к вопросу о возможной природе черного облака, причины «Сибирской тьмы». Как уже упоминалось выше, по этому вопросу имеются в основном две точки зрения. По мнению И. С. Астаповича [2], «Сибирская тьма» была вызвана облаком космической пыли, вторгшимся в атмосферу Земли. С точки зрения В. Н. Андреева [1], «затмение» вызвано атмосферными причинами, а не космическими. С этой точки зрения солидаризируется и В. Н. Болдырев [3]. По его мнению, «Пепел таежного пожара совершил длинное путешествие, перелетев из южной тайги на дальний север ... Космическая пыль оказалась здесь ни при чем».

Однако, на наш взгляд, последнее объяснение совершенно неправдоподобно и в качестве наиболее вероятного объяснения природы черного облака следует признать его космическое происхождение. Об этом свидетельствует, в первую очередь, отсутствие каких бы то ни было сведений о «затмении» из населенных пунктов, расположенных к западу и к югу от полосы «затмения». Если бы «затмение» было вызвано облаком дыма от пожара, то это облако не могло совершенно незаметно «перелететь» от места пожара в Ямало-Ненецкий нац. округ и здесь внезапно проявиться в виде непроницаемо-черного облака, на несколько часов затмившего Солнце. Если бы «затмение» было вызвано дымом от пожара или облаком других твердых частиц, поднятых в воздух ветром, то путь этого облака неминуемо был бы прослежен на всем его пути от места возникновения.

При этом следует иметь в виду, что как к западу, так и к югу от западного конца полосы «затмения» находятся довольно густо населенные районы с большим числом населенных пунктов вдоль нижнего течения Оби. Неминуемо должны были попасть в полосу затмения такие горючие породы, как Салехард, Березов и др., если только допустить, что облако было принесено ветром с запада или юго-запада. Однако имеются совершенно точные сведения [1, 3], утверждающие, что в Салехарде никаких, даже самых слабых, признаков «затмения» не наблюдалось.

Таким образом, почти единственно возможным источником появления черного облака является космическое пространство. Черное облако получилось, вероятно, из довольно плотного сгустка космической пыли,

выпавшего в течение короткого промежутка времени (не более 1,0—1,5 часов) и задержанного в верхних слоях атмосферы.

О кратковременности выпадения космической пыли говорит также тот факт, что после внезапного появления черного облака в западной части полосы «затмения», все дальнейшее развитие явления заключалось, по-видимому, лишь в смещении этого облака атмосферными течениями в восток-северо-восточном направлении со скоростью около 100 км/час. Нет никаких сведений о выпадении в это время новых порций космической пыли в прилежащих или более удаленных районах Земного шара.

Для определения хотя бы порядка величины частиц, составлявших черное облако, представляет интерес определить глубину проникновения облака в земную атмосферу. Для этого следует получить из материалов вертикального зондирования атмосферы в середине сентября 1938 года распределение воздушных потоков на разных высотах с тем, чтобы определить высоту, на которой могло двигаться черное облако в ВСВ-направлении со скоростью около 100 км/час. Безусловно, что это прольет новый свет на природу «Сибирской тьмы» 1938 года.

В заключение мне хочется принести мою самую глубокую благодарность всем, кто своими воспоминаниями способствовал появлению настоящей статьи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Андреев В. Н. Природа, № 2, 62, 1940.
 2. Астапович И. С. Метеорные явления в атмосфере Земли, 1958.
 3. Болдырев В. Н. Полуостров загадок. Географиз, 1959.
-

ЭКСПЕДИЦИЯ НА ПАТОМСКИЙ КРАТЕР

Ю. Л. КАНДЫБА, Ю. Ф. БОЛЕСТО, З. А. КРОВОТА, А. А. КОРЗЕННИКОВ,
Н. И. НЕКРЫТОВ

В 1949 году при геологической съемке северо-восточной части Патомского нагорья (Иркутская обл. Бодайбинский район) геологи обнаружили интересное кратероподобное образование с центральной горкой посередине. В сообщении Колпакова (1951) было высказано предположение, что «наиболее вероятной причиной возникновения этого конуса могло послужить падение крупного метеорита, углубившегося при ударе в скалу и там взорвавшегося».

На статью Колпакова откликнулся проф. С. В. Обручев (1951), который, ознакомившись с материалами, полученными геологами, и проанализировав геологическую обстановку Прибайкалья и Забайкалья, пришел к выводу, что «кратер мог образоваться только в результате прорыва со значительной глубины газов или паров, которые... пробili цилиндрическую трубку в участке, ослабленном тектоническими разломами».

Летом 1961 года геолог А. М. Портнов (1962) определил основные параметры кратера и коренных выходов на речке Явольдин (Джебульдо). Происхождение кратера он объясняет проникновением и взрывом метеорита на глубине 180—200 метров с последующим вспучиванием поверхности земли и оседанием раздробленных пород, о чем свидетельствует образование центральной горки. Все эти обследования, по существу, являются морфологическими, и поиски метеоритного вещества не были осуществлены ни одним из авторов.

Патомский кратер расположен в бассейне р. Хомолхо, входящей в гидрографический район р. Олекмы, на склоне долины на высоте 120 м над ее тальвегом. Долина речки Явольдин у кратера лежит приблизительно на 170 м выше уровня р. Хомолхо. Геологическая структура района кратера — спокойно падающее на ЗЮЗ крыло древней синклинали, сложенное на несколько километров в глубину метаморфическими породами докембрия и нижнего палеозоя, перекрытых круто падающей на запад толщей известняков мощностью около 400 метров. Как коренные выходы пород, так и породы, слагающие кратер, представлены углистыми филлитами, кварцитовидными песчаниками, кварцитами и известняками. В районе кратера отсутствуют крупные разломы, какие-либо проявления вулканизма и выходы на поверхность магматических пород — гранитов, габбро и др.

Конус кратера расположен на склоне горы, покрытой густым лесом, и сложен глыбами различных размеров и щебнем мелко- и средне-

кристаллических серых известняков, содержащих примеси глинистого и углистого материала. Ребра обломков резкие и острые. Верхняя часть конуса, внешние, внутренние борта и центральная горка сложены из наиболее крупных глыб и только с западной стороны, на внешнем склоне, лежит мелкий, осыпавшийся под ногами щебень. Внутри кратера развилась мерзлота. При шурфовании подножья борта кратера в его восточной части с целью отыскания погребенной почвы мерзлота появилась на глубине 1,0—1,2 метра.

Летом 1963 года Сибирская комиссия по метеоритам при СО АН СССР направила экспедицию из 13 человек для проведения инструментальных работ на Патомском кратере. Экспедиция функционировала на общественных началах. При планировании работ в качестве рабочей гипотезы нами предполагался взрыв железного метеорита с образованием кратера. В связи с этим согласно плану были проведены следующие виды работ: 1) топографическая съемка кратера в масштабе 1:500; 2) металлометрическая съемка со взятием почвенных проб для минералогического изучения и поисков морфологически аномальных частиц; 3) шлиховое опробование с магнитной сепарацией для обнаружения микроскопических метеоритных частиц; 4) индуктометрический поиск сравнительно крупных осколков метеорита, которые могли выпасть при взрыве по периферии кратера; 5) магнитометрическая съемка кратера по сетке 20×20 м для выявления большой метеоритной аномалии.

Топографические работы позволили уточнить морфологическое строение кратера. Кольцевой вал представляет волнистый гребень с правильным чередованием повышений, выложенных наиболее крупными глыбами, и понижений, выложенных крупным щебнем. Повышения в виде лучей сходятся к центральной горке. У верхнего среза кратер представляет собой почти правильный круг диаметром 81 метр, основание же его имеет форму эллипса, большая ось которого 174 м, а малая — 121,5 м. Плоскость верхнего среза скошена с наклоном 5° к ССЗ. В середине кратера, как уже указывалось, располагается центральная горка, высота которой не превышает глубину кратера. Вершина ее в плане представляет подковообразную форму, выпуклая сторона которой обращена в сторону падения плоскости верхнего среза конуса кратера.

Кратер, по-видимому, имеет не один, а по крайней мере, два вала, причем второй вал прерывается по малой оси кратера и выражен слабо. Позднейшие процессы снивелировали гребни, задерновали склоны, и в настоящее время эта часть вала имеет вид серпа с наибольшей шириной 12 метров.

Магнитометрическая съемка кратера производилась прибором М-2 с расстоянием между станциями замеров в 20 м. Отсчеты были взяты на 174 точках. Магнитное поле как в окрестностях кратера, так и в разных точках в радиусе 3 км от кратера имеет одинаковое значение. В самом кратере заметны колебания значений при вертикальном масштабе на графиках Z_a в 1 см—100 γ. На основании магнитометрических данных и построенных графиков Z_a пока нельзя дать однозначный ответ о наличии магнитной аномалии на кратере.

Для поисков крупных обломков метеорита, возможно выпавших по периферии кратера, были пройдены 5 зигзагообразных радиальных маршрутов общей длиной 4,5 км. Поиски проводились миноискателем и дали отрицательный результат.

Не дали положительного результата и поиски метеоритного вещества, рассеянного в почве. Для поисков его была проведена металлометрическая съемка местности на площади около 2 кв. км. Было отобрано 80 проб почвы. В каждой точке отбиралось две пробы с глубин 0—5

и 15—20 см. Исследование проб проводилось с помощью полуколичественного спектрального анализа. В пределах чувствительности методики выявлено повышенное в сравнении с кларком содержание магния в девяти не связанных между собою пробах и уменьшение ниже кларка элементов Co, Mo, Fe, Cr.

Шлиховое опробование местности производилось по шести радиальным ходам на удалении от кратера до 260 метров. Пробы объемом 0,01 м³ промывались в деревянном лотке корейского типа. Промывка совмещалась с ситовым разделением мокрого материала по трем фракциям и обработкой ручным брусковым магнитом каждой последующей фракции. Отмученный глинистый материал магнитом не обрабатывался. Оставшийся в лотке серый шлик переносился в совок и подсушивался на костре. Из подсушенных шлихов магнитом, обернутым в кальку, отбиралась монофракция. Общий вес монофракции из 50 почвенных проб составил около 50 г.

В минералогическом составе монофракции преобладают трудноопределяемые лимонитизированные зерна, кроме того, в небольших количествах отмечаются зерна магнетита, лимонитизированные кубики пирита, очень мелкие свежие зерна ильменита и гематита. Во многих пробах встречаются изогнутые, неправильной формы, с серебристым отливом пластинки, напоминающие стружки. Реакция на железо этих образований дала положительный результат. Спектральный анализ этих частиц показал, что отношение железо—никель в них составляет 10 к 1.

Камеральной обработкой шлихов занимались Н. Щербина (кафедра петрографии Томского государственного университета) и Ю. Кандыба. Из монофракции ими было извлечено более 100 магнетитовых шариков размерами от 5 до 110 микрон. Все обнаруженные шарики можно классифицировать на три группы: 1) идеально правильные сферы с гладкой блестящей поверхностью, 2) полусферы с гладкой синеватой или черной поверхностью и 3) капли. Спектральный анализ шариков не проводился в виду малого их количества. Из почвенной пробы удавалось выделить максимум 5 шариков. В распределении их относительно кратера наметилась некоторая закономерность: в ближайших окрестностях кратера шарики в пробах почвы содержатся в большом количестве и более густо встречаются пробы, содержащие шарики.

Результаты всех проведенных работ не дают положительного ответа на вопрос о метеоритном происхождении Патомского кратера. Однако не было получено и данных, свидетельствующих в пользу иной природы этого образования. Весьма существенным доказательством причин образования кратера могут быть обнаружения с помощью геофизических методов или трубки взрыва, если природа кратера вулканическая, или зоны раздробленных пород, в случае его метеоритного происхождения. Мы считаем целесообразным также исследование с применением более точных методов распределения магнетитовых шариков в районе кратера с параллельным изучением распределения их в контрольных районах Патомского нагорья.

ЛИТЕРАТУРА

1. Колпаков В. В. Загадочный кратер на Патомском нагорье. Природа, 1951, № 2.
2. Обручев С. В. Загадочный кратер на Патомском нагорье. Природа, 1951, № 2.
3. Портнов А. М. Кратер на Патомском нагорье. Природа, 1962, № 11.

НЕКОТОРЫЕ СТАТИСТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ МЕТЕОРНЫХ ТЕЛ И МЕТЕОРИТОВ

Р. Г. ЛАЗАРЕВ

1. Численность спорадических метеоров при визуальных наблюдениях

Одной из важнейших задач визуальных и телескопических наблюдений метеоров является определение истинной функции светимости. Другие, более точные методы (фотографические, радиотехнические) до сих пор во многом опираются на результаты первых двух. Например, степенной закон распределения метеорных тел по массе, принятый «безоговорочно» в радиолокационной метеорной астрономии, основан на результатах визуальных определений функции светимости. Определение коэффициентов замечаемости связано с большими трудностями и коэффициенты, как правило, отягощены рядом ошибок, случайных и систематических. Ясно, что и истинная функция светимости получается искаженной теми же ошибками.

В работе [1] К. А. Любарский исследует различные случайные ошибки (ошибка в оценке звездной величины, эффект длины метеорного следа, эффект обрыва следа при телескопических наблюдениях). Для выяснения роли случайной ошибки μ в оценке звездной величины он рассматривает интегральные уравнения вида

$$n(m) = \frac{h}{\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{+\infty} p(m - \mu) N(m - \mu) e^{-h^2 \mu^2} d\mu.$$

Здесь $n(m)$ — наблюдаемое число метеоров величины m , p — коэффициент замечаемости, N — функция светимости. Автор приходит к выводу о том, что случайные ошибки сильно искажают функцию светимости.

В данной работе мы остановимся на роли систематических ошибок, рассмотрим, главным образом, их влияние на оценку численности наблюдаемых метеоров. Систематические ошибки (например, личная ошибка наблюдателя) приводят к тому, что общее число наблюдаемых метеоров до некоторой предельной звездной величины μ определяется неправильно, так как наблюдатель замечает метеоры до величины $\mu - \Delta m$, которую он ошибочно оценивает как величину μ . Здесь Δm — систематическая ошибка (положительная или отрицательная).

Общее число метеоров

$$n = n(\mu) = \int_{-\infty}^{\mu} p(m) N(m) dm. \quad (1)$$

С учетом систематической ошибки

$$n' = n(\mu - \Delta m) = \int_{-\infty}^{\mu - \Delta m} p(m) N(m) dm. \quad (2)$$

Систематической ошибкой можно считать также, например, эффект угловой скорости метеоров, приводящий к завышению предельной наблюдаемой величины ($\Delta m > 0$).

Для оценки численности наблюдаемых метеоров примем, как обычно, что истинная функция светимости имеет вид $N(m) = N(0) \chi^m$. Для коэффициентов замечаемости в пределах $1 \div 6$ величины возьмем ряды, полученные Эпиком [2] и Хофмейстером [3].

Таблица 1 (Эпик)

m	$<2,7$	3,0	3,5	4,0	4,5	5,0
$p(m)$	1,00	0,88	0,67	0,46	0,175	0,101

Таблица 2 (Хофмейстер)

m	0	1	2	3	4	5	6
$p(m)$	1,00	0,95	0,78	0,51	0,25	0,05	0,001

Для шкалы Эпика в интервале $2^m, 7 \div 4^m, 5$ довольно точно выполняется линейный закон $p(m) = 2,26 - 0,46 m$. Для шкалы Хофмейстера

более подходящим является показательный закон $p(m) = \exp\left(-\frac{m^2}{4\beta}\right)$,

где β , вообще говоря, является функцией от m , причем убывает почти линейно от $\beta(1) = 4,72$ до $\beta(6) = 1,30$. Коэффициенты замечаемости Хофмейстера можно выразить более точно с помощью функции

$$p(m) = \exp\left(-\frac{m^2}{4\beta}\right) P_n(m), \text{ где } P_n(m) \text{ — полином } n\text{-ой степени. При}$$

приближении полиномом второй степени результаты вычислений по способу наименьших квадратов дают

$$p(m) = \exp\left(-\frac{m^2}{13,32}\right) (1 + 0,16 m - 0,056 m^2),$$

причем $\beta = 3,33$ — величина постоянная. Для полинома третьей степени

$$p(m) = \exp\left(-\frac{m^2}{13,32}\right) (1 + 0,1275 m - 0,0429 m^2 - 0,0011 m^3),$$

В последнем случае отклонения от величин таблицы Хофмейстера не превышают 5%.

Примем сначала, что $p(m)$ аппроксимируется показательной функцией $p(m) = \exp\left(-\frac{m^2}{4\beta}\right)$, причем $\beta = \text{const}$ (например $\beta = 3$, т. е.

среднему значению). Предположим, что $x = e = 2,71$. Равенство (1) перепишется в виде

$$n = n(\nu) = N(0) \int_{-\infty}^{\mu} \exp\left(m - \frac{m^2}{4\beta}\right) dm. \quad (3)$$

Согласно [4]

$$\int_0^{\infty} \exp\left(-\gamma m - \frac{m^2}{4\beta}\right) dm = \sqrt{\pi\beta} \exp(\beta\gamma^2) [1 - \Phi(\gamma\sqrt{\beta})], \quad \operatorname{Re} \beta > 0. \quad (4)$$

Здесь $\Phi(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_0^x e^{-t^2} dt$ — интеграл вероятностей.

$$\int_{\mu}^{\infty} \exp\left(-\gamma m - \frac{m^2}{4\beta}\right) dm = \sqrt{\pi\beta} \exp(\beta\gamma^2) \left[1 - \Phi\left(\gamma\sqrt{\beta} + \frac{\nu}{2\sqrt{\beta}}\right)\right]. \quad (5)$$

$\operatorname{Re} \beta > 0, \mu > 0.$

Вычитывая из равенства (4) равенство (5), получим

$$\int_0^{\mu} \exp\left(-\gamma m - \frac{m^2}{4\beta}\right) dm = \sqrt{\pi\beta} \exp(\beta\gamma^2) \left[\Phi\left(\gamma\sqrt{\beta} + \frac{\mu}{2\sqrt{\beta}}\right) - \Phi(\gamma\sqrt{\beta})\right]. \quad (6)$$

Заменим далее в (4) m на $-m$.

$$\text{Тогда } \int_{-\infty}^0 \exp\left(\gamma m - \frac{m^2}{4\beta}\right) dm = \sqrt{\pi\beta} \exp(\beta\gamma^2) [1 - \Phi(\gamma\sqrt{\beta})]. \quad (7)$$

Наконец, полагая в (6) $\gamma = -1$, а в (7) $\gamma = 1$ и складывая (6) и (7), полу-

$$\text{чим } n = n(\nu) = \int_{-\infty}^{\mu} \exp\left(m - \frac{m^2}{4\beta}\right) dm = \sqrt{\pi\beta} \exp(\beta) \left[1 + \Phi\left(-\sqrt{\beta} + \frac{\mu}{2\sqrt{\beta}}\right)\right]. \quad (8)$$

Систематическая ошибка приводит к изменению интегральной численности метеоров

$$\begin{aligned} n' = n(\nu - \Delta m) &= \int_{-\infty}^{\mu - \Delta m} \exp\left(m - \frac{m^2}{4\beta}\right) dm = \\ &= \sqrt{\pi\beta} \exp(\beta) \left[1 + \Phi\left(-\sqrt{\beta} + \frac{\mu - \Delta m}{2\sqrt{\beta}}\right)\right]. \end{aligned} \quad (9)$$

Из (8) и (9)

$$\frac{n'}{n} = \frac{1 + \Phi\left(-\sqrt{\beta} + \frac{\nu - \Delta m}{2\sqrt{\beta}}\right)}{1 + \Phi\left(-\sqrt{\beta} + \frac{\mu}{2\sqrt{\beta}}\right)}.$$

При возрастании ν это отношение неограниченно приближается к еди-

нице. При $\beta = 3$, $\mu = 2$ и $\Delta m = 1$, $\frac{n'}{n} = 0,417$, а при $\mu = 6$ (предельная

величина для визуальных наблюдений) $\frac{n'}{n} = 0,689$; при $\Delta m = 0,5$ эти величины равны соответственно 0,641 и 0,838. Физически это означает тот очевидный факт, что ошибка в предельной наблюдаемой величине не может сильно повлиять на оценку общего количества наблюдаемых до данной величины метеоров, которое складывается в основном из метеоров более ярких ($3 \div 4$ величины). Это тем более верно, что действительные коэффициенты замечаемости для слабых метеоров еще меньше, чем $p(m) = \exp\left(-\frac{m^2}{4\beta}\right)$. Но систематическая

ошибка, конечно, сильно искажает коэффициенты замечаемости, а значит и истинную функцию светимости.

Если использовать для $p(m)$ более точную оценку $p(m) = \exp\left(-\frac{m^2}{4\beta}\right) P_n(m)$, то можно написать

$$\begin{aligned} n - n' &= N(0) \int_{\mu - \Delta m}^{\mu} x^m \exp\left(-\frac{m^2}{4\beta}\right) P_n(m) dm < \\ &< N(0) x^{\mu} \exp\left[-\frac{(\mu - \Delta m)^2}{4\beta}\right] P_{\max}(m) \cdot \Delta m \rightarrow 0 \end{aligned}$$

при $\mu \rightarrow \infty$ и $\frac{n'}{n} \rightarrow 1$ при $\mu \rightarrow \infty$. Это последнее отношение стремится

к единице, даже если систематическая ошибка возрастает (не очень сильно) с ростом μ .

2. К вопросу о влиянии эффекта угловой скорости метеоров на величину средней гелиоцентрической скорости, определяемую из суточной вариации численности

В предыдущем параграфе было показано, что с возрастанием звездной величины метеора влияние систематической ошибки на наблюдаемую численность метеоров убывает. Отсюда следует, что эффект угловой скорости незначительно влияет на наблюдаемые численности и его роль убывает с ростом предельной наблюдаемой величины метеора. Можно показать, что влияние этого эффекта на величину средней гелиоцентрической скорости ω , определяемую из суточной вариации численности, практически исключено.

Общее число наблюдаемых метеоров до величины μ есть

$$n = N(0) \int_{-\infty}^{\mu} x^m p(m) dm.$$

С учетом эффекта угловой скорости число метеоров будет

$$n' = N(0) \int_{-\infty}^{\mu - \Delta m} x^m p(m) dm,$$

так как в действительности мы наблюдаем метеоры до величины $\mu - \Delta m$, а не μ . Зависимость между n и n' была получена в предыдущем параграфе (при некоторых дополнительных предположениях). Влияние эффекта угловой скорости метеоров рассматривается

в работе [5]. Покажем, что для численности метеоров n и n' равенство

$$n' = N(0) \int_{-\infty}^{\mu - \Delta m} x^m p(m) dm = x^{-\Delta m} n$$

не может иметь места.

В самом деле, полагая $m' = m + \Delta m$, получим (если допустить, что Δm не зависит от m):

$$\begin{aligned} n' &= N(0) x^{-\Delta m} \int_{-\infty}^{\mu} x^{m'} p(m' - \Delta m) dm' = \\ &= N(0) x^{-\Delta m} \int_{-\infty}^{\mu} x^m p(m - \Delta m) dm \neq N(0) x^{-\Delta m} \int_{-\infty}^{\mu} x^m p(m) dm. \end{aligned}$$

В противном случае нужно считать, что $p(m - \Delta m) = p(m)$, что означало бы, что вероятностная функция есть константа.

Гелиоцентрическая скорость w определяется из формулы Штауде (Хофмейстера):

$$n = n_0 \left(1 + \frac{1}{w} \cos z_A \right)^2,$$

где n — наблюдаемая численность,

w — средняя гелиоцентрическая скорость,

z_A — зенитное расстояние апекса.

Предположим, что равенство $n = n' x^{\Delta m}$ выполняется. Для снижения величины w до эллиптического значения необходимо показать, что из-за влияния эффекта угловой скорости уменьшается амплитуда суточной вариации. Следовательно, множитель $x^{\Delta m}$ должен иметь суточный период изменения.

Так как $\Delta m = \Delta m(\omega)$, где ω — угловая скорость метеора, то нужно, чтобы ω в свою очередь была функцией зенитного расстояния апекса.

Имеем

$$\omega = \frac{V_g \sin \eta \cos z}{H}, \quad (1)$$

где

η — элонгация метеора от радианта (например, центра метеорного следа),

z — зенитное расстояние метеора (центра следа),

H — высота метеора над поверхностью Земли,

V_g — линейная скорость (с учетом притяжения Земли).

$$V_g^2 = \Lambda^2 V_0^2 + 2Rg, \quad (2)$$

где R — радиус метеорной зоны, $R \cong R_0 + 100$ км,

g — ускорение силы тяжести на расстоянии R ,

V_0 — орбитальная скорость Земли

$$\Lambda = \cos \varepsilon + \sqrt{\omega^2 - \sin^2 \varepsilon}, \quad (3)$$

где ε — видимая элонгация радианта от апекса. Ни одна из величин, входящих в равенства (1), (2), (3), или их комбинация, не приводят к требуемой зависимости угловой скорости от z_A .

Таким образом, эффект угловой скорости метеоров очень мало изменяет наблюдаемые численности, а его влияние на амплитуду суточной вариации численности, а значит, и на величину средней гелиоцентрической скорости w вообще практически исключено.

Заметим, что Эпик и Хофмейстер еще в тридцатые-сороковые годы пришли к заключению о незначительной роли эффекта угловой скорости.

3. Распределение направлений движения метеорных частиц и метеоритов

Непосредственное определение орбит метеоров фотографическими и радиотехническими методами указывает на значительное преобладание прямых движений. Косвенные статистические методы подтверждают этот вывод. Например, определение средней гелиоцентрической скорости ω из наблюдений численности метеоров n по формуле Штауде $n = n_0 (1 + \frac{1}{\omega} \cos z_A)^2$ приводит к «гиперболическим» значениям ω ,

т. е. $\omega > \sqrt{2}$. Это позволило еще более 20 лет тому назад прийти к заключению, что уменьшение амплитуды суточной вариации численности вызвано преобладанием орбит с прямым движением метеорных тел [6].

Для визуальных метеоров $\omega \approx 2$ (Хофмейстер), для радиометеоров $\omega = 2 \div 2,5$ [7], для телескопических $\omega \approx 4$ (Кресакова, Кресак, 1955).

Можно предположить, что по мере уменьшения масс метеоров в ряду визуальные — радио-телескопические метеоры возрастает число орбит с прямым движением (что вызывает кажущееся возрастание ω). Такой же вывод на основании наблюдений телескопических метеоров делают Кресак и Кресакова [8].

Проследим теперь этот ряд частиц в сторону возрастающих масс — фотографические метеоры, слабые, яркие и звуковые болиды и, наконец, метеориты. Уиппл и Хьюз [9] пришли к заключению, что возрастание числа орбит с прямым движением продолжается и в сторону больших масс, так что наибольшим преобладанием орбит с прямым движением и малым наклоном отличаются болиды и особенно метеориты. Большинство метеоритов является догоняющими Землю, имеют малые наклоны и входят в земную атмосферу со скоростями ~ 17 км/сек. Учитывая физический фактор (большие скорости и светимости встречных частиц), Б. Ю. Левин [10] нашел, что отношение числа визуальных метеорных частиц с прямым движением к числу частиц с обратным движением порядка $10^4 \div 1,5 \cdot 10^4$. Таким образом, нужно, видимо, считать, что это отношение прогрессивно убывает от мелких частиц к крупным, хотя все еще остается весьма высоким даже для метеоритов. Для метеоритов оно к тому же возрастает благодаря влиянию физического фактора: встречные метеорные тела с большими массами сильнее разрушаются вследствие более высокой скорости и не достигают поверхности Земли.

Краткое сообщение, касающееся результатов этой работы, опубликовано в [7].

ЛИТЕРАТУРА

1. Любарский К. А. Бюллетень комиссии по кометам и метеорам АС АН СССР, № 7, 36, 1962.
2. Астапович И. С. Метеорные явления в атмосфере Земли. М., 1958.
3. Ловелл Б. Метеорная астрономия. М., 1958.
4. Градштейн И. С., Рыжик И. Н. Таблицы интегралов, рядов, сумм и произведений, 321, М., 1962.
5. Когоутек Л. Бюллетень астрономических институтов Чехословакии. 15, № 1, 20, 1964.
6. Федьнский В. В. Сб. «Метеоры». 282, М., 1959.
7. Лейкин А. М., Лазарев Р. Г. Доклады III Сибирской конференции по математике и механике. 324, Томск, 1964.
8. Кресак Л., Кресакова М. Бюллетень астрономических институтов Чехословакии, 15, № 6, 255, 1964.
9. Уиппл Ф. Л., Хьюз Р. Ф. Сб. «Метеоры». 239, М., 1959.
10. Левин Б. Ю. МГГ. Исследования ионосферы и метеоров, № 2, 54, 1960.

ТЕРМОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПОРОД ИЗ РАЙОНА ТУНГУССКОГО ПАДЕНИЯ

Б. В. ВАСИЛЕНКО, Д. В. ДЕМИН, В. К. ЖУРАВЛЕВ

В связи с тем, что в районе Тунгусского падения имели место мощные аэродинамические, термические и, возможно, радиационные воздействия, можно ожидать, что следы этих воздействий обнаружатся при изучении термолюминесценции горных пород, взятых в районе вывала леса. Целью настоящего исследования является установление закономерности в изменении параметров естественной термолюминесценции (ТЛ) горных пород или слагающих их минералов в связи с изменением местоположения исследуемых образцов. Установление корреляционной зависимости между значениями параметров (ТЛ) пород и минералов и кратчайшими расстояниями местоположения проб до эпицентра не будет противоречить гипотезе о наличии термального или радиационного, или динамического воздействия, если породы или породообразующие минералы, во-первых, могут выступать в качестве показателей степени воздействия соответствующего фактора, во вторых, действия каждого фактора значительно отличаются от действия других.

Поскольку естественное термовысвечивание исследованных пород, представленных основными эффузивами, не установлено, то нами изучалась неэлектромагнитная фракция этих пород, представленная основными и средними плагиоклазами и в незначительном количестве кварцем и калишпатом. О влиянии давления на естественную ТЛ кварцев и плагиоклазов трудно сказать что-либо определенное. Имеющиеся в литературе сведения противоречивы и часто мало достоверны.

Значительно лучше изучено влияние предварительного нагрева на естественную ТЛ кварца. Проведенные одним из авторов эксперименты показали, что при температуре 200°C предварительный отжиг до 400°C вызывает уменьшение светосуммы ТЛ и сдвигает максимум свечения в сторону высоких температур, а отжиг при 700°C приводит к полному исчезновению собственной ТЛ. Хотя специальные эксперименты по отжигу плагиоклазов не приводились, есть основания предполагать, что изменение ТЛ параметров плагиоклазов при отжиге будет аналогично изменению параметров кварца. Таким образом, если в исследуемом районе в изменении параметров естественной ТЛ неэлектромагнитной фракции пород основную роль играла предварительная термообработка образцов, то должна существовать отрицательная корреляционная зависимость между температурой максимума термосвечения и расстоянием и положительная корреляция между светосуммой и расстоянием.

Значительно лучше изучена зависимость параметров ТЛ от дозы радиоактивного облучения. В общем случае можно считать, что увеличение дозы облучения вызывает пропорциональное увеличение интенсивности ТЛ и общей светосуммы до какого-то предела, условно называемого дозой радиоактивного насыщения, выше которой увеличение дозы не вызывает изменения параметров ТЛ. Величина этой дозы зависит от многих факторов, основными среди которых можно назвать кристаллохимические и другие особенности минералов и природу радиоактивного излучения.

Как показали проводимые в лаборатории минералогии ИГиГ СО АН СССР исследования связи естественной ТЛ минералов с естественной радиоактивностью в породах, возраст которых равен $150 \cdot 10^6$ лет и суммарная энергия, выделяемая содержащимися в пирите радиоактивными элементами в 1 см равна $1 \cdot 10^3$ Мэв, устанавливается прямая положительная корреляция между светосуммой естественной ТЛ и радиоактивностью с коэффициентом корреляции $= 0,8$. Для кварца и К-полевых шпатов связь светосуммы с радиоактивностью не устанавливается. Исходя из сказанного, а также принимая во внимание, что средняя интенсивность свечения кварцев, полевых шпатов и плагиоклазов относится или 1 : 1 : 50, можно считать, что исследование неэлектромагнитной фракции, состоящей преимущественно из плагиоклазов, оправдано для решения поставленной задачи.

Таким образом, можно ожидать, что наличие радиационного поля в предполагаемом центре могло обусловить отрицательную корреляцию светосуммы с расстоянием до этого центра. В связи с этим интересно исследовать зависимость естественной ТЛ неэлектромагнитной фракции пород от содержащегося в минералах этой фракции урана.

Методика

Пробы отбирались во время экспедиции 1965 г. в районе радиусом 30—60 км вокруг эпицентра Тунгусского падения (рис. 1). Пробы отбирались преимущественно из открытых мест коренных выходов и курумников. Всего отобрано 17 проб. В камеральный период отобранные пробы были раздроблены, и из фракции $< 0,1$ мм магнитным сепаратором отобрана электромагнитная фракция. Оставшаяся неэлектромагнитная фракция, состоящая преимущественно из плагиоклазов, исследовалась на содержание урана (люминесцентно-перловый метод) и на естественную термолюминесценцию. Навески составили 200 мг, скорость нагрева 0,3 град/сек. Из каждого образца исследовалось три навески. Результаты определения урана и естественной ТЛ приведены в табл. 1. Относительная ошибка в определении урана составляет 10%, температуры максимума термолюминесценции t_m °C 1%; интенсивности свечения I и светосуммы S — 5%.

Обсуждение полученных результатов

По значению светосуммы термовысвечивания все исследованные образцы разбиваются на 2 группы: 1) с значением параметра $S > 20$ и 2) с $S < 20$ условных единиц. Пренебрежение этим обстоятельством и расчет коэффициента корреляции между S и содержанием U в пробах урана в целом по всем пробам дает отрицательную корреляцию $r_{SU} \approx 0,4$. Расчет тех же коэффициентов корреляции в отдельности для группы со значениями $S > 20$ и для группы с $S < 20$ показывает, что в первом случае светосумма связана с ураном почти функциональной положительной прямолинейной зависимостью, а во второй группе соответствующий коэффициент корреляции r_{SU} равен $\sim 0,3$ при достоверно-

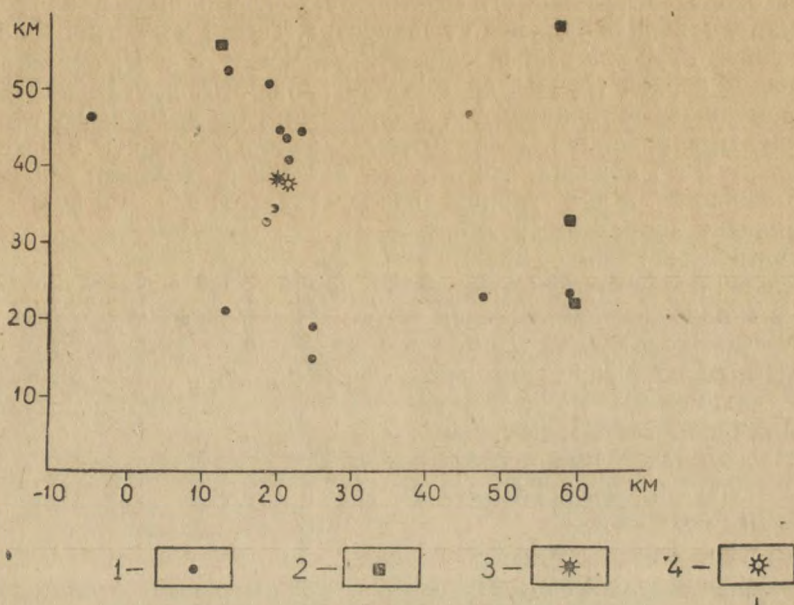


Рис. 1. Размещение пунктов отбора проб для термолюминесцентного анализа.

1 — пробы с $S < 20$, 2 — пробы с $S > 20$, 3 — особая точка вывала (эпицентр Фаста), 4 — центр области ожога (эпицентр Зенкина).

Таблица 1

Результаты термолюминесцентного и химического анализа

№ проб	$t_m^{\circ}\text{C}$	I	S	U
1	340	1,15	3,5	0,5
2	275	16	47	1,5
3	327	9,25	41	0,8
4	355	1,4	3,2	1,7
5	350	1,5	2,4	1,5
7	411	0,9	1,6	1,5
8	330	4,3	12	1,7
9	335	3,5	9	1,8
10	326	2,5	5,8	1,2
11	343	1,7	3,3	0,8
12	302	3,8	7,6	1,5
13	344	4,2	12	1,1
14	357	21,5	113	1,1
15	365	8,5	32	0,7
17	не термолюминесцирует			0,7
18	329	2	3,5	0,8
19	340	2,3	5	1,2
20	328	9	27	0,4

сти не более 65% (рис. 2). Примечательно, что пробы, попадающие в 1 группу, наиболее удалены от эпицентра. То есть можно предположить, что высокая корреляционная зависимость между S и U , характеризующая пробы первой группы, осложняется влиянием других факторов по мере приближения к эпицентру, причем эти факторы влияют в сторону уменьшения корреляции. Действительно, расчет коэффициента корреляции между S и l показал, что в целом для всей выборки эта связь не устанавливается, а для группы пород с $S < 20$ у. е. соответствующий коэффициент корреляции $r_{sl} = 0,44$ (с вероятностью не более 84%). Следовательно, положительная корреляция S с U осложняется наличием отрицательной корреляции S с l . Расчет частных коэффициентов корреляции светосуммы с расстоянием при эллиминированном значении соответственно расстояния и урана дает $r_{slw} = 0,670$ и $r_{slu} = 0,60$ при вероятности более 95%.

Коэффициент корреляции r между расстоянием от точки $x_i y_i$ и значением светосуммы s образца есть функция выбранной точки отсчета $x_0 y_0$. Поверхность $R_{sr}(x_0 y_0)$ является функциональной поверхностью рельефа, структура которой служит характеристикой статистического поля $s(x_i y_i)$, где $x_i y_i$ координаты пунктов отбора образцов. Так, расположение „холма“ (зоны

положительной корреляции) указывает на район пониженных значений s ; расположение „воронки“ (зоны отрицательной корреляции) на район повышенных значений s , при этом дно воронки соответствует „центру светимости“. Обоснование методики приведено в работе Д. В. Демина „Алгоритм статистической оценки параметров Тунгусского падения по данным наземных наблюдений“ (см. наст. сборник).

Коэффициенты корреляции рассчитаны на ЭЦВМ по программе, выполненной С. И. Петровой, в узлах сетки 20×28 с шагом 0,5 км. Расположение сетки выбрано так, чтобы центр ожога и особая точка вывала в районе Куликовской заимки находились в центральной части района. Узлы, в которых корреляции равны, соединялись линиями равных высот, как показано на рис. 3. Наличие воронки корреляционного рельефа не противоречит концепции о существовании в окрестности Куликовской котловины области «стягивания» больших значений S , тогда как образцы, взятые на периферии, обнаруживают меньшую величину светосуммы. Это заключение требует проверки на большом статистическом материале.

С целью проверки «помехоустойчивости» результата был проведен статистический эксперимент, состоявший в повторении расчета после произвольного вычеркивания одного из 13 пунктов отбора. Существенное изменение корреляционной поверхности свидетельствовало бы о возможности случайного формирования воронкообразного рельефа. Аналогичные оценки могут быть получены путем расчета в узлах сетки доверительных границ коэффициента корреляции. Процедура вычеркивания экспериментальных точек деформирует картину, но сохраняет ее существен-

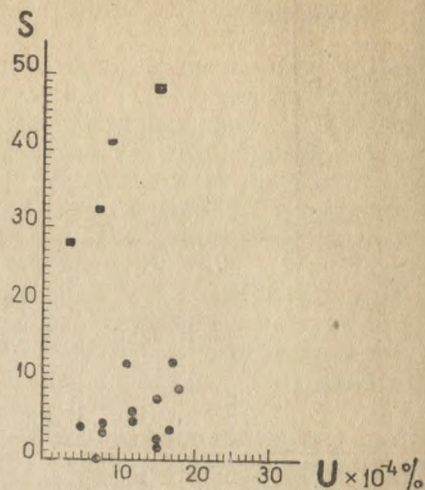


Рис. 2. Корреляция светосуммы с содержанием урана для двух групп проб.

Обозначения те же, что на рис. 1.

ные признаки: наличие воронки в окрестности эпицентра вывала (± 8 км) и отрицательность корреляции во всей рассматриваемой области.

Аналогично расчету корреляции расстояния со светосуммой был проведен расчет корреляции расстояния с содержанием урана — формальная операция не обусловленная, по-видимому, никакими гипотезами. Полученная поверхность рельефа (рис. 4) лишена воронок и других особенностей в рассматриваемой области, что косвенно подтверждает

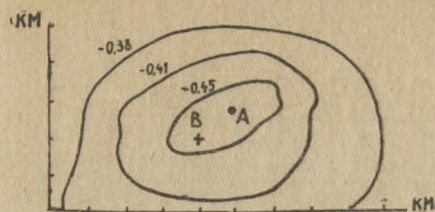


Рис. 3. Поверхность рельефа корреляции светосуммы и расстояния.
А — дно воронки, В — особая точка вывала.

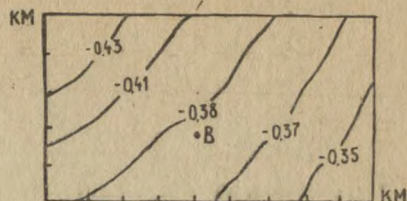


Рис. 4. Поверхность рельефа корреляции содержания урана и расстояния.
В — особая точка вывала.

независимость светосуммы от содержания урана — вывод, полученный выше путем расчета частного коэффициента корреляции.

Авторы выражают признательность В. Н. Лысакову, В. И. Никишиной, А. И. Белкину и С. И. Петровой, принимавшим участие в обработке проб и получении результатов, изложенных в настоящей статье, а также В. И. Молчанову за содействие и помощь при выполнении работы.

К ИЗУЧЕНИЮ ГЛОБАЛЬНОГО ХАРАКТЕРА РАСПРЕДЕЛЕНИЯ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ

Н. П. ФАСТ

Наблюдения за серебристыми облаками в 1964 году в СССР проводило 210 станций, сеть которых равномерно покрывала территорию Союза между широтами $\varphi = 68^{\circ}58'$ с. ш. и $\varphi = 45^{\circ}01'$ с. ш. и долготами $\lambda = 177^{\circ}34'$ в. д. Из них 202 станции Главного Управления Гидрометеорологической службы (ГУГМС), 7 станций Всесоюзного Астрономо-геодезического общества (ВАГО), 1 станция Института физики и астрономии (ИФА). Полученные материалы собраны в [1]*.

Оказывается лишь 78 станций из 210 хотя бы раз отметили появление серебристых облаков. Томская станция (ВАГО) зарегистрировала 16 случаев их появления (ночей, когда наблюдались серебристые облака), Вильянди — 13 случаев, Таллин — 12, Горький — 11, Томск (ГУГМС), Ича, Котлас — 8, Рига — 7, пять раз серебристые облака наблюдали 3, четыре раза — 7, три раза — 9, два раза — 19 и один раз — 28 станций. При этом станции, давшие наибольшее число случаев наблюдений (Томск, Вильянди и др.), наблюдали более короткий период времени (летние месяцы), в то время как станции ГУГМС наблюдали с 1 марта по 1 ноября.

Станции, отметившие появление серебристых облаков, например, не менее 6 раз, расположены более или менее равномерно между широтами $\varphi = 55^{\circ}02'$ и $\varphi = 61^{\circ}49'$, а по долготе от $\lambda = 24^{\circ}48'$ до $\lambda = 155^{\circ}38'$. На этот район приходится около 70 станций, из которых лишь 12 отметили серебристые облака 6—16 раз, а 48 — не более двух раз.

Малое число случаев наблюдений серебристых облаков для большого числа станций нельзя объяснить отсутствием хороших условий видимости. Как показано в [2] серебристые облака наблюдаются в различных синоптико-метеорологических условиях при закрытии сектора зари А—Г. Далее, из анализа данных [1] видно, что число появлений се-

* К сожалению в сводку [1] проникли некоторые опечатки. Для станции Томск (ВАГО) пропущены наблюдения серебристых облаков 24 июня (начало 23 час. 40 мин.), 27 июня (начало 0 час. 10 мин.), 28 июня (начало 22 час. 20 мин.), для станции Район Тунгусской катастрофы данные, указанные на 1 августа, относятся ко 2 августа. В некоторых других случаях имеются погрешности в указании момента начала наблюдения серебристых облаков для этих станций.

ребристых облаков не зависит от долготы станции. Поэтому следует считать, что большинство станций ГУГМС проводит наблюдения за серебристыми облаками неквалифицированно или нерегулярно. Такой наблюдательный материал не дает возможности достаточно точно оценить частоту появления серебристых облаков над разными районами и площадь, занимаемую облачным полем.

Как известно, в северном полушарии серебристые облака обычно наблюдаются лишь в диапазоне широт от $\varphi = 45^\circ$ до $\varphi = 70^\circ$. Анализируя данные о наблюдениях за серебристыми облаками в Северной Америке в 1964 году, Б. Фогль [3] показал, что в отдельные ночи поле серебристых облаков может охватывать большие пространства, достигающие по площади 2 млн. км². Здесь же им высказано предположение, что иногда серебристые облака могут охватывать все долготы вокруг полюса.

Нами проанализирован материал по наблюдениям за серебристыми облаками в СССР и Сев. Америке в 1964 году, собранный в [1, 3]. Для периода с 24 июня по 14 августа, на который приходится максимальное число наблюдений серебристых облаков, распределение числа случаев (ночей) m , когда n станций отметили появление серебристых облаков, приводится в табл. 1. (данные двух континентов объединялись, если совпадали даты).

Таблица 1

n	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	21	Итого
m	2	3	3	2	5	2	3	4	10	2	4	4	1	1	2	1	2	1	52

Практически каждую ночь были станции, отмечавшие появление серебристых облаков, а в среднем по СССР и Сев. Америке за одну ночь 8 станций отмечали их появление. Это особенно интересно в связи с тем, что в зоне наблюдений серебристых облаков в СССР, как отмечалось выше, имеется лишь около 12 удовлетворительно (регулярно) наблюдающих станций (судя по материалам [3], в Сев. Америке их тоже не на много больше), причем в произвольно выбранную ночь некоторые из них имеют закрытый тропосферными облаками сектор зари.

Таблица

Дата	СССР			Сев. Америка		
	N	координаты граничных наблюдавших станций		N	координаты граничных наблюдавших станций	
		северная широта	восточная долгота		северная широта	западная долгота
2/VI	6	55°02'— 58°58'	43°49'— 101°05'	8	53°30'— 60°06'	90°06'— 117°18'
5/VII	6	52°16'— 59°25'	24°48'— 117°42'	10	53°12'— 60°36'	60°30'— 135°18'
8/VII	4	54°34'— 56°26'	32°04'— 84°58'	8	53°30'— 60°06'	66°48'— 134°36'
24/VI	10	51°01'— 61°55'	33°43'— 158°59'	11	53°12'— 64°54'	50°30'— 148°00'

За рассматриваемый период 25 раз на одном из континентов (Сев. Америка или СССР) от 6 до 16 станций отмечали появление серебристых

облаков в одну ночь, то есть облачное поле охватывало в соответствующем интервале широт почти весь континент. Известно [4], что 30-го июня 1908 года поле серебристых облаков также занимало очень большую площадь (от Енисея до Атлантического океана).

Иногда в одну ночь серебристые облака охватывают оба континента, опоясывая северное полушарие. Данные о четырех таких случаях, когда от 12 до 21 станции по СССР и Сев. Америке наблюдали серебристые облака, сведены в таблицу 2. Под N понимается число станций, отметивших серебристые облака. Эти данные изменятся не сильно, если вместо совпадающих дат для СССР и Сев. Америки взять для Сев. Америки дату, предшествующую дате в СССР.

Таким образом, анализ материала по наблюдениям в 1964 году показывает, что в северном полушарии практически каждую ночь наблюдаются серебристые облака, часто они охватывают большие промежутки долгот, а иногда образуют кольцо вокруг полюса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Виллман Ч. И. Сводка наблюдений серебристых облаков в СССР в 1964 году, Тарту, 1966.
 2. Фаст Н. П. К изучению метеорологических и ионосферных условий появления серебристых облаков в Сибири. «Метеорологические исследования», сб. статей, 1966, № 12, 106—110.
 3. Fogle. B. Noctilucent clouds over North America. *Nature*, 1965, 207, No. 4998, 696—698.
 4. Васильев Н. В., Журавлев В. К., Журавлева Р. К., Ковалевский А. Ф., Плеханов Г. Ф. Ночные светящиеся облака и оптические аномалии, связанные с падением Тунгусского метеорита. М., 1965, изд-во «Наука».
-

АЛГОРИТМ СТАТИСТИЧЕСКОЙ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ ТУНГУССКОГО ПАДЕНИЯ ПО ДАННЫМ НАЗЕМНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Д. В. ДЕМИН

Разработка исчерпывающей физической теории является конечной задачей исследования Тунгусской катастрофы. Попытки создания такой теории предпринимались неоднократно, но не привели пока к обобщающей концепции адекватной всей совокупности фактов. Опубликованные гипотезы [1, 2, 3] нередко несут на себе отпечаток умозрительности, излишней детализации. Выполненные в терминах баллистики, аэродинамики, астрономии и т. д., они создают иллюзию законченной теории, не являясь таковой, порождая предвзятость в отборе и интерпретации фактического материала. На наш взгляд, обсуждение содержательных гипотез такого типа несколько преждевременно. Более перспективным является, по-видимому, углубленный математический анализ имеющихся фактических данных с целью выяснения **простейших**, фундаментальных обстоятельств катастрофы. Именно на этом пути получены результаты, которые вряд ли будут когда-либо пересмотрены: представление о надземном разрушении тела [4], представление о надземном источнике лучевого термического поражения [5], определение проекции и направления полета на заключительном участке траектории [6, 7].

Ввиду указанного разработка вычислительных методов математического программирования применительно к проблеме Тунгусского метеорита представляется задачей первостепенной важности. В настоящей работе предложен достаточно общий алгоритм статистической оценки параметров явления на основе идей теории информации.

Введем следующие предположения:

1. В физическом пространстве локализован источник сигнала, заданный многомерным вектором параметров ω из допустимого множества W .

2. Информация о состоянии источника воспринимается на плоскости наблюдения, где в точках r_i инструментально обнаруживаются эффекты, имеющие интенсивности $s(r_i) = s_i$ (данные полевых инструментальных наблюдений).

3. Для любой пары векторов ω и r_i может быть определен фактор взаимодействия $d(\omega, r_i) = d_i(\omega)$, соответствующий, например, геометрическому расстоянию от источника до точки r_i .

4. Фактор взаимодействия $d_i(\omega)$ и интенсивности эффекта s_i трактуются, как статистически взаимосвязанные случайные величины, эмпирические распределения которых определены для каждого ω :

$$p[d_i(\omega)], p(s_i), p[d_i(\omega), s_i].$$

5. Определена мера упорядоченности $M[d_i(\omega), s_i]$ как функция фактора взаимодействия $d_i(\omega)$ и интенсивности s_i . В качестве меры $M[d_i(\omega), s_i]$ может служить мера статистического соответствия случайных величин $d_i(\omega)$ и s_i , определяемая для канала с шумами по известной формуле через энтропии соответствующих распределений [8]:

$$I[d_i(\omega), s_i] = H[d_i(\omega)] + H(s_i) - H[d_i(\omega), s_i].$$

Функционал $I[d_i(\omega), s_i]$ характеризует среднее количество информации, содержащейся в случайной величине s_i относительно случайной величины $d_i(\omega)$.

При таких предположениях задача статистической оценки вектора ω на основании информации об интенсивностях s_i может быть поставлена так:

в условиях 1) — 5) найти вектор параметров ω , максимизирующий меру $M[d_i(\omega), s_i]$ на множестве допустимых значений W .

В такой формулировке решение задачи максимизации может быть осуществлено одним из известных методов [9].

В работе [10] алгоритм применен в простейшем варианте: в качестве источника принималась точка на плоскости с координатами ω , в качестве фактора взаимодействия — расстояние $d_i(\omega) = |\omega - r_i|$, в качестве меры упорядоченности $M[d_i(\omega), s_i]$ модуль коэффициента корреляции случайных величин $d_i(\omega)$ и s_i :

$$M[d_i(\omega), s_i] = |r[d_i(\omega), s_i]| = |r_i(\omega)|.$$

Интенсивность эффекта была определена по специальной лабораторной методике. Поиск вектора был осуществлен на ЭЦВМ методом сплошного перебора.

Отметим, что при нормальных распределениях $p[d_i(\omega)]$, $p[s_i]$ и $p[d_i(\omega), s_i]$ величин $d_i(\omega)$ и s_i функционал $I[d_i(\omega), s_i]$ связан с коэффициентом корреляции $r_i(\omega)$ формулой (см., напр., [11]):

$$I[d_i(\omega), s_i] = -\frac{1}{2} \ln[1 - r_i^2(\omega)]$$

и, следовательно, максимум $r_i(\omega)$ достигается в максимуме $I[d_i(\omega), s_i]$.

В заключение автор выражает признательность В. Воробьеву, А. Егоршину и В. Журавлеву, а также участникам руководимого В. Фастом семинара по теории вероятностей ТГУ за обсуждение и ценные советы и С. Петровой — за помощь в реализации алгоритма на ЭЦВМ.

ЛИТЕРАТУРА

1. В. Г. Фесенков. Проблемы падения Тунгусского метеорита. *Астрономический журнал*, т. 43, вып. 2, 1966 г., стр. 241—265.
2. К. Г. Иванов. Геомагнитный эффект Тунгусского падения. *Метеоритика*, вып. 24, 1964 г., стр. 141—51.
3. Д. Ф. Анфиногенов. О Тунгусском метеоритном дожде. *Успехи метеоритики*, Новосибирск, 1966 г., стр. 20—22.
4. Е. В. Маслов. К вопросу о высоте и мощности взрыва Тунгусского метеорита. *Труды Томского отд. Всесоюзного географ. общ-ва*, 5, «Проблема Тунгусского метеорита», Томск, 1963 г., стр. 105—112.
5. Г. М. Зенкин, А. Г. Ильин. О лучевом ожоге деревьев в районе взрыва Тунгусского метеорита. *Метеоритика*, вып. 24, 1964 г., стр. 129—140.
6. В. Г. Фаст. Статистический анализ параметров тунгусского вывала. *См. наст. сборник*.
7. И. Т. Зоткин, М. А. Цикулин. Моделирование взрыва Тунгусского метеорита. *ДАН СССР*, 1966 г., том 167, № 1, стр. 59—62.

8. К. Шеннон. Математическая теория связи. В ст. «Работы по теории информации и кибернетике», М., 1963 г.
9. Ю. М. Ермольев. Методы решения нелинейных экстремальных задач. Кибернетика, № 1, 1966 г., стр. 1—17.
10. В. Б. Василенко, Д. В. Демин, В. К. Журавлев. Термолюминисцентный анализ пород из района Тунгусского падения. См. наст. сбор.
11. Н. А. Лившиц, В. Н. Пугачев. Вероятностный анализ систем автоматического управления. «Сов. радио», М., 1963.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие	3
Н. В. Васильев, В. К. Журавлев, Ю. А. Львов, Г. Ф. Плеханов. Современное состояние проблемы Тунгусского метеорита	5
И. М. Суслев. Опрос очевидцев тунгусской катастрофы в 1926 г.	21
В. Г. Коненкин. Сообщение очевидцев о Тунгусском метеорите 1908 года	31
Г. М. Иванова, Ю. А. Львов, А. Ф. Ковалевский. Новые опросные данные о падении Тунгусского метеорита, полученные в 1964 г.	36
В. Г. Фаст. Статистический анализ параметров Тунгусского взвала	40
В. Г. Фаст, А. П. Бояркина, М. В. Бакланов. Разрушения, вызванные ударной волной Тунгусского метеорита	62
А. Г. Ильин, В. А. Воробьев, В. В. Байер. Связь параметров поражения веток лиственниц со световой энергией	105
В. А. Воробьев, А. Г. Ильин, Б. Л. Шкута. Изучение термических поражений веток лиственниц, переживших тунгусскую катастрофу	110
И. И. Журавлев. О возможной причине повреждения ветвей лиственницы в районе падения Тунгусского метеорита	118
В. К. Журавлев. К оценке световой энергии тунгусского взрыва	120
В. И. Некрасов, Ю. М. Емельянов. К вопросу восстановления таксационных характеристик (докатастрофного) леса в районе падения Тунгусского метеорита	123
В. И. Некрасов, Ю. М. Емельянов. Некоторые итоги и задачи изучения роста леса в районе падения Тунгусского метеорита	127
Ю. М. Емельянов, В. Б. Лукьянов, Р. Д. Шаповалова, В. И. Некрасов. Использование многофакторного дисперсионного анализа для оценки факторов, оказавших влияние на изменение хода роста древесной растительности в районе тунгусского падения	134
Р. Д. Шаповалова, В. Б. Лукьянов, Ю. М. Емельянов, В. И. Некрасов. Биостатистическая обработка лесотаксационных данных из района падения Тунгусского метеорита с использованием критерия знаков	137
Ю. А. Львов. О нахождении космического вещества в торфе	140
Г. М. Иванова, Р. В. Брувер, Ю. А. Львов, Н. Н. Боронтова. О поисках вещества Тунгусского метеорита	145
Н. В. Арнаут, А. Д. Киреев. Спектрографическое исследование металлических шариков, найденных в районе падения Тунгусского метеорита	149
А. В. Золотов. К вопросу о кажущемся запаздывании начала магнитного возмущения относительно момента взрыва Тунгусского космического тела 1908 г.	151
В. К. Журавлев, Д. В. Демин, Л. Н. Демин. О механизме магнитного эффекта Тунгусского метеорита	154
А. В. Золотов. К вопросу о зависимости геомагнитного эффекта, вызванного ядерным взрывом, от высоты взрыва	162
А. В. Золотов. О радиоактивности образцов тунгусских деревьев	168
А. В. Золотов. К вопросу о возможности пылевой структуры Тунгусского космического тела	173
Н. В. Васильев, В. А. Филимонова. Библиография литературы о Тунгусском метеорите	187
	237

Ю. М. Емельянов. О загадочной (сибирской тьме) 18 сентября 1938 года .	210
Ю. Л. Кандыба, Ю. Ф. Балесто, З. А. Кротова, А. А. Корзенников, Н. И. Некрытов. Экспедиция на Патомский кратер .	218
Р. Г. Лазарев. Некоторые статистические характеристики метеорных тел и метеоритов	221
Б. В. Василенко, Д. В. Демин, В. К. Журавлев. Термолюминесцентный анализ пород из района Тунгусского падения .	227
Н. П. Фаст. К изучению глобального характера распределения серебристых облаков	232
Д. В. Демин. Алгоритм статистической оценки параметров тунгусского падения по данным наземных наблюдений	235

Проблема Тунгусского метеорита,

выпуск 2

Томск, Изд. ТГУ, 1967, 238 с.

Редактор издательства Л. Г. Мордовина
Литературный редактор М. И. Сваровская
Технический редактор Э. Н. Страшкова
Корректоры Г. А. Азовцева и Н. Н. Боброва

КЗ01362.	Сдано в набор 11/II-1967 г.	Подписано к печати 26/X-1967 г.
Заказ 160.	Формат 70×108 ¹ / ₁₆ ; печ. л. 14, 8; Тираж 2000.	уч.-изд. л. 20,3; бум. л. 7,4 Цена 1 руб. 42 коп.

Томск, Издательство ТГУ, проспект Ленина, 36.
Областная типография № 1 Управления по печати, г. Томск, ул. Советская, 47.

Цена 1 руб. 42 коп.

Томский государственный университет



Научная библиотека 00242705