

Б. О. БЕРЛЯНД, В. А. БУРОВ 12.10

**О РАСПОЗНАВАНИИ СОЛНЕЧНЫХ ВСПЫШЕК,
СОПРОВОЖДАЮЩИХСЯ ИНЖЕКЦИЕЙ ПОТОКОВ
ВЫСОКОЭНЕРГИЧНЫХ ПРОТОНОВ, ПО СОПУТСТВУЮЩИМ
ИЗЛУЧЕНИЯМ**

(Представлено академиком Е. К. Федоровым 31 X 1975)

Одной из актуальных задач современной космофизики является задача распознавания вспышек, генерирующих в окружающее пространство потоки высокоэнергичных протонов. Решение этой задачи весьма важно для разработки методов прогноза радиационной и геофизической обстановки, а также может оказаться полезным для понимания механизма генерации и инжекции потоков протонов СКЛ во вспышках. В данной работе нас прежде всего интересуют вопросы прогнозирования с точки зрения обеспечения радиационной безопасности при космических полетах.

1. Постановка задачи и терминология. В настоящее время нет единой точки зрения на корректность деления вспышек на «протонные» и «непротонные». Так, некоторые авторы ⁽¹⁾ считают, что все вспышки являются протонными, а различие заключается лишь в величинах плотности потоков корпускулярного излучения и условиях распространения в межпланетной среде. В данной работе мы будем использовать понятия «опасных» и «неопасных» вспышек для обозначения двух классов вспышек, а именно: к классу 1 («опасные») относятся вспышки, инжектирующие в окружающее пространство потоки протонов с $E_p > 55$ Мэв *. К классу 2 («неопасные») — вспышки, после которых плотность потока протонов с $E_p > 55$ Мэв не превышала фоновый уровень.

Заметим, что эти два класса можно назвать и иначе, например, «класс больше 55 Мэв» и «класс меньше 55 Мэв» или иным способом. Граница в 55 Мэв выбрана по тем соображениям, что радиационную опасность для экипажей космических кораблей, орбита которых проходит внутри магнитосферы Земли с учетом реальных жесткостей обрезания и наблюдаемых спектров протонов СКЛ ⁽²⁾, могут представлять лишь вспышки, инжектирующие в пространство потоки протонов с $E_p > 40$ Мэв. Кроме того, принималась во внимание и доступность информации.

В настоящее время нам не известны какие-либо методы или критерии, позволяющие судить об инжекции в межпланетное пространство протонов столь высоких энергий при вспышках. Известно лишь несколько критериев деления вспышек на «протонные» и «непротонные» (обычно по границе в 10 Мэв) ^(3, 4). Как правило, это — однопараметрические критерии, которые можно использовать для определения необходимых, но не достаточных условий «протонной» вспышки.

В работе ⁽⁵⁾ предпринята попытка разделить «протонные» и «электронные» вспышки. В результате статистической обработки получены гistogramмы, позволяющие выявить некоторые интервалы для численных значений отдельных параметров, типичные для «протонных» и «электронных» событий. Однако отнесение вспышки к одному из классов становится за-

* Плотность потока превышала фоновый уровень по измерениям на спутниках типа Explorer.

труднительным в том случае, если хотя бы один из параметров не лежит в «типичном» интервале.

В предлагаемой работе задача разделения вспышек формулируется как классическая задача распознавания образцов. Действительно, каждому событию (вспышке) можно поставить в соответствие некоторый вектор x , компоненты которого представляют собой численные значения используемых параметров (в нашем случае характеристики сопутствующих излучений); все векторы (вспышки) делятся на два класса: «опасные» вспышки и «неопасные» вспышки. На основе имеющегося ряда данных $\{x_n\}$ нужно построить «решающее правило», которое бы обеспечивало требуемое разделение на классы, и оценить качество этого правила.

Для этого весь набор исходных данных можно поделить на две группы: группу, по которой выбирается «решающее правило», и группу, по которой оценивается качество, т. е. насколько хорошо выбранное правило обеспечивает требуемое опознавание. Первая группа называется «обучающей» последовательностью, а вторая «экзамениционной».

Испытывая различные наборы исходных данных (параметров) и оценивая каждый раз качество распознавания, можно получить сведения о сравнительной информативности различных параметров и выбрать наилучшее сочетание параметров для использования в решаемой задаче.

2. Используемые параметры. В качестве параметров мы используем наблюдательные данные об излучениях в оптическом, рентгеновском и радиодиапазонах, поскольку именно эти характеристики, по-видимому, тесно коррелируют с корпускулярным излучением вспышек. Из оптических наблюдений использовались балл вспышек и их яркость I , по радиоизлучению — параметр B — наличие или отсутствие всплесков типа I, II, III, IV, V во время вспышек, по рентгеновскому излучению — время нарастания R , время спада D и величина максимального потока F всплесков в диапазонах 2–12 Å или 0–8 Å. Данные по рентгеновскому излучению получены на спутниках серии Explorer и Solrad (^{5, 6}).

Для исключения эффектов распространения в качестве «неопасных» вспышек (см. выше) рассматривались лишь вспышки в интервале долгот 0°–90° к западу.

Используя данные, приведенные в работах (^{5, 6}), нам удалось отобрать 22 «опасные» вспышки и 27 «неопасных», обладающие полным набором указанных выше параметров.

Кроме этих пяти параметров, использовался также производный параметр R/D — отношение времени нарастания к времени спада для рентгеновского всплеска. В качестве алгоритма для нахождения решающего правила был выбран метод потенциальных функций, основанный на построении разделяющей гиперповерхности (⁷). Потенциальную функцию, определяющую принадлежность неизвестного объекта к одному из двух классов, зададим в виде

$$P = \frac{1}{N_1} \sum_{i=1}^{N_1} \exp \left[- \sum_{j=1}^M b_j^{(1)} (x_{h,j} - x_{i,j}^{(1)})^2 \right] - \frac{1}{N_2} \sum_{i=1}^{N_2} \exp \left[- \sum_{j=1}^M b_j^{(2)} (x_{h,j} - x_{i,j}^{(2)})^2 \right].$$

Здесь N_1, N_2 — число векторов в обучении соответственно класса 1 и 2, M — размерность пространства признаков, $x_i^{(1)}, x_i^{(2)}$ — векторы обучающей последовательности, x_h — распознаваемый объект. Обучающая последовательность включала 11 «опасных» и 12 «неопасных» вспышек. В процессе обучения определялось уравнение разделяющей гиперповерхности

(т. е. находились коэффициенты $b_j^{(1)}$, $b_j^{(2)}$). Экзаменационная последовательность включала в себя 11 «опасных» и 15 «неопасных» всплесков. Идентификацию опознаваемого вектора проводили определением знака P . Если $P > 0$, то x_k принадлежит к классу 1, если $P < 0$, то x_k относится к классу 2. Данный алгоритм был реализован в виде программы на машине «Минск-32».

3. Описание результатов. Для поиска наилучшего уровня распознавания было проведено четыре серии машинных экспериментов. Результаты этих экспериментов представлены в табл. 1, где 1 обозначает наличие параметра при распознавании.

Таблица 1

Параметр	Номер столбца													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
I	1		1	1			1	1		1				
F	1	1	1	1	1	1		1	1	1	1	1		
D	1	1			1			1	1				1	
R														
R/D	1	1	1					1	1			1		1
B	1	1	1	1	1	1	1							
$B_{II, IV}$								1	1	1	1	1	1	
B_{IV}														1
% распознавания	85	85	85	34	88	61	45	88	88	61	96	85	81	88

Таблица 1 (продолжение)

Параметр	Номер столбца													
	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
I		1												
F	1		1	1	1	1		1			1	1	1	1
D			1		1		1				1		1	
R				1			1	1		1				1
R/D			1	1		1			1		1	1		
B														
$B_{II, IV}$	1	1												
B_{IV}			1	1	1	1	1	1	1	1				
% распознавания	73	58	92	92	96	88	88	81	77	73	73	81	96	81

В первой серии учитывалось наличие или отсутствие любого из пяти типов радиовсплесков — параметр B . Во второй серии принимались во внимание только всплески типов II и IV — параметр $B_{II, IV}$, в третьей — только типа IV — параметр B_{IV} и в четвертой — без использования информации о радиоизлучении. В экспериментах оценивался уровень распознавания (т. е. число ошибок (из 26) в экзаменационной последовательности) при различных комбинациях параметров. При анализе табл. 1 можно заключить следующее.

1. Разделение всплесков на «опасные» и «неопасные» по сопутствующим излучениям может быть реализовано описанным выше методом с достаточно высокой надежностью ($p > 0,8$).

2. Использование различных наборов параметров меняет уровень распознавания от 34% (т. е. опознавание отсутствует) до 96%.

3. Из рассмотрения результатов первых трех серий видно, что учет информации о наличии или отсутствии радиовсплесков типов I, III, V ухудшает уровень распознавания при любом наборе оставшихся параметров.

4. Добавление параметра (балл и яркость вспышки) не улучшает уровень распознавания при любом наборе параметров, а в случае малого числа используемых параметров ($n < 3$) — ухудшает этот уровень. Т. е. в данной задаче балл и яркость вспышки являются «шумящими» параметрами (см. столбцы 1–2, 4–6, 8–9, 10–15).

5. Высокий уровень распознавания $p > 0,8$ обеспечивается только в тех случаях, когда используется временная характеристика рентгеновского всплеска D , R , R/D . Причем, наиболее информативным параметром является D (см. столбцы 11, 19, 27). Совместное использование D , R/D несколько ухудшает распознавание по сравнению с вариантами использования только одного времени спада (см. столбцы 3–5, 9–11, 17–19, 25–27).

6. Наиболее информативным набором параметров следует считать комбинацию F , D , для которой уровень распознавания составляет 96%.

В заключение хотелось бы отметить, что для практических задач прогнозирования важно знание минимального набора параметров, обеспечивающего достаточно высокий ($p > 0,8$) уровень разделения. Причем поскольку в распоряжении исследователя могут оказаться различные наборы параметров (какой-то из параметров недоступен в данный момент по техническим причинам), то полезно указать несколько вариантов. Например, в случае необходимости получения оперативного прогноза можно воспользоваться вариантом F , R ($p \approx 0,8$).

Институт прикладной геофизики
Москва

Поступило
23 X 1975

ЛИТЕРАТУРА

- ¹ Л. С. Левицкий, Изв. Крымск. астрофиз. обсерв., т. 49, 36 (1974). ² В. А. Буров, В. П. Гурьев, Тр. Ин-та прикл. геофиз., в. 29, 31 (1974). ³ J. Aarons, J. Castelly, Paper Presented at XV Electromagnetic Wave Propagation Meeting of AGARD 2–5 Sept., 1969. ⁴ D. L. Croom, J. Geophys. Res., v. 75, № 34, 117 (1970). ⁵ E. T. Sarris, S. D. Shawhan, Solar Phys., v. 28, № 2, 519 (1973). ⁶ Report UAG-28, Part I, 1973. ⁷ В. П. Вапник, А. Я. Червоненкис, Теория распознавания образов, М., 1974.