

## О пространственном распределении солнечных протуберанцев

*Владимир Дерменджиев*

Распределение высот протуберанцев над хромосферой, а также широтное распределение протуберанцев, уже давно привлекало внимание многих исследователей. Исследование их пространственного распределения имеет большое значение для изъяснения многих вопросов, связанных со структурой солнечной короны. Для исследования пространственного распределения солнечных протуберанцев мы пользуемся следующим методом, применяемым в статистической радиофизике [1] и внегалактической астрономии [2].

Предположим, что размеры протуберанцев незначительны по сравнению с размерами солнечной атмосферы, в которой они существуют. Действительно, согласно [3] длина, толщина и высота спокойных протуберанцев в среднем равны соответственно 200 000, 6600 и 42 000 km и, следовательно, объем такого протуберанца будет в среднем  $5,5 \cdot 10^{13}$  km<sup>3</sup>. Объем области в короне, которую мы будем рассматривать, равен  $0,2780171 \cdot 10^{18}$  km<sup>3</sup>, следовательно, протуберанцы в среднем  $10^4$  раза меньше.

Предположим также, что протуберанцы образуют трехмерное пуассоновское поле точек с плотностью  $\lambda$  (среднее число протуберанцев в единице объема). Пусть фиксируем один (произвольный) протуберанец и рассмотрим случайные величины  $R_1$  — расстояние до ближайшего к нему протуберанца;  $R_2$  — расстояние до следующего (второго) по удаленности протуберанца;  $R_3$  — расстояние до третьего по удаленности и т. д.;  $R_n$  — расстояние до  $n$ -го по удаленности протуберанца.

Функция распределения  $F_n(r)$  случайных величин  $R_n$  имеет вид [4, 5]

$$(1) \quad F_n(r) = 1 - \sum_{k=0}^{n-1} \left( \frac{4}{3} \pi r^3 \lambda \right)^k / k! \exp(-4/3 \pi r^3 \lambda) \quad (r > 0),$$

а плотность распределения

$$(2) \quad f_n(r) = \left( \frac{4}{3} \pi r^3 \lambda \right)^{n-1} / (n-1)! \exp(-4/3 \pi r^3 \lambda) 4\pi \lambda r^2 \quad (r > 0).$$

Математическое ожидание  $\tilde{R}_n$  и дисперсия  $\sigma_n^2$  случайной величины  $R_n$  получаются интегрированием плотности распределения  $f_n(r)$

$$(3) \quad \tilde{R}_n = (\Gamma(n+1/3)/(n-1)!)(4/3\pi\lambda)^{1/3}$$

$$(4) \quad \sigma_n^2 = (\Gamma(n+2/3)/(n+1)!)(4/3\pi\lambda)^{2/3} - \tilde{R}_n^2.$$

Пусть по наблюдательным данным для некоторого интервала времени определим эмпирические распределения случайных величин  $R_n$ . Если по данным выборки проверить гипотезу о том, что величины  $R_n$  распределены по закону  $F_n(r)$ , и эта гипотеза отвергается, то мы имеем указание на то, что протуберанцы неслучайно распределены в солнечной атмосфере. Другими словами, существует тенденция к группированию. Некоторую информацию о размерах этих неслучайных областей можно получить, если анализируем величины  $(R_n - \tilde{R}_n)$ , где  $\tilde{R}_n$  — эмпирическая оценка  $\tilde{R}_n$ .

Этот метод мы применяем для исследования пространственного распределения солнечных протуберанцев (см. [6]). В подавляющем своем большинстве это спокойные протуберанцы. В [6] опубликованы средние за оборот гелиографические широты  $\varphi$ , гелиографические долготы  $L$  и высоты над хромосферой  $h$ , для протуберанцев. Из этих координат мы получаем декартовы координаты по формуле

$$(5) \quad \begin{aligned} X &= (R_\odot + h) \cos \varphi \cos L, \\ Y &= (R_\odot + h) \cos \varphi \sin L, \\ Z &= (R_\odot + h) \sin \varphi, \end{aligned}$$

где  $R_\odot$  — радиус Солнца.

Рассмотрим солнечную атмосферу, заключенную между гелиографическими широтами  $\varphi = 5^\circ$  и  $\varphi = 50^\circ$  и высотами над хромосферой  $h = 100\,000$  km с объемом  $V = 0,2780171 \cdot 10^{18}$  km<sup>3</sup> соответственно для северной (N) и южной (S) полусферы Солнца. Мы взяли данные для 14 оборотов Солнца в 1961 г. (ветви спада цикла № 19). Число протуберанцев для этого периода для всей атмосферы Солнца  $n_N = 128$  и  $n_S = 118$ , соответственно за N и S полусфер, а в зоне с объемом  $V$  —  $n'_N = 110$  и  $n'_S = 91$ . Для среднего числа протуберанцев в единице объема мы получили соответственно  $\lambda_N^V = 0,395659 \cdot 10^{-15}$  и  $\lambda_S^V = 0,3273179 \cdot 10^{-15}$ . В определении случайных величин  $R_n = \sqrt{(X_n - X_i)^2 + (Y_n - Y_i)^2 + (Z_n - Z_i)^2}$ , для протуберанцев в зоне с объемом  $V$  взяли участие все протуберанцы, соответственно в N и S полусферах Солнца.

Предварительные исследования показали, что достаточно исследовать  $R_n$  до  $n=9$ . На рисунках 1 и 2 приведены теоретические и эмпирические распределения величин  $R_n$ , а соответствующие  $\tilde{R}_n$ ,  $\bar{R}_n$ ,  $\sigma_n$  и  $\bar{S}_n$  приведены в табл. 1 и 2. Наша нулевая гипотеза состоит в том, что величины  $R_n$  подчинены закону распределения (1). Проверку этой гипотезы о законе распределения мы сделали по критериям соответствия  $\chi^2$ . Результаты этой проверки показывают, что с вероятностью  $P(\chi^2 > \chi^2_\alpha) > 0,9999$  бракуется нулевая гипотеза. Следовательно, пространственное распределение протуберанцев неслучайно.

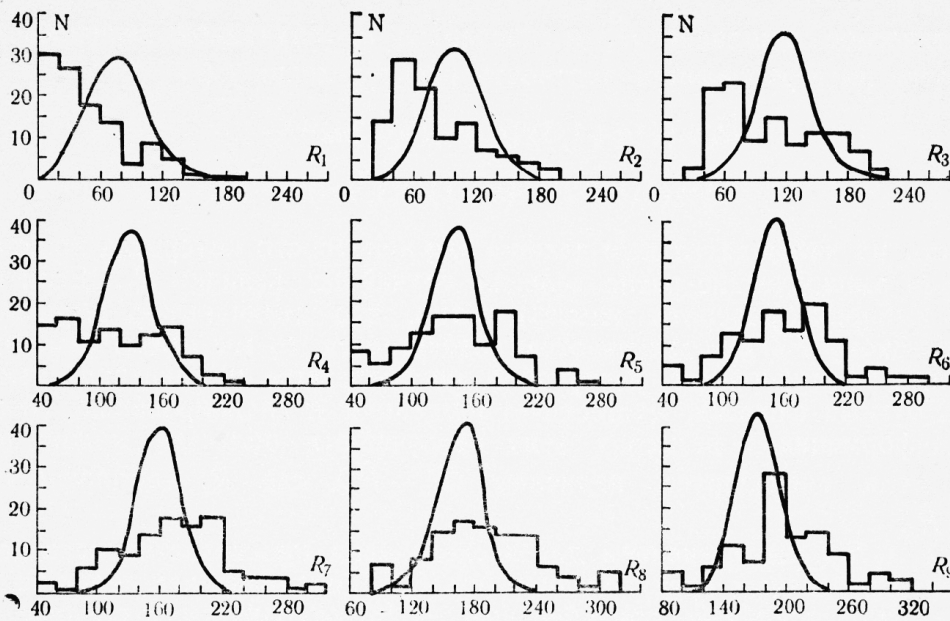


Рис. 1

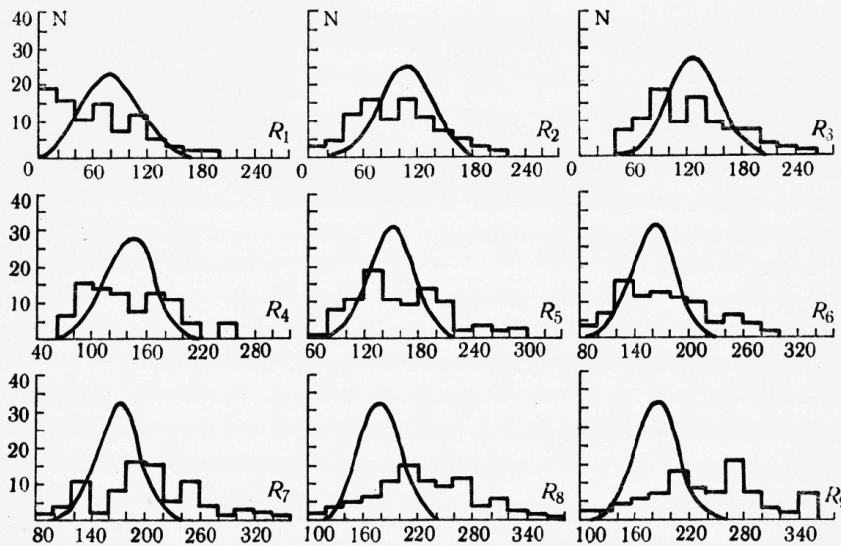


Рис. 2

Изменение величины  $(\bar{R}_n - \tilde{R}_n)$  от  $n$ , где  $n=1, 2, 3, \dots, 9$ , приведены на рис. 3. При этом выполнены условия

$$0 < |\bar{R}_n - \tilde{R}_n| < \bar{S}_n$$

$$0 < |\bar{R}_n - \tilde{R}_n| < \sigma_n, \quad (n=1, 2, \dots, 9).$$

Видно, что между  $n=4$  и  $n=5$  для N-полусферы и между  $n=2$  и  $n=3$  для S-полусферы  $\bar{R}_n = \tilde{R}_n$ . Это показывает, что неслучайные конфигурации

Таблица 1

Наблюдаемые			Теоретические	
$R_n$	$\bar{R}_n$	$\bar{s}_n$	$\tilde{R}_n$	$\sigma_n$
$R_1$	48 374,6	40 930,2	75 457,6	25 124,8
$R_2$	83 208,9	44 582,0	100 610,2	24 917,6
$R_3$	104 620,1	49 484,1	117 378,6	23 381,6
$R_4$	122 202,0	54 876,8	130 420,7	22 317,0
$R_5$	145 327,3	52 824,0	141 289,1	21 516,3
$R_6$	163 071,7	53 762,9	150 706,3	20 879,2
$R_7$	177 008,5	54 286,6	159 081,0	20 354,5
$R_8$	191 560,4	55 690,7	166 656,3	19 904,1
$R_9$	204 919,2	56 703,0	173 600,3	19 523,9

Таблица 2

Наблюдаемые			Теоретические	
$R_n$	$\bar{R}_n$	$\bar{s}_n$	$\tilde{R}_n$	$\sigma_n$
$R_1$	66 204,4	48 444,9	80 381,1	27 321,9
$R_2$	104 083,3	49 687,2	107 177,8	26 543,4
$R_3$	126 693,5	51 276,5	125 037,2	24 906,6
$R_4$	148 119,1	59 008,0	138 930,3	23 773,4
$R_5$	168 820,8	63 684,2	150 507,8	22 920,1
$R_6$	187 834,2	64 587,0	160 541,6	22 241,8
$R_7$	212 192,7	68 830,6	169 460,6	21 682,2
$R_8$	238 115,6	72 818,6	177 530,2	21 207,9
$R_9$	256 549,1	80 927,2	184 927,3	20 797,5

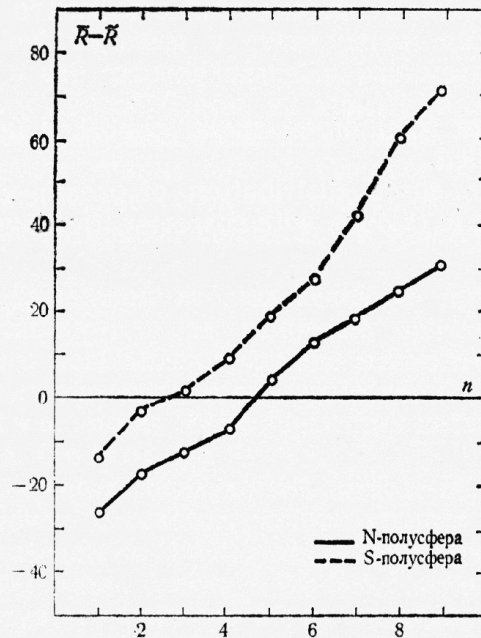


Рис. 3

протуберанцев имеют характеристический диаметр около 120 000 km. Так как мы рассматриваем протуберанцы с разной продолжительностью жизни, возможно, что 120 000 km есть характеристический диаметр области, внутри которой один и тот же протуберанец изменяет свои  $\varphi$ ,  $L$  и  $h$ .

Этому характеристическому диаметру соответствует удивительно точно диаметр корональной конденсации согласно модели Waldmeier, Müller [7]. Этот результат очень интересен, так как он указывает на существование областей в короне, в которых имеются благоприятные условия для предположительного существования спокойных протуберанцев. Характеристические размеры этих областей по порядку величины близки к размерам „ярких“ площадок источников медленно изменяющейся составляющей радиоизлучения Солнца.

## Литература

1. Рыгов, С. М. Введение в статистическую радиофизику. М., Наука, 1966.
2. Калинин, М., В. Дерменджиев, К. Ставрев (в печати).
3. d'Azambuja, L., M. d'Azambuja. Ann Obs. Paris, Meudon, 6, fasc. VII., 1968.
4. Венцель, Е. С. Теория вероятностей. М., ФМ, 1962.
5. Венцель, Е. С., Л. А. Овчаров. Теория вероятностей. М., 1973.
6. Cartes synoptiques de la chromosphère solaire et catalogues des filaments et des centres d'activités.
7. Waldmeier, M., H. Müller. Zs. Ap., 27, 1950, 58.

## On the Space Distribution of Solar Prominences

*V. Dermendjiev*

(Summary)

The space distribution of solar prominences published in the Meudon catalogues for 1961 is studied.

It is shown that the space distribution of prominences is non-random. A tendency to grouping in regions with characteristic diameter of 120,000 km exists.

*Сектор астрономии  
Болгарской академии наук*

*Поступила 12. XI. 1974 г.*