

# ПРОГНОЗ РАЗВИТИЯ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ С ПОМОЩЬЮ МЕТОДА ПОТЕНЦИАЛЬНЫХ ФУНКЦИЙ

Т. Л. СЛУЦКАЯ и Н. Н. СТЕПАНИН

*Крымская астрофизическая обсерватория, Научный, СССР*

Abstract: The probability of a plage appearing in the next rotation was calculated on the basis of 16 features of the plages that emerged on the disk. The 1968—1969 data (297 plages) were used.

A BESM-6 computer was used for the solution of the problem. Some features of the plages immediately after birth, the presence of the spots and flares, and the development of the plages were taken into account.

The formulae for the forecast were derived on the basis of only a part whole material. The other part was used for verifying the formulae.

The results are in good agreement with the observations. The relative significance of the individual features was found. The quality of the forecast is found to depend on the sequence in which the plages are taken for deriving the forecasting formulae.

The best results are obtained for the chronological sequence. Every disruption, of the chronological order leads to a disturbance of the forecast. It was found that there exists an optimum amount of material for deriving the forecast formulae. An increase or decrease of this amount leads to a disturbance of the forecast.

В настоящее время прогноз вспышечной активности Солнца приобретает чисто практическое значение. Этим, отчасти, объясняется возросший интерес к этой проблеме.

Прогнозирование вспышек является лишь частью более общей задачи — прогноза развития активной области. Весьма вероятно, что на разных этапах развития активной области и для разных моментов 11-летнего цикла вспышкам одного и того же балла предшествуют разные «наборы» физических условий. Может быть в этом и скрыты причины того, что до сих пор нет четко разработанных методов прогноза вспышек. Чтобы обойти эти трудности, мы делим общую задачу прогноза развития активной области на ряд отдельных, более узких, задач. В данной работе рассматриваются первые две, касающиеся рождения флоккула.

1. По наблюдению флоккула в день его возникновения на диске дать прогноз некоторых характеристик его дальнейшего развития.

2. По наблюдениям возникшего на диске флоккула за все время его прохождения по диску спрогнозировать вероятность его выхода из-за края в следующем обороте.

В качестве исходного материала были отобраны по каталогу Solar Geophysical Data все флоккулы, возникшие на диске в интервале

долгот  $\pm 60^\circ$  от центра в течение 1967—1969 годов. Для каждого флоккула были определены 16 параметров, характеризующих место образования флоккула, флоккул в день возникновения, развитие флоккула за время его прохождения по диску, появление его в следующем обороте. Все характеристики были представлены в двоичном коде.

## Прогноз выхода флоккула из-за края диска

Для этой задачи исходными параметрами были 15 характеристик флоккула. Появление же флоккула из-за диска в следующем обороте — прогнозируемая функция этих 15 параметров (см. приложение).

Анализ материала показал, что задача не может быть решена тестовыми методами, т. к. многократно встречаются флоккулы, одинаково описанные выбранным набором признаков и имеющие противоположные значения разделяющего признака (или прогнозируемой функции). К задачам такого рода, когда надо найти вероятность принадлежности объекта к тому или иному классу, применим метод потенциальных функций.

Алгоритмы метода потенциальных функций, используя сообщаемые машине точки — объекты  $X$  в виде наборов значений признаков и информацию о принадлежности их к одному из двух классов (в нашем случае — вышел (А) или не вышел (В) флоккул из-за диска), выстраивают последовательность функций  $\{f^n(x)\}$ , которые при  $n \rightarrow \infty$  характеризуют вероятность отнесения объекта к одному из классов (А или В)

$$\begin{cases} f^{n+1}(x) = f^n(x) + r^n K(x^{n+1}, x) \\ f^\infty(x) \equiv 0 \end{cases}$$

Выбор  $r^n$  и  $K$  зависит от конкретной задачи. В нашем случае

$$r^n = y^{n+1} - f^n(x^{n+1}),$$

где

$$y^{n+1} = \begin{cases} 1, & \text{если } x^{n+1} \in A \\ 0, & \text{если } x^{n+1} \in B \end{cases},$$

$$\tilde{f}(x) = \begin{cases} f(x), & \text{если } 0 \leq f(x) \leq 1 \\ 0, & \text{если } f(x) < 0 \\ 1, & \text{если } f(x) > 1. \end{cases}$$

$K(x, y)$  называется потенциальной функцией, и задавалась она в виде  $K = e^{-\alpha \varrho(x, y)}$ , где  $\varrho(x, y)$  — расстояние между объектами,  $0 \leq \alpha \leq 1$ .

Машинный эксперимент состоял из двух частей.

#### I. Обучение на части материала ( $N_1$ точек)

Последовательно представляя машине точки (наборы параметров флоккула), строилась функция

$$f^{N_1}(x) = \sum_{n=1}^{N_1} \gamma_n e^{-\alpha \varrho(x^n, x)}.$$

Функция  $\overline{f^{N_1}}(x)$  принимается за искомую функцию вероятности принадлежности  $X$  к классу А.

$$f^*(x) = \overline{f^{N_1}}(x).$$

#### II. Экзамен или прогноз

По найденным коэффициентам  $\gamma_i$  ( $i = 1, 2, \dots, N_1$ ) вычислялись значения  $f^*(x)$  для всех объектов  $X$  как участвовавших в обучении, так и не участвовавших.

Оценка качества прогноза проводилась следующим образом. Пусть объект  $X$  встречается  $\mu_A(x)$  и  $\mu_B(x)$  раз в классах А и В, тогда

$$v(x) = \frac{\mu_A(x)}{\mu_A(x) + \mu_B(x)}.$$

Критерием качества прогноза была выбрана величина  $\Delta$ .

$$\Delta = \sum_{i=1}^{N_2} [v(x_i) - f^*(x_i)]^2.$$

$\Delta$  зависит от выбора конкретной функции  $e^{-\alpha \varrho}$ , от вида функции расстояния  $\varrho(x, y)$ , от количества объектов обучения и порядка их предъявления. Все эти зависимости были изучены и выбраны значения  $\alpha$  и вид функции  $\varrho(x, y)$ , дающие минимальные значения  $\Delta$ .

Остановимся несколько подробнее на зависимости качества прогноза от количества объектов обучения и порядка предъявления материала для обучения. На фиг. 1 представлена зависимость  $\Delta = \Delta(\alpha)$  при разном количестве объектов обучения ( $N_1 = 40, 80, 128$  и  $192$  — кривые 1, 2, 3, 4 соответственно). Увеличение числа флоккулов при обучении значительно уменьшает  $\Delta$ , особенно при малых  $\alpha$ . Однако при  $N_1 = 256$  прогноз резко ухудшается.

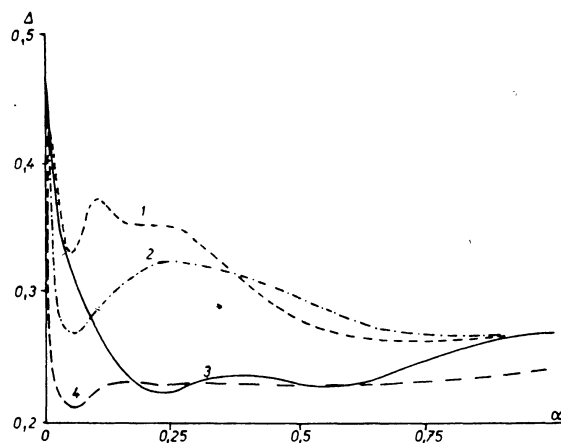


Рис. 1.

Была прослежена также зависимость качества прогноза от порядка предъявления материала для обучения. Метод потенциальных функций, вообще говоря, зависит от порядка предъявления объектов в процессе обучения. В нашем случае оказалось, что существенное улучшение  $\Delta$  достигается при выборе для обучения первых  $N_1$  точек по каталогу и показе их в календарном порядке. На фиг. 2 представлено  $\Delta = \Delta(\alpha)$  для случая календарного представления первых 128 флоккулов для обучения (2 кривая) и для обучения по последним 128 точкам, взятым в обратном календарном по-

рядке (I). Прогноз во втором случае получился гораздо хуже. Оба эти результата наводят на мысль об изменениях закономерностей развития флоккула в течение 1—2 лет. По нашему материалу нельзя ничего сказать о характере этих изменений и их периодичности, но все же можно утверждать, что какой-то долгосрочный фактор, влияющий на развитие флоккула, нами не учтен. Это еще раз убеждает нас, что оговорки в начале доклада относительно роли 11-летнего цикла не лишены основания.

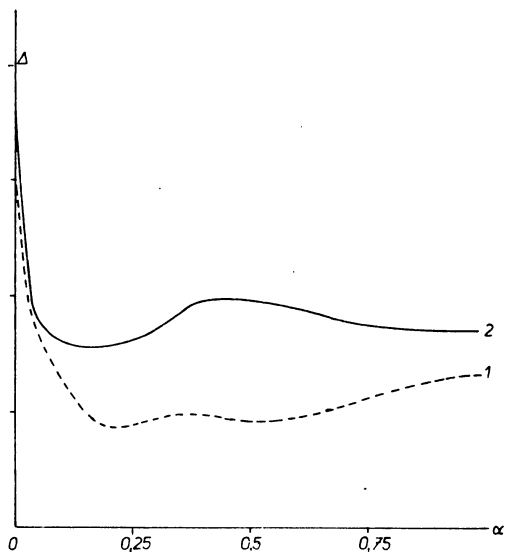


Рис. 2.

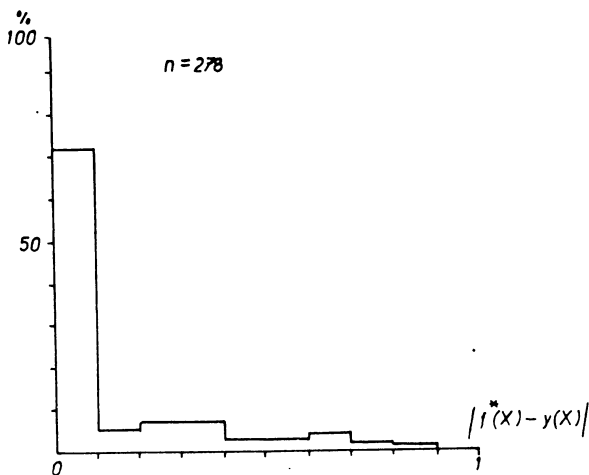


Рис. 3.

Результат прогнозирования, проведенного при лучших значениях  $\alpha$ , расстояния  $\rho(x, y)$ , календарном порядке обучения по первым 128 флоккулам, представлен на фиг. 3. Здесь по

оси  $x$  отложено значение  $|f^*(x) - y(x)|$ , т. е. отклонение прогноза  $f^*(x)$  от истинного значения прогнозируемой функции.  $y(x) = 1$ , если флоккул вышел из-за края, и  $y(x) = 0$ , если не вышел. По оси  $y$  отложен % флоккулов, имеющих соответствующее значение  $|f^*(x) - y(x)|$ . На фиг. 4 тот же результат представлен в несколько ином виде. График показывает % флоккулов, для которых  $|f^*(x) - y(x)| < k$ . Отсюда видно, что для 85% флоккулов прогноз отличается от истины не более, чем на 0,3. Таким образом, можно сделать заключение, что метод потенциальных функций позволяет прогнозировать для флоккула, возникшего на диске, вероятность выхода его из-за края в следующем обороте.

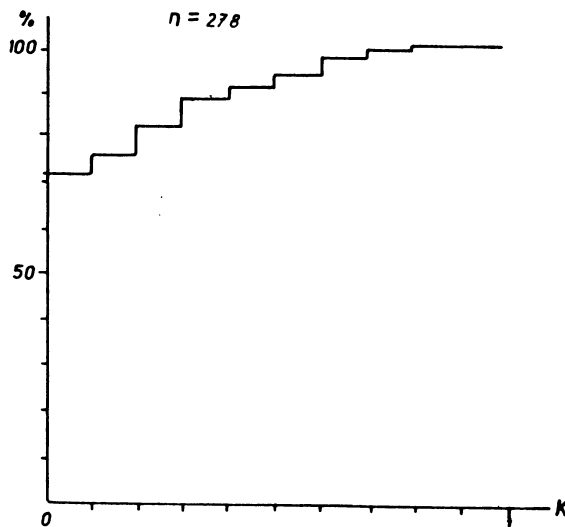


Рис. 4.

К задаче прогноза развития флоккула по наблюдениям в 1-й день его существования метод потенциальных функций, а также тестовые методы оказались неприменимы. Для первого дня развития мы располагаем слишком малым числом параметров — 3 параметра, характеризующие место возникновения флоккула и компактность флоккула в этот день.

Поэтому задача решалась так. Каждому флоккулу придавался вес, равный сумме значений этих четырех параметров при задании их в двоичном коде. Так что вес может принимать значения от 0 до 4. В соответствии с весом все флоккулы (по наблюдениям в 1968 и 1969 годах) были разбиты на 5 классов. В качестве прогнозируемых параметров рассматривались следующие характеристики флоккулов:

1. Наличие этого флоккула в следующем обороте (да, нет)
2. Вспышечная активность флоккула в этом обороте (0 — нет вспышек, 1 — есть вспышки)
3. Характер развития флоккула в этом обороте (*d* — умер на диске, *l* — зашел за край диска)
4. Наличие пятен во флоккуле (да, нет)
5. Число дней существования флоккула ( $< 3^d$ ;  $\geq 3^d$ ). Для каждого класса флоккулов определялось преимущественное значение всех пяти прогнозируемых параметров. В табл. 1 представлены результаты. В клетках указаны преимущественные значения параметров прогноза для флоккулов с данным весом. В скобках указана доля *p* флоккулов, показавших это значение параметра. В двух правых столбцах таблицы указано число флоккулов

с данным весом и их процент от общего числа флоккулов. Нижние две строки показывают % всех флоккулов, для которых данный параметр может быть спрогнозирован с вероятностью  $p \geq 0,70$  (предпоследняя строка) и с  $p \geq 0,80$  (последняя строка). На основании этих таблиц можно сделать следующий вывод.

Определив 4 параметра для флоккула в день его возникновения, можно с вероятностью  $p \geq 0,8$  сказать, исчезнет ли он на диске или зайдет за край, выйдет ли из-за края, можно ли ожидать вспышек в этом флоккуле за время прохождения по диску. С вероятностью  $p \geq 0,7$  можно говорить о числе дней существования флоккула и о возникновении пятен в нем. Такие заключения можно сделать для 75% всех флоккулов.

Таблица 1

Вес флоккула.	Наличие в след. обороте.	Вспышечная активность.	Характер развития.	Наличие пятен.	Число дней существования.	Число флоккулов.	% от числа.
0	нет (0.98)	0 (0.95)	<i>d</i> (0.82)	нет (0.84)	$< 3$ (0.73)	67	23
1	нет (0.95)	0 (0.95)	<i>d</i> (0.80)	нет (0.73)	$< 3$ (0.64)	75	25
2	нет (0.82)	0 (0.85)	<i>d, l</i> (0.50)	да (0.54)	$\leq 3$ (0.70)	74	25
3	да, нет (0.50)	1 (0.55)	<i>L</i> (0.82)	да (0.90)	$\leq 3$ (0.86)	61	20
4	да (0.68)	1 (0.70)	<i>L</i> (0.92)	да (1.00)	$\leq 3$ (1.00)	20	7
% флок. $p \leq 0.70$	73	80	75	75	75		
% флок. $p \leq 0.80$	73	73	75	50	27		

## Приложение

1. Компактность флоккула в момент рождения.
2. Распад близлежащего волокна при рождении флоккула.
3. Наличие близких флоккулов в окрестности  $5^\circ$  от родившегося флоккула в день его появления.
4. Площадь флоккула *S* в момент прохождения центрального меридиана.
5. *I* — интенсивность флоккула на центральном меридиане (или максимальная интенсивность).
6. Характер развития флоккула (исчез на диске или зашел за край).
7. Число дней существования флоккула.
8. Характер развития группы пятен, если она возникла

в данном флоккуле (группа пятен исчезла на диске, или зашла за край).

9. Число дней существования пятен.
10. Максимальный магнитный поток группы.
11. Максимальное число пятен в группе.
12. Магнитная структура группы (униполярная или биполярная).
13. Наличие группы пятен во флоккуле.
14. Наличие флоккула в предыдущем обороте на месте рассматриваемого (т.е. места активности).
15. Вспышечная активность флоккула за время его прохождения по диску.
16. Наличие того же флоккула в следующем обороте.