

ТОМСКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ИМЕНИ В. В. КУИБЫШЕВА

ТОМСКОЕ ОТДЕЛЕНИЕ ВСЕСОЮЗНОГО
АСТРОНОМО-ГЕОДЕЗИЧЕСКОГО ОБЩЕСТВА

КОМИССИЯ ПО МЕТЕОРИТАМ И КОСМИЧЕСКОЙ ПЫЛИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ АКАДЕМИИ НАУК СССР

ВОПРОСЫ МЕТЕОРИТИКИ

Проблема Тунгусского метеорита
(сборник статей)

ИЗДАТЕЛЬСТВО ТОМСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Томск — 1976

О РЕЗУЛЬТАТАХ ПАЛЕОМАГНИТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В РАЙОНЕ ПАДЕНИЯ ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

С. Д. СИДОРАС, А. П. БОЯРКИНА

Введение

Известно, что все горные породы, в том числе и современные рыхлые образования, намагничиваются вдоль магнитного поля, существующего в момент образования породы. Многочисленными палеомагнитными исследованиями установлено также, что вектор намагниченности сохраняет свое направление в горной породе неопределенно длительное время, как бы запечатлев направление геомагнитного поля, существовавшего в момент образования породы. В случае отсутствия возмущающих явлений постоянное геомагнитное поле представляет собой центральный аксиальный диполь и намагничение породы идет по логнормальному закону, причем векторы на отдельных участках располагаются с некоторым разбросом вокруг среднего, подчиняясь распределению Фишера (Храмов, Шолпо, 1967)

$$P_0 = \frac{K}{4\pi shk} e^{k \cos \varphi}, \quad (1)$$

где P_0 — функция распределения, k — кучность векторов, величина, показывающая во сколько раз энергия магнитных диполей (ферромагнетиков) в земном поле больше энергии случайных возмущений.

В настоящее время не подвергается сомнению тот факт, что в результате Тунгусского взрыва имел место геомагнитный эффект, а также ударная волна, поэтому следует ожидать, что вышеуказанные возмущающие явления должны были оказать воздействие на намагниченность осадков, образовавшихся до момента катастрофы. Эти возмущения могут привести к тому, что распределение направлений векторов не будет подчиняться функции Фишера. По-видимому, не будет преувеличением, что изучение этого явления и дальнейшая разработка методики могут послужить важным способом при количественной и качественной оценке геомагнитного эффекта этого уникального явления. Необходимо заметить, что изучение

магнетизма горных пород района катастрофы проведено лишь эпизодически (Ковалевский, Фаст и др., 1963) по коренным обнажениям траппов для целей магнитометрической съемки.

Методика работ

В районе падения Тунгусского метеорита сотрудниками экспедиции, организованной Комиссией по метеоритам и космической пыли СО АН СССР, были отобраны ориентированные образцы с площади почти 600 км². Образцы отбирались в приповерхностном слое из рыхлых отложений в форме параллелограмма с гранями, параллельными современному магнитному меридиану (т. е. направлению север — юг). На образце наносилась стрелка, обозначающая это направление. Размер образцов примерно составлял 5×7×3 см.

В лабораторных условиях образцы пропитывались силикатным клеем и доводились до величины 24×24×24 мм, после этого проводилось измерение величины намагниченности на рок-генераторе типа ИОН-1 с порогом чувствительности 10⁻⁸ ед. CGSM и измерение магнитной восприимчивости на приборе ИМВ-2 с феррозондовым датчиком и порогом чувствительности 10⁻⁶ ед. CGSM. Повторные замеры проводились до 10 раз и брались средние значения. Для каждого измеренного образца вычислялось направление вектора намагниченности относительно магнитного меридиана (стрелки на образце). Направление намагниченности характеризовалось двумя элементами: склонением (D) и наклоном (I), как показано на рис. 1. Здесь I_x, I_y, I_z — составляющие остаточной намагниченности по осям x, y, z , I_n — полный вектор намагниченности.

Средние значения направлений определены по направляющим косинусам согласно применяемой в СССР методике палеомагнитных исследований (Комиссарова, 1963; Храмов, Шолпо, 1967). При этом

$$D_{cp} = \arctg \frac{\sum_1^n \cos I_i \sin D_i}{\sum_1^n \cos I_i \cos D_i},$$

$$I_{cp} = \arcsin \frac{\sum_1^n \sin I_i}{\sqrt{(\sum_1^n \cos I_i \sin D_i)^2 + (\sum_1^n \cos I_i \cos D_i)^2 + (\sum_1^n \sin I_i)^2}}, \quad (2)$$

где D_{cp}, I_{cp} — средние значения склонения и наклона соответственно, D_i, I_i — рядовые значения склонения и наклона.

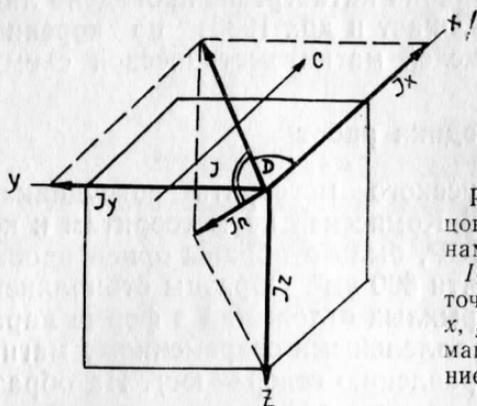


Рис. 1. Ориентировка образцов и определение направления намагниченности в них:

I_x, I_y, I_z — составляющие остаточной намагниченности по осям x, y, z ; I_n — полный вектор намагниченности; D, I — склонение и наклонение

После этого устанавливалось соответствие распределения векторов теоретическому, т. е. соответствие функции (1). В качестве критерия соответствия теоретическому распределению использовался критерий Пирсона, определяемый из выражения:

$$\chi^2 = \frac{\sum_1^n m_i^2}{pn} - n, \quad (3)$$

где m_i — число векторов, расположенных в кольцевой или радиальной зоне, n — общее число векторов, $pn = 0,2$.

Результаты

В табл. 1 сведены результаты лабораторной обработки 83 образцов, отобранных в районе падения Тунгусского метеорита. Местоположение пробы x, y определяется в прямоугольной системе координат xOy , ось x -ов направлена на магнитный север, ось y -ов на восток, координаты выражены в км. За начало координат принята г. Фаррингтон.

Кроме координат образца в таблице приводятся величины остаточной намагниченности I_n и магнитной восприимчивости χ , параметры направления векторов, а также фактор

$$Q = \frac{I_n}{0,5\chi}.$$

Распределение направлений условно в виде точек приведено на стереографических проекциях на рис. 2, где отчетливо видно, что направления векторов с наибольшей плотностью концентрируются в области направления современного геомагнитного поля ($D=12^\circ I=72^\circ$), но в то же время векторы с некоторой асимметрией дают значительные отскоки на запад и северо-запад.

Таблица I

№ п. п.	x	y	$I_n \cdot 10^{-6}$	D	I	$\chi \cdot 10^{-6}$	Q
1	2	3	4	5	6	7	8
1	35,0	— 6,0	0,9	356	72	4,5	0,40
2	33,2	— 6,0	7,4	360	84	21,7	0,68
3	31,3	— 8,0	3,9	4	76	12,3	0,63
4	29,4	— 6,0	5,6	342	62	19,7	0,56
5	29,3	— 8,0	5,4	351	65	20,4	0,53
6	25,5	— 2,0	5,1	1	71	19,7	0,51
7	23,6	— 2,0	3,2	278	70	11,6	0,55
8	23,4	— 4,0	2,6	18	68	11,3	0,46
9	23,4	— 6,0	10,5	9	59	24,8	0,60
10	23,6	— 8,0	9,7	348	63	28,4	0,68
11	20,9	— 7,4	7,4	357	70	26,3	0,56
12	21,7	6,0	9,3	2	70	31,1	0,60
13	19,8	6,0	14,6	1	72	22,6	1,29
14	23,0	2,2	28,0	352	84	39,6	1,41
15	21,7	2,0	6,5	6	81	19,4	0,67
16	21,8	0,6	11,3	12	70	27,6	0,82
17	17,6	4,1	3,9	9	68	11,3	0,69
18	16,4	2,4	4,9	7	83	11,7	0,84
19	16,8	0,7	4,3	4	86	13,5	0,64
20	18,7	— 2,0	1,4	352	84	16,6	0,17
21	17,5	— 2,0	6,1	1	44	19,6	0,62
22	15,6	— 2,1	13,1	76	80	29,1	0,90
23	10,4	— 0,2	2,1	91	46	8,9	0,47
24	10,4	— 1,2	6,3	14	87	14,6	0,86
25	9,7	— 1,3	9,4	356	79	27,7	0,68
26	9,1	— 1,5	4,7	270	82	16,4	0,57
27	8,4	— 1,7	3,7	12	76	12,2	0,61
28	7,8	— 1,9	3,6	349	67	12,6	0,57
29	7,1	— 2,0	2,2	337	48	13,6	0,32
30	6,5	— 2,2	8,3	42	70	22,7	0,73
31	5,7	— 2,3	8,2	164	88	27,2	0,60
32	6,1	— 2,3	6,4	59	89	27,7	0,46
33	11,3	— 3,4	4,4	271	59	14,2	0,62
34	9,7	— 3,8	4,7	269	50	13,9	0,68
35	6,1	— 4,8	7,3	259	47	19,4	0,75
36	3,5	0,2	7,9	314	71	21,9	0,72
37	2,3	— 1,6	3,1	168	80	13,2	0,47
38	2,0	— 2,2	2,3	276	80	9,3	0,49
39	2,4	— 3,2	2,3	275	81	9,7	0,47
40	3,4	— 3,7	4,4	14	70	11,6	0,76
41	4,7	12,0	11,9	164	5	30,8	0,77
42	9,7	3,9	3,9	12	68	18,7	0,43
43	7,4	4,8	8,5	14	81	26,3	0,65
44	5,9	3,5	2,3	32	79	10,8	0,43
45	1,2	7,4	6,9	59	69	14,5	0,95
46	1,5	5,1	3,3	7	74	15,4	0,64
47	1,0	3,5	4,1	360	86	18,5	0,43
48	— 6,4	7,3	1,1	90	80	7,5	0,29
49	— 5,8	4,9	0,7	7	71	5,0	0,28
50	— 9,1	0,8	8,1	318	79	23,7	0,68
51	— 9,3	— 0,3	13,9	291	62	34,6	0,80
52	— 9,1	— 0,8	4,2	14	81	13,1	0,64

1	2	3	4	5	6	7	8
53	— 9,2	— 0,8	1,1	169	80	6,2	0,35
54	—17,2	— 0,6	12,6	254	66	38,5	0,66
55	—24,0	— 0,5	5,3	244	59	19,8	0,53
56	—17,7	—10,5	7,7	272	51	18,8	0,82
57	—18,3	—12,3	6,7	12	70	15,7	0,85
58	—20,2	—15,3	7,4	10	71	31,4	0,47
59	—20,6	—18,2	8,5	340	84	10,5	1,62
60	18,1	—12,0	7,5	299	54	29,4	0,51
61	15,5	—10,3	4,8	260	66	19,2	0,50
62	13,8	— 6,7	4,5	13	74	14,9	0,60
63	8,8	— 7,6	8,2	18	78	24,5	0,67
64	5,0	— 7,2	5,9	48	49	21,0	0,56
65	8,8	—10,5	2,5	56	84	9,6	0,52
66	9,7	—12,6	2,8	344	69	11,3	0,49
67	10,1	—14,0	4,6	14	86	9,1	1,01
68	1,7	— 9,3	7,7	9	76	18,7	0,82
69	1,2	— 9,9	5,7	13	69	24,4	0,46
70	9,3	—14,5	2,5	351	71	10,5	0,48
71	6,6	—14,2	4,1	10	79	13,5	0,61
72	0,3	—13,5	6,5	2	70	18,4	0,71
73	— 0,2	—14,3	7,8	21	70	21,7	0,72
74	— 1,9	—15,7	4,3	16	70	20,0	0,45
75	— 4,5	—16,6	4,2	82	86	21,1	0,40
76	— 0,5	—18,5	8,9	356	64	29,9	0,60
77	0,1	—21,2	5,5	19	74	30,0	0,36
78	0,4	—23,7	2,8	7	27	14,6	0,38
79	— 9,7	—18,1	2,6	6	71	5,5	0,45
80	—10,6	—21,1	4,7	3	46	21,1	0,45
81	12,1	—33,6	5,5	1	71	17,4	0,63
82	14,4	—34,0	7,7	352	76	31,1	0,50
83	— 3,0	—43,5	2,1	8	75	9,0	0,47

Любопытно также отметить тот факт, что несколько западнее г. Фаррингтон склонения остаточной намагниченности разбросаны хаотично, а восточнее этой горы преобладает западное склонение (рис. 3).

Проверка соответствия истинного распределения векторов теоретическому с помощью критерия Пирсона производилась следующим образом.

Вся площадь отбора была разбита на несколько участков, как показано на рис. 3, с примерно равным количеством образцов в каждой области, и вычислялись средние направления векторов (координаты D и I) для каждого участка. Все средние векторы каждого участка смещались на сфере в центр (рис. 4), и на этот же угол смещались все рядовые векторы того же участка. На каждой сфере проведены окружности, удовлетворяющие вероятности попадания в каждую кольцевую зону, равной 0,2. Окружности на сфере проводились соответствующие углу γ , который зависит от кучности k векторов

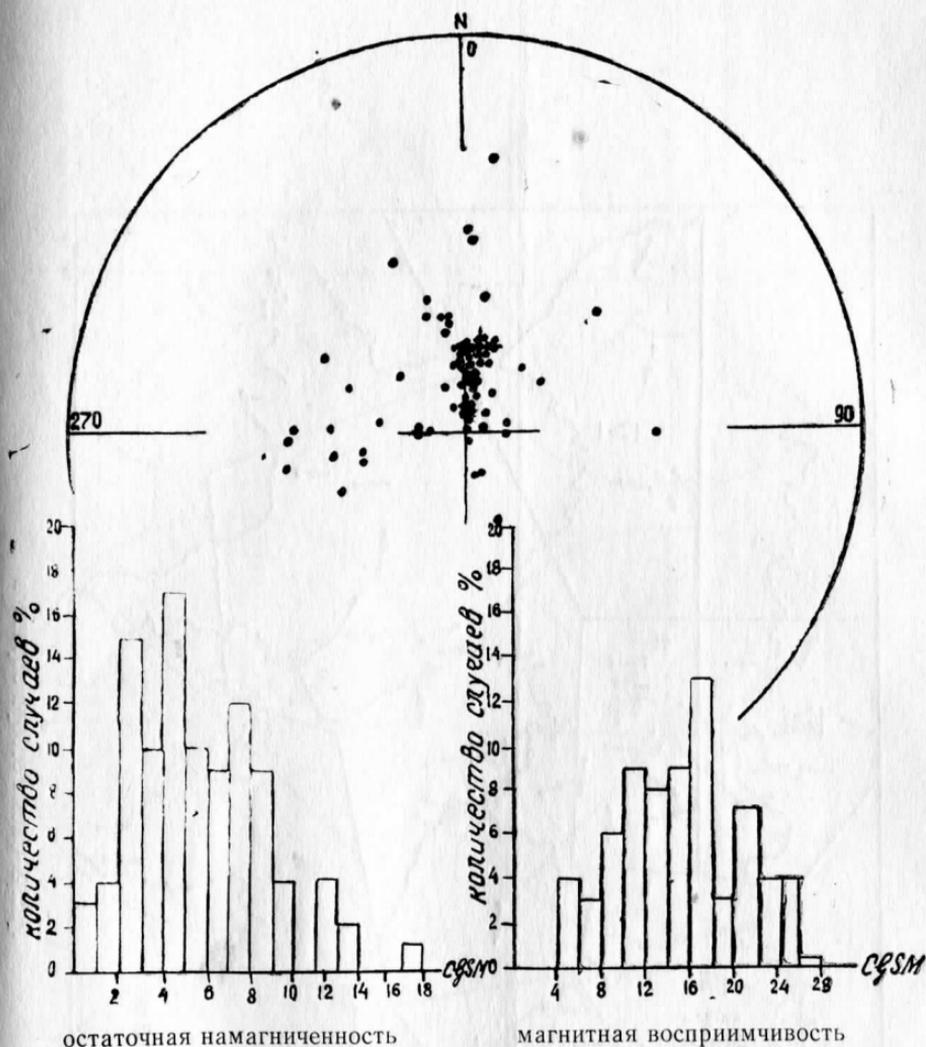


Рис. 2. Стереографическая проекция I_n и гистограммы I_n, x

(рис. 5), после чего определялся критерий Пирсона из уравнения (3). Зависимость вероятности P_f того, что истинное распределение соответствует теоретическому, т. е. функции (1) от критерия Пирсона, показана на рис. 6. Результаты этого расчета приведены в табл. 2.

Из таблицы видно, что удовлетворительное соответствие азимутальных направлений теоретическому распределению векторов остаточной намагничённости ($P_f > 0,5$) существует лишь в западной части изученной территории (участки II, III, IV, VI), на остальных же участках такое соответствие отсутствует. Полное соответствие азимутального и радиального распределения существует только на четвертом участке.

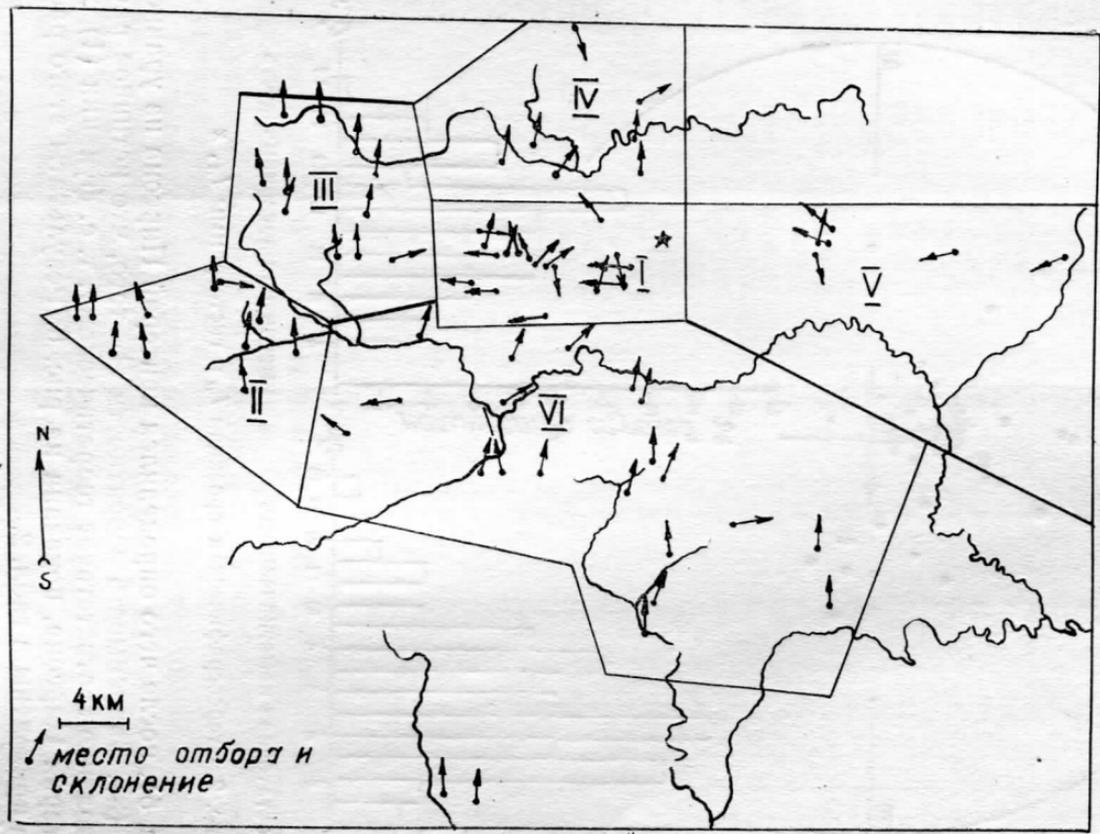


Рис. 3. Схема отбора образцов

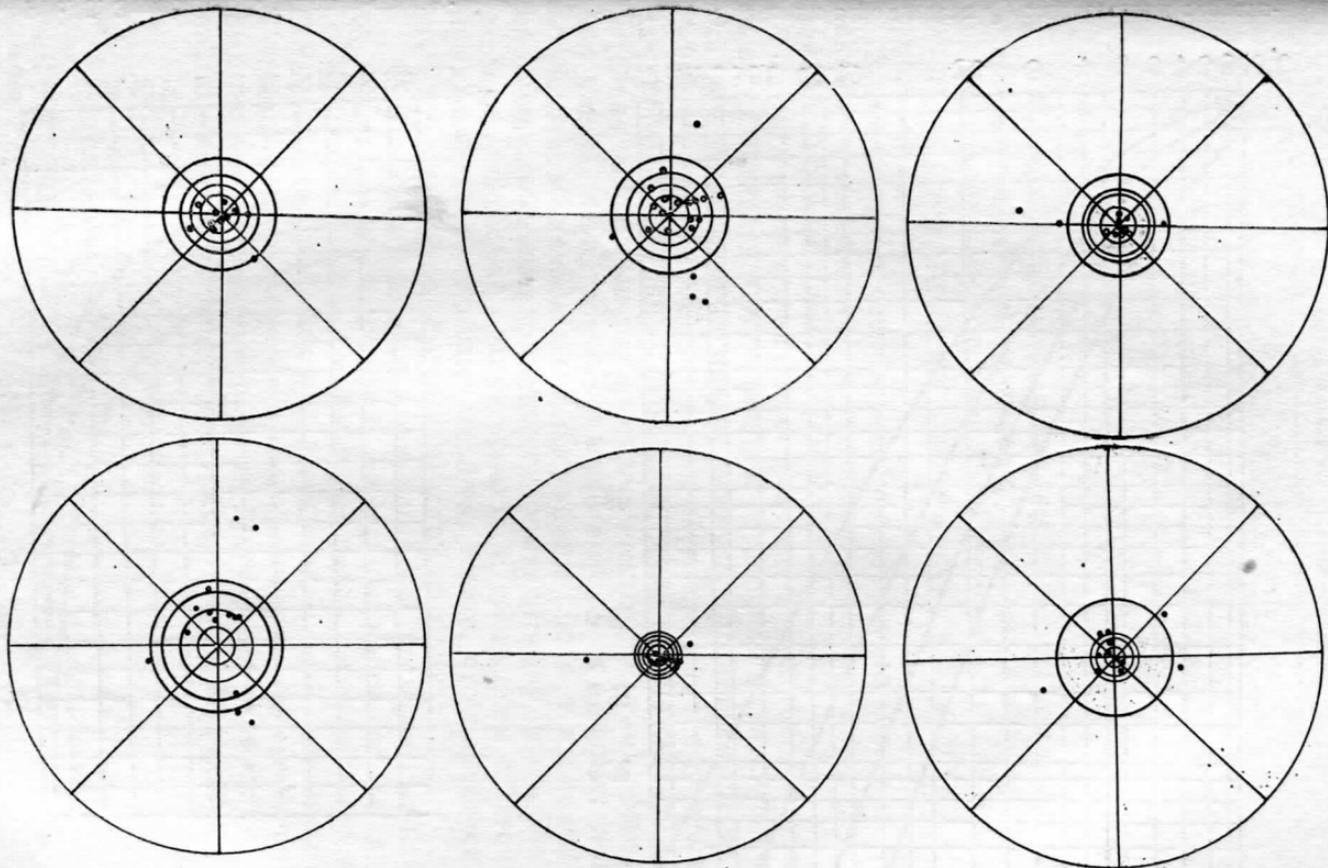


Рис. 4. К определению соответствия истинного распределения векторов теоретическому

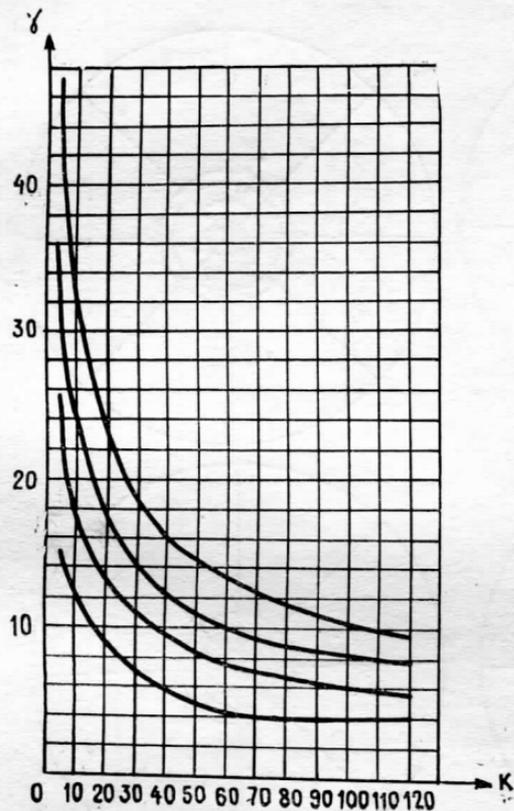


Рис. 5. Зависимость углов γ от кучности направлений I_n

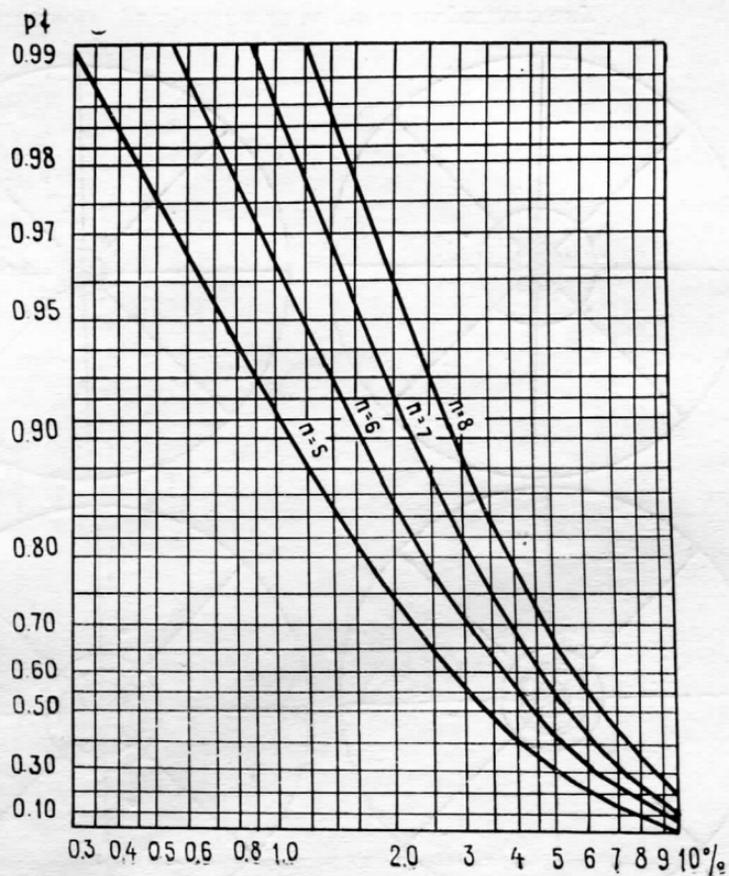


Рис. 6. Значения вероятности P_f соответствия теоретическому распределению для разного числа интервалов в зависимости от величины χ^2

Таблица 2

№ участка	Радиальное распределение		Азимутальное распределение	
	χ^2	P_f	χ^2	P_f
I	20	0,07	10	0,20
II	13,7	0,1	1,7	0,90
III	4,9	0,30	1,7	0,80
IV	1,0	0,91	2	0,96
V	5	0,3	14	0,1
VI	5	0,3	1	0,99

1. Несоответствие азимутального и радиального распределений векторов I_n теоретическому указывает на существование двух компонент остаточной намагниченности. Одна из них совпадает с направлением современного геомагнитного поля, другая — нет.

2. Хаотическое распределение векторов западнее г. Фаррингтон свидетельствует о существовании на этом участке наибольших возмущающих эффектов.

3. Весьма низкие значения фактора Q (см. табл. 1) указывают на «старение» естественной остаточной намагниченности осадков. Однако такие низкие значения Q обычно характерны лишь для древних геологических образований, где I_n убывает за счет релаксационных процессов. Этого нельзя сказать относительно столь молодых (в геологическом смысле) образований района катастрофы. По-видимому, этот эффект можно объяснить возникновением магнитного поля с наклоном, противоположным нормальному геомагнитному полю. Это поле могло частично компенсировать и уменьшить остаточную намагниченность. Вполне очевидно также, что определенную роль в этом вопросе сыграла и ударная волна.

4. В дальнейшем при накоплении значительного количества материала по компоненте намагниченности, не совпадающей с современным геомагнитным полем, можно будет выявить характер возмущения, вызвавшего это несовпадение. Поскольку в данной работе предполагается, что таким возмущением был магнитный эффект Тунгусского взрыва, то, очевидно, можно выявить конфигурацию этого эффекта и силу.

ЛИТЕРАТУРА

- Ковалевский А. Ф., Фаст В. Г., Иконникова Г. М., Некрасова Л. Н. (1963). Магнитометрические работы в районе падения Тунгусского метеорита. Сб. «Проблема Тунгусского метеорита». Томск, Изд-во Томского ун-та, 113—124.
- Комиссарова Р. А. (1963). Статистический анализ в палеомагнитных исследованиях. Тр. ВНИГРИ, 204.
- Храмов А. Н., Шолпо Л. Е. (1967). Палеомагнетизм. М., «Недра».
- Fisher R. A. (1953). Dispersion on a sphere. Proc. Roy. Soc. Ld. A, 217, 295—305.