

ГЕОГРАФИЧЕСКОЕ ОБЩЕСТВО СОЮЗА ССР. ТОМСКИЙ ОТДЕЛ  
БЕТАТРОННАЯ ЛАБОРАТОРИЯ ТОМСКОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО  
МЕДИЦИНСКОГО ИНСТИТУТА

---

Труды, том V

1963

ПРОБЛЕМА  
ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА  
(СБОРНИК СТАТЕЙ)

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Томск — 1963

## К ОПРЕДЕЛЕНИЮ ЭПИЦЕНТРА ВЗРЫВА ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА ПО ХАРАКТЕРУ ВЫВАЛА ЛЕСА

В. Г. ФАСТ

В районе взрыва Тунгусского метеорита наблюдается мощный радиальный вывал леса на площади около 2000 кв. км. Естественно попытаться по направлению повала деревьев определить эпицентр взрыва. Такая попытка впервые была предпринята Л. А. Куликом в 1938 г. [1, 2, 3] на основании полевой мозаичной аэрофотосхемы центральной площади вывала, незначительно выходящей за пределы котловины. Л. А. Куликом были получены четыре центра генерации ударных волн, из которых, однако, только западный центр на Южном болоте считался надежно установленным [3]. В настоящей статье предпринята попытка определения эпицентра взрыва на основании полевых измерений, проведенных экспедицией 1960 г. Основную роль при этом играли измерения, проведенные на более далеком расстоянии (4—22 км) от эпицентра.

Измерения азимутов поваленных деревьев проводились четырьмя радиальными группами, вышедшими от изб Кулика по азимутам 18°, 140°, 215°, 295°, и четырьмя лесотаксационными группами, вышедшими из общего центра, находящегося на расстоянии 1,2 км на восток—юго-восток от изб Кулика, по азимутам 0°, 90°, 180° и 270° (магнитное склонение  $\cong +4^\circ$ ). Замеры азимутов поваленных стволов с округлением до 5° проводились в полосе шириной до 10 м вдоль радиальных маршрутов и второй половины восточного лесотаксационного разреза и на всех лесотаксационных пробных площадях в 0,25 га. В приводимых ниже расчетах данные по западному лесотаксационному разрезу использованы не были. Для каждой пробной площади или отрезка радиального маршрута длиной около 0,5 км подсчитаны средние азимуты

$$\bar{\alpha} = \frac{[\alpha]^*}{n}$$

и дисперсии

$$\sigma^2 = \frac{[\Delta\alpha]}{n-1},$$

где  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$  — азимуты стволов поваленных деревьев и  $\Delta\alpha_n = \alpha_n - \bar{\alpha}$ . При этом учитывалось только около 90% азимутов, группирующихся около наиболее часто встречающегося. В отдельных случаях азимуты группируются в двух направлениях. Это характерно, например, для

\* Здесь и ниже употребляется принятое в способе наименьших квадратов гауссовское обозначение суммы

$$[\alpha] = \alpha_1 + \alpha_2 + \dots + \alpha_n.$$

ряда пробных площадей южного лесотаксационного разреза и в конце радиального маршрута 140°. В этих случаях подсчитывались два средних азимута по соответствующим группам. В дальнейшем использовался только средний азимут, принадлежащий преобладающей группе деревьев, поваленных взрывной волной. Вторичное направление поваленных стволов, обычно восточное, объясняется преобладающим направлением ветров. Таким образом, на основании 4620 замеренных азимутов поваленных деревьев были получены 108 средних азимутов  $\alpha_i$  с соответствующими дисперсиями  $\sigma_i^2$  (табл. 1).

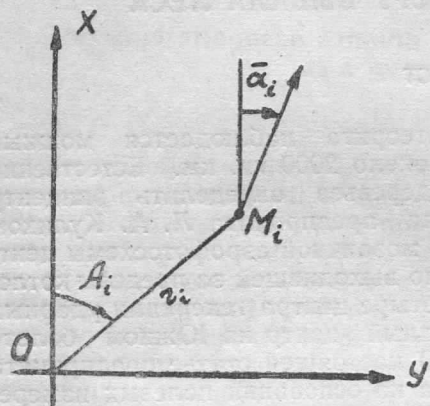


Рис. 1

ось  $x$ -ов, а за полюс — точка  $O$ . Если через каждую точку  $M_i$  провести прямую, пересекающую ось  $x$ -ов под углом  $\alpha_i$ , то их уравнения примут вид

$$a'_i x + b'_i y + l'_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, 108, \quad (1)$$

где

$$a'_i = -\frac{\sin \bar{\alpha}_i}{r_i}, \quad b'_i = \frac{\cos \bar{\alpha}_i}{r_i}, \quad l'_i = \sin(A_i - \bar{\alpha}_i).$$

Система (1) представляет собой систему 108 условных уравнений с двумя неизвестными  $x$ ,  $y$ . Для нахождения вероятнейших значений этих неизвестных проведем уравнительные вычисления по способу наименьших квадратов [4]. Условные уравнения (1) составлены на основании неравноточных наблюдений, т. е. средние отклонения  $l'_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 108$  неодинаковы (средние отклонения  $\bar{\alpha}_i$ ,  $i = 1, 2, \dots, 108$  приближенно равны средним отклонениям  $\bar{\alpha}_i$ , так как  $A_i - \bar{\alpha}_i$  малы и можно считать  $\sin(A_i - \bar{\alpha}_i) \cong A_i - \bar{\alpha}_i$ , а средние ошибки  $A_i$  гораздо меньше средних отклонений  $\alpha_i$ ). Следовательно, уравнения (1) необходимо привести к одинаковому весу. Так как каждое уравнение в (1) имеет вес

$$p_i = \frac{n_i}{\sigma_i^2}, \quad i = 1, 2, \dots, 108,$$

то уравновешенная система имеет вид

$$a_i x + b_i y + l_i = 0, \quad i = 1, 2, \dots, 108, \quad (2)$$

где

Таблица 1

Средние азимуты поваленных стволов и соответствующие средние квадратические отклонения (обозначения см. в тексте)

1	2	3	4	5	6	7
$i$	$x_i$	$y_i$	$\bar{\alpha}_i$	$\sigma_i$	$n_i$	Наименование разреза
1	02,60	-01,48	329°	11°	31	Радиальный разрез 295°
2	02,80	-01,93	332°	13°	43	
3	03,00	-02,35	322°	6°	7	
4	03,20	-02,78	336°	12°	26	
5	03,45	-03,28	335°	9°	15	
6	03,62	-03,66	328°	9°	32	
7	03,85	-04,15	330°	10°	28	
8	04,25	-05,00	327°	5°	13	
9	04,45	-05,48	328°	6°	26	
10	04,70	-05,92	329°	8°	35	
11	04,90	-06,48	332°	6°	7	
12	05,10	-06,82	329°	7°	6	
13	05,55	-07,72	322°	9°	7	
14	05,75	-08,18	320°	12°	36	
15	05,95	-08,65	324°	9°	27	
16	06,15	-09,10	316°	8°	13	
17	06,38	-09,55	322°	10°	27	
18	06,60	-10,00	320°	11°	5	
19	07,15	-12,25	320°	9°	8	
20	-01,60	-01,00	230°	10°	8	
21	-02,10	-01,35	193°45'	3°,4	30	Радиальный разрез 215°
22	-05,42	-03,65	216°	3°	12	
23	-06,15	-04,15	214°00'	5°,5	112	
24	-06,80	-04,60	214°00'	6°,5	57	
25	-07,48	-05,05	214°	7°	20	
26	-08,15	-05,55	211°	7°	11	
27	-08,80	-06,00	212°	13°	23	
28	-09,10	-06,20	210°	5°,4	18	
29	-10,55	-07,20	210°00'	3°,4	34	
30	-11,40	-07,80	209°00'	3°,4	21	
31	-11,95	-08,15	211°	4°	13	
32	-12,60 <sub>2</sub>	-08,60	213°	6°	13	
33	-17,15	-12,10	211°	3°,5	7	



1	2	3	4	5	6	7
34	-01,15	02,10	105°	29°	27	
35	-02,10	02,15	117°	34°	100	
36	-03,10	02,15	148°30'	6°	160	
37	-04,10	02,18	155°	8°	79	
38	-05,00	02,20	160°30'	4°,7	61	
39	-06,12	02,20	166°	4°,3	25	Лесотаксационный
40	-06,92	02,22	160°	9°	36	
41	-08,20	02,25	165°	18°	50	разрез 180°
42	-09,20	02,25	177°	6°,5	42	
43	-11,18	02,28	172°30'	3°,5	49	
44	-15,20	02,35	181°	3°,2	23	
45	-19,20	02,40	182°	6°	18	
46	-01,00	03,05	105°	9°	14	
47	-01,68	03,65	108°	8°	30	
48	-02,48	04,30	114°	6°	42	Радиальный
49	-03,30	05,00	121°	7°	30	
50	-03,88	05,45	125°	8°	21	разрез 140°
51	-05,25	06,60	122°	6°,5	23	
52	-05,95	07,30	126°	6°,5	61	
53	-06,90	08,00	132°	6°,2	54	
54	-07,60	08,58	133°	4°,5	41	
55	-08,25	09,10	130°	7°	50	
56	-08,68	09,45	130°00'	4°,8	48	
57	-09,02	09,25	131°	8°	46	
58	-09,42	10,10	136°00'	4°,8	57	
59	-09,90	10,50	135°	6°,5	56	
60	-10,68	11,15	133°	12°	42	Радиальный
61	-11,45	11,80	142°	9°	49	
62	-12,48	12,55	138°	12°	35	разрез 140°
63	-13,65	13,45	141°30'	5°,8	58	
64	-14,85	14,40	140°	13°	23	
65	-15,80	15,10	138°	11°	33	
66	-16,65	15,80	139°	8°	33	
67	-17,90	16,18	144°	10°	46	
68	-19,45	17,20	142°	14°	70	
69	01,10	05,05	82°	22°	35	

## Продолжение таблицы 1

1	2	3	4	5	6	7
70	01,10	06,05	90°	25°	20	
71	01,10	08,05	75°06'	1°,9	48	
72	01,10	10,05	69°	4°,4	9	
73	01,10	11,05	79°	7°,3	31	
74	01,10	12,05	75°	17°	31	
75	01,10	13,05	76°45'	5°,9	60	
76	01,10	14,05	78°	12°	122	
77	01,10	14,35	77°30'	5°,9	68	Лесотаксационный
78	01,10	14,85	76°	14°	71	
79	01,10	15,35	74°	9°	42	разрез 90°
80	01,10	15,75	95°	26°	29	
81	01,10	15,95	78°	9°	51	
82	01,10	16,10	77°	12°	154	
83	01,10	16,25	76°48'	7°	131	
84	01,10	16,65	78°	10°	124	
85	01,10	17,05	78°25'	8°,6	114	
86	01,10	17,45	80°	10°	50	
87	01,10	17,75	82°40'	5°,6	66	
88	01,10	17,95	82°50'	6°,6	58	
89	01,10	18,25	79°	11°	95	
90	01,10	18,75	81°	10°	46	
91	01,10	19,35	80°	14°	26	
92	01,10	19,95	78°	12°	42	
93	01,10	20,45	75°	12°	95	
94	01,10	20,85	82°	19°	32	
95	01,10	21,25	75°	12°	45	
96	01,10	21,75	74°	10°	56	
97	03,10	02,10	30°40'	5°	8	
98	04,10	02,10	25°	10°	41	
99	05,10	02,10	16°	9°	46	Лесотаксационный
100	07,10	02,10	45°	24°	10	разрез 0°
101	09,80	02,10	10°	12°	15	
102	02,82	01,55	34°	13°	74	
103	03,80	01,85	21°	9°	57	
104	04,75	02,20	20°54'	3°,2	58	Радиальный
105	05,62	02,45	20°36'	2°,5	61	разрез 18°
106	06,58	02,75	25°	8°,5	15	
107	08,50	03,40	18°45'	2°	16	
108	10,40	04,00	22°	14°	65	

$$a_i = a_i' \sqrt{p_i}, \quad b_i = b_i' \sqrt{p_i}, \quad l_i = l_i' \sqrt{p_i}.$$

Нормальные уравнения для системы (2) будут

$$\begin{aligned} [aa]x + [ab]y + [al] &= 0, \\ [ab]x + [bb]y + [bl] &= 0. \end{aligned} \quad (3)$$

Для коэффициентов нормальных уравнений найдены следующие значения:

$$\begin{aligned} [aa] &= 2638; \quad [ab] = -609,3; \quad [al] = 1390; \\ [bb] &= 6675; \quad [bl] = 477,6. \end{aligned}$$

Подставляя эти значения в (3) для эписцентра, находим координаты

$$x_s = 0,56 \text{ км и } y_s = 0,12 \text{ км} \quad (4)$$

с весом

$$p_x = \frac{N}{[bb]} = 2610, \quad p_y = \frac{N}{[aa]} = 6610,$$

где

$$N = [aa][bb] - [ab]^2.$$

Подставив найденные значения (4) в левые части условных уравнений (2) и умножив их на  $r_i$ , находим отклонения в линейных единицах

$$r_i a_i x + r_i b_i y + r_i l_i = r_i v_i, \quad i = 1, 2, \dots, 108 \quad (5)$$

и

$$m = \pm \sqrt{\frac{[r^2 v^2]}{n-2}} = \pm 76,0.$$

Отсюда средние квадратические отклонения координат  $x$  и  $y$  будут соответственно

$$m_x = \frac{m}{\sqrt{p_x}} = \pm 1,485 \text{ км} \quad \text{и} \quad m_y = \frac{m}{\sqrt{p_y}} = \pm 0,936 \text{ км}.$$

В системе координат, начало которой находится в точке (4), а оси параллельны соответственно осям  $x$ -ов и  $y$ -ов, главный эллипс отклонений примет вид

$$[aa]\xi^2 + 2[ab]\xi\eta + [bb]\eta^2 - m^2 = 0. \quad (6)$$

Два главных направления эллипса (6)

$$\varphi_1 = 98^\circ 25' \quad \text{и} \quad \varphi_2 = 8^\circ 25'$$

находим из равенства

$$\operatorname{ctg} 2\varphi = \frac{[aa] - [bb]}{2[ab]}$$

Им соответствуют значения большой и малой полуосей

$$a = \frac{|m|}{\sqrt{[aa] + [ab]\operatorname{tg}\varphi_1}} = 1,50 \text{ км} \quad \text{и} \quad b = \frac{|m|}{\sqrt{[aa] + [ab]\operatorname{tg}\varphi_2}} = 0,93 \text{ км}.$$

Как известно, [3] координаты г. Фаррингтон

$$\varphi = 60^{\circ}54'58'', 98; \quad \lambda = 101^{\circ}56'59'', 70.$$

В нашей системе координат  $xOy$  смещение эпицентра относительно г. Фаррингтон можно выразить в виде

$$\Delta x = x_{\varepsilon} - x_{\varphi}, \quad \Delta y = y_{\varepsilon} - y_{\varphi},$$

где  $x_{\varepsilon}$ ,  $y_{\varepsilon}$  — координаты эпицентра, а  $x_{\varphi}$ ,  $y_{\varphi}$  — координаты г. Фаррингтон в системе  $xOy$ . Так как магнитное склонение  $\varepsilon = +4^{\circ}$ , то по формулам поворота осей координат найдем смещения эпицентра относительно г. Фаррингтон  $\Delta x' = -2,3$  км,  $\Delta y' = -3,2$  км, соответственно по долготе и широте. Учтявая, что длина одной минуты меридиана равна 1852 м, а одной минуты параллели —  $1852 \cos \varphi$  м, находим для эпицентра взрыва Тунгусского метеорита координаты

$$\varphi = 60^{\circ}53',7; \quad \lambda = 101^{\circ}53',5.$$

Малая величина главного эллипса отклонений единицы веса и рассмотрение картины вывала позволяют сделать вывод о том, что вывал имеет довольно правильный радиальный характер и может быть следствием одного центрального взрыва. Если этот взрыв и сопровождался рядом других взрывов (такой вывод можно сделать, например, по показаниям очевидцев [3, 5]), то они не сыграли какой-либо существенной роли в общей картине разрушений. Вычислительная работа была выполнена участниками экспедиции и рядом товарищей, ранее с экспедицией не связанных. В проведении ее приняли участие Л. И. Лагутская, А. Б. Ошаров, Г. И. Бабецкий, Г. И. Тяпкина, А. Г. Ильин, Г. Ф. Карпунин, Л. К. Ткаченко, Н. В. Васильев, Ю. А. Львов, Г. Ф. Плеханов, В. М. Кувшинников, Г. М. Иконникова, Н. И. Некрытов, В. В. Матушевский, В. И. Мильчевский, А. С. Ероховец, А. И. Ерошкина, Т. М. Тибилова, Н. П. Родионова, Т. М. Слета. Позднее уравнильные вычисления были повторены Л. В. Головяшкиной и А. П. Бояркиной на электронной счетной машине М20.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Л. А. Кулик, 1939. Данные по Тунгусскому метеориту к 1939 году. ДАН СССР, т. XXII, № 8, стр. 520—524.
2. Л. А. Кулик, 1940. Метеоритная экспедиция на Подкаменную Тунгуску в 1939 году. ДАН СССР, т. XXVIII, № 7.
3. Е. Л. Кринов, 1949. Тунгусский метеорит, М.—Л.
4. А. С. Чеботарев, 1958. Способ наименьших квадратов с основами теории вероятностей, М.
5. А. В. Вознесенский, 1925. Падение метеорита 30 июня 1908 г. в верховьях реки Хатанги, «Мироведение», т. 14, № 1.

#### On epicentrum determination of Tungus meteorite explosion according to the character of forest-fall

W. H. Fast

In the region of Tungus meteorite explosion there is observed a mighty radial fall of forest upon the area of 2000 kilometer square. On the basis of the azimuths field measurements of broken-down trees conducted by the expedition of 1960 using the method of the least squares, the epicentrum of



Tungus meteorite explosion was computed. The coordinates ave:  
 $\varphi = 60^{\circ}53',7 N$  Lat.  $\lambda = 101^{\circ}53',5 E$  Lon. The small vaule of established  
 main error ellipsis (its semiaxes are  $a = 1,50$  km,  $b = 0,93$  km) allows to  
 conclude that the broken forest has rather regular radial character and  
 can be considered as a consequence of a single central explosion. If a series  
 of other explosions has accompanied the central one it took nowever no  
 important part in the general picture of ravage.

Выводы. Координаты центра взрыва метеорита в Tunguske были вычислены. Полуоси эллипса ошибок (его радиусы) равны  $a = 1,50$  км,  $b = 0,93$  км. Малое значение главных осей эллипса ошибок позволяет заключить, что поврежденный лес имеет скорее регулярный радиальный характер и может рассматриваться как следствие единичного центрального взрыва. Если ряд других взрывов сопровождал центральный, то они не играли важной роли в общей картине разрушения.

Выводы. Координаты центра взрыва метеорита в Tunguske были вычислены. Полуоси эллипса ошибок (его радиусы) равны  $a = 1,50$  км,  $b = 0,93$  км. Малое значение главных осей эллипса ошибок позволяет заключить, что поврежденный лес имеет скорее регулярный радиальный характер и может рассматриваться как следствие единичного центрального взрыва. Если ряд других взрывов сопровождал центральный, то они не играли важной роли в общей картине разрушения.

REFERENCES

- 1. ...
- 2. ...
- 3. ...
- 4. ...
- 5. ...
- 6. ...
- 7. ...
- 8. ...
- 9. ...
- 10. ...

Выводы. Координаты центра взрыва метеорита в Tunguske были вычислены. Полуоси эллипса ошибок (его радиусы) равны  $a = 1,50$  км,  $b = 0,93$  км. Малое значение главных осей эллипса ошибок позволяет заключить, что поврежденный лес имеет скорее регулярный радиальный характер и может рассматриваться как следствие единичного центрального взрыва. Если ряд других взрывов сопровождал центральный, то они не играли важной роли в общей картине разрушения.