

Академик В. Г. ФЕСЕНКОВ

ДРЕЙФ СЛЕДА БОЛИДА 11 ОКТЯБРЯ 1948 г.

1. Во время экспедиции в пустыню Сары-Ишик Оттрау (южное Прибалхашье) мною наблюдался 11 октября 1948 г. яркий болид, оставивший после себя устойчивый след, который в течение 40 мин. прошел через значительную часть небесного свода и был окончательно потерян лишь на фоне Млечного Пути. Одновременные фотометрические наблюдения позволили установить абсолютную яркость следа и его постепенное высвечивание с течением времени.

2. Болид появился около $1^{\text{h}}50^{\text{m}}$ по среднему местному времени ($\lambda = 5^{\text{h}}4^{\text{m}}29^{\text{s}}$, $\varphi = 44^{\circ}50'$; среднее барометрическое давление 740 мм) вблизи звезды ζ Ceti, летел сверху вниз по траектории, сильно наклоненной к горизонту, на мгновение осветил местность и бесшумно исчез. Яркость его в несколько раз превышала яркость Венеры. После болида остался короткий блестящий след длиной около 8° , первоначально бывший узким и достаточно резким. Спустя несколько минут след заметно расширился и дал характерный изгиб в своей средней части. Вместе с тем происходил общий дрейф следа к западу и одновременно к зениту со все большим и большим его удлинением, расширением и ослаблением. В $2^{\text{h}}11^{\text{m}}$ замечено, что в верхней оконечности следа, соответствующей точке задержки, образовалось светлое овальное облачко и весь след приобрел вид огромного искривленного змея. С $2^{\text{h}}26^{\text{m}}$ след уже невозможно было больше различать, за исключением указанного облачка, которое продолжало дрейфовать в прежнем направлении, пересекло зодиакальную полосу, напоминая при этом по размерам и яркости противосияние, расположенное несколько правее, далее прошло через группу $\alpha\beta\gamma$ Ari и $\alpha\beta\gamma$ Tri, затем через γ And и, наконец, исчезло на фоне Млечного Пути около $2^{\text{h}}40^{\text{m}}$ ср. м. вр. Последовательные положения следа зарисовывались на звездной карте и затем были перенесены на сетку, вычисленную в равновеликой проекции в координатах x, y , так что

$$x = \alpha, \quad y = \sin \delta,$$

α, δ — прямое восхождение и склонение. Это позволило вычислить площадь следа и отдельно светлого облачка в последовательные моменты времени. В табл. 1 приводится для 14 моментов среднего местного времени зенитное расстояние z и азимут A верхней точки следа, а затем центра светлого облака и площади этих образований в квадратных градусах.

Сделаем предположение, что светлое облако, образовавшееся в точке задержки, двигалось, оставаясь на одной высоте h , пока

Таблица 1

Ср. время	z	A	Площадь в кв. градусах	
			весь след	считл. обл.
h м				
1 55	54,6	15,7	1,37	—
2 04	55,5	19,0	2,16	—
2 04,5	54,8	19,9	3,06	—
2 06	53,1	21,7	5,30	—
2 09	50,1	23,8	6,70	—
2 11,4	48,9	27,5	17,40	5,46
2 14	45,4	27,7	22,92	7,56
2 18,4	42,5	30,6	28,32	10,92
2 24	37,9	38,8	34,80	12,36
2 26	32,8	47,7	44,16	14,52
2 27	31,6	51,4	—	15,92
2 29	28,8	58,1	—	14,64
2 31	24,8	68,0	—	22,20
2 35	19,8	93,6	—	24,60

остающейся неопределенной. В таком случае его прямоугольные координаты можно представить в виде

$$x = h \operatorname{tg} z \cos A; \quad y = h \operatorname{tg} z \sin A; \quad z = h$$

(ось x направлена к югу, ось y — к западу).

Откладывая на графике отношения x/h и y/h , представляем проекцию траектории на горизонтальную плоскость в произвольных единицах, изображенную точками на прилагаемом чертеже (рис. 1). След болида двигался, как видно, почти в точности с юга на север и показал несомненное искривление в направлении по движению часовой стрелки. В том же предположении о постоянстве высоты h можно вычислить дрейф следа относительно вращающейся Земли.

Обозначая через u , v , w , ω , φ составляющие скорости, угловую скорость ω вращения Земли и географическую широту, имеем обычные уравнения

$$\frac{du}{dt} = 2\omega \sin \varphi \cdot v; \quad \frac{dv}{dt} = -2\omega \sin \varphi \cdot u; \quad \frac{dw}{dt} = 0,$$

из которых получаем после интегрирования, что траектория следа должна представлять круг

$$\left(y + \frac{u_0}{l}\right)^2 + \left(x - \frac{v_0}{l}\right)^2 = \frac{u^2 + v^2}{4\omega^2 \sin^2 \varphi} = \frac{V^2}{4\omega^2 \sin^2 \varphi}; \quad l = 2\omega \sin \varphi$$

с радиусом

$$R = \frac{V}{2\omega \sin \varphi}.$$

Длина дуги, пройденной следом за время Δt , есть

$$\Delta s = R \cdot 2\omega \sin \varphi \Delta t,$$

и соответствующий угол поворота, выраженный в градусах,

$$\alpha^\circ = \frac{180}{\pi} 2\omega \sin \varphi \Delta t.$$

Для широты $\varphi = 44^\circ 50'$ угол поворота за 40 мин. составит $14^\circ, 1$.

Нанося эту траекторию на чертеж в виде сплошной линии так, чтобы она наилучшим образом удовлетворила нанесенным точкам для некоторого среднего момента времени, получаем довольно хорошее согласие с наблюдениями. Это подтверждает наше исходное предположение о постоянстве высоты h . Скорость движения следа может быть легко определена в единицах высоты h и составляет 0,04—0,05. Если положить на основании имеющихся сведений о возгорании болидов в атмосфере, что $h = 50$ км, то находим для скорости 30—40 м/сек. С такой скоростью переносились атмосферные массы с юга на север в высокой стратосфере в ночь наблюдений.

3. Яркость верхней части следа болида, которая развилась затем в светлое облачко, была оценена в 3,9; 2,0; 1,73 в числе звезд пятой величины на один квадратный градус соответственно моментам времени в $2^h 7^m$, $2^h 24^m$, $2^h 35^m$. Эти изменения были исправлены за собственную яркость фона неба, определенную при помощи радиоактивного фотометра моей конструкции, для тех же зенитных расстояний. В результате получено:

№ 1	$2^h 7^m$	2,3	звезд пятой величины на кв. град.
№ 2	$2^h 24^m$	0,50	
№ 3	$2^h 35^m$	0,29	

Первое значение яркости получено путем приблизительной оценки с радиоактивным фотометром. След в этот момент был еще узок. В поле зрения фотометра было констатировано увеличение яркости, близко напоминающее звездное облако в созвездии Щита, многократно наблюдаемое на разных зенитных расстояниях. Второе значение найдено на основании измерения в ту же ночь яркости противостояния, которое оказалось совершенно похожим на облачко следа болида при прохождении его через зодиакальную полосу. В это время остальной след едва выделялся на фоне ночного неба. Третье значение основано на предположении, что облачко следа, проектируясь на γ Андромеды, находилось на пределе видимости и составляло поэтому не более 20% от яркости неба в этой области. Яркость следа зависит от двух причин: 1) диффузии его в окружающие слои воздуха, в результате чего то же самое количество излучающих частиц распределяется на большую площадь; 2) естественного затухания с течением времени $f(t)$. Таким образом, изменение яркости есть

$$j = j_0 \frac{f(t)}{f(t_0)} \frac{S}{S_0},$$

где площадь следа связана с его угловыми размерами σ соотношением

$$S = \sigma h^2 \sec^2 z \quad (\sigma \text{ выражено в стерadiansах}).$$

Для небольшого интервала времени можно принять, что

$$S = S_0 + \gamma t.$$

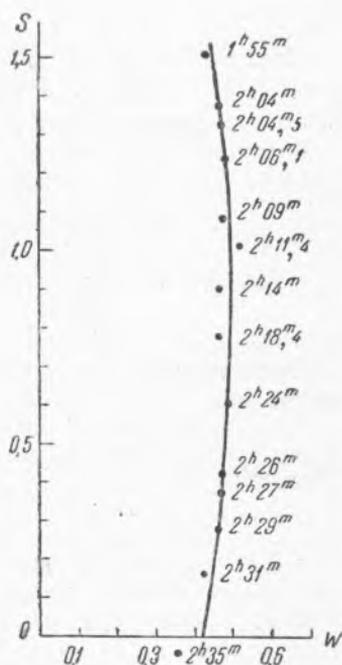


Рис. 1

Нанося значения S/h^2 , t на график, находим, что

$$\gamma = 0,5 h^2 \left(\frac{\pi}{180}\right)^2; \quad S_0 = 13,2 h^2 \left(\frac{\pi}{180}\right)^2.$$

Если ввести условие, что начало расширения приходится на $1^{\text{h}}50^{\text{m}}$, то находим в удовлетворительном согласии с предыдущим, что

$$\gamma = 0,555 h^2 \left(\frac{\pi}{180}\right)^2.$$

Для момента $2^{\text{h}}10^{\text{m}}$ находим, что при высоте $h=50$ км

$$S = 10,05 \text{ км}^2.$$

Следовательно, с момента образования точки задержки до $2^{\text{h}}10^{\text{m}}$, т. е. за 17^{m} , диффузия следа была такова, что охватила объем пространства диаметром в $3,56$ км.

Функция высвечивания $f(t)$ пропорциональна $j(S/S_0)$ и в относительных единицах может быть представлена следующим образом:

	j	$f(t)$	$f(t)_{\text{бар}}$
$2^{\text{h}}7^{\text{m}}$	2,3	2,3	2,3
2 25	0,50	0,86	0,91
2 35	0,29	0,62	0,56

Представляя эту функцию эмпирически при помощи обычного выражения

$$f(t) = Ce^{-kt},$$

находим, что

$$k = 0,0507,$$

если t выражено в минутах. Таким образом, след ослабевал в результате высвечивания чрезвычайно медленно, именно в e раз каждые 20 мин. Таким образом, основная причина ослабления яркости следа заключалась не в высвечивании его материи, но в диффузии его в окружающую атмосферу. Если аналогичные следы оставляются достаточно многочисленными метеорами, то они могут обусловить достаточно равномерное свечение небесного свода.

Поступило
1 II 1949