

УДК 523.51-525.7

АТМОСФЕРНЫЕ АНОМАЛИИ ЛЕТА 1908 г.: СВЕЧЕНИЕ НЕБА

© 2012 г. О. Г. Гладышева

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

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

Поступила в редакцию 01.06.2010 г.

После доработки 30.11.2010 г.

После Тунгусской катастрофы область “белых ночей” протянулась к югу в некоторых местах вплоть до $\sim 42^\circ$ N. Впечатляющие закаты, окрашенные во все цвета солнечного спектра, наблюдались на территории Европы и частично Азии от 47° до 60° N. Эти явления можно объяснить отражением солнечного света от внутренней (обращенной к земле) поверхности поля серебристых облаков площадью ~ 10 млн. км². Отражающая поверхность поля серебристых облаков после Тунгусской катастрофы, согласно оценкам, могла быть в 10^4 раз выше отражающей поверхности обычных серебристых облаков.

1. ВВЕДЕНИЕ

Свечение вечернего и ночного неба в ночь с 30 июня на 1 июля и в некоторых местах с 1 на 2 июля 1908 г. было настолько впечатляющим, что его отметили многочисленные российские и европейские газеты, о нем было написано большое количество научных работ еще в 1908 г. Каталоги описания этого свечения содержатся в работах [Шенрок, 1908; Whipple, 1934; Зоткин, 1961; Васильев и др., 1965]. Как только мир узнал о космическом теле, взорвавшемся 30 июня 1908 г. вблизи реки Подкаменная Тунгуска, сразу возникло предположение о близкой связи между собой этих событий [Кулик, 1926; Апостолов, 1926; Whipple, 1934; Фесенков, 1968].

“Белые ночи”, наступившие одновременно на гигантской территории Европы и частично Азии, были во многом необычны. Во-первых, “сияние” началось после погружения солнца за горизонт. Первое время оно усиливалось и достигло максимума в 10 ч 30 мин вечера [Шенрок, 1908]. Во-вторых, в течение ночи свечение постепенно перемещалось за солнцем и в полночь исходило из северной части небосвода [Руднев, 1909; Россин, 1941]. В-третьих, свечение ночного неба во многих населенных пунктах было столь интенсивно, что позволяло читать мелкий шрифт газеты. В-четвертых, “сияние” было связано с отражением солнца от высоких облаков [Whipple, 1930; Полканов, 1946], оно резко обрывалось за границей облаков, переходя в чистое небо, на котором была видна луна [Шенрок, 1908]. В-пятых, уникально светлая ночь наблюдалась с 30 июня на 1 июля, на следующую ночь свечение неба было значительно слабее. Световые ночные аномалии прекратились по прошествии 2–3-х суток со времени Тунгусской катастрофы, однако зори оставались более продолжительными и в последующие дни. Зори

загорались на час раньше и затухали на час позже обычного в течение не менее 10-ти дней и были длиннее нормальных до конца лета [Апостолов, 1926].

Самым уникальным в свечении неба оказалось то, что сумеречный небосвод был окрашен. На юге Великобритании, в Бельгии, Нидерландах, на севере Франции и Германии наблюдатели отмечали насыщенные яркие тона сумеречного и ночного неба, которые были охарактеризованы так: вулканический рубин; зарево пожара; желтый (как у серы); зеленый (как окрашивание поваренной солью пламени спирта). В Петербурге, Московской губернии, Могилеве, Костроме в разрывах туч наблюдались высокие облака мягких желтовато-зеленых, золотистых, переходящих в розовые, тонов.

В описаниях наблюдавшегося явления используются все цвета солнечного спектра: красный, оранжевый, желтый, зеленый, голубой, синий, фиолетовый, а также встречаются пурпурный и розовый. Последовательность наблюдавшихся цветов соответствует спектру разложения солнечного света, причем красно-оранжево-желтые цвета располагались вблизи поверхности земли, а зелено-синие находились над ними. В ряде случаев в спектр “вставлялся” белый цвет. Так, в Холонеке Волынской губернии, сияние состояло из трех горизонтальных полос: внизу багряная, посередине – белая, наверху – зеленая [Шенрок, 1908]. Наиболее полно цветовая гамма свечения была описана Рудневым: “Окраска же от чисто белой, вблизи светящихся облаков, переходила через золотистый, оранжевый к красному (к востоку и западу), вверх же – через зеленоватый и голубой к темно-фиолетовому в зените” [Руднев, 1909].

Цветовая палитра свечения осталась не прокомментированной в большинстве исследований “белых ночей”. Зоткин [1961] попытался систе-

матизировать особенности наблюдения цветowych явлений и получил следующую зависимость высоты сумеречного сегмента от места наблюдения: чем южнее и восточнее пункт, тем выше поднимается сумеречный сегмент. Ромейко [1991] привлек извержения вулканов 1908 г. к объяснению красочных закатов.

2. ВУЛКАНИЧЕСКИЕ ЗАКАТЫ

Несомненный интерес представляет собой сравнение закатов лета 1908 года с другими аналогичными явлениями, имевшими место в земной атмосфере. Необыкновенные зори наблюдались в конце 1883 г. — начале 1884 г. Они связаны с извержением и взрывом вулкана Кракатуа. После этой катастрофы большая часть вулканического острова перестал существовать. Зори 1883—1884 гг. характеризовались пурпурным и сернисто-желтым цветом. Свет этих зорь был менее резок, чем обычно, и краски плавно переходили одна в другую. В некоторых местах закаты выглядели у горизонта как пламя гигантских пожаров [Воейков, 1903]. Аналогии с пожарами возникали и в России летом 1908 г. После взрыва вулкана Кракатуа и после Тунгусской катастрофы [Krebs, 1908] наблюдались кольца Бишопа, которые свидетельствуют о запыленности атмосферы.

Однако, несмотря на похожесть явлений, они существенно отличались. Цвет закатов после взрыва вулкана Кракатуа не имел резкой окраски, поскольку при рассеянии солнечного света пылинками интенсивность свечения всех участков спектра ослабляется и заря имеет блеклые оттенки. После Тунгусской катастрофы цвет заката был насыщенным, чистым, причем на вторую ночь краски казались более ярким, несмотря на то, что свечение было менее интенсивным. Вольф так описывает свечение второй ночи: “Сумеречные явления были еще более великолепными, чем 30 июля. Естественно желтый (как у серы) и рубиновые цвета сверкали как бриллианты...” [Wolf, 1908].

Другим существенным различием между явлениями лета 1908 г. и 1883—1884 г. является цвет, который имело солнце после этих катастроф. После взрыва вулкана Кракатуа солнце часто видели зеленым, иногда синим, медно-красным или серебряным, даже луна и звезды имели зеленый цвет. Утверждается, что в ряде случаев, если смотреть на солнце через пыль, оно синее или цвета индиго, а у горизонта зеленеет, так как синие лучи поглощаются атмосферой [Воейков, 1903]. Ничего подобного не отмечалось после Тунгусской катастрофы. Солнце имело обычный вид, только вокруг него иногда наблюдались радужные гало, которые возникают лишь на ледяных кристаллах, имеющих форму правильных шестигранных призм [Тарасов, 1988].

Еще Кулик [1926] отметил, что события лета 1908 г. не имеют отношения к вулканической деятельности, поскольку не было зафиксировано извержений перед этим событием. Кроме того, высота расположения облаков и длительность аномальных закатов после этих двух катастроф несопоставимы. Облака после Тунгусской катастрофы были расположены существенно выше (~83 км), чем пылевая пелена, наблюдавшаяся после взрыва вулкана Кракатуа (20—50 км). “Белые ночи” после Тунгусской катастрофы прекратились практически за 2—3 дня. После взрыва вулкана Кракатуа аномальные закаты плавно перемещались по планете вслед за пылью, которая оседала несколько месяцев.

3. СУМЕРЕЧНЫЙ ОРЕОЛ

Гораздо более похож на закаты лета 1908 г. вид земной атмосферы с пилотируемого космического корабля вблизи сумеречного горизонта (рис. 1). Сумеречный ореол космонавты наблюдают, находясь в области земной тени, когда корабль приближается к линии терминатора (рис. 2). В этом случае край Земли виден как отчетливая черная линия, над которой появляется сумеречный ореол. Согласно описанию космонавтов, сначала возникает маленький серп темно-красного цвета. Постепенно выше темно-красного серпа полосами добавляются оранжево-красные и желтые тона, переходящие через белесую полосу к светло-голубым, темно-синим и черно-фиолетовым цветам [Береговой и др., 1972].

Сравнивая сумеречный ореол, наблюдавшийся после Тунгусской катастрофы, с ореолом, наблюдающимся из космоса при каждом восходе и заходе солнца, можно отметить следующее.

Во-первых, цветовая окраска нижней, прилегающей к поверхности земли, и верхней частей этих ореолов совпадают (рис. 1). Нижняя часть сумеречных ореолов окрашена в красно-оранжево-желтые цвета зари, т. е. те цвета, которые приобретает солнечный свет, пройдя через плотные слои атмосферы. Окраска верхней части — голубого сегмента с плавными переходами цветов от нежно-голубого, через голубой, синий, фиолетовый, в совершенно черный цвет космоса — полностью совпадает с цветами дневного горизонта, наблюдаемого с орбиты, т. е. с рассеянным атмосферой солнечным светом. Считается, что широкая белесая полоса повышенной яркости на рис. 1б обязана своим происхождением чисто спектральному эффекту смешения цветов в рассеивающей молекулярной атмосфере [Смоктий, 1967].

Во-вторых, оба ореола имеют четко выраженную зависимость высоты наблюдаемого свечения от угла погружения солнца за линию горизонта. Сумеречный ореол, наблюдаемый из космоса, на-

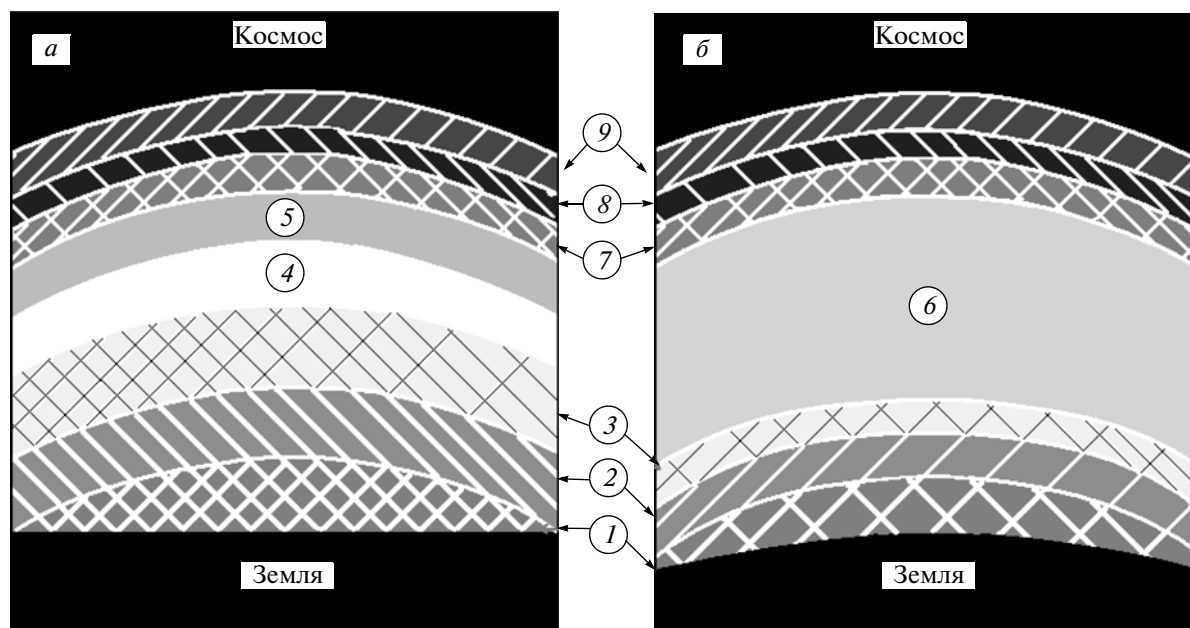


Рис. 1. Сумеречный ореол: *a* – после Тунгусской катастрофы; *б* – при наблюдениях из Космоса. Обозначения: 1 – красный цвет; 2 – оранжевый; 3 – желтый; 4 – белый; 5 – зеленый; 6 – голубовато-белесый; 7 – голубой; 8 – синий; 9 – темно-фиолетовый.

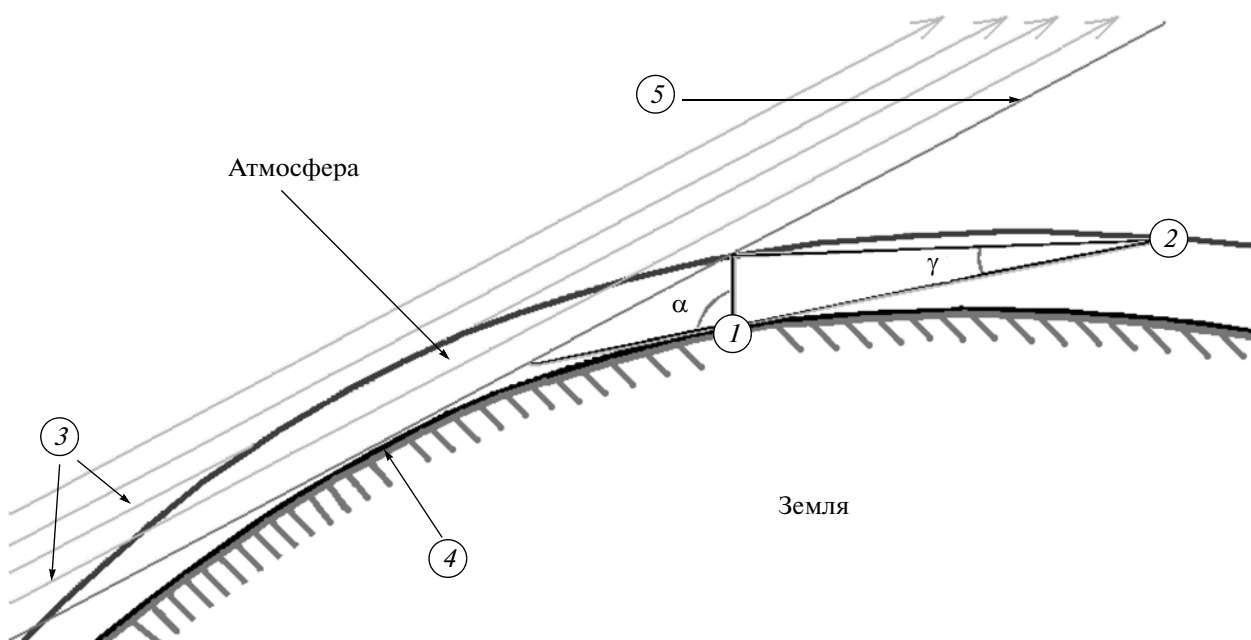


Рис. 2. Наблюдение сумеречного ореола. Обозначения: 1 – наблюдатель на Земле; 2 – наблюдатель на орбите; 3 – солнечные лучи; 4 – дневной терминатор (см. ниже); 5 – граница земной тени.

чинает формироваться из красного серпа у поверхности и имеет максимальную угловую высоту перед выходом солнца из-за горизонта [Береговой и др., 1972]. Аналогичная картина наблюдалась после Тунгусской катастрофы. Свечение

уменьшалось в высоту с увеличением угла погружения солнца за линию горизонта. Высота верхнего края светящегося поля в Арнсберге (Германия) составляла 35° , 22° и 7° , соответственно, для 21 ч 19 мин, 21 ч 32 мин и 22 ч 02 мин. К 24 ч, при

максимальном угле погружения солнца, в Берлине (Германия) свечение превратилось в тонкую красную кайму вдоль горизонта [Зоткин, 1961].

В-третьих, при наличии облачности в спектре ореолов возникают пурпурные и розовые тона. Полканов [1946] так описал необычное свечение в ночь с 17 на 18 июня (по старому стилю) 1908 г.: “Небо покрыто густым слоем туч, льет дождь и в то же время необыкновенно светло... Наблюдая, я увидел, что когда часть туч нижнего слоя разорвалась, через открытое пространство был виден высоко расположенный слой тучи золотисто-розового цвета”. По наблюдениям из космоса в случае сплошной облачности “эволюция” цветов ореола остается без изменений, только нижняя часть ореола ярко окрашена в пурпурно-красные и темно-розовые тона сильного насыщения [Береговой и др., 1972].

Однако существует и ряд отличий между этими двумя ореолами. Во-первых, существенно меняется угловой размер ореола в зависимости от наблюдения с орбиты или с поверхности земли. При высоте орбиты пилотируемого космического корабля 230–240 км максимальный угловой размер сумеречного ореола в вертикальном направлении составлял $\sim 4^\circ$ [Береговой и др., 1972], в то время как после Тунгусской катастрофы только верхний край красного свечения в некоторых пунктах достигал 15° – 20° , а фиолетовый край свечения поднимался до зенита. Естественно, это объясняется положением наблюдателя и светящейся области. Космонавт видит сумеречный ореол под углом γ (см. рис. 2), который существенно меньше угла α , под которым может наблюдать ореол очевидец с поверхности земли.

Во-вторых, наиболее существенным отличием сумеречных ореолов является наличие зеленого цвета в свечении неба после Тунгусской катастрофы. Космонавты крайне редко визуально наблюдают зеленую составляющую в цветовом спектре сумеречного ореола. Причиной этого является слабое насыщение зеленой линии в наблюдаемом спектре. По данным космического корабля “Союз-5” степень насыщения зеленой полосы равна $P = 0.21$ – 0.26 , что существенно ниже степени насыщения оранжево-желтой ($P = 0.29$ – 0.34), желтой ($P = 0.32$ – 0.35) и синей ($P = 0.37$ – 0.41) полос ореола [Лазарев и др., 1979]. После Тунгусской катастрофы зеленый оттенок в сумеречном свечении приводится почти в половине описаний вечерней зари. Зеленое свечение наблюдали как в России, так и в зарубежной Европе, как при ясной, так и при облачной погоде. Кроме этого, в сумеречном ореоле после Тунгусской катастрофы зеленый цвет часто располагался над белым, а в космической заре зеленые линии зарегистрировали между желтой (через желто-зеленую) и белесой полосами.

По всем признакам, вплоть до белой полосы в середине сумеречного ореола, внешний вид свечения после Тунгусской катастрофы близок к зорям, наблюдаемым из космоса. Таким образом, можно предположить, что и космические зори и появление красочного сумеречного ореола после Тунгусской катастрофы связаны со спектральными эффектами земной атмосферы. Объяснение появлению необыкновенного свечения после Тунгусской катастрофы будет дано ниже.

4. СЕРЕБРИСТЫЕ ОБЛАКА

Серебристые облака представляют собой ледяные кристаллики, образовавшиеся на пылевых частицах на высоте мезопаузы (~ 82 км), где располагается температурный минимум атмосферы. Серебристые облака наблюдаются, начиная с 1885 г. Предполагается, что их появление связано с деятельностью человека, а именно с увеличением выброса в атмосферу метана и паров воды. Пары воды из приземного слоя не могут преодолеть температурный минимум стратосферы, они вымораживаются и в виде ледяных кристаллов опускаются обратно к земле. Однако в последние десятилетия вода “забрасывается” в верхнюю атмосферу в виде продукта сгорания двигателей ракет. Части следа ракет, превратившиеся на высоте мезопаузы в рассеивающий слой, похожий на серебристые облака, были неоднократно сфотографированы. Метан из приземного слоя, в отличие от воды, свободно проходит через тропосферу и стратосферу. Он окисляется на высоте ~ 60 км. Рост концентрации паров воды на этих высотах за счет метана приводит к уменьшению диффузии паров воды кометного происхождения к земле. Считается, что основная часть воды в атмосферу поставляется из космоса небольшими фрагментами комет [Лазарев и др., 1993]. Таким образом, вода “скапливается” в верхней атмосфере, в том числе и на уровне мезопаузы, что приводит к образованию серебристых облаков.

Естественно предположить, что явления, подобные Тунгусской катастрофе, и ранее происходили на Земле, следовательно, подобные атмосферные оптические аномалии должны были иметь место. Утверждается, что “светлые ночи”, похожие на “светлую ночь” 30 июня 1908 г., наблюдались в истории неоднократно и во всех случаях причиной явления были метеорные потоки [Васильев и др., 1965]. Поскольку большая часть метеорных потоков представляет собой осколки комет, можно допустить, что и в 1908 г. Земля пересекла орбиту развалившейся кометы, а Тунгусское космическое тело было самым большим из захваченных Землей обломков.

“Белые ночи” после Тунгусской катастрофы наступили на территории более 10 млн. км² (рис. 3а). Определим для каждого меридиана по-

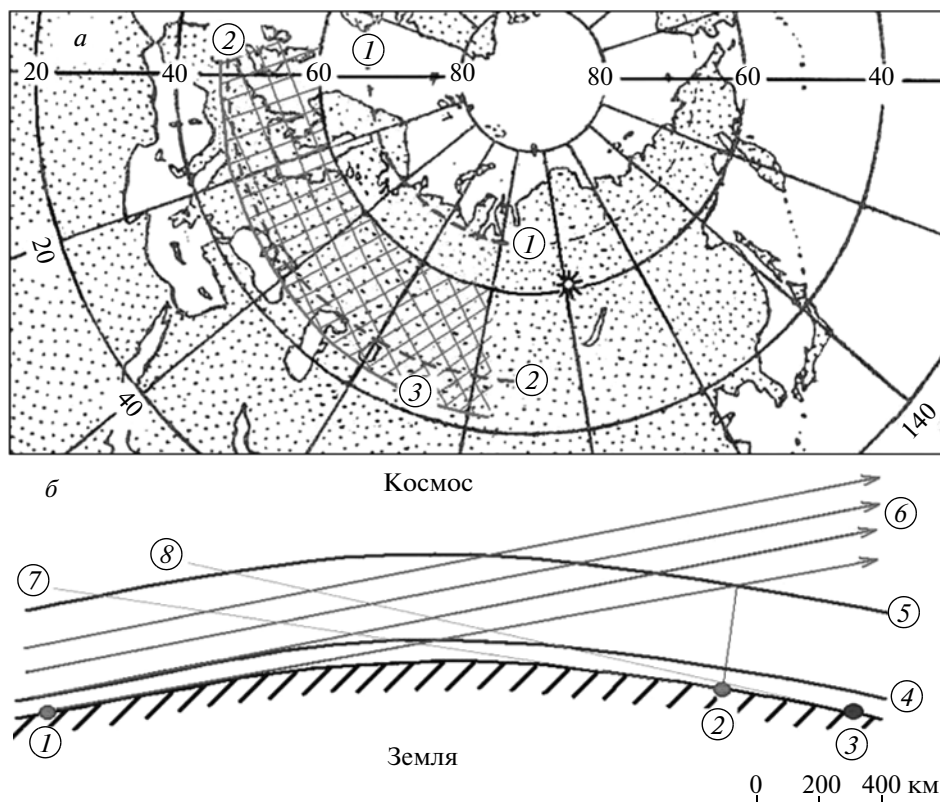


Рис. 3. Положения терминаторов в местные полночи 30 июня 1908 г.

a – расположение области “белых ночей” (штриховка) относительно места Тунгусской катастрофы (звездочка). *б* – часть сечения Земли плоскостью, проходящей через ее ось вращения (вдоль меридиана). Обозначения: 1 – пересечение меридиана и дневного терминатора (в части *a* – линия, на которой располагаются точки пересечения); 2 – пересечение линии меридиана и сумеречного терминатора; (в части *a* – линия, на которой располагаются точки пересечения); 3 – Ташкент (в части *б* – точка на широте Ташкента); 4 – слой серебристых облаков (~80 км); 5 – верхний слой светящейся атмосферы (~350 км); 6 – солнечные лучи; 7 – линия горизонта для точки сумеречного терминатора; 8 – линия горизонта для точки на широте Ташкента.

ложение сумеречной зоны, которое она имела в местную полночь. После захода солнца за линию горизонта его лучи еще длительное время продолжают освещать атмосферу, это время соответствует сумеркам. Дневным терминатором (или просто терминатором) называется граница между дневной и сумеречной зонами, над ним толщина светящегося слоя атмосферы ~350 км (рис. 3б). Сумеречный терминатор – граница между сумеречной зоной и ночной стороной Земли, над ним толщина светящегося слоя атмосферы близка к нулю. Ночь наступает при погружении солнца за линию горизонта ~18°, поэтому сумеречный терминатор располагается на ~2000 км южнее дневного. В полночь 30 июня 1908 г. дневной терминатор пересекает меридиан вблизи Северного полярного круга (~66° N). На рис. 3а эти точки пересечения меридианов и терминаторов в местные полночи показаны линиями (1-1 – для дневного и 2-2 – для сумеречного терминаторов). Назовем условно пространство между этими линиями “полуночной сумеречной зоной”. Интересно отметить, что практически вся территория,

над которой после Тунгусской катастрофы наблюдалось аномальное свечение атмосферы, попадает в эту так называемую “полуночную сумеречную зону”.

Исходим из того, что существовало гигантское поле серебристых облаков. Предполагаем, что это поле ледяных кристаллов было достаточно плотным, чтобы отразить солнечный свет. В этом случае при погружении солнца за линию горизонта, к естественному свечению неба в сумеречной зоне добавлялось свечение, отраженное от внутренней (обращенной к земле) поверхности серебристых облаков. В результате этого общая интенсивность свечения значительно увеличивалась, и наблюдатели отмечали его как “сияние”. Неравномерная плотность поля серебристых облаков приводила к тому, что свечение то разгоралось (больше лучей отражалось), то затухало всю ночь. Изменение положения наблюдателя и солнца относительно поля облаков связано как с движением самих облаков, так и с перемещением солнца из-за вращения Земли.

Все населенные пункты, в которых после Тунгусской катастрофы наблюдались красочные закаты, располагались в пределах “полуночной сумеречной зоны”. Если обратиться к рис. 3б, то можно отметить, что даже в полночь в точку сумеречного терминатора попадают солнечные лучи, отраженные от внутренней поверхности поля серебристых облаков. Естественно, что еще большее количество отраженного света увидит наблюдатель в предполуденные или послеполуденные часы (при меньшем угле погружения солнца за линию горизонта).

Согласно наблюдению Фесенкова [1968], в Ташкенте с 30 июня на 1 июля ночь практически не наступила, причем яркость неба была увеличена в 40–50 раз. Это можно объяснить как многократным отражением света от внутренней поверхности поля серебристых облаков, так и существенной запыленностью атмосферы. Исходя из того, что размеры частиц в серебристых облаках превышали длину волны падающих лучей, а также из того, что ориентация кристалликов в облаках была произвольной, можно заключить, что отражение солнечных лучей было диффузным (свет рассеивается в разные стороны). Это дает возможность для многократного отражения лучей от внутренней поверхности поля серебристых облаков. Для Ташкента верхняя кромка светящейся атмосферы в полночь располагалась над северным горизонтом на 35° , поэтому в случае большей, чем обычно, запыленности атмосферы на высотах 80–350 км рассеянный солнечный свет также мог дать дополнительную освещенность. Учитывая относительную близость расположения Ташкента к траектории полета и разрушения Тунгусского космического тела, повышенная запыленность верхних слоев атмосферы является вполне вероятной.

5. ФОРМИРОВАНИЕ СУМЕРЕЧНОГО ОРЕОЛА

Хорошо известно, что при прохождении пучка солнечного света через слой атмосферного воздуха синий (коротковолновый) участок спектра претерпевает большее рассеяние, чем красный (длинноволновый) участок спектра. Излучение, прошедшее через плотные слои атмосферы, смещено в длинноволновую часть спектра, поэтому непосредственно у земной поверхности заря окрашена в красно-оранжевые тона. По мере увеличения высоты с уменьшением плотности воздуха наблюдатель видит главным образом рассеянный свет, это приводит к появлению в окраске сумеречного ореола сине-голубых тонов. В самых верхних слоях атмосферы плотность воздуха настолько мала, что солнечное излучение практически не рассеивается, и цвет сумеречного ореола черно-фиолетовый.

Во всех точках наблюдения закатов после Тунгусской катастрофы, расположенных вне зоны облачности, отмечались насыщенные красные, оранжевые или желтые (иногда все вместе) тона. Необыкновенная яркость этих цветов была подобная той, что наблюдают космонавты на орбите. Если обратиться к рис. 2, то можно отметить, что путь, пройденный солнечными лучами в земной атмосфере до пилотируемого корабля, существенно превышает путь света до наблюдателя на земле. При отражении света от серебристых облаков путь солнечных лучей в земной атмосфере также значительно увеличен. По закону Рэлея красная окраска источника света будет тем более насыщенной, чем толще слой атмосферы, пройденный лучом. Именно поэтому после Тунгусской катастрофы цвет закатов показался столь необычным и впечатляющим.

В рассеянии солнечного света кроме атмосферных молекул значительную роль играют аэрозольные и пылевые частицы, поэтому ледяные кристаллы и пыль должны были повлиять на оптические свойства атмосферы после Тунгусской катастрофы. Можно предположить, что появление насыщенной зеленой полосы в сумеречном ореоле лета 1908 г. связано с рассеянием света на пылинках. Как упоминалось ранее, пылевая завеса от взрыва вулкана Кракатыа не только убирала длинноволновую часть спектра из света луны и звезд, но и рассеивала коротковолновое излучение, делая цвет луны и звезд зелеными. Можно предположить, что пыль от Тунгусского тела, распределенная на пути светового луча, отраженного от серебристых облаков, могла привести к такому же эффекту, превращая голубые лучи верхней части сумеречного ореола в зеленые.

Как было упомянуто выше, при наличии облачности сумеречный ореол менял красно-оранжевые цвета на пурпурно-розовые. Пурпурный тон получается, если соединить два потока лучистой энергии, из которых один богат синими лучами, а другой – красными [Шаронов, 1961]. Рассеяние света на мелких каплях облаков дает синий цвет. Добавление этого синего цвета к красно-оранжевой гамме приводит к пурпурно-розовой окраске, которая и наблюдалась, когда сумеречный ореол был виден сквозь слой облаков. Кроме того, добавление синего цвета к желтому опять же приводит к образованию зеленого оттенка, который также наблюдался как желто-зеленое свечение в разрывах туч.

6. ПЛОТНОСТЬ ПОЛЯ СЕРЕБРИСТЫХ ОБЛАКОВ

Исходим из того, что основную часть воды и пыли Тунгусское космическое тело сбросило до входа в плотные слои атмосферы, либо воду и пыль привнесли небольшие, сопровождавшие его

фрагменты. В этом случае слой с наибольшим количеством принесенного кометного вещества располагается на высотах сгорания метеоров (от 70 до 300 км). В области мезопаузы вода должна была сконденсироваться на пылинках, образовав кристаллики льда. Эти кристаллики постепенно оседали к земле. Возьмем толщину слоя серебристых облаков, которые обычно наблюдаются на высотах от 74 до 92 км, равной $L \sim 2-18$ км. Светлые ночи после Тунгусской катастрофы существовали только два дня. Исходям из предположения, что только это время существовало плотное поле серебристых облаков. Как только ледяные кристаллики покинули область низких температур, вода сублимировала, и серебристые облака исчезли. Принимая время существования серебристых облаков за $h \sim 30-40$ ч, получим скорость осаждения ледяных кристалликов $V \sim 0.01-0.15$ м/сек. Находим радиус частиц R , используя работу [Тарасов, 1988],

$$R = \sqrt{\frac{9V\eta}{2\rho g}},$$

где ρ — плотность частицы; g — ускорение свободного падения; η — вязкость воздуха на этой высоте, примем, $\eta = 1.5 \times 10^{-5}$ кг с⁻¹ м⁻¹. Полученный $R \sim 1 \times 10^{-5}-3 \times 10^{-5}$ м на 2–3 порядка превышает размер частиц естественных серебристых облаков. Обычный размер частиц серебристых облаков составляет десятки и сотни нанометров [Лазарев, 1993]. Таким образом, если исходить из того, что прекращение “белых ночей” связано с выходом ледяных частиц серебристых облаков из зоны низких температур (мезопаузы), то следует принять, что размеры этих частиц значительно больше размера частиц обычных серебристых облаков. Если считать, что количество частиц в единице объема для поля серебристых облаков после Тунгусской катастрофы такое же, как в обычных серебристых облаках, то площадь отражающей поверхности, которая пропорциональна R^2 , будет превышать площадь отражающей поверхности обычных серебристых облаков в 10^4-10^6 раз.

После Тунгусской катастрофы сформировалось гигантское поле серебристых облаков площадью $S > 10$ млн. км². Масса частицы серебристых облаков радиуса $R \sim 2 \times 10^{-5}$ м равна $m \sim 3 \times 10^{-11}$ кг. Предположим, что, как в обычных серебристых облаках, одна частица находится в объеме 10 см³ [Береговой и др., 1972], примем толщину слоя серебристых облаков $L = 10$ км, в результате получаем, что масса воды в поле серебристых облаков $M \geq 10^{11}$ кг. На самом деле количество воды может быть меньше, поскольку поле серебристых облаков не было однородным. Так, например, в западной Европе оно наблюдалось в виде отдельных “вымпелов” [Wolf, 1908].

7. ВЫВОДЫ

Свечение сумеречного и ночного неба после Тунгусской катастрофы, которое создало эффект “белых ночей” даже в Ташкенте, можно объяснить внесением $10^{10}-10^{11}$ кг воды и пыли в земную атмосферу на высоты от 70 до 300 км.

Красочные, радужные закаты, которые удивили население от Петербурга до Тирасполя, по своей природе наиболее близки к сумеречному ореолу, наблюдающемуся из космоса. Обнаружено, что все населенные пункты, в которых наблюдались необычные закаты, были расположены в сумеречной зоне. В этой зоне солнечный свет, отраженный от внутренней поверхности поля серебристых облаков, находился в пределах прямой видимости для наблюдателей. Необыкновенную яркость цвета сумеречного свечения можно объяснить тем, что солнечные лучи, благодаря отражению от серебристых облаков, прошли существенно больший, по сравнению с обычными закатами, путь сквозь земную атмосферу.

Прекращение “белых ночей” за 2–3 сут, вероятнее всего, связано с исчезновением ледяных кристаллов, вода с которых сублимировала при перемещении их под действием силы тяжести в область с более высокой температурой. Согласно оценкам, размер этих кристаллов был на 2–3 порядка больше размера кристаллов в обычных серебристых облаках. Столь большой размер кристаллов мог обеспечить увеличение отражающей способности поля серебристых облаков, образовавшихся в результате Тунгусской катастрофы, в 10^4 раз по сравнению с обычным полем серебристых облаков.

Автор выражает особую благодарность Алле Евгеньевне Серовой за переводы статей с немецкого языка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Апостолов Л. // Мирозведение. Т. 15. № 3. С. 281. 1926.
- Береговой Г.Т., Бузников А.А., Кондратьев К.Я., Лазарев А.И., Мирошников М.М., Николаев А.Г., Севастьянов В.И., Смоктий О.И., Хрунов Е.В. Оптические явления в атмосфере по наблюдениям с пилотируемых космических кораблей. Л.: Гидрометеоздат. 48 с. 1972.
- Васильев Н.В., Журавлев В.К., Журавлева Р.К., Ковалевский А.Ф., Плеханов Г.Ф. Ночные светящиеся облака и оптические аномалии, связанные с падением Тунгусского метеорита. М.: Наука. 112 с. 1965.
- Воейков А. Метеорология. СПб: Издание картографического заведения А. Ильина. 800 с. 1903.
- Зоткин И.Т. Об аномальных оптических явлениях в атмосфере, связанных с падением Тунгусского метеорита // Метеоритика. Вып. 20. С. 40–53. 1961.

- Кулик Л.А. Метеориты 30 июня 1908 года и пересечение Землей орбиты кометы Понс-Виннеке // ДАН СССР. С. 185–188. 1926.
- Лазарев А.И., Николаев А.Г., Хрунов Е.В. Оптические исследования из космоса. Л.: Гидрометеиздат. 256 с. 1979.
- Лазарев А.И., Лебединец В.Н., Мирошников М.М., Климук П.И., Севастьянов В.И., Даминова Т.А. Оптические исследования структуры природных образований из космоса // Тр. ГОИ. Т. 77. Вып. 211. 152 с. 1993.
- Полканов А.А. О явлениях, сопровождавших падение Тунгусского метеорита // Метеоритика. Вып. 3. С. 69. 1946.
- Ромейко В.А. О природе оптических аномалий лета 1908 г. // Астрон. вестн. Т. 25. № 4. С. 482–489. 1991.
- Россин В.П. Белая ночь в Наровчатове 30 июня 1908 г. // Метеоритика. Вып. 2. С. 120–122. 1941.
- Руднев Д.Д. Светящиеся ночные облака, / Тр. студ. науч. кружков физ.-мат. фак. СПб. ун-та. Т. 1. № 1. С. 69–70. 1909.
- Смоктий О.И. Об определении яркости неоднородной сферически симметричной планетарной атмосферы // Изв. АН СССР. Физика атмосферы и океана. Т. 3. № 4. 383–393. 1967.
- Тарасов Л.В. Физика в природе. М.: Просвещение. 352 с. 1988.
- Фесенков В.Г. Тунгусское падение и связанные с ним проблемы // Метеоритика. Т. 28. С. 107–113. 1968.
- Шаронов В.В. Свет и цвет. М.: Физ.-мат. лит. 312 с. 1961.
- Шенрок А. Заря 17(30) июня 1908 г. // Ежемес. метеорологический бюл. Николаевской гл. физ. обс. № 6. С. 1–4. 1908.
- Krebs W. (Grob-Flottrek) Photographen der Nachdämmerung des 30 Juni 1908 und einer Bishopschen Aureole. // Physikalische Zeitschrift. 9 Jahrgang. № 23. P. 847. 1908.
- Whipple F.J.W. The great Siberian meteor and the waves, seismic and aerial, which it produced // Quarterly J. of the Royal Meteorolog. Soc. V. 56. № 236. P. 287–304. 1930.
- Whipple F.J.W. On phenomena related to the great Siberian meteor? // Quarterly J. of the Royal Meteorolog. Soc. V. 60. № 257. P. 505–513. 1934.
- Wolf M. Über die Lichterscheinungen am Nachthimmel ans dem Anfang des Juli // Astron. Nachr. V. 178. № 4266. P. 298–300. 1908.