

ИНЦИДЕНТ 22 СЕНТЯБРЯ 1979 ГОДА НА СПУТНИКЕ ВЕЛА: ОБНАРУЖЕННАЯ ДВОЙНАЯ ВСПЫШКА

Кристофер Райт и Ларс-Эрик де Геер

АННОТАЦИЯ

22 сентября 1979 года два оптических датчика на американском спутнике Вела 6911 обнаружили двойную вспышку света – оптический сигнал, характерный для атмосферного ядерного взрыва, над Южным Индийским или Южным Атлантическим Океаном. Он стал известным, как инцидент Вела, Событие 747, или Сигнал тревоги 747. Аномалия в амплитуде двух сигналов во время второго импульса привела к тому, что группа экспертов американского правительства, организованная для оценки события, в середине 1980 года пришла к выводу, что более вероятным объяснением был удар небольшого метеороида по спутнику, осколки которого отразили солнечный свет в поле зрения датчиков. В поддержку несоответствия не было выдвинуто никакой модели, но аналогичная аномалия – известная как модуляция фона – проявлялась во втором импульсе всех зарегистрированных на спутнике Вела подтвержденных взрывах, хотя эта аномалия и начиналась позже. Несмотря на это, данное событие оставалось предметом напряженных споров. В данной статье рассматриваются данные наблюдений и представляется обновленный анализ оригинального сигнала Вела, основанный на недавно рассекреченной литературе и на современном понимании межпланетной пыли и гиперскоростного удара. Учитывая геометрию спутника, и то, что основная часть поверхности занята солнечными батареями, большая часть осколков от любого столкновения пролетит мимо поля зрения датчиков. Таким образом, столкновение с метеороидом представляется намного менее вероятным, чем представлялось ранее. Вместо этого, двойная вспышка согласуется с ядерным взрывом, но она регистрируется на постаревшем спутнике, у которого модуляция фона является аномальной, и (или) начавшейся ранее, что наблюдалось также в испытаниях системы после регистрации события. В сопровождающей статье, намеченной к публикации в 2018 году, представлены радионуклидные и гидроакустические свидетельства, поддерживающие вывод о том, что инцидент Вела был связан с испытательным взрывом ядерного оружия.

Получено 10 марта 2017 года. Принято к публикации 2 октября 2017 года.

Кристофер Райт, Университет Нового Южного Уэльса, Канберра, Школа физических, математических, и относящихся к окружающей среде наук, Исследовательская группа по Науке и Безопасности, Академия оборонительных сил Австралии, Канберра, Австралия.

Ларс-Эрик де Геер, отставной сотрудник оборонного исследовательского агентства, Стокгольм, Швеция, и отставной сотрудник Подготовительной комиссии организации договора по всеобъемлющему запрещению ядерных испытаний, Вена, Австрия.

Почтовый адрес для корреспонденций: Christopher Wright, UNSW Canberra, School of Physical, Environmental and Mathematical Sciences, Research Group on Science & Security, The Australian Defence Force Academy, PO Box 7916, Canberra BC, Australia.

Адрес электронной почты: c.wright@adfa.edu.au

ВВЕДЕНИЕ

22 сентября 1979 года два оптических датчика на американском спутнике Вела 6911 обнаружили двойную вспышку света, которая представлялась характеристикой атмосферного ядерного взрыва. Два датчика на борту спутника 6911, обозначенные как YCA и YVA и известные также как "бангметры", были разработаны специально для обнаружения такого типа оптических сигналов¹. Спутник Вела 6911 входил в

созвездие спутников, выведенных на орбиту в период с 1963 по 1970 год для обнаружения ядерных взрывов над поверхностью Земли. Такие испытания были запрещены Договором о частичном запрещении ядерных испытаний. На момент события этот договор был подписан, среди многих других стран, Соединенными Штатами, Советским Союзом, Великобританией, Израилем, Индией и Южной Африкой². Полагают, что данное событие, известное как инцидент Вела, Событие 747, или Сигнал тревоги 747 (*в дальнейшем будет использоваться последнее наименование, которое было присвоено данному событию в Центре применения технических средств ВВС США, где оно и было зарегистрировано*¹ – прим. перев.), произошло где-то над южной Атлантикой, или над южным Индийским океаном, возможно, в окрестностях островов Принца Эдуарда и Марион на 46,7 градуса ю.ш. и 37,9 градуса в.д., когда спутник находился в позиции над южной Атлантикой на расстоянии примерно в 110000 км над поверхностью океана (рисунок 1). Точная природа события, и ответственная сторона, если событие было связано с ядерным взрывом, остаются предметом споров. В течение прошедших лет были опубликованы несколько историй события и последующих обсуждений, которых Израиль (возможно, в сотрудничестве с Южной Африкой) часто упоминался как ответственный за испытание ядерного оружия, тайно проведенное в данное время в данном районе³.

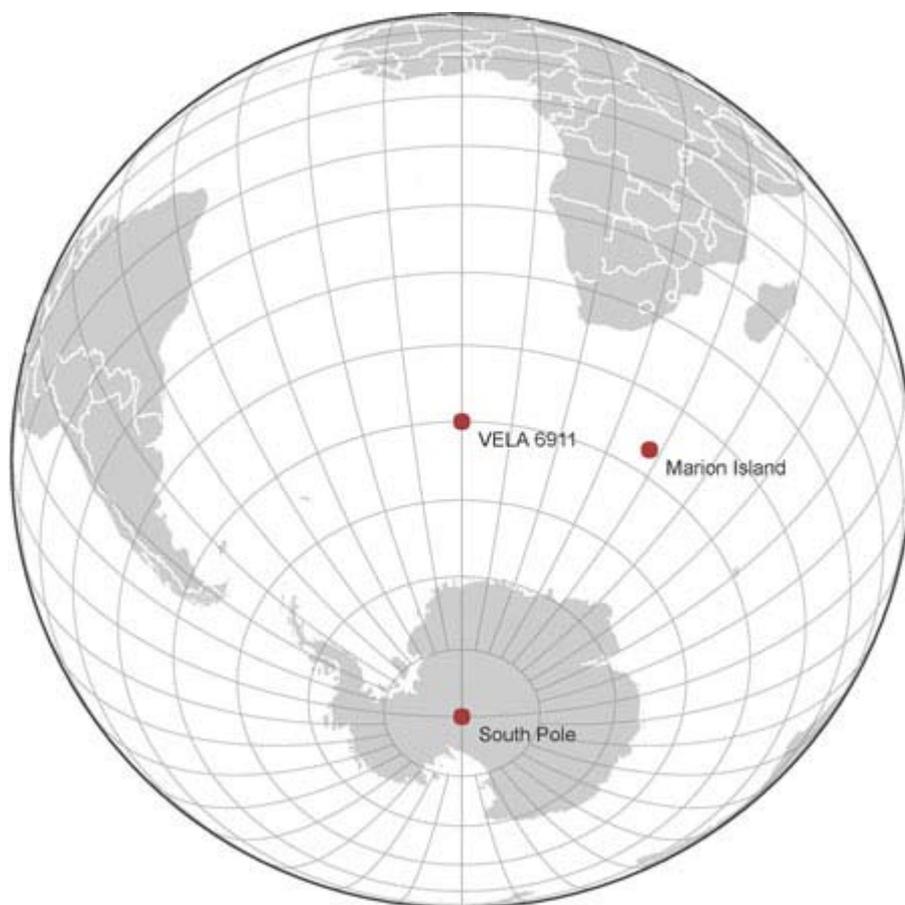


Рисунок 1. Расположение спутника Вела 6911 над земной поверхностью во время вспышки Сигнала Тревоги 747, вместе с островом Марион рядом с предполагаемой позицией взрыва примерно в 2600 км к востоку. Координатная сетка показывает интервалы в 10 градусов как по широте, так и по долготу. С точки расположения спутника виден весь земной диск. Но действительное круглое поле зрения, рассматриваемое американскими правительственными агентствами для предполагаемого ядерного события включало всю Южную Африку (вместе с современной Намибией), Ботсвану и часть Анголы на севере, простиралось до приблизительно Южного полюса на юге, с западной границей на несколько сотен километров от восточного побережья Южной Америки, и до архипелага Крозе (на рисунке не показан) на востоке. В момент события везде было темно (за исключением небольшой части Антарктики).

После обнаружения этого сигнала были предприняты колоссальные усилия для анализа источника сигнала, в особенности его возможного ядерно-взрывного характера посредством широкомасштабных поисков подтверждающих свидетельств. Мы отсылаем читателей к упомянутым выше обзорам за подробностями большинства из этих усилий, но отметим здесь, что два других находящихся тогда на орбите действующих спутника Вела сигнал не обнаружили. В декабре 1977 года спутник Вела 6909, близнец спутника 6911, потерял свою способность атмосферного обнаружения, когда его ракетное топливо для системы ориентации закончилось, и ориентация на Землю не могла больше поддерживаться⁴. После этого, в интересах поддержания ограниченных возможностей, синхронизирующие маневры для трех оставшихся спутников (6911, 7033 и 7044) были приостановлены, что привело к некоторой потере глобального покрытия. Кроме того, два спутника Программы поддержки обороны (DSP), оборудованные бангметрами, частично перекрывали область наблюдений спутника 6911, но не обнаружили сигнала; если Сигнал тревоги 747 действительно был связан с атмосферным ядерным испытанием, он не был обнаружен другими спутниками, либо потому, что событие произошло вне их поля зрения, либо сигнал был поглощен облаками, покрывающими большую часть региона⁵. Поиск инфракрасной сигнатуры на двух тех же самых спутниках Программы поддержки обороны (DSP), также оказался безрезультатным⁶. Это не удивительно, если эта область была закрыта толстыми облаками. В общем, это отсутствие подтверждения другими спутниками мониторинга никогда не считалось проблемой для интерпретации Сигнала тревоги 747 как воздушного ядерного взрыва.

Учитывая потенциально серьезные последствия Сигнала тревоги 747 для усилий по нераспространению ядерного оружия для того времени, а также широкий общественный интерес, Управление по разработке политики в области науки и техники (OSTP), часть Исполнительного управления Президента, для оценки всей информации назначило группу из восьми пользующихся высоким авторитетом ученых-экспертов, возглавляемую Джеком Руином, профессором Массачусетского технологического института. Для них были проведены информационные совещания с различными органами, которые изучали оригинальный сигнал и искали поддерживающие данные, и впоследствии они выпустили несекретную сводку некоторых из этих работ, а также своих собственных выводов⁷.

В отчете был сделан вывод о том, что маловероятно, что Сигнал тревоги 747 произошел от ядерного взрыва. Он в первую очередь был основан на большем, чем ожидалось, различии (по сравнению с ранее обнаруженными ядерными взрывами) между амплитудами сигналов двух бангметров в течение второй части импульса двойной световой вспышки. Группу также не смогли убедить свидетельства, представленные для подтверждения ядерного взрыва. Вместо этого группа предположила, что Сигнал тревоги 747 принадлежит к популяции примерно сотни необъясненных сигналов, обнаруженных спутниками Вела в течение многих лет. Они стали известными под именем зоопарка Вела. В качестве возможного объяснения группа предложила столкновение метеороида со спутником, осколки от которого рассеивали солнечное излучение в поле зрения оптических датчиков. Они использовали данные с межпланетного космического зонда Пионер-10 в качестве прецедента для такого сценария.

Некоторые из настоящих отчетов, которые могла рассматривать группа, оставались засекреченными до примерно 2006 года, когда стали доступными несколько ключевых отчетов, хотя не все из них были раскрыты полностью. Четыре из наиболее подробных и важных отчетов таковы: Oetzel and Johnson, "Vela Meteoroid Evaluation, 1980"; Mauth, "Alert 747, 1980"; Horak, "Vela Event Alert 747", 1980; Sappenfield, Sowle, and McCarter, "Possible origins of Event 747 optical data, 1980." Поскольку они будут многократно цитироваться в этой статье, впоследствии на них будут ссылаться как на OJ80, Ma80, Ho80, and SSM80⁸.

Из этих отчетов была исключена информация о вопросах конструкции ядерного оружия и (или) технических характеристиках систем спутников Вела. Даже в таком случае оставалась значительная часть анализа, аргументации и выводов их авторов, из которых можно было вывести независимую оценку самих отчетов, так же как и их интерпретации группой Руина, подытоженной в отчете группы, на который мы впоследствии будем ссылаться как на Ru80. Другой большой отчет был составлен Военно-морской исследовательской лабораторией (NRL). Отчет был направлен на возможные гидроакустические сигнатуры, но он никогда не появлялся в общем доступе. Некоторые подробности из этого отчета доступны в других документах, цитирующих Директора Военно-морской исследовательской лаборатории по исследованиям, которые позволяют обоснованно реконструировать содержание отчета и, в особенности, его выводы. Это рассматривается в сопровождающей статье "Инцидент Вела 22 сентября 1979 года – радионуклидные и гидроакустические свидетельства ядерного взрыва".

Здесь представлен новый и документированный анализ технических аспектов как самого инцидента Вела, так и возможных сценариев его происхождения, которые содержатся в вышеупомянутых и некото-

рых других отчетах. В этот новый анализ включена современная информация о микрометеороидном окружении и гиперскоростных ударах. План статьи таков. Во-первых, вкратце рассматривается физика двойной вспышки и содержание отчета группы Руины. Вслед за этим последует тщательное рассмотрение двух записей бангметра Сигнала тревоги 747, принадлежащих к зоопарку Вела, и возможность того, что Сигнал тревоги 747 принадлежал к этому зоопарку, включая также справедливость его объяснения обломками от столкновения с метеороидом. В следующем разделе рассматривается работа, выполненная после Сигнал тревоги 747 по возможному объяснению зоопарка событий, а в последнем разделе обсуждаются модели ядерного взрыва, построенные для рассматриваемого события. Сопровождающая статья, анализирующая возможные обнаружения радионуклидов и гидроакустический сигнал, связанный с инцидентом Вела, появится в этом журнале позже (De Geer & Wright, 2018).

ДВОЙНАЯ ВСПЫШКА

В течение микросекунды после детонации энергия ядерного взрыва нагревает материалы устройства, образуя плазму с температурой около 10^7 К, сравнимую с температурой в центре Солнца. Мгновенное рентгеновское излучение нагревает непосредственно окружающий воздух до 10^6 К, который вместе с испарившимся устройством образует начальный огненный шар. Световая вспышка с двумя пиками от воздушного ядерного взрыва формируется, когда этот горячий огненный шар сначала был прозрачным, потом стал непрозрачным и снова стал прозрачным по мере расширения в холодный воздух⁹. Более точно, это именно ударная волна от взрыва, образующаяся при радиационном и гидродинамическом расширении, и ее энергетический бюджет в процессах нагрева и охлаждения, в конечном счете определяют уникальную сигнатуру вспышки.

Первый импульс отражает конкуренцию между тем, что светимость является возрастающей функцией полной излучающей поверхности и уменьшающейся функцией температуры охлаждения. До первого максимума доминирует возрастание светимости, а затем, до момента минимума, определяющую роль играет ее уменьшение. Впоследствии, когда продолжаются расширение и охлаждение, ударная волна становится все более прозрачной, позволяя все большему количеству энергии видимого света выходить из горячей внутренней области, формируя второй максимум, в котором типичная температура составляет примерно 6000 К (Ma80). Дальнейшее охлаждение из-за гидродинамического расширения и радиационных потерь снова приводит к уменьшению светимости.

Физика этих процессов зависит только от полной подводимой энергии и не зависит от того, как она производится. В частности, максимум и минимум двойной вспышки не зависят от того, образуется ли подводимая энергия от деления (т.е., в устройстве типа "Тринити"), или от синтеза (например, в современном термоядерном устройстве), и поэтому они не зависят от конструктивных особенностей. Как интенсивность света, так и его временная вариация уникальны для атмосферного ядерного взрыва, с вторым пиком, продолжающимся в 100 раз дольше, чем первый, и содержащим 99% энергии. Другие природные процессы могут оказаться способными воспроизвести одну или другую сигнатуру, но не обе вместе¹⁰.

Сигнал тревоги 747 – сравнение с другими ядерными взрывами и определение мощности

Графики зависимости двойной вспышки 1979 года от времени были представлены в нескольких отчетах и воспроизведены здесь на рисунке 2¹¹. Физические единицы масштаба по вертикальной оси (амплитуда сигнала) на рисунке не показаны, результаты выражаются в единицах "уровня дискриминатора" (LD); коэффициенты перевода в поток энергии (Вт/см^2) для самого чувствительного бангметра представлены на рисунке 11 в отчете OJ80. Таким образом, пиковая амплитуда второго импульса Сигнала тревоги 747 приблизительно равна 10^{-8} Вт/см^2 . Доступных данных по другим ядерным взрывам в атмосфере для однозначного количественного сравнения их временных историй очень мало. Важными исключениями являются временная история двойной вспышки для взрыва Centaure мощностью 4 кт на высоте 270 м над атолл-ом Муруроа 17 июля 1974 года, и график вспышки на одиночном детекторе для взрыва Dog мощностью 19 кт на высоте 317 м над испытательным полигоном в Неваде 1 мая 1952 года (результат выражен в ваттах полной тепловой мощности)¹².

Оптические вспышки для Сигнала тревоги 747 и взрыва Centaure показаны на рисунке 2. Очевидная разница в форме сигнала на приборах YCA и YVA для первого импульса Сигнала тревоги 747, вероятно, связана с тем, что в рассекреченных данных не были отражены различные особенности приборов. К ним относятся рассогласование времен срабатывания из-за неодинаковых чувствительностей, а также нели-

нейное искажение данных прибора YVA для событий малой мощности¹³. Согласно отчету Ma80, после внесения соответствующих поправок на указанные особенности будет наблюдаться "прекрасное соответствие сигнатур YCA/YVA на протяжении области первого максимума в данных Сигнала тревоги 747". Такое же заявление присутствовало в отчете SSM80, в котором утверждалось, что "кажущееся различие между данными YC и YV в течение первого импульса в основном обусловлено различием в пороге срабатывания датчика, и не вызывает беспокойства". Группа Руины также признала почти идентичную природу первого импульса, не упоминая его сильного сходства с предыдущими ядерными взрывами.

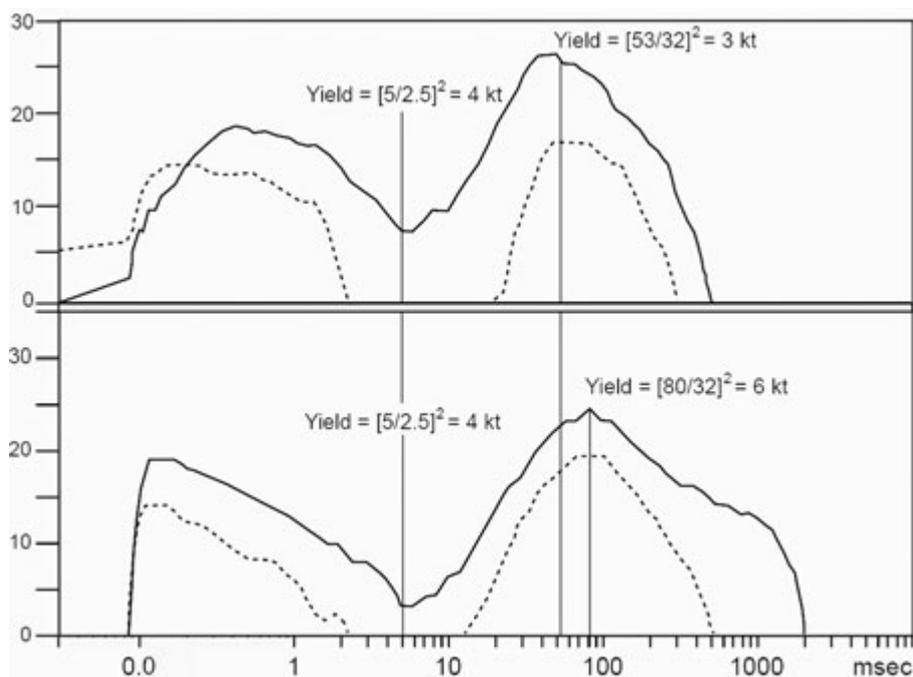


Рисунок 2. Сигналы, записанные двумя бангметрами спутника Вела 6911 22 сентября 1979 года (верхняя часть) и сигналы, записанные двумя бангметрами спутника Вела 6909 17 июля 1974 года от французского атмосферного испытания над атоллom Муруроа (нижняя часть). На горизонтальной оси X отложено время в миллисекундах; так же, как в оригиналах, менее 1,0 мс шкала линейная, а более 1,0 мс – логарифмическая. На вертикальной оси Y в линейной шкале отложена амплитуда сигнала, выраженная в единицах уровня дискриминатора (LD), как это объяснено в отчетах OJ80, Ma80, и SSM80. На обеих частях рисунка сплошная линия представляет данные с более чувствительного детектора (YCA), а пунктирная линия – с менее чувствительного детектора (YVA). Для большей части временной истории французского взрыва различие между детекторами, как и ожидалось (отчет OJ80), составляет 5 единиц уровня дискриминатора, до тех пор, пока они не начали расходиться после 100 мс; для Сигнала тревоги 747 такое различие наблюдается лишь на малой части импульса. Приблизительные мощности оценивались по эмпирическим формулам для времен минимума и второго максимума.

Несмотря на это, для двух событий на рисунке 2 все еще имеется примечательное различие в форме первого импульса. Время нарастания для французского взрыва гораздо короче, чем для Сигнала тревоги 747, хотя оба они составляют лишь долю миллисекунды. Более подробно это будет рассмотрено позже в контексте модели ядерного взрыва для Сигнала тревоги 747, постулированного лабораториями ядерного оружия США. Более того, для обеих событий имеется различие в форме второго импульса. Это критически важно, поскольку именно это различие легло в основу главного возражения группы Руины при рассмотрении правдоподобия интерпретации Сигнала тревоги 747 как сигнатуры ядерного взрыва. Но его присутствие в другом подтвержденном взрыве является выявляющим фактором. Единственным различием между двумя событиями является время, с которого начинается это расхождение между приборами YCA и YVA. В случае французского испытания оно начинается в области более 100 мс, и оно практически определено было вызвано модуляцией фона ("подъемом хвоста"), которая будет рассматриваться в следующем разделе¹⁴.

На рисунке 2 также показаны оценки мощности для Сигнала тревоги 747, основанные на эмпириче-

ских соотношениях масштабирования, использующими время минимума интенсивности между двумя вспышками (5 мс) и время второго максимума (53 мс)¹⁵. Эти соотношения масштабирования почти безусловно применимы к атмосферным взрывам с высотой ниже 30 км. В отчете SSM80 отмечается, что для взрывов на поверхности вводится некоторая модификация, и что время второго максимума является менее точно определенной функцией мощности взрыва в области менее примерно 100 кт¹⁶.

Как показывает приведенное выше, доступные данные по двойным вспышкам в определенном смысле могут быть использованы для определения мощности с помощью эмпирических соотношений. Но в своей целостности данные могут быть промоделированы и должным образом поняты только с использованием радиационной гидродинамики, соответствующая физика которой очень сложна, в особенности учитывая зависящую от времени природу фазы гидродинамического расширения при взрыве. Применимые компьютерные программы радиационной гидродинамики не очень легко доступны и, почти определенно, не могут быть немедленно использованы лицом, не являющимся экспертом. И их не так легко создать. Подробности немногочисленны, но моделирование инцидента Вела было выполнено в нескольких работах с применением программы под названием RADFLO¹⁷. Программам, подобным RADFLO, потребуются данные по свойствам материалов, таким, как непрозрачности и уравнения состояния, при экстремально высоких температурах и давлениях, и эта информация также не очень легко доступна (например, для расщепляющихся материалов)¹⁸. Этим программам могут также потребоваться специфические конструктивные параметры ядерного оружия для того, чтобы обеспечить достоверное соответствие предсказаний и данных (например, времени нарастания первого импульса); такая информация, очевидно, не будет доступна широкому академическому сообществу.

ОЦЕНКА ГРУППЫ РУИНЫ

Группа Руины была назначена в октябре 1979 года Советником Президента США по науке Фрэнком Прессом для анализа Сигнала тревоги 747. Группа сообщила свои выводы правительству США в мае 1980 года, рассекреченная версия стала доступной несколькими неделями позже. Группа все еще считала ядерный взрыв возможным, но предпочитала природное объяснение, заявив, что "хотя группа не может рассчитать вероятность того, что Сигнал тревоги 22 сентября 1979 года был ядерным взрывом на основании нашего опыта в соответственных научных оценках, наше коллективное суждение таково, что сигнал 22 сентября, вероятно, не был ядерным взрывом"¹⁹.

Несколько дополнительных отчетов по Сигналу тревоги 747 было опубликовано учеными, непосредственно и повседневно участвующими в разработке оборудования для обнаружения ядерных испытаний и (или) в анализе данных с соответствующих приборов, и сравнении этих данных с данными испытаний американского ядерного оружия. В них приводятся подробности, достаточные для того, чтобы непосредственно сравнивать их с выводами группы Руины (например, OJ80, Ma80, Ho80, SSM80).

В целом, выводы, сделанные различными группами на основании одних и тех же данных, нередко расходятся. Кроме того, оригинальных данных, доступных лицам, не принадлежащим к экспертам, недостаточно для моделирования всех соответствующих аспектов сценария ядерного взрыва для Сигнала тревоги 747. Маловероятно, что станут доступными дополнительные данные как для самого Сигнала тревоги 747, так и для сравнения событий для целей эталонного анализа. В такой обстановке, для того, чтобы пролить новый свет на инцидент Вела, последующий анализ подходит к проблеме с нескольких технических точек зрения, дополняющих друг друга. Он включает новую оценку состояния спутника Вела в сентябре 1979 года, сравнение Сигнала тревоги 747 как с "зоопарком Вела", так и с другими ядерными испытаниями, и оценку физики предлагаемой альтернативы (или альтернатив), и затем обоснования их вероятности (или невероятности). В отдельной статье, которая будет опубликована в последующем номере этого журнала, изучаются потенциально подтверждающие радионуклидные и гидроакустические свидетельства для того, чтобы определить, мог ли сигнал тревоги произойти от не имеющего отношения источника.

ПОКАЗАНИЯ БАНГМЕТРА СИГНАЛА ТРЕВОГИ 747 – СХОДСТВО И РАЗЛИЧИЯ

Оба бангметра на спутнике Вела 6911 обнаружили двойную вспышку, но формы кривых для зависимости интенсивности от времени несколько различались. Как уже отмечалось, после учета хорошо известных и охарактеризованных приборных эффектов, сигналы от двух бангметров до первого максимума импульса находились в превосходном соответствии (SSM80, Ma80). Важно отметить, что быстрое время на-

растания первого импульса является диагностическим свойством ядерного взрыва, и группа Руины отметила, что "три отдельных определения мощности, которые обычно определяются из времени максимума и времени минимума формы импульса, находятся в грубом соответствии", т.е. с уровнем, аналогичным уровню прошлых событий с малой мощностью. Эти три определения мощности базируются на времени минимума, времени второго максимума, и (вероятно) "времени после минимума, на котором провал на кривой зависимости освещенности от времени в три раза шире во времени" (так называемый критерий ЗТ, отчет SSM80). Далее, проинтегрированная энергия должна будет согласовываться с этими оценками. Заявление группы можно будет прочесть как утверждение, что как интенсивность, так и временное поведение Сигнала тревоги 747 на обоих бангметрах непосредственно копирует параметры атмосферного ядерного взрыва.

Однако, два оптических датчика показывают различные (относительные) амплитуды второго максимума, выше, и за пределами, 5 единиц уровня дискриминатора (LD), ожидаемых для их различных чувствительностей. Согласно отчету SSM80, сигнал с более чувствительного бангметра YCA выглядит как сигнал воздушного взрыва, поскольку второй пик выше первого, в то время как сигнал с менее чувствительного бангметра YVA выглядит как сигнал поверхностного взрыва, поскольку пики обладают более похожими амплитудами. Это можно видеть на рисунке 2, на котором Сигнал тревоги 747 сравнивается с французским атмосферным испытанием.

Различие бангметров элегантно продемонстрировано в отчете Ru80, где графики Сигнала тревоги 747 на бангметрах YCA и YVA показаны друг против друга вместе с 12 предыдущими ядерными взрывами, зарегистрированными на спутнике Вела 6911. В отчете группы говорится "Если в одно и то же время бангметры запишут YC= 20, YV = 10 в линейном масштабе, то если в последующий момент времени снова будет измерено YC = 20, то можно ожидать снова увидеть YV = 10, хотя YC может не превышать в два раза YV для других значений. График разброса, на котором считывания амплитуды для двух бангметров наносятся друг против друга, должен показывать узкое геометрическое место точек для записанных сигналов". В самом деле, весь первый импульс для Сигнала тревоги полностью согласовывался с прошлыми ядерными испытаниями, что является критически важным пунктом и указанием на то, что источник располагался далеко от датчиков. С другой стороны, второй импульс формирует другое геометрическое место точек, предполагающее, что источник располагается близко от датчиков. Тем не менее, весьма важно отметить, что 12 других геометрических мест обрезаны в начале модуляции фона (так называемым подъемом хвоста или опусканием хвоста, что будет обсуждаться позже). Хотя время начала не предоставлено, обычно оно бывает больше 100 мс. Поэтому геометрическое место точек для второго импульса для некоторых, или даже для всех 12 других взрывов, были либо неполными, либо не были нанесены на график (для событий мегатонного класса), и общее сравнение неубедительно. Заявление группы Руины, что "такое аномальное (отметить!) поведение никогда не наблюдалось в записях бангметров для предыдущих ядерных взрывов" обходит это важное возражение. Что будет, если модуляция фона для Сигнала тревоги 747 началась ранее? Или будет иметь другую аномальную форму своего временного поведения? Мы вернемся к этим вопросам в последующей секции.

Что также важно, в отчете Ma80 утверждается, что из-за неисправности памяти спутника в июле 1972 года, последним ядерным взрывом, записанным на спутнике Вела 6911 за всю его историю, стал взрыв, проведенный в июне 1972 года, т.е. за семь лет до Сигнала тревоги 747²⁰. Неисправность была такой, что она приводила к потере второй половины памяти образцов временной истории бангметра для всех атмосферных испытаний, что соответствует всему, что произошло через примерно 30 мс, в соответствии с таблицей 1 в отчете Ma80. Как показывает рисунок 2, большая часть второго импульса для испытаний с мощностью выше примерно 1 кт, будет поэтому потеряна, и весь второй импульс будет потерян для взрывов с мощностью более 100 кт. В течение периода до марта 1978 года было проведено пять китайских и 15 французских атмосферных испытаний, когда, как говорится в отчете Ma80, аномалия "самопроизвольно исправилась", хотя не все эти испытания были бы обязательно обнаружены спутником Вела 6911. После этого времени и до выхода отчета Ma80 на спутнике Вела 6911 был обнаружен только один подтвержденный взрыв, но его мощность была так мала, что менее чувствительный прибор YVA не запустился и сравнение детекторов поэтому стало невозможным²¹. После инцидента Вела произошло только одно атмосферное ядерное испытание. Проведенное Китаем 16 октября 1980 года с мощностью 0,7 Мт, оно произошло после выпуска отчетов по Сигналу тревоги 747, и не было сделано публичного сообщения о том, было ли это испытание обнаружено спутником Вела 6911. Было бы весьма интересно узнать, было ли испытание обнаружено, и показали ли записи на приборах YCA и YVA аномалию второго импульса, аналогичную аномалии Сигнала тревоги 747.

Продолжавшаяся несколько лет потеря части второго импульса во временных историях на Веле 6911 критически важна, поскольку она точно равна второй половине записей бангметра (в логарифмической шкале времени), которая ставится под сомнение для Сигнала тревоги 747. За период длительностью более семи лет перед Сигналом тревоги 747, не было никаких подтвержденных ядерных взрывов, обнаруженных на обоих бангметрах спутника Вела 6911, что сделало невозможным реальное "поштучное" сравнение с Сигналом тревоги 747. Было сказано, что бортовые калибровки и калибровочные источники с наземными лазерами показали, что бангметры работали нормально и в соответствии с их поведением до запуска²². Но никакой калибратор не будет иметь такую же временную историю, как реальный ядерный взрыв, т.е. лазерный импульс представляет собой одиночный пик продолжительностью около миллисекунды, и, что более важно, модуляция фона не будет зависеть от процесса запуска бангметра. Отсутствие упоминания о потере памяти спутника Вела 6911 было существенным упущением в отчете группы Руины. Не говоря ни о чем ином, это показало бы, что спутник не всегда находился в идеальном рабочем состоянии, и что, возможно, другие системы также сталкивались с техническими проблемами в течение его срока активного существования. Этот вопрос будет также рассматриваться в последующей секции в обсуждении модуляции фона.

ОБЪЯСНЕНИЯ РАСХОЖДЕНИЙ БАНГМЕТРОВ ДЛЯ СИГНАЛА ТРЕВОГИ 747

Различия между двумя бангметрами во втором пике были главным вопросом во всех аргументах, выдвигаемых против атмосферного ядерного взрыва как источника Сигнала тревоги 747. В частности, группа Руина заявила, что "хотя событие 22 сентября демонстрирует многие из характеристик ядерных сигналов, оно отклоняется в важной особенности". Группа отклонила сценарии, включающие обычные или гигантские молнии, отражения от других спутников, или отражения от пролетающих микрометеороидов, но она не исключала другие сценарии как возможные объяснения Сигнала тревоги 747. В последующих подразделах обсуждаются некоторые из этих сценариев, рассмотренных в течение месяцев, последовавших за событием. В процессе работы была предпринята попытка обновить соответствующие анализы, используя информацию из связанных областей исследования, полученную за прошедшие годы.

Зоопарк Вела

Предпочтительным сценарием группы Руина заключался в том, что Сигнал тревоги 747 принадлежал к "зоопарку Вела", возможно, появившемся при ударе микрометеороида по спутнику. Это событие выбросило облако мелких частиц, которые входили в поле зрения бангметров и отражали солнечный свет на детекторы. Поскольку поля зрения каждого бангметра на близком расстоянии немного отличались друг от друга, они могли показывать немного отличающиеся сигнатуры.

Даже после десятков лет эксплуатации спутников Вела "население зоопарка" не было особенно многочисленным. В доступных ссылках перечисляются "около 70", "83", "сотня", или "несколько сотен" случаев среди сотен тысяч других неядерных срабатываний бангметров, вызванных, например, молниями, или частицами космических лучей²³. Если причислить Сигнал тревоги 747 к "зоопарку Вела", он будет полностью уникальным в нескольких аспектах. Некоторые из событий зоопарка обладали некоторыми признаками двойной вспышки 1979 года, но, насколько это можно было установить из доступных отчетов, ни в одном случае оба бангметра не показывали классического двойного горба в правильное время и с правильными амплитудами, предоставляющими внутренне согласованные выведенные мощности ядерного взрыва.

На рисунке 3 приведены графики четырех "событий из зоопарка", два из которых были опубликованы в отчете OJ80 с данными от неизвестного спутника Вела, и два со спутника Вела 7033, были опубликованы в отчете Ru80. По-видимому, были опубликованы только эти данные для обоих бангметров на спутниках Вела. Аналогичные графики были представлены в других местах для пяти других "показаний оптического датчика неизвестной природы", как они комментировались в одном источнике²⁴. Хотя не сообщались ни исходный спутник, ни дата наблюдения, стиль графиков (т.е. диапазоны масштаба осей и надписи) позволяет надежно предположить, что они принадлежат к зоопарку событий с бангметров на спутниках типа Вела. Они будут далее обсуждаться в следующем разделе²⁵.

До Сигнала тревоги 747 только в одном подтвержденном неядерном событии наблюдался сигнал с несколькими импульсами и подобным ядерному взрыву подъемом до первого максимума (отчет SSM80). Однако, это событие не считалось принадлежащим к зоопарку, поскольку было возможно объяснить собы-

тие известным (но не указанным) процессом. Фактически ни одно из других событий из зоопарка не имело первого максимума, который походил бы на первый максимум подтвержденного ядерного взрыва (отчет SSM80). Рисунки 3с и 3d подчеркивают остроту первого максимума двух событий из зоопарка по сравнению с Сигналом тревоги 747 и французским взрывом, показанными на рисунке 2. Более того, как возможное событие из зоопарка, Сигнал тревоги 747 обладает другими "очень необычными СВОЙСТВАМИ" (отчет OJ80). К этим особенностям относится не только исключительно медленное нарастание по сравнению с другими событиями из зоопарка, показанными на рисунке 3 (смотрите также Сигнал тревоги 747 на рисунке 2), но также и присутствие двух разделенных по времени импульсов ("несколько" среди "нескольких сотен" событий из зоопарка, в соответствии с отчетом Ru80), и нетипичные амплитуда и продолжительность. Более того, гистограмма событий из зоопарка Вела по длительности показывает, что ни одно из событий зоопарка не продолжается дольше примерно 300 мс (рисунок 4, правая часть). Это не похоже на Сигнал тревоги 747, продолжительность которого, согласно отчету OJ80, равна 380 мс.

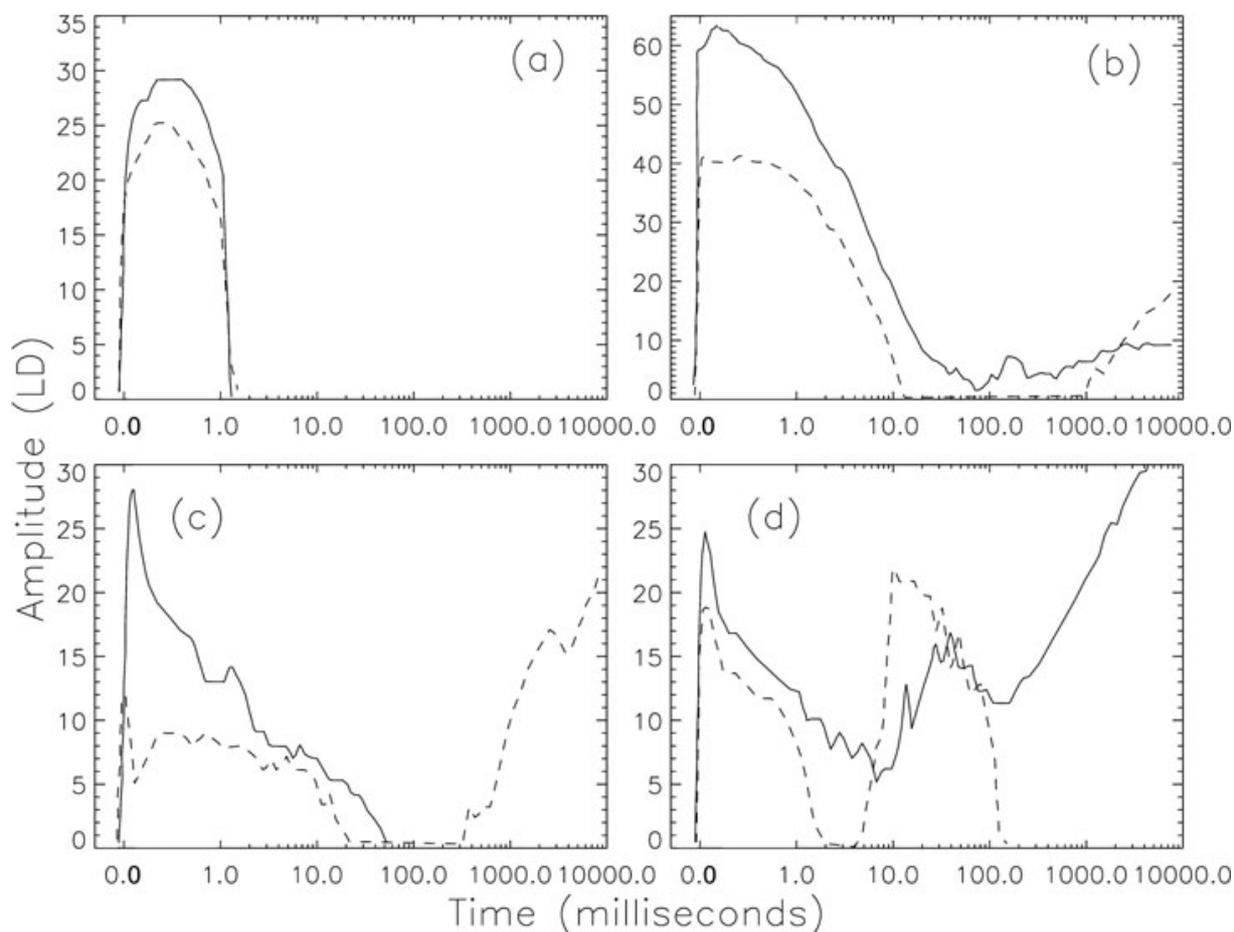


Рисунок 3. Временные истории четырех событий из зоопарка Вела на бангметрах YCA (сплошная линия) и YVA (пунктирная линия). Графики (a) и (b) взяты из отчета OJ80 и наблюдались 22 октября 1971 года и 5 ноября 1969 года, соответственно. В отчете OJ80 они отождествляются с прохождением метеороида через поля зрения бангметров, почти определенно для события, показанного на графике (a) и, вероятно, также для графика (b). Графики (c) и (d) взяты из отчета Ru80, и они наблюдались на спутнике Вела 7033 5 октября 1973 года и 10 сентября 1979 года, соответственно. Группа Руины предположила, что эти события из зоопарка, возможно, были инициированы обломками, проходившими через поля зрения бангметров после столкновения метеороида со спутником. Возрастающая амплитуда в поздние времена, вероятно, обусловлена модуляцией фона (смотрите последующий раздел). В соответствии с оригинальными графиками, временная ось логарифмическая после времени 1,0 мс, и линейная до 1,0 мс.

Далее, в отчете OJ80 утверждается, что для событий зоопарка "предоставление согласующихся данных двумя каналами [бангметрами] является скорее исключением, чем правилом", и что во многих случаях (возможно, в большинстве) не так легко распознать, что на них вообще содержатся согласованные дан-

ные. В то время как имеется очевидное подобие между данными с бангметров YCA и YVA для событий с одним импульсом на графиках (a) и (b) рисунка 3, это не так очевидно для графика (d), и еще меньше для графика (c). В отличие от первого импульса Сигнала тревоги 747, ни в одном случае график сравнения YCA и YVA не попадает на геометрическое место точек для ядерного взрыва, представленное в отчете Ru80.

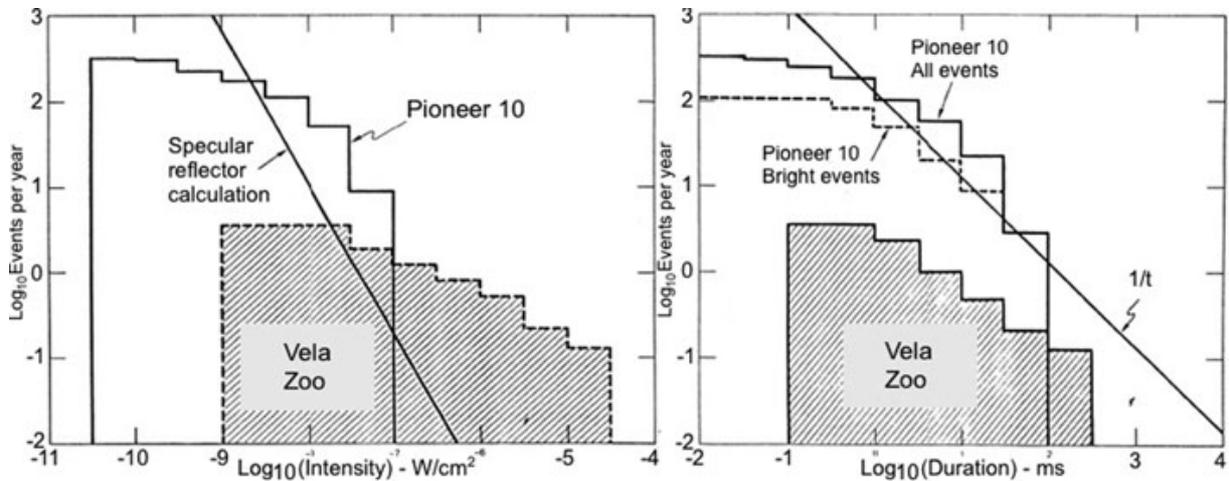


Рисунок 4. Репродукция рисунков 12 и 13 из отчета OJ90, в которых на левой стороне в логарифмическом масштабе показано распределение совокупного числа событий (в событиях за год) по интенсивности (в Вт/см²), а на правой – распределение по длительности (в миллисекундах), как для зоопарка Вела (заштриховано), так и для оптического детектора астероидов и метеороидов (AMD) на станции Пионер 10. Общее количество событий из зоопарка Вела, удовлетворяющим критериям, установленным в отчете OJ80, равнялось 83 за период наблюдений в 22,8 датчиго-годов. Для Пионера-10 использовалось 109 событий с прибора AMD, зарегистрированных в течение 124 суток на расстояниях от 1 до 2 астрономических единиц от Солнца. Эти данные соответствуют 3,64 и 320 событий за год.

В отчете OJ80 отмечалось, что вероятность того, что такие различия между популяцией событий из зоопарка и Сигналом тревоги 747 возникнут одновременно, можно будет оценить по базе данных событий из зоопарка, но этого сделано не было. Тем не менее, можно подойти к такому расчету по простому пути, если такие различия являются независимыми, т.е. не коррелированными. Для популяции событий из зоопарка порядка сотни, можно будет затем оценить вероятность того, что интенсивность события будет лежать в пределах от $10^{-8.5}$ до $10^{-7.5}$ Вт/см², охватывая интенсивность для Сигнала тревоги 747 в 10^{-8} Вт/см² и полной длительностью более 100 мс. Для помощи в вычислениях на рисунке 4 показаны КУМУЛЯТИВНЫЕ гистограммы количества событий из зоопарка Вела в зависимости от интенсивности и длительности; они показаны на рисунке вместе с данными со станции Пионер 10 (причины для этого выяснятся позже). Гистограммы показывают, что имеется около 39 событий из зоопарка с интенсивностью менее $10^{-7.5}$ Вт/см², и 3 события из зоопарка с продолжительностью более 100 мс. Из выборки в 83 события из зоопарка, зарегистрированных за 22,8 датчиго-года комбинированная вероятность будет равна всего лишь 0,017, даже при таком довольно общем наборе свойств. Вследствие этого можно ожидать, что такое может произойти только в каждом из 5000 событий (или почти за 1400 датчиго-лет). Предполагая отсутствие смещений в системе, и (или) что другие более специфические свойства, такие, как время нарастания, подобное ядерному событию, два импульса, и внутренне согласованные времена минимума и второго максимума, которые либо беспрецедентны, или весьма необычны в популяции зоопарка, независимы, можно будет увидеть, что вероятность обнаружить все эти свойства в одиночном событии из зоопарка будет еще меньше.

В другом исследовании был сделан вывод о том, что значительное количество событий из зоопарка, в особенности те, которые запускают только один бангметр, могут быть объяснены как прохождения энергичных частиц²⁶. Меньшее количество будет иметь сигнатуры, которые правдоподобно могут быть созданы отражением от небольшого метеороида, проходящего через поле зрения датчиков²⁷. Ни одно из оставшихся событий не имело характерных особенностей ядерного взрыва. Вместо этого было обнаружено, что различие в показаниях бангметров для Сигнала тревоги 747 может быть вызвано усилением модуляции фона – в результате старения системы космического аппарата – для более долгой части второго макси-

му времени истории бангметра YCA. Эта возможность будет дополнительно обсуждаться в последующем разделе.

Любопытно, что группа Руины решила не показывать события из зоопарка для спутника Вела 6911, но, вместо этого, показала события со спутника Вела 7033. Возможно, это было связано с потерей второй половины записей бангметра на спутнике Вела 6911 с июля 1972 года по март 1978 года. Если предположить, что два показанных примера выглядят наиболее похожими на Сигнал тревоги 747, т.е. графики (с) и (d) на рисунке 3, то они должны быть лучшими из очень плохой выборки из популяции событий зоопарка. Сравнение этих сигналов Сигналом тревоги 747 на рисунке 2 показывает, что они очень сильно отличаются. В то время как быстрое нарастание и острый первый пик похожи на сигналы бангметров YCA и YVA на графиках (с) и (d), их последующие формы явно не похожи друг на друга, включая сильно различающиеся времена второго максимума на графике (d)²⁸.

Столкновение с микрометеороидом и один или два осколка

В одном из исследований, начатом после Сигнала тревоги 747, изучались сценарии с одним объектом для воспроизведения обеих записей бангметра, без привлечения технической неисправности или нетипичного фона для каждого из них²⁹. Для класса объектов, которые могли бы произвести правдоподобные временные истории для бангметров YC и YV, имеются многочисленные строгие ограничения как на свойства, так и на траектории осколочного объекта. Например, если первые импульсы почти идентичны, как по форме, так и по амплитуде, объект не должен будет запускать бангметры сразу же после входа в поле зрения; вместо этого запуск должен будет задерживаться до тех пор, пока объект не окажется ближе к центру поля зрения бангметров. Относительные чувствительности датчиков примерно идентичны до внеосевого угла в 6 градусов, но при больших углах они начинают резко уменьшаться и падают в 10 раз на углах примерно в 10 и 15 градусов соответственно для приборов YV и YC³⁰. Для того, чтобы воспроизвести сигнал, согласующийся с Сигналом тревоги 747, объект должен будет находиться в поле зрения в течение существенного времени перед запуском. Поскольку разнесение двух датчиков примерно равно 30 см, объект во время первого импульса должен находиться на расстоянии более 1,5 м от детекторов; и, основываясь на положении Солнца и аргументах геометрической оптики, объект должен быть ближе 30 м, чтобы воспроизвести второй импульс и их различие³¹.

Отсутствие тонкой структуры в форме импульса указывает на то, что объект должен вращаться довольно медленно, порядка нескольких оборотов в секунду. Объект должен двигаться в поле зрения со скоростью менее 10 м/с, что почти однозначно показывает на то, что объект должен быть обломком самого спутника, а не выбросом при столкновении с микрометеороидом. Относительная скорость подавляющего большинства микрометеороидов на высоте радиуса орбиты спутника Вела 6911 в 110000 км должна быть не менее 0,8 км/с (что следует из преобразования гравитационной потенциальной энергии в кинетическую энергию при перемещении из бесконечно удаленной точки)³². В самом деле наблюдения скоростей метеороидов на аналогичных расстояниях от Земли показывают, что скорость равна нескольким км/с и выше³³.

Помимо того, что при высокоскоростном столкновении будет практически невозможно создать одиночный обломок, упомянутые выше ограничения делают необходимым почти зеркальное отражение от его грани (плоской поверхности на геометрической форме)³⁴. Это необходимо для того, чтобы позволить частице находиться в поле зрения без срабатывания бангметров, чтобы затем сверкнуть, когда вращающийся объект поймает Солнце. Сверкание при быстром нарастании и продолжительности порядка миллисекунды вероятно сможет имитировать первый импульс, подобный ядерному взрыву. Но частица и ее поступательное и вращательное движение должны быть весьма специфически подстроены для того, чтобы точно воспроизвести сигнал ядерного взрыва. Для того, чтобы воспроизвести остальную часть записи бангметра, например, второй максимум, потребуется добавление другого объекта, который не имеет отношения к объекту со сверкающей гранью, и обладает совершенно иными поверхностными свойствами. Такие объекты считали слишком неестественными³⁵.

Вместо этого, показание бангметра можно будет воспроизвести одиночной усеченной сферой, стартовой примерно на 2,15 м от спутника, удаляющейся со скоростью 1 м/с и вращающейся вокруг двух осей с угловой скоростью около 2,5 радиана в секунду для каждой. Далее, ее размер должен быть равен примерно 1 мм, а поперечник грани, порождающей первый максимум, составлять около 5 микрон. При таких предположениях, вместе с ограничением на свойства поверхности, требующем загрязнения для уменьшения первого максимума на одном бангметре, или фокусирующей области для усиления второго

максимума на другом бангметре, вероятность найти такой объект в непосредственной близости от спутника должна считаться исключительно малой³⁶. Естественная скорость объекта, отделяющегося от спутника, будет равна 0,1 м/с, и она будет направлена неверно, так что его скорость должна быть увеличена в 10 раз и повернута вокруг спутника таким образом, чтобы она прошла через соответствующие поля зрения бангметров и объект стал видимым для детектора особым способом.

В конце концов, проблема свелась к трудности представления механизма, который смог бы направить образованную на месте и весьма специфическую частицу на правильную траекторию. Происхождение Сигнала тревоги 747 от одиночной частицы "мыслимо, но настолько невероятно, что напрягает рассудок"³⁷. Из статистических соображений было выведено, что объем материала, потерянный спутником Вела 6911 перед тем, как выброшенная частица полетит в правильном направлении, требующемся для объяснения записей бангметра на своем первом проходе, превышает объем самого спутника. На следующем проходе вся (или большая часть) площадь открытой поверхности должна быть подвергнута эрозии. Это представляет серьезные аргументы против сценария с одиночным объектом.

Другая попытка объяснения временной истории Сигнала тревоги 747 использовала два объекта, по одному на каждый пик³⁸. Объекты представляли собой плоские пластинки, достаточно малые для того, чтобы считаться точечными источниками, и отражающие свет по закону Ламберта, т.е. показывающие одинаковую кажущуюся для любого угла. Временную историю бангметра УС можно представить с точностью до множителя два, если пластины движутся параллельно оптической оси бангметра с необходимыми скоростями и находятся на расстоянии, нужном для воспроизведения первого и второго импульсов. Но показания бангметра УУ не могут быть одновременно воспроизведены, независимо от того, как движется пластины в поле зрения датчика. Аналогичный результат был получен для сценария с двумя метеороидами. В этом случае метеороиды должны были пролететь мимо спутника Вела 6911 в течение 10 мс друг от друга, что, согласно оценке, происходит только один раз в миллиард лет³⁹.

В конечном счете, несмотря на значительные усилия, предпринятые в течение года после Сигнала тревоги 747, не было найдено ни одного жизнеспособного сценария, включающего один или два объекта. Это привело группу Руины к предложению альтернативного сценария – одного из тех, которые остаются не проверенными до сих пор.

Столкновение с микрометеороидом и многочисленные осколки

Спутник Вела 6911 представляет собой 26-сторонний многогранник, на 24 сторонах которого установлены солнечные панели (рисунок 5). Две другие стороны направлены на Землю и от нее; на первой стороне установлено два бангметра⁴⁰. Эти две стороны имеют шестигранную форму, так что каждая из них соседствует с шестью солнечными панелями, каждая из которых имеет трапециoidalную форму.

Схему конструкции спутника в литературе найти не удалось, нашлись только фотографии и (или) рисунки художников, ни на одном из которых не было масштабной линейки. Хотя известно, что поперечник космического аппарата был примерно равен 1,2 м, точные значения углов и размеров оценить трудно⁴¹. Несколько "сплюснутая" конфигурация космического аппарата позволяет предположить, что плоскости, определяемые гексагональными сегментами, в одном из которых размещены два бангметра, и шесть прилегающих сторон наклонены друг к другу под углом примерно в 30 градусов (рисунок 6).

К сожалению, по сценарию удара микрометеороида не имеется ни одного доступного отчета, в котором моделируются многочисленные объекты, будь выбросы обломков от спутника, или остатков самого микрометеороида. Как утверждала группа Руины, модель предполагает, что столкновение микрометеороида с внешней поверхностью космического аппарата может объяснить формирование временной истории Сигнала тревоги 747. Во время появления отчета группы Руины модель была недостаточно развита, но, цитируя почти дословно, короткий начальный импульс возникал при входе первой, или нескольких первых [предположительно быстрее движущихся] частиц из выброса в поле зрения, а второй, более длительный второй импульс от большой массы выброса [предположительно медленнее движущегося], которая последует позже. Это приносит некоторое подобие с реальными событиями в лаборатории, т.е. отдельных наборов обломков, движущихся по в целом похожим траекториям, но с различными скоростями. Однако, у сценария столкновения есть много недостатков, которые подытожены ниже и подробно рассмотрены в сопроводительном материале.

Ожидаемые скорости столкновения в несколько километров в секунду приводят к так называемому гиперскоростному удару (HVI). Наиболее вероятной поверхностью для удара микрометеороида будет солнечная панель, поскольку эти панели покрывают основную часть площади поверхности космического ап-

парата. Как показано на рисунке 6, геометрия космического аппарата также настоятельно заставляет предположить, что для того, чтобы обломки от столкновения немедленно попали в поле зрения бангметров, сталкивающаяся частица должна будет ударить по одной из шести близлежащих солнечных панелей. Предполагая изотропное распределение траекторий падения, статистическая вероятность того, что сценарий столкновения объясняет Сигнал тревоги 747 уже уменьшается на множитель, примерно равный $6/24$, т.е. до четверти. Здесь предполагается, что все 24 солнечные панели имеют приблизительно равную площадь. Так что теперь нужно не просто попасть в спутник, а попасть в определенную часть спутника.



Рисунок 5. Внешний вид спутника Вела 6911 на орбите над Землей. Из 26 сторон 24 покрыты солнечными панелями, обеспечивающими электропитание космического аппарата. Белые детали на нижней стороне представляют собой концы светозащитных блендов, направленных на Землю, которая находится также на оси вращения космического аппарата. Другие радиационные датчики на вершинах (пересечениях) нескольких панелей направлены в космос для обнаружения ядерных взрывов за пределами атмосферы.

В гиперскоростном ударе основными компонентами выброса являются так называемые откол и конус; они показаны на рисунке 6 и более подробно обсуждаются в сетевом дополнительном материале. Относительные пропорции выбросов откола и конуса зависят от типа материалов поверхности, в целом относящихся к пластичному и хрупкому. Большинство металлов пластичны, в то время как материалы, обычно используемые в солнечных панелях, являются хрупкими. При столкновениях с хрупким материалом большая часть выбрасываемой массы (до 90%) приходится на откол, он всегда выбрасывается перпендикулярно плоскости поверхности, состоит из относительно малого количества частиц, и является последней и самой медленной частью выброса⁴³.

Для высокоскоростного удара по одной из шести солнечных панелей, прилегающих к плоскости бангметров Велы 6911, выбросы конуса могут в принципе войти в их поле зрения, но возникает несколько

трудностей в том, чтобы объяснять ими первый импульс. Они подробно обсуждаются в сетевом материале. Выбросы откола составляют большую часть полной массы выбросов, но для столкновения с любой частью прилегающих к бангметрам любых солнечных панелей, выбросы откола отходят от полей зрения, как это может быть подтверждено рисунками 5 и 6. Для большей части площади поверхности этих шести панелей выбросы откола никогда даже не войдут в поля зрения, и второго импульса вообще не будет.

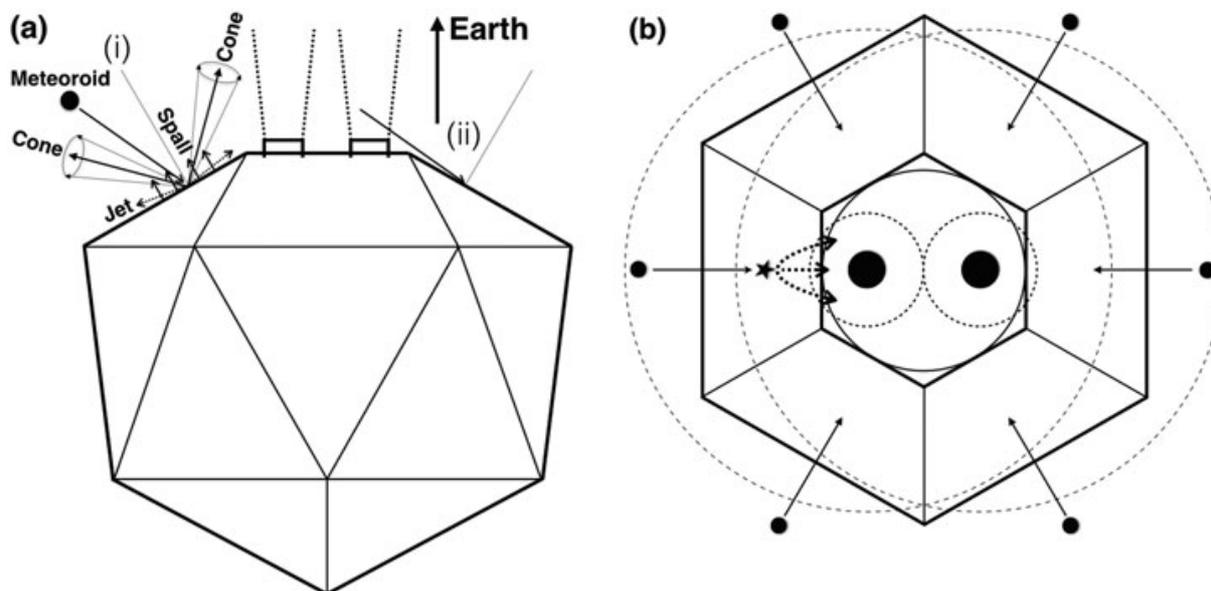


Рисунок 6. Упрощенные наброски вида сбоку (а) и вида сверху (b) геометрии столкновения между метеороидом и спутником Вела 6911. На рисунке (а) представлены два бангметра с их соответствующими полями зрения, наведенными по направлению к Земле. Поля зрения нарисованы под углом к оси в 6 градусов, углом, для которого их профили отклика остаются схожими, с относительной чувствительностью от 0,8 до 1,0 (отчет SSM80). Относительные чувствительности уменьшаются до менее, чем 0,1, при 10 градусах и при 15 градусах для бангметров YV и YC, соответственно. Только столкновение с одной из шести панелей, соседствующих с плоскости бангметра, может породить немедленно регистрируемый выброс. На рисунке (b) два больших заполненных кружка представляют бангметры, наведенные перпендикулярно странице⁴². Внутренний и внешний штриховые круги показывают их поля зрения на высоте 1,5 м и 6 м, соответственно. Ниже 1,5 м поля зрения не пересекаются нигде, и частицы, движущиеся по большей части траекторий, не будут зарегистрированы обеими датчиками, за исключением тех, которые близки к соединяющей их оси. Показаны метеороиды, падающие на каждую из шести панелей, ближайших к бангметрам, хотя для ясности только для одного показаны возможные направления ударных выбросов, в данном случае для скользящего падения. Дальнейшие подробности смотрите в тексте и в сетевом дополнительном материале.

Суммируя соображения, подробно рассмотренные в сетевом дополнительном материале, можно сделать следующие выводы. Во первых, конструкция (геометрия) спутника Вела 6911 сама по себе обеспечивает очень хорошую защиту от выбросов при столкновениях, входящих в поля зрения бангметров с большей части его площади поверхности. Только столкновения с шестью ближайшими солнечными панелями могут в принципе послать выбросы в поля зрения. Во-вторых, физика гиперскоростного удара по солнечным панелям требует, чтобы большая часть выброшенной массы содержалась в относительно больших откалывающихся частицах, которые движутся перпендикулярно к поверхности и поэтому отходят от полей зрения. В-третьих, большие углы возвышения могут послать выбросы в поля зрения, но, даже если они будут запущены, датчики смогут показать только умеренно крутое нарастание, и после этого медленно затухающий сигнал, а не двойной импульс. В-четвертых, выброс конуса с малыми углами возвышения или рикошет от скользящего столкновения могут запустить бангметры, но выброс пройдет менее, чем в 1,5 метра над ними, что будет несовместимо с почти идентичными наблюдаемыми первыми импульсами Сигнала тревоги 747. И в-пятых, учитывая, что первый импульс Сигнала тревоги должен прийти от быстрее движущегося материала, он появляется первым, и продолжается всего несколько миллисекунд, сигнал

лучше согласуется со свойствами выброса конуса. Однако, выброс конуса не состоит только из одной, или нескольких частиц, как предлагается группой Руины для генерации первого импульса, а из сотен или тысяч рожденных частиц, и не существует очевидного механизма для их достаточного разделения, временного или пространственного, для образования двойного импульса.

Эти соображения серьезно ограничивают возможные траектории подлетающего метеороида, который может инициировать сигнал на бангметрах, не говоря уже о том, чтобы иметь два импульса и имитировать ядерный взрыв. Еще более сложно построить сценарий, в котором одна или несколько частиц сначала входят в поле зрения, а за ними следует облако выброса, как постулировала группа Руины. Группа Руины не считала, что ее цель состоит в установлении сценария столкновения с метеороидом – или любого другого неядерного сценария – как объяснения аномального сигнала бангметра во втором импульсе Сигнала тревоги 747, но данное обсуждение свидетельствует против этого.

Для дальнейшей поддержки мнения, что столкновение вряд ли позволит объяснить Сигнал тревоги 747, сейчас будут обсуждаться данные с Детектора астероидов и метеороидов (AMD, известный также как Sisyphus) на межпланетных станциях Пионер-10 и 11. Группа Руины использовала результаты с детектора AMD для поддержки модели столкновения, в предположении, что Сигнал тревоги 747 был событием из зоопарка Вела, но аргумент оказался близким к замкнутому кругу, заявляющим, что каждый набор данных поддерживает другой, но объяснение для любого из них отсутствует.

ВЕЛА И ПРИБОР AMD НА СТАНЦИЯХ ПИОНЕР 10/11

Одной из проблем в 1979/1980 годах в оценке модели столкновения с микрометеороидом, в которой требовалось образование одной вторичной частицы, или более, было отсутствие аналогичных данных с другого космического аппарата с фотометрическими инструментами. Единственной существующей в то время соответствующей базой данных были измерения на космических аппаратах Пионер-10 и Пионер-11, которые были оборудованы как оптическими, так и пылеударными приборами: детектором астероидов и метеороидов (AMD) и экспериментом по обнаружению метеороидов (MDE)⁴⁴. Прибор AMD мог работать в двух режимах, зодиакального света и отдельной частицы; здесь будет обсуждаться только последний режим, если только не будет указано иное. Прибор AMD состоит из четырех телескопов с апертурой 20 см и полем зрения 7,5 градуса с приблизительно параллельными оптическими осями; задача прибора AMD состояла в использовании прохождения метеороида для определения его орбитальных параметров.

По словам группы Руины, прибор AMD срабатывал примерно в сто раз чаще, чем прибор MDE, что в то время казалось довольно противоречивым и это остается необъясненным до сих пор. Ни в одном случае орбита не была определена. Разногласие между приборами AMD и MDE было использовано группой Руины для поддержки их модели облака обломков после столкновения для Сигнала тревоги 747. Вероятно (хотя это и не было явным образом сформулировано), их предположение было таким, что достаточно маленький метеороид не будет зарегистрирован прибором MDE, поскольку для обнаружения он должен был проникнуть через пластину из нержавеющей стали толщиной 25 мкм (для Пионера-10) или 50 мкм (для Пионера-11). Это соответствует минимальной массе частиц $8,3 \cdot 10^{-10}$ г и $6,9 \cdot 10^{-9}$ г (или радиусу около 7,3 мкм и 14,2 мкм в предположении плотности в $0,5 \text{ г/см}^3$) при скорости в 20 км/с⁴⁵. С другой стороны, если микрометеороид сравнимого или даже меньшего размера ударит по другому месту космического аппарата, то отражение солнечного света от частиц выброса, которое пропорционально общей площади поверхности частиц выброса будет значительно больше, чем отражение от исходного тела, и поэтому сможет запустить прибор AMD. То, что такие предполагаемые столкновения происходят намного чаще, чем проникновения через фольгу прибора MDE, может быть объяснено как большей площадью поверхности всего космического аппарата, так и тем фактом, что в распределении космической пыли (как межпланетной, так и межзвездной) по размерам мелких частиц больше, чем крупных. Используя модели распределения межпланетной пыли, которые построены на современных наблюдениях, и предполагая похожие площади детекторов, можно показать, что прибору AMD, для того, чтобы регистрировать в сто раз большие частоты событий, потребуется обнаруживать обломки от столкновений с частицами с массой, на пять порядков величины меньшей, чем для прибора MDE⁴⁶.

Группа Руины не упоминала нескольких исключительно важных аспектов в отношении прибора AMD и его отличий от приборов спутника Вела, которые помогут оценить взаимосвязи между двумя экспериментами. Некоторые из этих аспектов рассмотрены в отчете OJ80 и в другой научной литературе; они подробно рассматриваются в сетевом дополнительном материале. Там показано, что остаются серьезные вопросы в отношении надежности (и даже реальности) данных с прибора AMD. Результаты с прибора AMD не

могут быть объяснены в рамках моделей популяции межпланетной пыли, которые построены на базе многих других наблюдений, в том числе и более современных. Технические характеристики прибора AMD также не позволяют провести детальное сравнение с событиями зоопарка Вела. В целом, данные с прибора AMD не предоставляют надежного образца, с которым можно было бы сравнить сигналы событий зоопарка Вела, и, тем более, Сигнала тревоги 747.

Модуляция фона

Как отмечалось ранее, в отчете Ma80 предполагалось, что временная история второго импульса бангметра YC может быть нарушена аномальной модуляцией фона. Здесь восьмилетняя потеря памяти для компонента второго максимума стала существенной, потому что она исключила сравнение Сигнала тревоги 747 с другим подтвержденным ядерным взрывом в более или менее близкое время. Спутник проработал больше расчетного времени активного существования, отказ датчика электромагнитного импульса EMP стал симптомом его пожилого возраста⁴⁷, но другие связанные с возрастом проблемы в это время еще не проявились в системе. Проверки после события не показали, что поведение фона отличалось от предыдущих лет эксплуатации на орбите, включая модуляционные сигналы высокой частоты и большой амплитуды, также как и более ранний, чем ожидалось, "подъем хвоста".

"Подъем хвоста" (или "опускание хвоста") были обычными для всех сигналов от ядерных взрывов на спутнике Вела, как следствие отключения компенсации фона после запуска бангметров. Поэтому общий сигнал был суммой реального события и фона, и показывал "подъем хвоста" или "опускание хвоста", когда фон увеличивался или уменьшался во время записи сигнала, который модулировался 64-секундным периодом вращения спутника. Этот эффект можно увидеть на рисунке 2 для французского атмосферного ядерного взрыва. Вслед за вторым максимумом отклик бангметра YCA сначала круто падает (как и должно быть), но затем в области примерно 300 мс наклон значительно уменьшается.

Учитывая, что величина "подъема хвоста" для бангметра YCA соответственно – на статистическом основании – больше, чем для "подъема хвоста" для бангметра YVA, в отчете Ma80 предположили, что "это, вероятно, могло быть причиной различия сигналов бангметров YCA-YVA" для Сигнала тревоги 747. Примечательно, что в соответствии с отчетом No80 оба датчика во время события получали фоновый свет от серпа Земли, также как и солнечное излучение, отраженное от поверхностей, непосредственно освещенных Солнцем. Далее в отчете Ma80 отметили, что интенсивность фона была на несколько порядков величины больше, чем максимальная интенсивность сигнала. В отчете Ma80 пришли к выводу (или выдвинули гипотезу), что если сигналы со спутника Вела 6911 были исправлены за этот фоновый эффект, то тогда Сигнал тревоги 747 полностью соответствовал бы ожиданиям для атмосферного ядерного взрыва малой мощности.

На рисунке 7 показан диапазон сигналов модуляции фона, наблюдаемого бангметром YCA на спутнике Вела 6911, как он приведен в отчете Ma80. На графике (а) сигнатура "подъема хвоста" показана следящей за запуском от молнии длительностью около миллисекунды. Примечательно, что оба примера сигналов на графике (а) начинаются через 60-100 миллисекунд и монотонно увеличиваются, что, вероятно, обусловлено периодом вращения космического аппарата в 64 секунды. С другой стороны, сигналы на графике (b) либо начинаются несколько раньше, либо больше не являются монотонными, но вместо этого содержат специфические особенности. Они не совместимы с вращением космического аппарата и могут возникать из-за вибраций от трения в подшипниках маховиков системы ориентации. На графике (c) бангметр запускается наземным калибровочным лазером с длительностью сигнала около одной миллисекунды. В этом случае фоновый сигнал начинает увеличиваться еще скорее, в одном случае всего лишь через 2 мс после запускающего события.

В отчете группы Руины упоминается вопрос фона в контексте паразитных отражений от светозащитных бленд детекторов, который был представлен позднее на ее совещаниях. Группа отметила, что такую возможность следует рассмотреть, но, без дальнейшего обоснования, решила, она вряд ли может быть причиной расхождения бангметров YCA и YVA. Они могли прийти к такому заключению, поскольку график сравнения сигналов YCA и YVA был "обрезан в начале эффектов подъема хвоста или опускания хвоста", и группа предположила, что это адекватно учитывает фон. Однако, при обрезании сигналов можно предположить, что время начала одинаково для всех событий, вероятно, около 100 мс, как это показано на типичной модуляции фона, так же как и для случая молнии (рисунок 7а). Кроме того, как было также показано, некоторые испытания после события показали, что "подъем хвоста" начался намного раньше, т.е. около 10-20 мс, и даже так рано, как через 2 мс (рисунки 7b и 7c). Очевидно, что такой нетипичный отклик на модуляцию фона может существенно изменить область второго максимума сигнала ядерного взрыва,

больше, чем требуется от того, что можно было бы ожидать на основании предыдущих взрывов. В этом контексте снова целесообразно указать, что Вела 6911 не наблюдала полную временную историю подтвержденных ядерных взрывов после середины 1972 года. В целом, вывод группы об отклонении модуляции фона как возможного объяснения расхождения показаний бангметров в течение второго импульса Сигнала тревоги 747 сегодня представляется преждевременным.

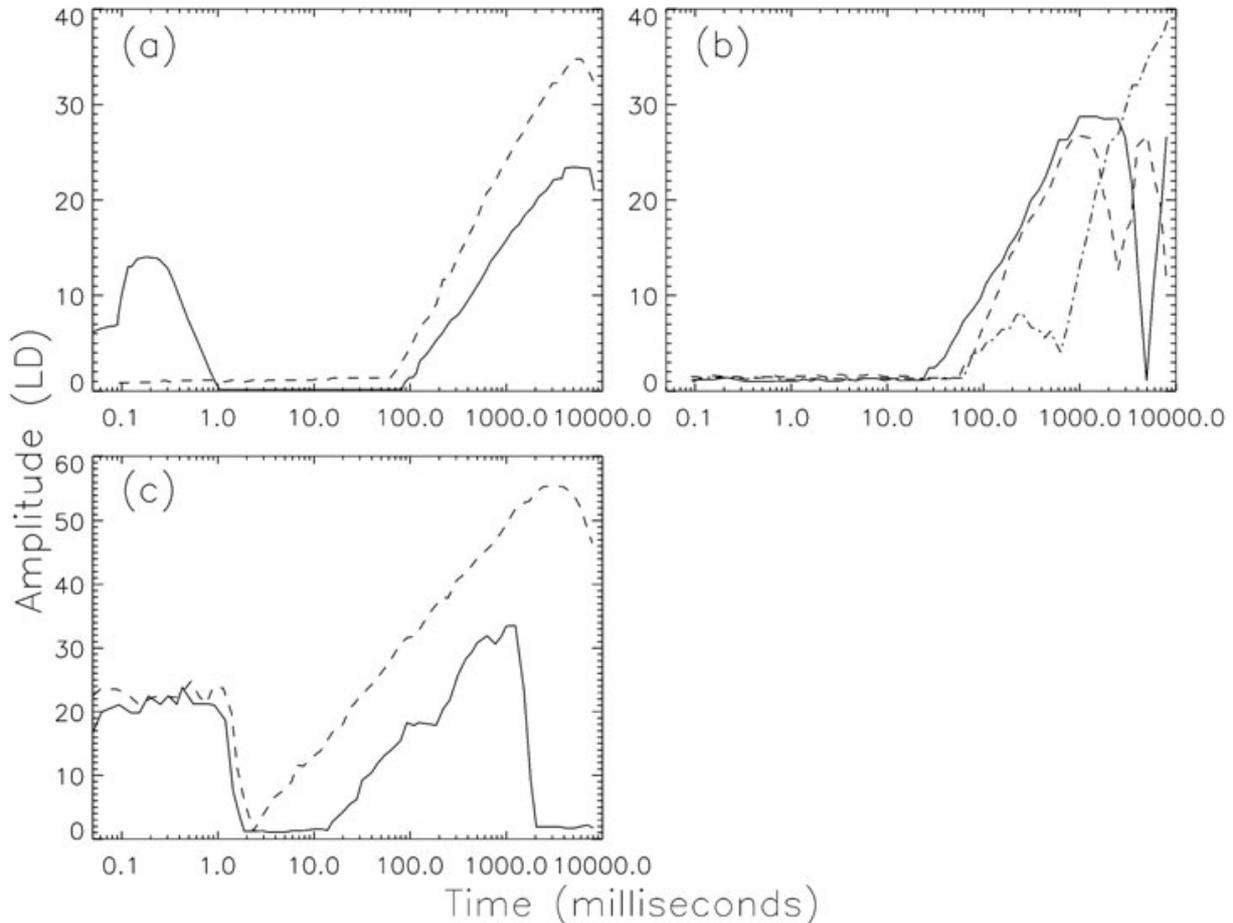


Рисунок 7. Пример временных историй с модуляцией фона ("подъем хвоста") для бангметра YCA на спутнике Вела 6911. Данные на графике (a) взяты из отчета Ru80 для "нормального" подъема хвоста после запуска от молнии 26 октября 1979 года (сплошная линия) и отчета Ma80 для типичного отклика от 19 ноября 1979 года (штриховая линия); данные на графике (b) взяты из отчета Ma80 для нетипичных откликов от 17 ноября 1979 года (сплошная линия), 17 ноября 1979 года (штриховая линия), и 21 ноября 1979 года (штрих-пунктирная линия); данные на графике (c), взятые из отчета Ma80, показывают атипичные отклики на лазерную калибровку, оба записанные 27 ноября 1979 года. В отличие от световых кривых на рисунках 2 и 3, временная ось является логарифмической на всем своем протяжении, за исключением случая молнии на графике (a), где ось должна читаться как линейная до 1,0 мс, т.е. 0,1 мс там соответствует 0,0 мс.

ОКОНЧАТЕЛЬНОЕ ОБЪЯСНЕНИЕ СОБЫТИЙ ИЗ ЗООПАРКА ВЕЛЫ (ИЛИ НЕКОТОРЫХ ИЗ НИХ) (?)

Группа Руины и другие были уверены в том, что некоторые типы событий можно будет исключить из рассмотрения в качестве потенциальных источников как для зоопарка Велы, так и Сигнала тревоги 747. Нормальные или сверхмощные молнии не могут быть источниками событий зоопарка Велы, а Сигнал тревоги 747 не является результатом отражения солнечного света от пролетающего метеороида, далекого спутника, или объекта, каким то образом отделившегося от самого спутника Вела. Вход болида в земную атмосферу также может быть исключен, как это объясняется в сетевом дополнительном материале.

Гиперскоростной удар по внутренней поверхности бленды самого бангметра?

Одним из наиболее очевидных различий между Сигналом тревоги 747 и двумя событиями из зоопарка из отчета Ru80 на рисунках 3с и 3d был первый импульс. В то время как более медленное время нарастания Сигнала тревоги 747 по сравнению с событиями из зоопарка уже отмечалось другими, например, в отчете OJ80, другая особенность состоит в форме самого пика. События из зоопарка отличаются очень быстрым нарастанием интенсивности до максимума, резким поворотом, и первоначально таким же быстрым падением интенсивности, с последующим изменением наклона и гораздо более медленным уменьшением.

Эта характерная особенность также наблюдалась в сигналах, зарегистрированных на других спутниковых бангметрах, и была представлена группами из двух американских правительственных лабораторий, а именно, Сандийской национальной лаборатории Министерства энергетики и Лаборатории Филипса BBC. Они были названы "аномальными откликами оптического датчика" и "показаниями оптических датчиков неизвестного происхождения"⁴⁸. Они почти определенно являются проявлением типа событий зоопарка Вела, наблюдавшихся на различных аппаратах, возможно, на спутниках Системы глобального позиционирования (GPS) и (или) ранее упомянутых спутниках Программы поддержки обороны (DSP). Одна группа отметила, что были задействованы пять различных конструкций бангметров на трех спутниковых платформах. Некоторые из этих сигналов воспроизведены здесь на верхней части рисунка 8, поскольку они были представлены авторами в том же стиле, как в отчете Ru80 (на других рисунках на временной оси не было показано никаких масштабов, и не было указано, является ли шкала логарифмической, что затрудняет сравнение их профилей с событиями зоопарка Вела).

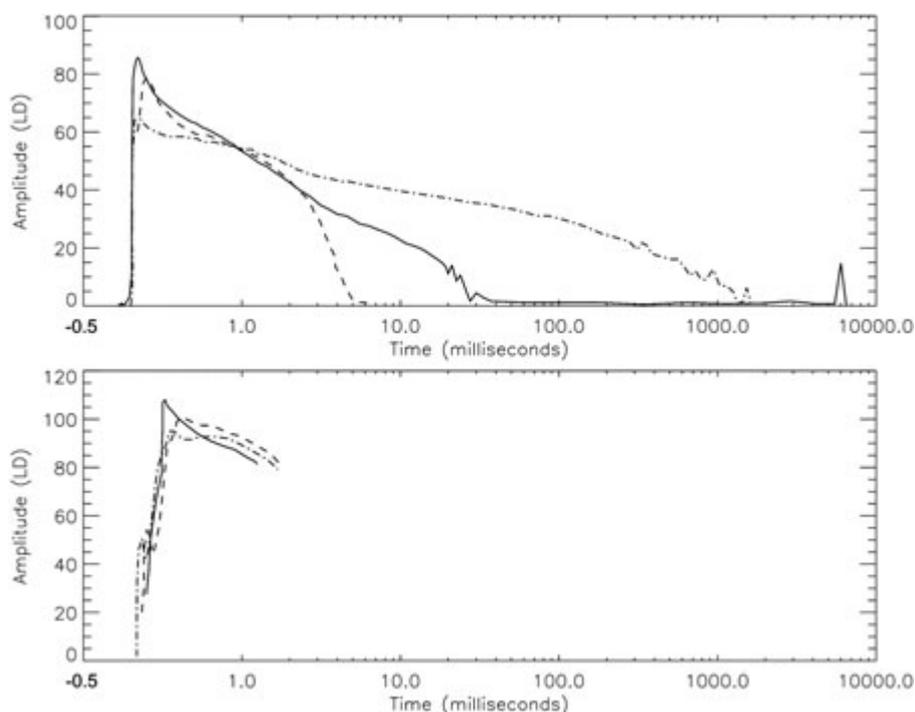


Рисунок 8. В верхней части рисунка показаны три временные истории (или световые кривые) трех оптических сигналов неизвестного происхождения, записанных бангметрами на орбите на не отождествленном космическом аппарате (хотя, вероятно, не на спутнике Вела). Отметим соответствие времени нарастания и формы области пика событиям из зоопарка Вела на рисунках 3с и 3d. На нижней части показаны временные истории для наземных экспериментов с ударом частиц по внутренней поверхности светозащитных бленд бангметра. Были применены различные уровни внешней подсветки, от полной темноты до полного освещения для моделирования сценариев с рассеянием солнечного света на выброшенных обломках, и без него. Так же, как на рисунках 2 и 3, временная шкала полулогарифмическая, с линейной частью до 1,0 мс.

Группой из Сандии было указано, что в середине 1990-х годов было выдвинуто объяснение, которое

предлагало, что сигналы могут представлять собой ударные вспышки при ударе метеороида по внутренней поверхности солнцезащитной бленды бангметра⁴⁹. Хотя ни оригинальный отчет, ни любые опровержения, не были опубликовано, по-видимому, идея была отклонена, и аргументом было то, что вспышка не будет достаточно яркой для того, чтобы запустить датчик. Поэтому была предложена модификация, в которой свет вспышки был дополнен рассеянием солнечного света на обломках выброса.

Для проверки идеи о вспышке при ударе группы обеих лабораторий, Сандии и Филипс, выполнили серию экспериментов по высокоскоростным ударам как материалу светозащитной бленды бангметра, так и по самому бангметру, с записывающими системами, подобными тем, которые используются на орбите. В двух независимых сериях экспериментов, дополняющих друг друга, использовались различные составы, массы и скорости соударяющихся частиц. Используя ускоритель Ван Де Граафа, лаборатория Филипс разгоняла железные частицы с массами от $6,6 \cdot 10^{-15}$ до 10^{-12} г до скоростей в диапазоне от 38,0 км/с до 7,6 км/с, соответственно, в то время как лаборатория Сандия использовала двухступенчатую газовую пушку для разгона алюминиевых пылинок с массой в несколько микрограммов до скорости примерно 7,3 км/с. Группа лаборатории Филипс выполняла также эксперименты с гиперскоростным ударом по линзе бангметра, также как и численные расчеты для четырех специфических случаев гиперскоростных ударов, результаты которых хорошо совпали с экспериментами с теми же самыми параметрами массы ударника, его скорости и состава, и состава поверхности.

Результаты экспериментов группы Сандии показаны в нижней части рисунка 8. Три случая соответствуют прямому удару по материалу светозащитной бленды в темноте (сплошная линия), косому удару по внутренней поверхности светозащитной бленды и непреднамеренному частичному освещению светом от газовой пушки, вошедшем в камеру эксперимента (штриховая линия) и косому удару по внутренней поверхности светозащитной бленды, преднамеренно полностью освещенной лампой (штрих-пунктирная линия). Последний случай моделирует космическую обстановку с солнечным освещением, рассеянным на выбросе.

Существует очевидное соответствие между временем нарастания и формой пикового отклика между орбитальными и лабораторными сигналами. Они сильно походят друг на друга, т.е. времена нарастания в десятки микросекунд для орбитальных сигналов согласуются с экспериментом⁵⁰. К сожалению, экспериментальная аппаратура не позволяет расширить получение данных до больших времен, наблюдаемых на орбите. Но группа Сандии пришла к выводу, что наклон уменьшения амплитуды таков, что датчик будет обнаруживать сигнал до 10 мс в их варианте на луче зрения, и здесь предполагается, что к другим случаям применима аналогичная экстраполяция даже для больших времен.

Относительно долгое затухание орбитальных сигналов по сравнению с типичными лабораторными случаями ударной вспышки⁵¹, вероятно, является результатом наложения двух явлений. Одним из них является освещения частиц выброса Солнцем; это сценарий, по-видимому, предпочитаемый в Сандии. Другой представляет собой множество вторичных ударных вспышек, соединяющихся вместе, когда осколки от первоначального столкновения ударяются о другие части солнцезащитной бленды; это сценарий, по-видимому, предпочитаемый в группе Филипса. Конечно, могут проявляться оба процесса, что объясняет расхождение полной световой энергии в несколько порядков величины между орбитальными и наземными данными.

Хотя из изложенного не обязательно следует доказательства того, что события зоопарка Вела и другие аномальные оптические сигналы были произведены вспышкой при ударе метеороида внутри светозащитной бленды бангметра, дополненной вторичными ударными вспышками и (или) рассеянием солнечного света частицами выброса, обе группы полагают, что их эксперименты поддерживают эту гипотезу. Группа Филипса обнаружила также, что наблюдаемая частота событий согласуется с ожидаемым потоком метеороидов с массой от 10^{-8} до 10^{-4} г (частота событий была бы намного больше наблюдаемой, если бы меньшие частицы давали вклад в это явление).

Очевидным возражением в случае события Велы является то, что модель не может объяснить – по крайней мере на первый взгляд – почему такое столкновение сможет запустить оба бангметра. Здесь не может быть представлено никакого хорошего объяснения для этого. Литература по спутникам Вела заставляет предположить, что два датчика снабжены отдельными светозащитными блендами (смотрите, например, рисунок 5), и что каждый из них имеет свою собственную независимую систему запуска⁵². Все же для событий из зоопарка на рисунках 3с и 3d **характеристическое быстрое время нарастания и форма пикового отклика ударной вспышки наблюдаются на световых кривых обеих бангметров YCA и YVA**. Возможно, одна возможность состоит в том, что образующаяся при ударе плазма от столкновения внутри одной светозащитной бленды генерирует электромагнитное поле и (или) волну, которая индуцирует сигнал в

электронике второго бангметра⁵³. К сожалению, некоторый критический текст и диаграммы (рисунки 10, 11 и 12) были вырезаны из отчета Ма80; в противном случае они позволили бы сделать более определенное заявление и (или) объяснение. В этом контексте нелишне отметить, что группа Филипса наблюдала, что "... спутники с тремя датчиками на борту обнаруживали аномальный сигнал одновременно на двух датчиках"⁵⁴.

МОДЕЛЬ ЯДЕРНОГО ВЗРЫВА

В нескольких исследованиях, проведенных после Сигнала тревоги 747, использующих одномерную (сферически симметричную) программу расчета радиационного переноса и гидродинамики RADFLO, были предложены модели, объясняющие двойной импульс бангметра взрывом на уровне поверхности мощностью около 1-2 кт⁵⁵. Программа RADFLO была разработана специально для расчета раннего поведения огненного шара для ядерных взрывов на малой высоте, и ее основной ролью было предсказание и моделирование оптических сигналов, порожденных такими взрывами. До Сигнала тревоги 747 программа широко использовалась для сравнения с другими взрывами, как из американской, так и из французской программ испытаний, в том числе и с использованием данных спутниковых бангметров. Программа RADFLO была расширена для исследования влияния большого количества массы вокруг устройства, в сравнении с точечным взрывом (с очень большим отношением мощности к массе), анализированном в начальных версиях программы. Было обнаружено, что наиболее важным влиянием является искажение кривой зависимости мощности от времени до первого максимума и около него. Времена минимума и второго максимума не менялись.

В отчете SSM80 объясняется, что большая эффективная масса оружия может теоретически вызвать задержку первого минимума, если будут выполнены два условия. Во-первых, масса должна быть достаточно большой, чтобы сдерживать большую часть энергии взрыва в веществе оружия, ограничивая утечку энергии в окружающий воздух в форме рентгеновских лучей. Это условие подразумевает массу, которая поддерживает внешнюю температуру вещества оружия на уровне ниже 100 эВ (т.е. 1,16 миллионов градусов Кельвина, примерно в 10 раз меньше, чем для "неэкранированного" устройства)⁵⁶. Во-вторых, последующее расширение материала оружия в воздух должно быть достаточно однородным и устойчивым. В качестве предупреждения, в отчете SSM80 отмечается, что данные по ядерным испытаниям США не обеспечивают критической проверки теории в отношении зависимости времени первого максимума от массы устройства, поскольку для взрывов малой мощности экспериментальные свидетельства отсутствуют.

Во всех вышеупомянутых отчетах по Сигналу тревоги 747 делается вывод, что относительно долгое время нарастания первого пика по сравнению с французским испытанием на рисунке 2 связано с большой массой, окружающей устройство. По-видимому, в отчете SSM80 была сделана попытка отдельно подогнать световые кривые бангметров YCA и YVA. В предположении, что бангметр YCA обеспечивает точное представление ядерного взрыва, авторы обнаружили, что подгонка как YCA, так и YVA приводит к маловероятной, но не невозможной модели источника. С другой стороны, если YVA предоставляет наиболее надежную временную историю, то можно будет получить самосогласованную картину источника⁵⁷. Они далее отмечают, что другие группы также пришли к выводу, что данные бангметра YVA являются наиболее надежными, что предоставляет дополнительное подтверждение того, что бангметр YCA был подвержен нетипичной модуляции фона.

К сожалению, результаты расчетов ни по одной из моделей в отчетах по Сигналу тревоги 747 не показаны вместе с наблюдаемым сигналом. Самое лучшее, что можно сделать, это взять соответствующие модели и начертить их вместе с сигналом со спутника Вела⁵⁸. Это показано на рисунке 9, где наблюдаемые данные преобразованы в оптическую мощность в ваттах с использованием калибровочной кривой бангметра YCA (перевод из уровня дискриминатора в Вт/см²), опубликованной в отчете OJ80⁵⁹. Модель (пунктирная линия) соответствует расчетной излучаемой мощности в полосе поглощения кремния в зависимости от времени для взрыва мощностью в 1 кт устройства массой 100 кг в воздухе с плотностью на уровне моря, с учетом неравновесных химических реакций⁶⁰. Масштаб кривой был изменен умножением временной оси на множитель 1,3, который соответствует среднему отношению соответственных времен до минимума и времен до второго максимума для взрывов мощностью в 1 и 2 кт⁶¹. Вертикальные пунктирные линии с небольшим разнесением одна от другой представляют t_{1max} , t_{min} , и t_{2max} для взрывов мощностью в 1 и 2 кт, с использованием тех же самых исходных параметров модели, за исключением 30-кг разницы для массы устройства и без включения неравновесной химии. Другая пунктирная линия чуть менее

0,3 мс показывает время до первого максимума при мощности в 2 кт для устройства, окруженного массой в 8000 кг. Оно очевидно больше, чем для варианта с устройством массой 130 кг, и ближе подходит к данным для Сигнала тревоги 747, в особенности для записей на бангметре YVA. Времена до минимума и второго максимума не изменялись, и также разумно соответствовали мощности взрыва около 2 кт. Примечательно, что приблизительно равные уровни мощности пиков первого и второго импульсов также совпадают для модели и для записей на бангметре YCA от Сигнала тревоги 747. В вариантах для мощности взрыва в 1 и 2 кт к оптической мощности не было применено никакой коррекции.

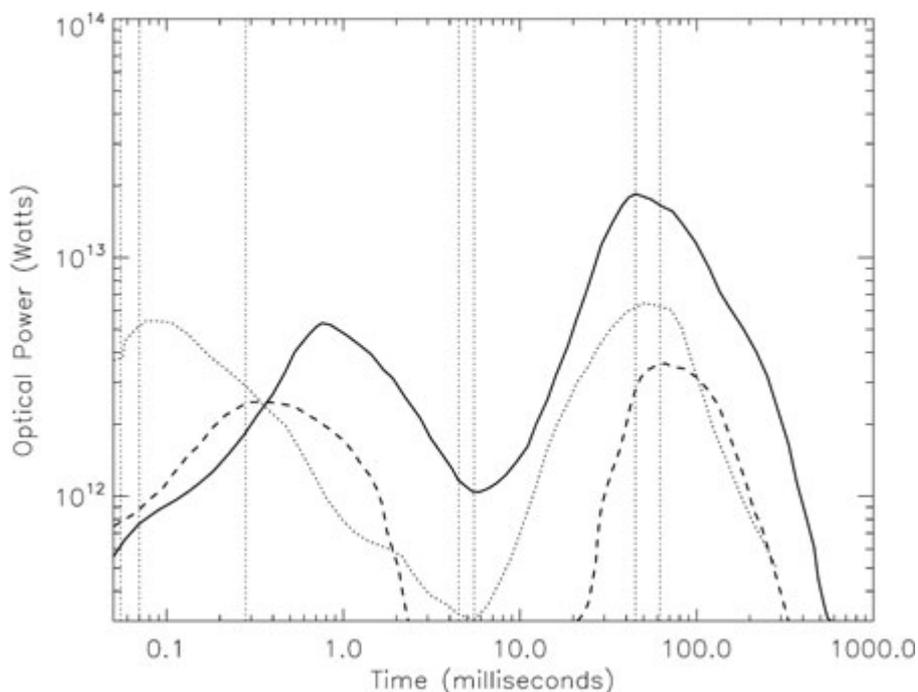


Рисунок 9. График временных историй Сигнала тревоги 747 на бангметре YCA (сплошная линия) и на бангметре YVA (штриховая линия), выраженных в оптической мощности, вместе с результатом расчетов по модели для взрыва мощностью 1 кт на уровне моря, с изменением масштаба по временной оси для имитации взрыва мощностью 2 кт (пунктирная кривая). Временная ось логарифмическая на всем своем протяжении. Соотношение между единицами уровней дискриминации (LD) и потоком мощности ($\text{Вт}/\text{см}^2$) известно только для датчика YCA; та же самая калибровка была применена к датчику YVA, даже хотя, строго говоря, независимые калибровки должны быть различными, и одна и та же мощность должна быть зарегистрированной на обоих датчиках. Отметим пунктирную линию на примерно 0,3 мс, представляющую время до первого максимума взрыва мощностью в 2 кт, окруженного массой в 8000 кг. Максимум задержан по сравнению с устройством с массой в 100 кг, которое характеризуется максимумом в 0,05-0,07 мс, и близко соответствует графику записей YVA для Сигнала тревоги 747. Пунктирные линии около 5 мс и 50 мс представляют времена минимума и второго максимума, и не изменяются с массой устройства. Дальнейшие подробности приведены в тексте.

По-видимому, имеются различия во временных историях бангметров YCA и YVA, показанных на рисунке 9, и нельзя определить, какая из них является более точной. Тем не менее, как можно видеть, например, в отчете Ma80, имеется "прекрасное согласие сигнатур YCA/YVA в части данных Сигнала тревоги 747 до максимума первого импульса", после того, как будут сделаны определенные поправки. Аналогично, график сравнения YCA и YVA в отчете Ru 80 показывает, что первый импульс Сигнала тревоги 747 соответствует двенадцати другим ядерным взрывам, обнаруженным на спутнике Вела 6911.

Другое предостережение состоит в том, что предполагается, что масса, окружающая устройство, имеет то же самое уравнение состояния, что и воздух. Так не будет, и первый импульс может существенно измениться, если для окружающего материала будет использовано более реалистичное уравнение состояния, например, для воды. Было обнаружено, что в модели взрыва мощностью в 1 кт, окруженного 100 тоннами морской воды, первый импульс полностью пропадает⁶². К сожалению, не имеется никаких сведений о возможном влиянии окружающей стальной конструкции, например, баржи.

Комбинация поверхностного взрыва и большой окружающей массы предполагает взрыв, подобный взрыву на барже. Интересно, что группа Руины не сравнила Сигнал тревоги 747 с сигналом от испытания Arcturus мощностью 22 кт на барже в Муруроа 2 июля 1967 года, даже хотя она отметила, что "бангметры на спутниках Вела срабатывали и записали сигналы от почти всех предыдущих ядерных испытаний" в атмосфере. Такое сравнение предоставило бы ценные данные о влиянии баржи и водной массы прямо под взрывом на оптический сигнал. В Полинезии также были проведены три взрыва на барже в 1966 году, но первый запуск пар модернизированных спутников Вела (Вела 7 и Вела 8), на которых впервые были установлены наблюдающие за Землей бангметры, произошел 28 апреля 1967 года, как раз за два месяца до последнего неоспариваемого взрыва вблизи поверхности воды на планете.

ОБСУЖДЕНИЕ И ВЫВОДЫ

Противоречие в отношении происхождения Сигнала тревоги 747 можно прояснить, спросив, какая из двух альтернатив более вероятна: был ли он событием из зоопарка, может быть, сигнатурой от столкновения с метеороидом, либо с внешней поверхностью спутника (модель выброса), или с внутренней поверхностью самого бангметра (модель ударной вспышки)? Или же он был сигнатурой ядерного взрыва, возмущенной во время своего второго импульса на более чувствительном бангметре ранним началом модуляции фона (и (или) иной ее аномалией)? На основании этого нового анализа, который включает несколько недавно рассекреченных документов, сценарий столкновения с метеороидом сейчас представляется гораздо менее вероятным. В то же время, сценарий ядерного взрыва приобретает повышенную убедительность.

Таким образом, 22 сентября 1979 года спутник Вела 6911, вероятно, зарегистрировал характерную и уникальную двойную вспышку от ядерного взрыва малой мощности на малой высоте. Свидетельство, на котором базируется этот вывод, поддерживается независимым и научно-исследовательским техническим анализом всей информации, доступной в документах публичного характера. Она включает сам Сигнал тревоги 747, события из зоопарков Велы и Пионеров, свойства и историю спутника Вела 6911, физику гиперскоростного удара и эксперименты для моделирования событий из зоопарка бангметров на спутниках Вела и других спутниках, и усилия для приведения сигнала в соответствие с вычислениями ядерных взрывов.

В терминах отчета группы Руина, которая пришла к противоположному заключению, могут быть сделаны следующие замечания⁶³:

- 1) Группа не упоминает проблему памяти на спутнике Вела 6911, которая продолжалась с июля 1972 года по март 1978 года и привела к потере второй половины всех записей бангметра. В результате не было недавних обнаружений подтвержденных атмосферных ядерных взрывов на спутнике Вела 6911, которые можно было бы непосредственно сравнить с Сигналом тревоги 747. По этой причине трудно судить о том, могла ли стареющая система космического аппарата привести к искажению сигнала детектора.
- 2) Группа преждевременно отвергла возможность того, что второй импульс сигнала 747 был искажен на более чувствительном бангметре либо из-за раннего начала модуляции фона, либо из-за ее неоднородности. Оба эффекта были обнаружены в орбитальных испытаниях после регистрации сигнала 747. В самом деле, искажение второго импульса модуляцией фона присутствовало на всех других ядерных взрывах, ранее обнаруженных на спутниках эскадры Вела, с постоянной природой и временем после запуска.
- 3) Группа отметила некоторое сходство между Сигналом тревоги 747 и событиями из зоопарка Велы, но не упомянула об их некоторых сильных различиях, таких, как время нарастания и форма отклика пика первого импульса и полная длительность сигнала. Ни в одном событии из зоопарка не было сравнимых первых импульсов от двух независимых бангметров, которые показывали бы такую степень сходства с сигналом ядерного взрыва.
- 4) При использовании оптического детектора метеороидов на станции Пионер-10 для поддержки своего сценария столкновения для Сигнала тревоги 747, группа должна была бы предупредить, что сообщество исследователей межпланетной пыли относится к данным с Пионера-10 крайне настороженно, и, возможно, что этот прибор даже не обнаруживал реальных оптических событий.
- 5) Группа выдвинула недоработанную модель для неядерного объяснения Сигнала тревоги 747, но не упомянула, что несколько групп независимо разработали модели ядерного взрыва, объясняю-

щие более медленное время нарастания первого импульса по сравнению с другими воздушными взрывами.

В то время как Сигнал тревоги 747 не имел прецедента в популяции событий зоопарка Вела, его нельзя полностью исключить как статистическую странность. Тем не менее, при этом следует учесть, что его общая форма, в особенности, его первого импульса, очевидно отличается от временных историй до сих пор идентифицированных двух классов событий зоопарка Вела. Напротив, Сигнал тревоги 747 и по форме, и по амплитуде почти полностью имитирует ядерный взрыв, и его мощности, определенные четырьмя различными (эмпирическими) методами, внутренне согласуются⁶⁴.

В отдельной сопровождающей статье, которая будет опубликована в следующем выпуске, представлены дополнительные доказательства, подтверждающие вывод о том, что спутник Вела 6911 обнаружил атмосферный ядерный взрыв малой мощности, вероятно, над южным Индийским океаном, 22 сентября 1979 года. Эти доказательства включают в себя обзор доступных гидроакустических данных, а также анализ короткоживущего продукта деления йода-131, обнаруженного в щитовидных железах овец из юго-восточной Австралии в октябре и ноябре 1979 года.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы признательны за энтузиазм редакторов Журнала, стремившихся увидеть эту работу опубликованной, и выражают благодарность за их усилия сократить текст и там, где необходимо, изменить его, чтобы сделать доступным как можно более широкой аудитории. Это исследование не было бы возможным без документов, сделанных доступными Архивом национальной безопасности в Университете Джорджа Вашингтона.

ПРИМЕЧАНИЯ И ССЫЛКИ

1. Для записи временного развития энергетической освещенности переменного события, как оптической мощности а единицу площади, в бангметре используется кремниевый фотодиод. Регистрация сигнала включается, когда энергетическая освещенность и скорость ее увеличения превышают предварительно установленные пороговые значения. Смотрите G. H. Mauth, "Alert 747," RS 1243/80/12, Sandia National Laboratories, 1 May 1980, available at nsarchive.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB190.
2. Франция, Китай, Пакистан и Северная Корея не были участниками договора.
3. В течение ряда лет были опубликованы несколько историй с различными подробностями; в частности, они включают: Jeffrey Richelson, *Spying on the bomb: American nuclear intelligence from Nazi Germany to Iran and North Korea*, (WW Norton & Company, 2007); Leonard Weiss, "Flash from the past: Why an apparent Israeli nuclear test in 1979 matters today," *Bulletin of the Atomic Scientists*, 2015, thebulletin.org/flash-past-why-apparent-israeli-nuclear-test-1979-matter-today8734 ; L. Weiss, "The Vela Event of 1979 (Or the Israeli Nuclear Test of 1979)," *The Historical Dimensions of South Africa's Nuclear Weapons Program*, 2012; L. Weiss, "The 1979 South Atlantic Flash: The Case for an Israeli Nuclear Test," in H. Sokolski (ed.), "Nuclear Nonproliferation: Moving Beyond Pretense: Preliminary Findings of NPEC's Project on Nuclear Nonproliferation Policy," Washington, DC, 2012, available at www.npolicy.org; L. Weiss, "Israel's 1979 Nuclear Test and the US Cover-Up," *Middle East Policy*, 18(2011): 83-95; David Albright and Corey Gay, "A Flash from the Past," *Bulletin of the Atomic Scientists*, 53(1997): 15-17.
4. G. H. Mauth, Alert 747, (ссылка 1)
5. Henry G. Horak, "Vela Event Alert 747," LA-8365-MS, Los Alamos Scientific Laboratory, 1980, available at nsarchive.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB190.
6. C. J. Rice, "Search for Correlative Data," The Aerospace Corporation, Space Systems Laboratory, TOR-0082(2640)-1, 1982, available at nsarchive.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB190.
7. J. P. Ruina et al., "Ad Hoc Panel Report on the September 22 Event," Executive Office of the President, Office of Science and Technology Policy, 17 July 1980, available at fas.org/rlg/800717-vela.pdf;" Ad Hoc Panel Report on the September 22 Event," 23 May 1980, available at nsarchive.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB190.
8. George N. Oetzel, and Steven C. Johnson, Vela Meteoroid Evaluation, T/8503/T/PMP, SRI Project 6914, SRI 0-4055, Special Technical Report 2, *SRI International*, 29 January 1980, available at nsarchive.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB190; Mauth, Alert 747 (ссылка 1); Horak, Vela Event Alert 747 (ссылка 5); Dale S. Sappenfield, David H. Sowle, and Trella H. McCartor, "Possible Origins of Event 747 Optical Da-

- ta,"MRC-80-373, MRC-R-579, Mission Research Corporation, August 1980, available at nsarchive.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB190.
9. Guy E. Barasch, "Light flash produced by an atmospheric nuclear explosion," LASL-79-84, Los Alamos Scientific Laboratory, 1979, available at nsarchive.gwu.edu/NSAEBB/NSAEBB190.
 10. Там же.
 11. Ruina et al., Ad Hoc Panel Report (ссылка 7); Phillip J. Klass, "Clandestine nuclear test doubted" *Aviation Week & Space Technology*, 209(1980): 67-72.
 12. Ruina et al., Ad Hoc Panel Report (ссылка 7); Klass, "Clandestine nuclear test doubted," (ссылка 11); The Radiological Situation at the Atolls of Mururoa and Fangataufa, STI/PUB/1028, International Atomic Energy Agency, 1998; Barasch, Light flash produced by an atmospheric nuclear explosion (ссылка 9)
 13. G. H. Mauth, Alert 747, (ссылка 1)
 14. Фон возникает от отражения солнечного света от самой Земли, и, возможно, от прилегающей конструкции спутника. Он обычно подавляется электроникой, так что он не может запустить бангметр, но после того, как прибор был однажды запущен, будь то атмосферным ядерным взрывом, или даже молнией, то это подавление больше не действует. Поэтому, по мере вращения спутника фон может модулироваться, увеличиваясь ("подъем хвоста") или уменьшаясь ("опускание хвоста") во время записи переменного оптического сигнала (Mauth 1980, Alert 747 (ссылка 1)).
 15. Barasch, Light flash produced by an atmospheric nuclear explosion (ссылка 9)
 16. Там же.
 17. Sappenfield, Sowle, McCartor, Possible Origins of Event 747 Optical Data (ссылка 8); Horak, Vela Event Alert 747 (ссылка 5); E. M. Jones, R. W. Whitaker, H. G. Horak, and J. W. Kodis, "Low-Yield Nuclear Explosion Calculations: The 9/22/79 VELA Signal," LA-9062, Los Alamos National Laboratory, 1982.
 18. Symbalyst et al., RADFLO Physics and Algorithms, LA-12988-MS, Los Alamos National Laboratory, 1985.
 19. Здесь следует отметить, что в отчете группы Руины прямо не утверждается, что Сигнал тревоги 747 не был сигнатурой ядерного взрыва. Вскоре после выпуска отчета сообщалось, что один из членов группы говорил, что когда группа собралась в первый раз, они думали, что шансы на то, что сигнал был связан с ядерным взрывом, равны 4 к 1, но в конце обсуждений шансы стали 4 к 1 против этого (Eliot Marshall, "Debate continues on the bomb that wasn't," *Science*, 209 (1980): 572-573. Такие шансы все еще можно считать довольно здоровыми.
 20. Последним ядерным взрывом, записанным в течение полной временной истории обеими бангметрами спутника Вела 6911, вероятно, был французский взрыв Titania мощностью 4 кт 30 июня 1972 года (и/или взрыв Umbriel мощностью 0,5 кт 25 июня 1972 года; в июне 1972 года Китай не проводил ядерных испытаний).
 21. На основании исторических записей, это должно было быть китайским испытанием 14 декабря 1978 года.
 22. G. H. Mauth, Alert 747, (ссылка 1)
 23. Различия в этих числах, вероятно, обусловлены различными критериями, использованными для определения принадлежности к событиям зоопарка. Eliot Marshall, "Scientists fail to solve Vela mystery," *Science*, 207 (1980): 504-506; Oetzel and Johnson, Vela Meteoroid Evaluation, op. cit. (ссылка 8); Alert 747, op. cit. (ссылка 1); Ruina et al., Ad Hoc Panel Report, op. cit (ссылка 7).
 24. J. S. Browning and J. L. Montoya, "Hypervelocity impact tests of optical sensors," "*Proceedings of the conference of the American Physical Society topical group on shock compression of condensed matter*, 370, (AIP Publishing, 1996): 1113 -1116; J. S. Browning and J. L. Montoya, "Hypervelocity impact testing of spacecraft optical sensors," SAND95-11910, Sandia National Laboratory, Department of Energy, 1995, www.osti.gov/scitech/servlets/purl/76219; David F. Medina, Patrick J. Serna, and Firooz A. Allahdadi, "Reconstruction of a hypervelocity impact event in space," "SPIE's 1996 International Symposium on Optical Science, Engineering, and Instrumentation," International Society for Optics and Photonics, 1996, 137-147.
 25. J. S. Browning and J. L. Montoya. "Hypervelocity impact tests of optical sensors," "Proceedings of the conference of the American Physical Society topical group on shock compression of condensed matter" 370, AIP Publishing, 1996, 1113-1116.
 26. G. H. Mauth, Alert 747, (ссылка 1)
 27. См. также OJ80, где обсуждаются графики (a) и (b), воспроизведенные на рисунке 3.
 28. Несмотря на недоступность полного набора световых кривых событий зоопарка, это уже позволяет предположить, что эти события и Сигнал тревоги 747 обусловлены различными физическими процессами. Аналогичное предположение уже было высказано ранее, но с позиции персонального взгляда

начала 1981 года на все временные истории событий зоопарка Вела, и где было отмечено, что "ни одно отдельное событие зоопарка Вела не приближается к классической форме ни по длительности, ни по амплитуде". Leonard Weiss, "Flash from the past," op.cit. (ссылка 3) Кроме того, особенность данных бангметра для двух событий зоопарка из отчета Ru80 состоит в том, что в их временных историях наблюдается тонкая структура, видимая на рисунках 3c и 3d. На наиболее чувствительном бангметре последнего события наблюдается "пилообразный" профиль в интервале от 1 мс до 100 мс с амплитудой, составляющей заметную долю от амплитуды основного сигнала. Интересно, что в обеих записях Сигнала тревоги 747 не наблюдается никакой подобной структуры, так же как и в нескольких других записях бангметров, которые можно найти в несекретной (или рассекреченной) литературе. Напротив, такие записи являются относительно гладкими. Такая потенциальная тонкая структура импульсов бангметра является одним из вопросов, рассматриваемых для наложения ограничений на свойства тела, которое может воспроизвести наблюдения. Sappenfield, Sowle, McCartor, Possible Origins of Event 747 Optical Data, op. cit. (ссылка 18)

29. Там же.
30. Sappenfield, Sowle, McCartor, Possible Origins of Event 747 Optical Data, op. cit., Figure 11. (ссылка 8)
31. Там же.
32. Oetzel and Johnson, Vela Meteoroid Evaluation, op. cit. (ссылка 8)
33. Siegfried Auer, "Instrumentation", in Eberhard Grun, Bo Gustafson, Stan Dermott, and Hugo Fechtig (eds.), *Interplanetary Dust*, (Springer-Verlag, Berlin, 2001), 385-444.
34. Sappenfield, Sowle, McCartor, Possible Origins of Event 747 Optical Data, op. cit., Figure 11. (ссылка 8)
35. Там же.
36. Там же.
37. Там же.
38. Там же.
39. Mauth, Alert 747, op. cit.; (ссылка 1) Oetzel and Johnson, Vela Meteoroid Evaluation, op. cit. (ссылка 8)
40. "Satellite Instruments," SAND 89-0637, *Sandia Technology*, 13, March 1989, 4-6, prod. sandia.gov/techlib/access-control.cgi/1989/890637.pdf
41. Mauth, Alert 747, op. cit. (ссылка 1)
42. Точная ориентация бангметров не раскрывалась; известно, однако, что они разнесены примерно на 30 см.
43. "Characterization of Ejecta from HVI on Spacecraft Outer Surfaces," IADC-11-05, Inter Agency Space Debris Coordination Committee, April 2013.
44. R. K. Soberman, S. L. Neste, and K. Lichtenfeld, "Optical measurement of interplanetary particulates from Pioneer 10," *Journal of Geophysical Research*, 79 (1974): 3685-3694; D. H. Humes, "Results of Pioneer 10 and 11 meteoroid experiments: Interplanetary and near-Saturn," *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 85(1980): 5841-5852; D. H. Humes, J. M. Alvarez, R. L. O'Neal, and W. H. Kinard, "The interplanetary and near-Jupiter meteoroid environments," *Journal of Geophysical Research*, 79 (1974): 3677-3684.
45. Humes, "Results of Pioneer 10 and 11 meteoroid experiments," (ссылка 44)
46. R. Jehn, "An analytical model to predict the particle flux on spacecraft in the solar system," *Planetary and Space Science*, 48 (2000): 1429-1435; O. Staubach, E. Grun, and R. Jehn, "The meteoroid environment near Earth," *Advances in Space Research*, 19 (1997): 301-308; Neil Divine, "Five populations of interplanetary meteoroids," *Journal of Geophysical Research: Planets*, 98 (1993): 17029-17048.
47. Albright and Gay, "A Flash from the Past," op. cit. (ссылка 3)
48. Browning and Montoya, "Hypervelocity impact tests of optical sensors," op. cit.; (ссылка 24) Medina et al., "Reconstruction of a hypervelocity impact event in space," op. cit.; (ссылка 24) Patrick J. Serna, "Data Report of Hypervelocity Micro-Particle Impact Light Flash Data and MOS Impact Detector Output," PL-TR-95-1013, Phillips Laboratory, 1995.
49. Browning and Montoya, "Hypervelocity impact tests of optical sensors," op. cit. (ссылка 24)
50. Medina et al., "Reconstruction of a hypervelocity impact event in space," op. cit. (ссылка 24)
51. Carolyn M. Ernst, "Photometric, Thermal, and Spatial Evolution of the Impact Flash," PhD thesis, Brown University, 2008.
52. Mauth, Alert 747, op. cit. (ссылка 1)
53. S. Close, P. Colestock, L. Cox, M. Kelley, and N. Lee, "Electromagnetic pulses generated by meteoroid impacts on spacecraft," *Journal of Geophysical Research: Space Physics*, 115(2010): Charles Stein, "Hypervelocity Debris Initiated Spacecraft Discharging," *Spacecraft Charging Technology*, 476(2001): 441; David A.

- Crawford and Peter H. Schultz, "Electromagnetic properties of impact-generated plasma, vapor and debris," *International Journal of Impact Engineering*, 23 (1999): 169-180; Luigi Foschini, "Electromagnetic interference from plasmas generated in meteoroids impacts," *EPL (Europhysics Letters)*, 43(1998): 226.
54. Medina et al., "Reconstruction of a hypervelocity impact event in space," *op. cit.* (ссылка 24) Вероятно, это может относиться к спутникам Вела, поскольку у них на борту имеется другой оптический датчик, трехосная система локатора событий под названием YBA, которая сконструирована для отклика на первый максимум вспышки ядерного взрыва. Она не сработала для сигнала тревоги 747 из-за относительно малой амплитуды сигнала, что привело к большой неопределенности в предполагаемом местоположении события, покрывающую область с диаметром в несколько тысяч километров (Mauth, Alert 747, *op. cit.* (ссылка 1)).
 55. Symbalisty et al., RADFLO Physics and Algorithms, *op. cit.*; (ссылка 18) Jones et al., Low-Yield Nuclear Explosion Calculations: The 9/22/79 VELA Signal, *op. cit.*; (ссылка 17) Horak, Vela Event Alert 747, *op. cit.*; (ссылка 5) Sappenfield et al., "Possible Origins of Event 747 Optical Data," *op. cit.* (ссылка 8)
 56. Barasch, "Light flash produced by an atmospheric nuclear explosion," *op. cit.* (ссылка 9)
 57. Однако, картина неполная из-за того, что время минимума не измерялось.
 58. Symbalisty et al., RADFLO Physics and Algorithms (ссылка 18).
 59. Калибровка основана на рисунке 11 в отчете OJ80, преобразованном в ватты, и умноженном на $4\pi R^2$, где R – расстояние от Земли до спутника Вела. Временные истории сигнала тревоги 747 взяты из проекта документа от 26 ноября 1979 года лабораторий Sandia/Los Alamos под названием "22 September 1979 Event", доступным по адресу digitalarchive.wilsoncenter.org/document/119216.
 60. Взято из рисунка 8 в работе Symbalisty et al., RADFLO Physics and Algorithms (ссылка 18)
 61. Из таблицы 4 в работе Symbalisty et al., RADFLO Physics and Algorithms (ссылка 18), хотя без химии воздуха.
 62. Eugene M. D. Symbalisty, Some NUDET Effects due to Water Containment, LA-12775-MS, Los Alamos National Laboratory, 1994.
 63. В некоторых случаях ограничения секретности могли помешать группе Руины предоставить полную информацию, на основании которой проводился анализ и делались выводы.
 64. Этими четырьмя подходами являются: i) время до минимума, ii) $3T$, т.е. время после минимума, в котором "провал" на кривой зависимости в три раза шире по времени, iii) время до второго максимума, и iv) интегральная энергия.