

Министерство высшего и среднего специального образования  
РСФСР  
Ордена Трудового Красного Знамени  
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ РАДИОФИЗИЧЕСКИЙ  
ИНСТИТУТ

Препринт № 39

Я.Г.Цыбко

ШУМОВЫЕ БУРИ И ВСПЛЕСКИ 1 ТИПА

(Обзор)

г.Горький,  
1978

# 1. СВОЙСТВА ПРИНИМАЕМОГО У ЗЕМЛИ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ СОЛНЦА ТИПА ШУМОВЫХ БУРЬ

## Динамический спектр шумовых бурь в метровом диапазоне волн

Проявление солнечной активности в оптическом диапазоне подчинены 11-летнему циклу. С такой же периодичностью изменяется активность Солнца в радиодиапазоне, одной из выдающихся разновидностей которой является спорадическое излучение типа шумовой бури, наблюдаемое обычно на частотах ниже 400 Мгц и тесно связанное с пятнами на фотосфере и корональными магнитными полями над ними.

Шумовая буря есть совокупность двух компонент - широкополосной континуальной составляющей и многочисленных узкополосных всплесков 1 типа. Континуум шумовых бурь выглядит на спектрограммах как продолжительное широкополосное повышенное радиоизлучение без ярких особенностей с плавно меняющимися характеристиками. Шумовые бури могут продолжаться в течение нескольких часов или дней (иногда, возможно, более 27 дней). Начало шумовой бури может быть плавным или резким, внезапным. Характерное время изменения спектра порядка 10 минут, но иногда наблюдают быстрые изменения спектра, например, после хромосферных вспышек [1,2].

В период наибольшей активности Солнца - источники шумовых бурь образуются так часто, что общая продолжительность их регистрации может составлять 10% всего времени наблюдений. Верхняя граница спектра шумовых бурь обычно не превышает 400 Мгц, а нижняя граница иногда меньше 1 Мгц. Максимум интенсивности континуума приходится на диапазон волн  $2 \div 4$  м.

Во время повышенной активности Солнца интенсивность широкополосной составляющей шумовых бурь может в 100÷1000 раз превышать уровень излучения спокойного Солнца. В период низкой солнечной активности интенсивность континуума обычно сравнима с интенсивностью излучения спокойного Солнца.

Накладывающаяся на континуум всплесковая составляющая шумовых бурь тесно связана с континуумом, но сильно отличается от него по своим свойствам.

Всплески 1 типа наиболее частое проявление солнечной активности в метровом диапазоне. Иногда наблюдаются сотни всплесков в час. Обычно всплеск 1 типа занимает полосу частот в несколько Мгц, равную примерно 2% от центральной частоты всплеска [3].

На частотах 300÷400 Мгц одна треть общего числа всплесков шумовых бурь имеет гауссову форму спектра и ширину полосы в среднем 6–8 Мгц по уровню половинной интенсивности, остальные всплески были с нерегулярной формой спектра и являлись, видимо, суперпозицией простых всплесков [4].

По измерениям Элгарея 5 средняя полоса всплесков 1 типа на частотах 150 Мгц и 300 Мгц равна соответственно 3,5 и 7,2 Мгц. Ширина полосы одного отдельного всплеска со временем меняется незначительно.

Согласно [6], временной профиль приблизительно у 50% всплесков симметричен относительно максимума, у 30% время подъема меньше времени спада, а у остальных наоборот. В работе [6] приведены также данные относительно длительности всплесков шумовых бурь. На волнах  $\lambda = 2 \div 4$  м наблюдались всплески с длительностью по нулевому уровню от 0,2 до 1,5 сек; среднее значение этой величины не обнаружило зависимости от длины волны и равно 0,6 ÷ 0,8 сек.

Средняя длительность всплесков 1 типа, зарегистрированных на частотах 150 и 300 Мгц, согласно [5], оказалась равной соответственно 0,4 сек и 0,15 сек. Исследования Элгарея не выявили связи между длительностью и

амплитудой всплесков I типа. Вблизи частоты 200 Мгц всплески I типа за время жизни могут смещаться в сторону высоких частот (половина всех случаев), в сторону низких (в 30% случаев) или иметь нулевой частотный дрейф (в 20% случаев). Скорость частотного дрейфа  $\left(\frac{\partial f}{\partial t}\right)_I \approx 15 \frac{\text{Мгц}}{\text{сек}}$ , это больше, чем у всплесков II типа и меньше, чем у всплесков III типа [7, 8].

Авторы [9] обратили внимание на то, что узкополосные короткоживущие всплески в области частот 30+300 Мгц иногда собираются в группы, имеющие на динамических спектрограммах вид цепочек. Такие цепочки длительностью порядка минуты и с полосой примерно 10 Мгц содержат в себе десятки или сотни всплесков I типа.

Наблюдались дрейфующие по частоте цепочки. Группы всплесков в виде цепочек временами плохо заметны на фоне шумовой бури, а иногда ясно видны и следуют друг за другом в течение длительного времени. Не являются редкостью записи двух или большего числа цепочек на разных частотах одновременно. Количественному исследованию статистических свойств цепочек в диапазоне частот 25 + 210 Мгц посвящена статья [10]. В этой работе, как и в [12], указано, что по спектральным характеристикам обычные всплески I типа и всплески, формирующие цепочки, идентичны. На основании записей частотных спектров тысячи цепочек в шумовых бурях с декабря 1959 г. по апрель 1969 г. построено распределение числа цепочек  $N$  по диапазону (рис.1), из которого следует, что цепочки чаще всего наблюдались в интервале частот 80 + 120 Мгц. Распределение числа цепочек по частоте значительно изменяется от дня ко дню. В отдельные дни цепочки можно было наблюдать только в относительно узком диапазоне частот. Иногда нижняя граница частотного интервала, в котором появлялись цепочки, со временем постепенно переходила на более высокие частоты.

В [10] показана функция распределения числа цепочек по скоростям частотного дрейфа, характеризуемых величиной  $\frac{1}{f} \left( \frac{df}{dt} \right)$  (рис. 2). Наибольшие значения эта функция принимает в области аргумента  $\frac{1}{f} \left( \frac{df}{dt} \right)$  от  $-0,05 \frac{1}{\text{мин}}$  до  $-0,01 \frac{1}{\text{мин}}$ , а спадает до нуля вблизи точек  $-0,15 \frac{1}{\text{мин}}$  и  $+0,10 \frac{1}{\text{мин}}$ . Около четверти всех цепочек имеют положительный частотный дрейф. Свойства упоминавшихся в [9] пар цепочек подробно анализируются в [10]. Точная параллельность цепочек, составляющих пары на динамическом спектре, наблюдается редко. Детали тонкой структуры, яркостные и частотные вариации в параллельных цепочках часто не коррелируют между собой, хотя иногда интенсивность в цепочках меняется синхронно.

Тот факт, что в некоторые дни парные цепочки наблюдаются часами, хотя и без детального соответствия свойств цепочек в паре, а в другие дни регистрируются только одиночные цепочки, позволяет предположить, что появление пары не случайное совпадение по времени двух цепочек на разных частотах.

Исследовано распределение числа пар в зависимости от величины частотного интервала между цепочками в них. В большинстве случаев этот интервал был в пределах  $0 \div 40$  Мгц и не зависел от частоты. Гармоническая связь между цепочками в парах, видимо, отсутствует. Распределения числа цепочек по их продолжительности заметно отличаются у разных шумовых бурь. Для цепочек с продолжительностью от 20 до 200 сек распределение их числа  $N$  от времени жизни  $\Delta t$ , с большой точностью описывается формулой

$$N(\Delta t) \sim \exp \left\{ - \frac{\Delta t (\text{сек})}{30} \right\}$$

Цепочкам свойственно группироваться во временных интервалах длиной от нескольких минут до нескольких часов. Временный интервал между группами цепочек на одной частоте может составлять несколько часов.

В работе [11] приведены результаты спектральных наблюдений коротких узкополосных всплесков в диапазоне  $24 \pm 60$  МГц с высоким разрешением по времени и частоте. Регулярно наблюдались всплески длительностью 1-2 сек, расщепленные по частоте на две или (в 10% случаев) три компоненты. Эти всплески появлялись изолированно, в цепочках, ассоциирующихся со всплесками Ш типа, или в большом количестве во время шумовых бурь. Частотный промежуток между элементами в спектре расщепленных всплесков увеличивается с ростом частоты от 0,1 до 1,0 МГц. Полоса низкочастотного элемента двойных всплесков порядка 0,05 МГц, а высокочастотного -  $(0,04 \pm 0,3)$  МГц. Равные полосы элементов имели примерно 20% расщепленных всплесков. Средняя частота каждого элемента обычно уменьшается со скоростью  $\approx 0,1 \frac{\text{МГц}}{\text{сек}}$ . Всплески с описанной тонкой структурой спектра наблюдались преимущественно в низкочастотной области диапазона  $24 \pm 60$  МГц.

Динамические частотные спектры коротких цепочек исследовались по данным скоростных спектрографов в диапазонах 140 - 170 МГц и  $310 \pm 340$  МГц [12]. При этом выяснилось, в соответствии с [10], что цепочки становятся все более редким событием с увеличением частоты и выше 300 МГц не регистрировались, тогда как изолированные всплески 1 типа можно наблюдать, на частотах до 400 МГц. Статистической обработке подверглись в [12] лишь цепочки, не выходявшие за границы полосы  $140 \pm 170$  МГц. Максимальное время жизни таких цепочек было 30 сек, а среднее равно 5 сек.

Результаты измерения частотного дрейфа коротких цепочек совпадают с полученными ранее [10, 11]. Обычно с течением времени интенсивность и полоса импульсов в цепочке убывает, но иногда интенсивность увеличи-

вается со временем. Задний фронт огибающей амплитуд всплесков цепочек крутой не экспоненциальный. Для всплесков в коротких цепочках средняя длительность и средняя полоса получены 0,40 сек и 4,4 Мгц, а для одиночных всплесков I типа эти величины оказались равными 0,42 сек и 4,5 Мгц.

При изучении тонкой структуры динамических спектров обнаружено, что всплески в цепочке могут быть с неодинаковыми по величине и знаку скоростями частотного дрейфа. Наблюдались случаи, когда скорость дрейфа по частоте самой цепочки менялась по величине и знаку несколько раз за время ее жизни. В промежутках между всплесками в цепочках бывает заметно слабое излучение фона.

Иногда цепочка всплесков I типа появлялась вместе со слабым всплеском III типа, который быстро дрейфовал, начинаясь на частоте цепочки [10, 11].

В дни, когда отмечались сильные всплески III типа цепочки были редким событием и пропадали совсем после всплесков II типа [10]. Во время шумовых бурь цепочки наблюдаются в том же диапазоне частот, что и континуум. Соотношение интенсивностей всплесков I типа и континуума в шумовых бурях может существенно меняться.

По величине и характеру изменения основного уровня на фиксированной частоте, интенсивности и группировке всплесков шумовые бури в метровом диапазоне волн делятся на пять типов (рис.3) [13]. К первому типу

Н<sub>д</sub> относят слабые шумовые бури с незначительными флуктуациями основного уровня и всплесками относительно малой интенсивности. У второго типа N<sub>в</sub> всплески собраны в группы, между которыми всплески относительно редки и слабы; интенсивности отдельных всплесков в группах могут быть большими, а флуктуации основного уровня относительно малы. Третий тип N<sub>с</sub> — это интенсивные шумовые бури с большими флуктуациями континуума; амплитуды и плотность всплесков значительны.

Интенсивные шумовые бури без больших флуктуаций основного уровня выделяют в четвертую группу  $N_D$ . Пятую группу  $N_E$  образуют шумовые бури с большими флуктуациями основного уровня, но слабыми всплесками. Число случаев шумовых бурь каждого из указанных типов показано на рис. 4.

### Декаметровые и гектометровые бури

Шумовые бури метрового диапазона частот сопровождаются продолжительным радиоизлучением Солнца на декаметровых (ДКМ) и гектометровых (ГКМ) волнах, которое имеет свои характерные особенности. Иногда шумовые бури наблюдаются лишь в одном из этих диапазонов длин волн.

Узкополосные всплески 1 типа редко встречаются на частотах меньше 40 Мгц. Наблюдавшиеся на более низких частотах разновидности всплесков можно только условно отнести к 1 типу [15,14]. Кроме обычных шумовых бурь на метровых волнах регистрировались бури из всплесков III типа [16], а также бури из быстродрейфующих широкополосных всплесков 1 типа [17].

Согласно [14] 85% шумовых бурь 1 типа в метровом диапазоне сопровождались ДКМ шумовыми бурями III типа, состоящими из континуума и огромного числа всплесков III типа. Соотношение интенсивностей этих составляющих может быть различным.



Широкополосное непрерывное радиоизлучение и всплесковая составляющая шумовых бурь часто имеют значительную (до 100%) компоненту с круговой поляризацией. Шумовые бури с регулярно поляризованным излучением по своим характеристикам мало отличаются от бурь с преобладанием хаотически поляризованной компоненты. За время жизни у многих шумовых бурь направление круговой поляризации не менялось. По наблюдениям Комесарова [20] знак поляризации шумовой бури в метровом диапазоне не зависит от частоты.

Крупный вклад в изучение поляризации солнечного радиоизлучения сделали японские исследователи с помощью скоростного поляриметра на 200 Мгц. В течение нескольких лет ими были зарегистрированы сотни шумовых бурь. Статистическая обработка этого материала показала [21], что распределения числа всплесков 1 типа от степени поляризации с левым и правым вращением вектора поля одинаковы. Большинство всплесков имело степень круговой поляризации (90 + 100)%. Реже всего наблюдались всплески, у которых поляризованная компонента составляла 50 %.

Распределение шумовых бурь по степени поляризации континуальной составляющей похоже на соответствующее распределение для всплесков 1 типа, но для сильных шумовых бурь кривая распределения не имеет минимума вблизи значения 50%, а плавно спадает на участке

(0 ÷ 70)% степени поляризации. В среднем у каждой шумовой бури поляризация континуальной и всплесковой составляющих одинакова. Вид кривой распределения всплесков по степени поляризации не зависит от положения источника относительно центрального меридиана.

Согласно [22] средняя продолжительность слабо поляризованных всплесков 1 типа больше, чем продолжительность сильно поляризованных. Очень короткие всплески бывают только поляризованные, а среднее значение ширины спектра всплесков 1 типа не зависит от степени поляризации [23]. Источники неполяризованных всплесков шумовых бурь имеют тенденцию появляться вдали от центра диска Солнца (рис. 5) [22].

Как показало изучение записей диапазонного поляриметра на метровых волнах [10], поляризационные свойства всплесков цепочек такие же, как у хаотически разбросанных по спектрограмме всплесков 1 типа.

Результаты наблюдений позволяют предположить, что тип нормальной волны излучения шумовых бурь, хотя и не всегда, определяется полярностью преобладающего магнитного поля пятен на уровне фотосферы, так что знак поляризации соответствует обыкновенной магнито-ионной компоненте.

Иногда наблюдается смешанная поляризация радиоизлучения шумовых бурь. В подавляющем большинстве случаев при этом регистрируют более одного центра активности в оптике и радиодиапазоне. Обычным результатом суперпозиции излучений двух противоположно поляризованных шумовых бурь является уменьшение степени поляризации континуума и наличие всплесков с различными знаками поляризации. В некоторых случаях поведение поляризационных характеристик было необычным. Например, наблюдались

всплески 1 типа одного знака, но очень разной степени поляризации. В отдельные периоды времени всплески поляризованы слабо, а степень и знак поляризации меняются от всплеска к всплеску. Отмечались случаи шумовых бурь, когда степень поляризации изменялась со временем от незначительной до сильной. Зарегистрирована одна шумовая буря, полностью поляризованное излучение которой через 1,5 часа стало неполяризованным, а затем степень поляризации ее опять возросла до 100%; все это происходило без изменений характера спектра [23].

## 2. СТРОЕНИЕ ОБЛАСТИ ИСТОЧНИКА ШУМОВЫХ БУРЬ ПО НАБЛЮДЕНИЯМ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ

### Диаграмма направленности источников шумовых бурь

Излучение шумовых бурь не изотропно. Об этом свидетельствует неравномерность распределения бурь и связанных с ними активных областей на фотосфере.

Количество источников с заданной интенсивностью континуума на частоте 200 Мгц уменьшается в области диска Солнца, близких к лимбу, по сравнению с центральной областью так, что интенсивность шумовых бурь, наблюдаемых на расстоянии  $2/3$  солнечного радиуса от центра, в среднем в 6 раз меньше, чем вблизи центра [23]. Установлено, что интенсивность всплесковой составляющей шумовых бурь на той же частоте 200 Мгц убывает в 20 раз уже на солнечной долготе  $45^\circ$  от центрального меридиана [24].

Рассматривая зависимость относительного числа солнечных пятен, ассоциировавшихся с шумовыми бурями, от геометрической долготы (рис.6), можно видеть, что около центрального меридиана 50% всех групп пятен связаны с шумовыми бурями, а на лимбе лишь 10% [23]. По данным [25] 78% хромосферных вспышек, совпавших по времени с внезапным началом или усилением шумовых бурь, имели место в пределах  $40^\circ$  от центрального меридиана, а из общего числа 2300 вспышек только 50% вспышек произошло в том же долготном интервале.

Кривая функции распределения числа источников шумовых бурь от солнечной долготы не симметрична относительно центрального меридиана (рис.7) [23,26,27,35].

Максимум этой кривой смещен на  $4^\circ$  к западу от центрального меридиана [23]. Согласно [10] источники шумовых бурь с цепочками из всплесков 1 типа на частоте

тах 40 ÷ 70 и 169 Мгц распределены по диску также, как и без цепочек. Средние значения ширины диаграммы направленности шумовых бурь на волне 1,5 м по половине мощности составляет для всплесков  $70^\circ$ , и для континуума —  $45^\circ$  [28]. Эти результаты получены с учетом влияния неоднородностей, а также поглощения и рефракции в короне. Относительно зависимости ширины диаграммы направленности источников шумовых бурь от частоты имеющиеся сведения противоречивы.

### Ступенное излучение бури и положение его в короне.

В течение последнего цикла солнечной активности с помощью вступивших в строй радиогелиографов во Франции и Австралии [29,30] продолжалось исследование природы источников радиоизлучения шумовых бурь. Проверены некоторые уже известные свойства этих источников и получены новые результаты.

На основании одномерных на частоте 169 Мгц и двумерных на 80 Мгц гелиограмм установлено, что источники шумовых бурь часто содержат не один, а несколько излучающих центров с различными характеристиками, не синхронно меняющимися во времени. Иногда наблюдаются одновременно несколько независимых источников в разных местах диска Солнца [31,32].

Эффективный размер излучающей области континуума значительно превышает размер источника отдельного всплеска 1 типа. Во время шумовой бури всплески 1 типа представляются короткими локальными вспышками, рассеянными по области источника сравнительно с околосолнечного радиоизлучения бури [23,26]. За исключением лимбовых событий [31], участок сосредоточения всплесков примерно совпадает в картинной плоскости с континуумом (рис.8) [22], хотя расположен не всегда симметрично относительно наиболее яркой точки последнего [32,33,34,35]. Этот участок имеет тенденцию уменьшаться с увеличением интенсивности шумовых бурь [26].

По интерферометрическим записям в диапазоне 40 ÷ 70 Мгц можно заключить, что положения источников всплесков 1 типа цепочек и континуума бури совпадают, а координаты парных цепочек могут отличаться на несколько угловых минут [10]. Согласно [22] на частоте 200 Мгц размеры области рассеяния источников всплесков 1 типа составляют  $3' + 5'$  и тем меньше, чем дальше от центра диска Солнца наблюдается шумовая буря. Такая же закономерность отмечена при наблюдениях на 169 Мгц [36]. Источники шумовых бурь на 169 Мгц имеют угловые размеры от  $1'$ ,  $2'$  до  $4'$ ,  $5'$ , при этом в источнике с размером больше  $3'$  различаются, по крайней мере, два излучающих центра (рис.9а и б) [31, 37].

С помощью гелиографа на частоте 80 Мгц установлено, что источники шумовых бурь во многих случаях имеют биполярную структуру, т.е. состоят из двух компонент со средними размерами  $6' \times 6'$  каждая (рис.10а). Точки максимальной интенсивности компонент разнесены на  $3' \pm 1'$ . Компоненты обычно заметно отличаются по интенсивности и сильно поляризованы по кругу в противоположных направлениях [38].

Изучение записи одной шумовой бури [39] показало, что средние за один час угловые размеры ее равны  $6'$  и  $10'$  соответственно на 65 Мгц и 45 Мгц. Размеры отдельных источников всплесков 1 типа на  $\lambda = 3,7$  м равны  $6' \pm 1'$  [40]; по другим данным [41, 36] на волнах 2 ÷ 3 м диаметры отдельных источников всплесков меньше одной угловой минуты. На фиксированных частотах вблизи 150 Мгц обнаружены всплески длительностью 2 ÷ 3 сек с угловыми размерами  $< 15''$  [42].

В [23] обсуждается вопрос о распределении интенсивности по источнику континуума на частоте 200 Мгц. В центре простого источника имеется яркая область с угловым диаметром  $1' - 2'$ , а интенсивность излучения периферийных участков сравнительно невелика. Непосредственные измерения показали большой разброс величин расстояния источников шумовых бурь от фотосферы. Так в

[36] приведены значения этой величины на частоте 169 МГц от 0,3 до 1,0 радиуса Солнца ( $R_{\odot}$ ), а в среднем высота составляет  $0,6 R_{\odot}$ .

Средние высоты источников бурь на волне 1,2 м по сообщению Фоккера и на волнах 1,5 м и 2 м по данным Чихачева одинаковы и равны  $0,4 R_{\odot}$  [34]. На волне 1,5 м, согласно [26], источники бурь наблюдали на расстояниях  $(0,1 + 0,65) R_{\odot}$  от фотосферы. Установлено, что средняя высота источников континуума [35] и всплесков 1 типа [43] зависит от величины углового смещения источника относительно центрального меридиана Солнца; для близких к центру диска источников средняя высота равна  $0,2 R_{\odot}$ , а для самых дальних —  $0,5 R_{\odot}$ .

Положение в короне источника шумовой бури в большинстве случаев остается неизменным в течение нескольких часов, в то время как интенсивность принимаемого радиоизлучения может испытывать сильные флуктуации [44].

С другой стороны, на частоте 169 МГц в течение одного или нескольких дней наблюдали изменение координаты источников некоторых шумовых бурь. При этом движение источника было весьма нерегулярным [33,36].

В [44] описан биполярный источник бури с флуктуирующими по интенсивности компонентами, наблюдавшийся австралийским радиогелиографом на 80 МГц несколько часов. Одна часть этого источника была компактной и неподвижной, другая — протяженной с быстро (за время порядка нескольких секунд) и беспорядочно меняющейся в северно-южном направлении координатой. Максимальное смещение подвижной компоненты источника было около десяти угловых минут. Степень круговой поляризации компонент резко менялась в пределах от 0 до 100%. При этом направление вращения вектора поля в разных частях источника оставалось неизменным.

Известны случаи, когда угловая координата источника шумовой бури изменялась регулярно, по определенному закону. Так, в работе [31] говорится о наблюдениях

на 169 Мгц пяти простых источников шумовых бурь с осциллирующей угловой координатой и подробно описан случай бури с двумя разнесенными по линии восток-запад на  $10'$  излучающими центрами. Координаты обоих центров этой бури после хромосферной вспышки начали изменяться приблизительно по синусоидальному закону почти синфазно с периодом 25 минут и амплитудой в 4 угловых минуты для восточного центра и в 1 угловую минуту - для западного. Интенсивность западного центра на частоте 408 Мгц изменялась с таким же периодом. Колебательное движение восточного источника сочеталось с линейным перемещением его в картинной плоскости со скоростью несколько десятков  $\frac{\text{км}}{\text{сек}}$ . Во время одной шумовой бури 1 типа на 169 Мгц систематическое движение ее излучающего центра со скоростью примерно  $600 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$  начиналось сразу после того, как поблизости в короне возникали источники всплесков III типа, и продолжалось 10-30 минут (рис.11) [33].

Согласно [9] дрейф цепочек по частоте сопровождается вариациями их координат на несколько угловых минут. Большинство цепочек, судя по направлению их частотного дрейфа, имели источники, удаляющиеся вверх от фотосферы, но в то же время у четверти всех цепочек был обратный дрейф по частоте [10]. Среднее значение скорости движения в короне возбуждающего цепочки агента, найденное по их частотному дрейфу для удвоенного по сравнению с моделью короны Ньюкирка распределения электронной концентрации, равно  $200 \frac{\text{км}}{\text{сек}}$ .

### 3. Источники радиобурь и корональные магнитные поля

---

Тесная связь источников радиоизлучения шумовых бурь с проявлениями солнечной активности в виде групп пятен на фотосфере считается твердо установленным фактом [33]. Путем прямых измерений установлено, что



солнечные пятна обладают магнитными полями с вертикальной составляющей у фотосферы порядка тысячи эрстед. В группах пятен часто можно выделить головное и ведомое пятна с разной полярностью магнитного поля. Развитые группы обычно имеют сложную структуру магнитного поля, изменяющуюся после хромосферных вспышек в них. В процессе эволюции иногда образуются отдельные монополярные пятна или группы. Встречаются активные области, поля в которых сохраняются и после исчезновения всех пятен. О магнитных полях в короне можно судить лишь косвенно, главным образом путем изучения поляризации солнечного радиоизлучения. Сведения о магнитных полях солнечного происхождения в межпланетном пространстве получают непосредственно с помощью датчиков на космических аппаратах.

Хорошо известно (см., например, [38] ), что радиоизлучение обоих центров двухкомпонентных источников шумовых бурь сильно поляризовано по кругу. Результаты наблюдений последних лет позволяют уже с уверенностью считать, что в короне могут существовать значительные магнитные поля и возникновение источников шумовых бурь неразрывно с ними связано.

Так с помощью австралийского гелиографа на частоте 80 Мгц получены двумерные распределения интенсивности по источникам шумовых бурь в картинной плоскости. Эти источники имели биполярную или более сложную структуру со значительной степенью и разными знаками круговой поляризации [38, 44] . По интенсивности излучающие центры обычно сильно отличались друг от друга, так что суммарное излучение шумовой бури тоже было поляризованным. Важно также отметить, что ассоциировавшиеся иногда с активной областью шумовой бури источники всплесков III типа имели униполярную структуру, слабо поляризованы и локализовались выше и в стороне от источников бурь (рис.106). Таким образом Кай в своей работе [38] обоснованно предполагает существование в области источника шумовой бури в короне сильного би-

полярного магнитного поля, связанного полюсами с более сложным магнитным полем соответствующей активной области пятен на фотосфере.

В [33] сообщается о наблюдавшихся случаях шумовых бурь, когда источник радионезлучения, существовавший несколько дней, был систематически в зависимости от частоты смещен относительно своей группы пятен в сторону другого оптического образования с противоположной полярностью фотосферного магнитного поля. Это смещение увеличивалось с понижением частоты и на 408 Мгц было около  $5^{\circ}$ , а на 169 Мгц между  $10^{\circ}$  и  $13^{\circ}$  солнечной долготы (рис. 12а,б).

На приведенной в статье [33] для одного из дней гелиограмме 169 Мгц видно, что область рассеяния источников всплесков I типа примерно на половину своей ширины смещена относительно средней координаты континуума в том же направлении (рис. 12б).

Зависимость от частоты угловой координаты источника шумовой бури в [33] объясняется тем, что излучающая область расположена вдоль восходящего участка магнитной трубки в короне, дугой соединяющей две активные области на фотосфере. Подобные наблюдения на нескольких частотах одновременно предлагаются в качестве метода изучения строения магнитного поля в атмосфере Солнца.

С новой стороны позволяют подойти к изучению природы шумовых бурь I типа, появившиеся в литературе указания на связь состояния межпланетного магнитного поля с активностью Солнца в метровом диапазоне [45,46].

Непосредственные измерения напряженности и направления магнитного поля в межпланетном пространстве в плоскости эклиптики показали, что силовые линии этого поля имеют вид спиралей Архимеда, сходящихся к Солнцу. Полярность магнитного поля в среднем сохраняется внутри секторов с вершинами в центре Солнца и довольно резко меняется на орбитную у границы секторов. В период низкой активности Солнца с 1962 г. по 1964 г.

секторная структура была стабильной, но с ростом активности, начиная с 1964 г. скорость эволюции секторной структуры увеличивалась, появлялись новые сектора, расширялись сформировавшиеся ранее [47, 48].

Сакураи [49, 50], рассматривая связь между активными солнечными долготами и распределением полярности межпланетного поля, нашел, что в период низкой активности Солнца "корни" границ секторов наблюдаются точно к востоку от ассоциирующихся активных областей. Эти близкие к границам секторов активные центры могут существовать несколько лет; им свойственна повышенная активность протонных вспышек. Трансформация границы секторов происходит в течение одного-двух месяцев. Угол раскрытия секторов в годы спокойного Солнца равен  $50 + 100^\circ$ , в годы максимума наблюдались сектора с раскрытием до  $180^\circ$ . Направление поля внутри сектора в годы минимума соответствует полярности усредненного поля участка фотосферы в основании этого сектора. В годы же высокой активности Солнца такой корреляции не обнаружено [46].

В статье [45] анализировалось положение источников шумовых бурь в метровом диапазоне относительно границ секторов распределения полярности межпланетного магнитного поля за время с марта по август 1968 года (обороты Солнца №№ 1842-1847). Эти бури 1 типа ассоциировались с продолжительным ДКМ и ГКМ излучением [18, 51]. За время каждого оборота с № 1843 по 1847 в северной полусфере последовательно наблюдались четыре источника шумовых бурь, которым однозначно соответствовали границы секторов, регистрировавшихся в районе Земли в среднем через 5 суток вслед за прохождением радиосточника через центральный меридиан. Границы секторов вместе с соответствующими источниками радиобурь, видимо, отклонены на  $8^\circ$  к востоку относительно нормали к солнечной поверхности в активной области (как это схематично показано на рис. 13).

По мнению авторов [45] вполне возможна тесная связь межпланетной секторной структуры, которую, по всей вероятности, определяют фотосферные магнитные поля и солнечный ветер, с конфигурацией в короне, ответственной за источники шумовых бурь.

Исследование связи секторной структуры поля с метровыми корональными конденсациями по данным за несколько месяцев в 1964 и 1966 годах предпринято в работе [46]. Установлено, что стабильные корональные активные центры систематически располагались вблизи западной границы секторов. Излучение этих конденсаций не сопровождалось активностью в микроволновом диапазоне, а на поверхности Солнца с ними ассоциировались факельные области в затухающей фазе, по-видимому, с регулярным униполярным радиальным магнитным полем. В период спокойного Солнца такие стабильные корональные конденсации с этим размером около 10 угловых минут определяли угол раскрытия магнитного сектора  $\sim 50^\circ$ . Конденсации, ассоциировавшиеся с эруптивными активными центрами и высокочастотным радиоизлучением, никогда не наблюдались вблизи границ секторов, но их появление ведет к смещению восточной границы и расширению по долготе соответствующего сектора на  $20^\circ - 55^\circ$  в зависимости от степени активности этих центров.

#### 4. Шумовые бури и потоки энергичных электронов

Изучение электронных потоков солнечного происхождения в межпланетном пространстве обнаружило их связь с источниками радиоизлучения типа шумовых бурь [52,53]. Электроны с энергией больше 40 кэВ регистрируются у Земли после хромосферных вспышек. При этом различаются внезапные события, т.е. возрастание электронного потока не позднее, чем через час после начала хромосферной вспышки, и всплески электронного потока с задержкой начала примерно на сутки [52]. Хромосферные вспышки, сопровождаемые всплесками электронного потока, ассоцииру-

ются со вспышками рентгеновских лучей и радиоизлучением всплесков III типа [54]. Электронные события с задержкой сопутствуют взрывам на Солнце и потокам протонов с энергией больше 500 кэВ. Потоки электронов часто сильно анизотропны и остаются такими в течение 10–15 часов [52]. Чаще всего со всплесками электронов связаны хромосферные вспышки класса 1(F, N, B), а вспышки с показателем в линии  $H_{\alpha}$  ниже  $S\beta$  дают лишь увеличение электронного фона [55, 56, 53, 57]. Наблюдаются электронные хромосферные вспышки обычно в западной полусфере Солнца и чаще всего в области с долготой  $60^{\circ}$  (рис. 14) [53]. На основании своего исследования Сакураи [53] утверждает, что всплески электронного потока способны вызвать только хромосферные вспышки среди пятен, связанных с источником шумовой бури I типа. Видимо, только в таких активных областях есть условия для генерации и излучения в межпланетную среду потоков быстрых электронов. В [53] дано качественное описание модели активной области, согласно которой из группы солнечных пятен в корону непрерывно поступают быстрые электроны, ответственные за радиоизлучение шумовой бури, а после некоторых хромосферных вспышек нарушается магнитная ловушка над этой группой пятен и создаются условия для дополнительного ускорения и перехода части тепловых электронов в окосолнечное пространство. В результате у Земли наблюдается всплеск электронного потока.

Вопрос о связи гектометровых бурь из всплесков III типа с потоками электронов рассмотрен в [57] на примере событий в августе 1968 года, когда на поверхности Солнца наблюдались одновременно две близко расположенные активные области № 9593 и № 9597. При этом только с активной группой пятен № 9597 был связан источник метровой шумовой бури I типа. Большинство хромосферных вспышек в описываемых центрах активности имели показатель  $S\beta$ , т.е., видимо, были слишком слабыми, чтобы вызвать всплески электронного потока у Земли,

хотя лошировались они в области долгот  $30^{\circ}$  -  $60^{\circ}$  к западу от центра диска Солнца. После этих вспышек произошло увеличение только фонового потока быстрых электронов, энергии 10-100 кэв которых достаточно, однако, для генерации наблюдавшихся в то же самое время в большом количестве ГКМ всплесков Ш типа [58,59]. Согласно [57] существование в активной области источника шумовой бури I типа является необходимым условием формирования в ней электронных потоков, способных возбуждать гектометровые всплески Ш типа. Все же, чтобы придти к полному пониманию процессов ускорения быстрых электронов, ассоциирующихся с активными в излучении бурь областями, необходима более детальная информация о физических условиях в этих областях и механизме шумовых бурь.

## Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Wild J.P., Radio Astronomy, Cambridge, 1957, p.321.
2. Wild J.P., Austral.J.Sci.Res.4A, 36, 1951.
3. Elgaröy Ö., Solar System Radio Astronomy, Athens Ionosph.Inst.Nat.Observ., 1965, p.201.
4. de Groot T., Recherches Astronomiques de l'observatoire D'Utrecht. XVIII(1), 1966.
5. Elgaröy Ö., Astrophys.Letters, 1, p.13, 1967.
6. Виткевич В.В. и Горелова М.В., Астрон.ж., 37, 622, 1960.
7. Elgaröy Ö., Nature, 180, 862, 1957.
8. Elgaröy Ö., Paris Symposium on Radio Astronomy, Stanford Univ.Press, 1959, p.248 (Радиоастрономия, ИЛ, 1961, стр. 241).
9. Wild J.P., Tlamicha A., Nature, 203, 1128, 1964.
10. Hanasz J., Austral.J.Phys., 19, 635, 1966.
11. Ellis G.R.A., McCulloch P.M., Austral.J.Phys., 20, 583, 1967.
12. Elgaröy Ö., Ugland O., Astron.& Astrophys., 5, 372, 1970.
13. Tlamicha A., Trivsky L., Olmr Y., Bull.Astron. Inst.Czechoslovakia, 15, 49, 1964.
14. Boischot A., de la Noë J., Møller-Pedersen B., Astron.& Astrophys., 4, 159, 1970.
15. Warwick J.W., Solar System Radio Astronomy, Athens, Ionosph.Inst.Nat.Observ., 1965, p.131.

16. Wild J.P., Radio Astronomy. IAU Symp., n.4,p.32
17. Elgaröy Ö., Astrophys.Now., 7, 123, 1961.
18. Fainberg J., Stone R.G., Solar Phys., 15, 222,  
1970.
19. Fainberg J., Stone R.G., Astrophys.J., 164(2),  
L 123, 1971.
20. Komesaroff M.M., Austral.J.Phys., 11, 2<sup>1</sup>, 1958
21. Tsuchiya A., Publ.Astron.Soc.Japan, 15, 368,  
1963.
22. Kai K., Publ.Astron.Soc.Japan, 14, 1, 1962.
23. Fokker A.D., Solar System Radio Astronomy  
Athens, Ionosph.Inst.Nat.Observ., 1965,p.171.
24. Morimoto M., Publ.Astron.Soc.Japan, 15, 46,  
1963.
25. Dodson H., Proc.IRE, 46, 149, 1958.
26. Suzuki S., Ann Tokyo Astron.Observ., 7,75,1961
27. Fokker A.D., Studies of Enhanced Solar Radio  
Emission at Frequencies Near 200 MHz,thesis,  
Leiden 1960,
28. Курковская Л.М., Изв.СНАО, 32, 76, 1964.
29. Vinokur M., Ann. d'Astrophys., 31, 457, 1968.
30. Wild J.P., Proc.ASA 1, 38, 1967.
31. Daigne G., Nature 220, 567, 1968.
32. Kai K , McLean D.J., Payten W.J., Sheridan G.V.  
Wild J.P., Proc.ASA, 1, 79, 1968.
33. Lantos-Jarry M.F., Solar Phys. 15, 40, 1970.



34. Чикачев Б.М., Тр. 5-го совещания по вопросам космологии, Изд.АН СССР, 1956, стр. 245.
35. Le Squeren A.-M., Ann.d'Astrophys., 26, 97, 1963
36. Avignon Y., Boischot A., Simon P., Paris Symposium on Radio Astronomy, Stanford Univ.Press 1959, p.240 (Радиоастрономия, ИЛ, 1961, стр. 236).
37. Blume E.J., Denisse J.F., Steinberg J.L., Proc. IRE 46, 39, 1958.
38. Kai K., solar Phys., 11, 456. 1970.
39. Wild J.P., Sheridan K.V., Proc.IRE 46, 160, 1958.
40. Högbom J.A., Paris Symposium on Radio Astronomy, Stanford Univ.Press, 1959, p.251. (Радиоастрономия, ИЛ, 1961, стр. 248).
41. Goldstein S.J., Astrophys.J., 130, 393, 1959.
42. Ерухимов Л.М., Кунилов М.В., Рапопорт В.О., Урядов В.П., Изв. ВУЗов, Радиофизика, XIII, 1568, 1970.
43. Morimoto M., Kai K., Publ.Astron.Soc.Japan 13, 294, 1961.
44. McLean D.J., Proc.ASA 1, 188, 1969.
45. Sakurai K., Stone R.G., Solar Phys., 19, 247, 1971
46. Martres M., Pick M., Parks G.K., Solar Phys. 15, 48, 1970.
47. Ness N.F., Wilcox J.M., Solar Phys. 2, 351, 1967.
48. Schatten K.H., Ness N.F., Wilcox J.M., Solar Phys. 5, 240, 1968.
49. Sakurai K., Publ.Astron.Soc.Japan, 18, 350, 1966.
50. Sakurai K., Rep.Ionosph.Space Res.Japan, 20, 501, 1966.

51. Fainberg J., Stone R.G., Solar Phys., 15, 433,  
1970.
52. Lin R.P., Anderson R.A., Solar Phys., 1, 446,  
1967.
53. Sakurai K., Solar Phys., 16, 198, 1971.
54. Lin R.P., Solar Phys., 12, 266, 1970.
55. Anderson K.A., Lin R.P., Phys.Rev.Letters, 16,  
1121, 1967.
56. Van Allen J.A., Krimigs S.M., J.Geophys.Res.,  
70, 5737, 1965.
57. Sakurai K., Solar Phys. 16, 125, 1971.
58. Sakurai K., Publ.Astron.Soc.Japan, 19, 316, 1967
59. Sakurai K., Stone R.G., Trans.Am.Geophys.Union  
51, 416, 1970.

## ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

- Рис. 5. Среднее значение степени поляризации всплесков 1 типа в зависимости от положения источника относительно центра диска Солнца.
- Рис. 8а, б. Восточно-западное распределение всех всплесков 1 типа в течение шумовой бури (а - простой источник, б - двойной источник). \* - средние координаты всплесков. Внизу отрезками сплошных линий показаны источники континуума.
- Рис. 10а. Биполярная структура источника шумовой бури 21 окт. 1968 г. в  $03^h 30^m 08^s UT$ . На диске Солнца изофотами показаны компоненты с левой и правой круговой поляризацией. Контуры 1, 2 и 4 соответствуют уровням мощности  $1/\sqrt{2}$ ,  $1/2$  и  $1/4$  относительно наиболее яркой точки для правой (RH) и 0 - для левой (LH) поляризации полного излучения бури равна 60% RH.
- Рис. 10б. Взаимное положение в картинной плоскости источников шумовой бури и всплесков Ш типа 21 окт. 1968 г. Изофоты по половине интенсивности. Тонкими линиями показаны униполярные источники Ш типа. Изофоты в восточной полусфере соответствуют источнику бури с биполярной структурой в  $03^h 30^m 11^s UT$  и униполярному источнику всплеска Ш типа в  $03^h 30^m 18^s UT$ . Источник бури в западной полусфере не имел выраженной биполярной структуры (изофоты в момент  $00^h 55^m 22^s UT$ ); вид ассоциирующегося с ним источника Ш типа относится к  $00^h 55^m 30^s UT$ .
- Рис. 13. Структура активной области с источником шумовой бури и граница секторов межпланетного магнитного поля.

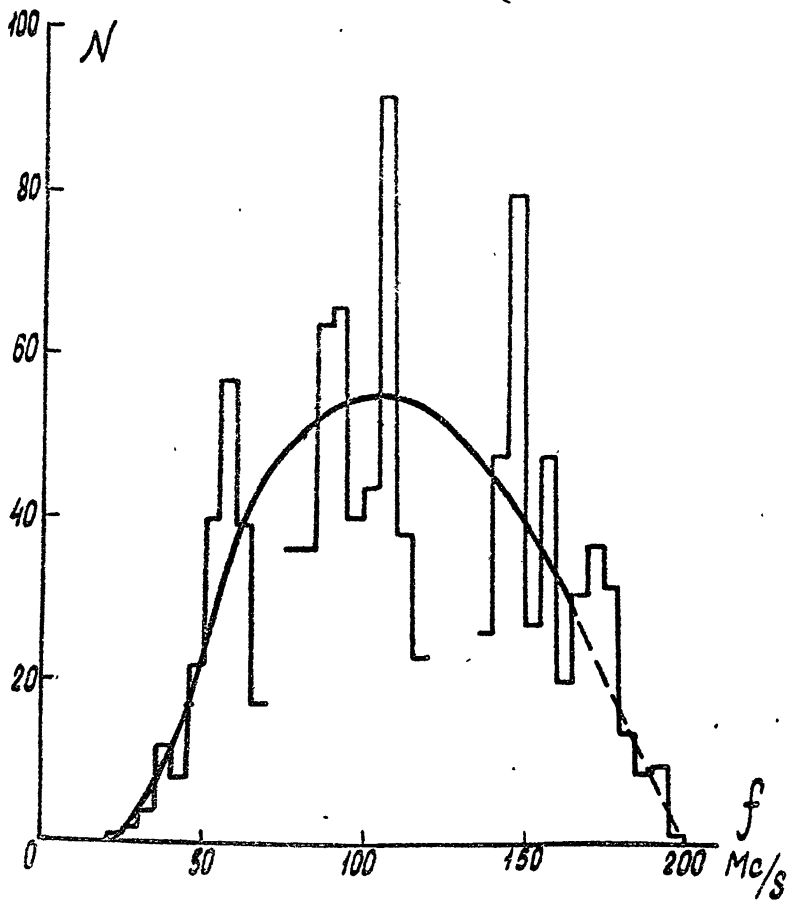


рис. 1

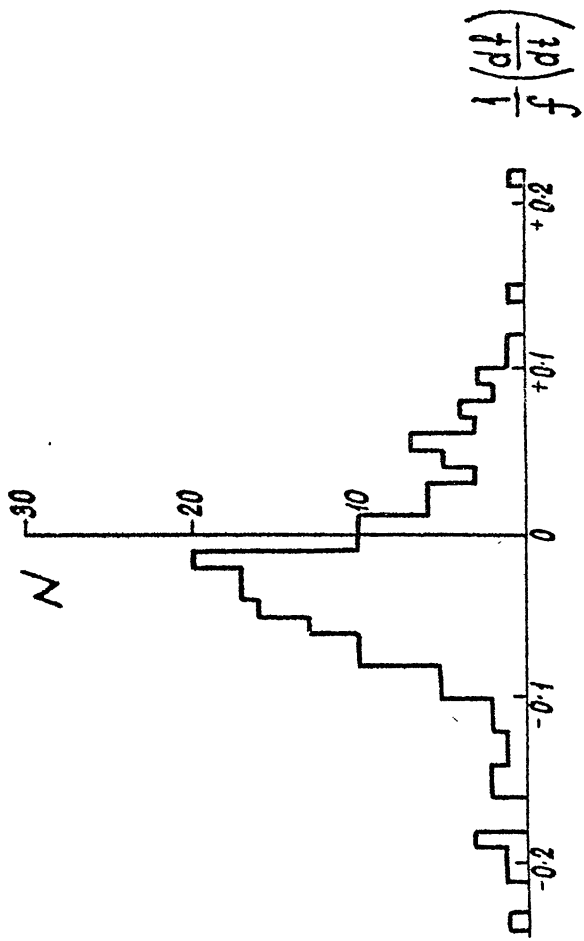


Рис. 2

$\lambda = 1.3 \mu$

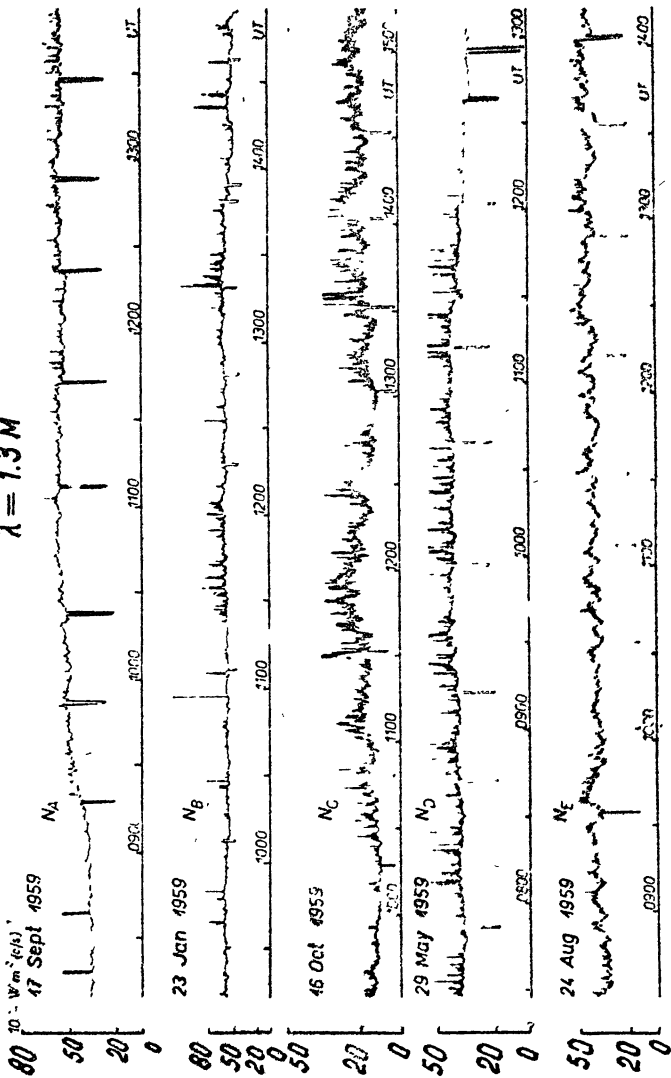
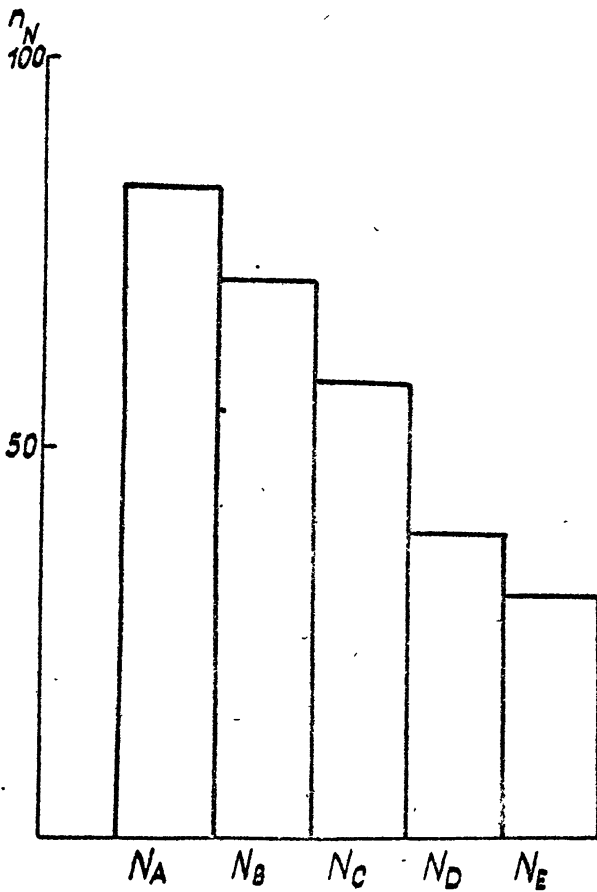
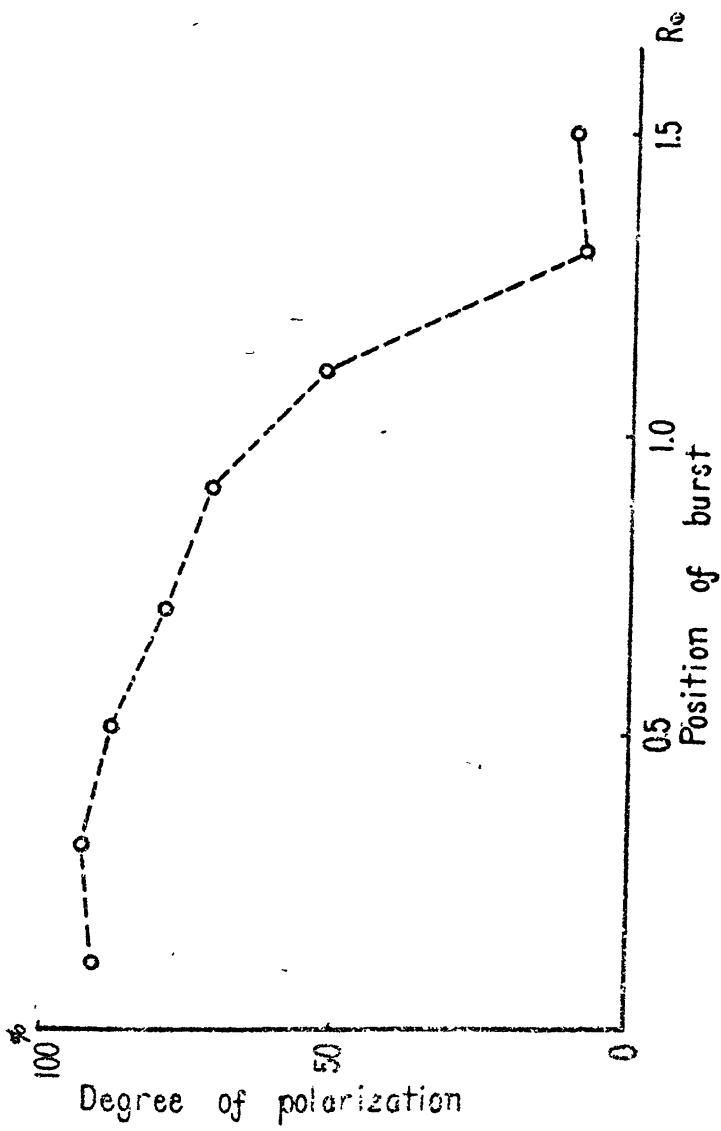


Fig. 3

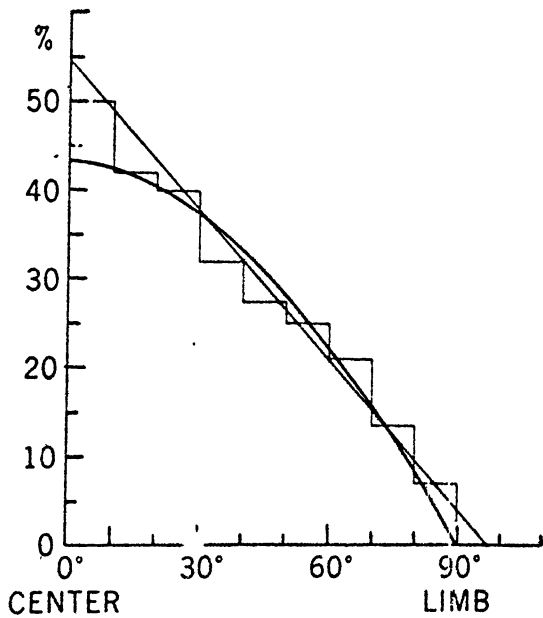


р.ч. 4.



*Puc. 5.*





ANGULAR DISTANCE FROM THE CENTRAL MERIDIAN

*Plc. 6.*

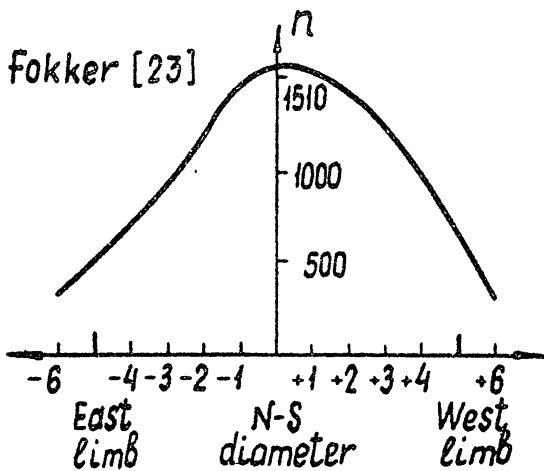


Рис. 7.

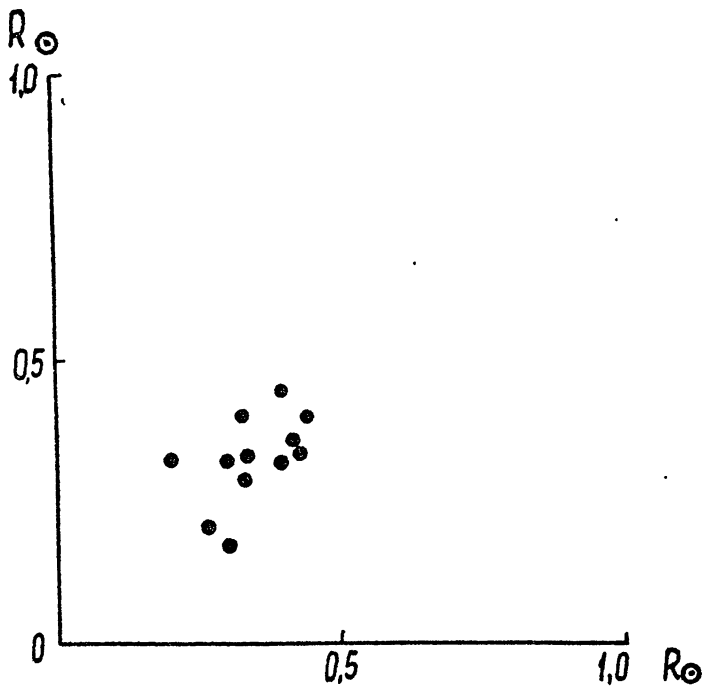
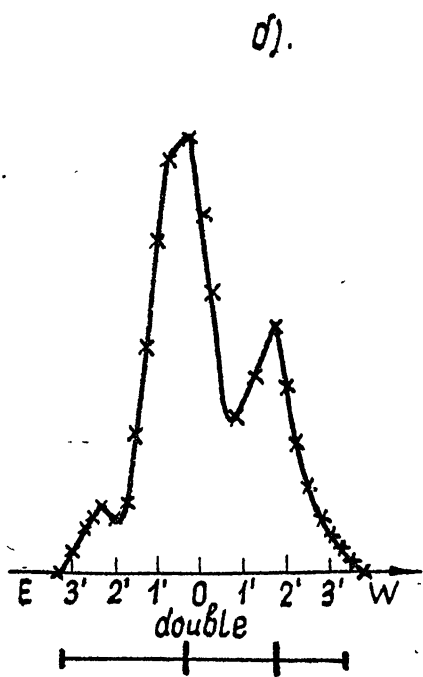
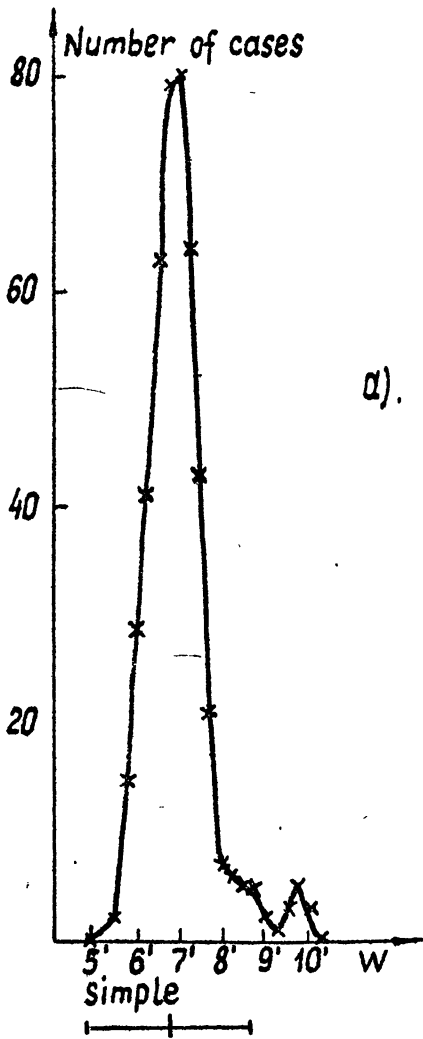
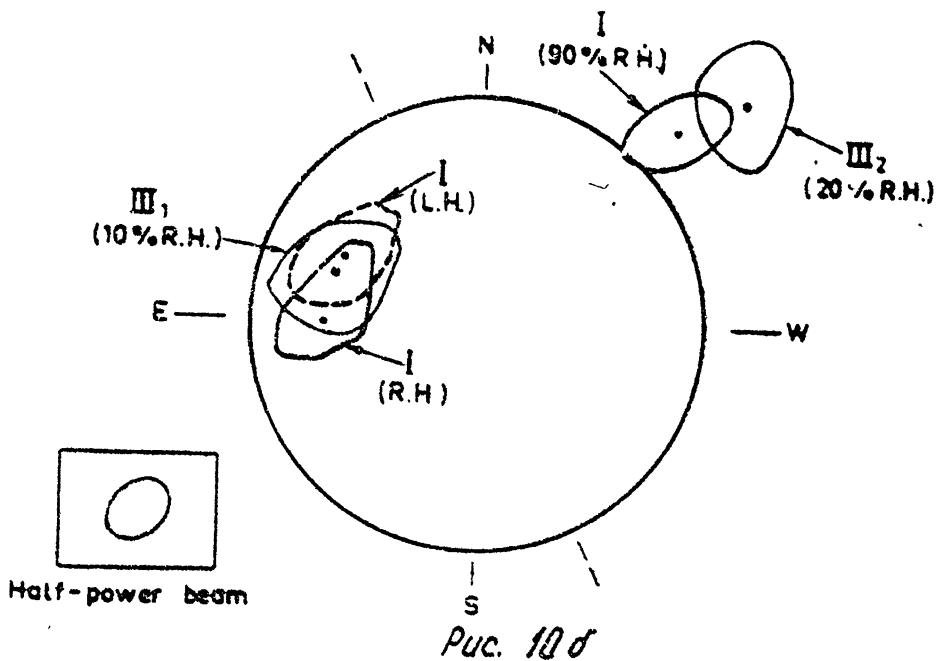
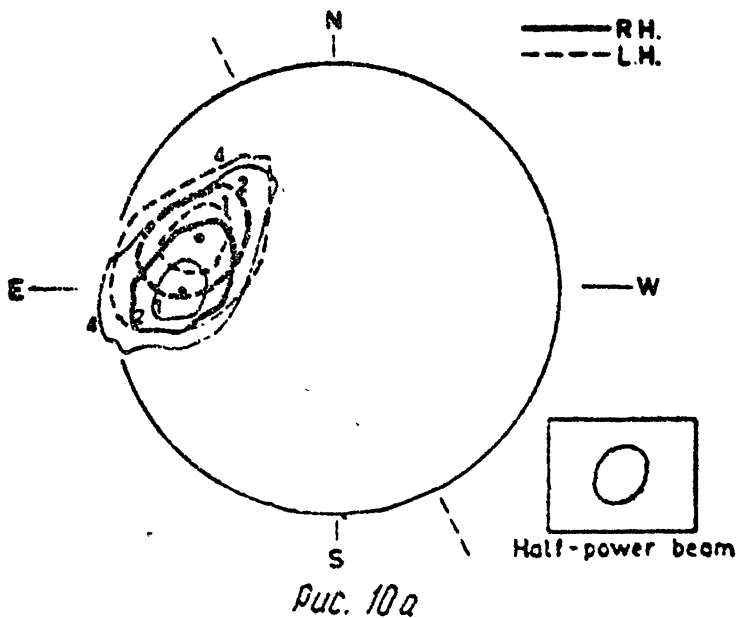


Рис. 8.



Puc. 9



8 января, 1969

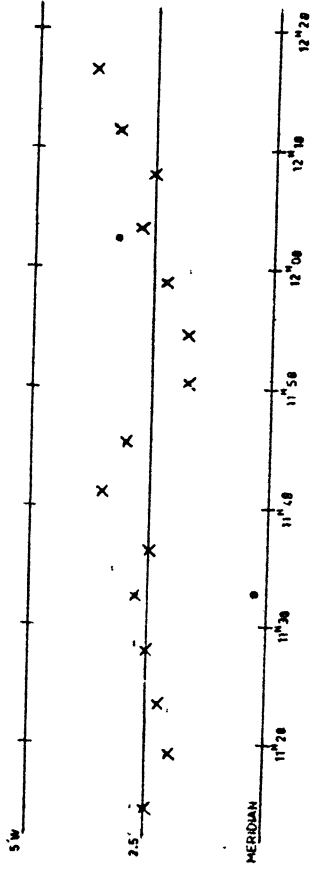
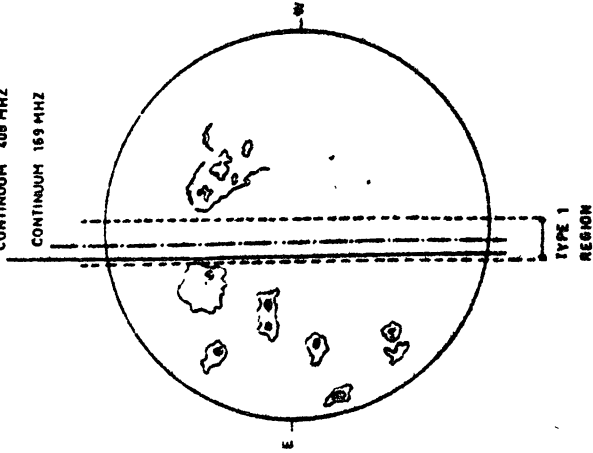


Рис. 11

a)

CONTINUUM 408 MHz

CONTINUUM 189 MHz

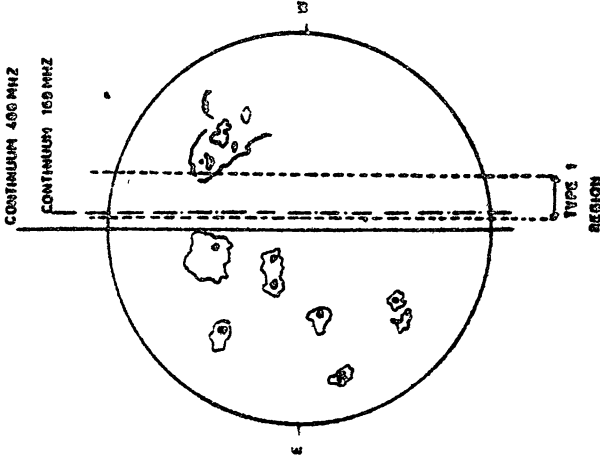


JANUARY 7, 1969

b)

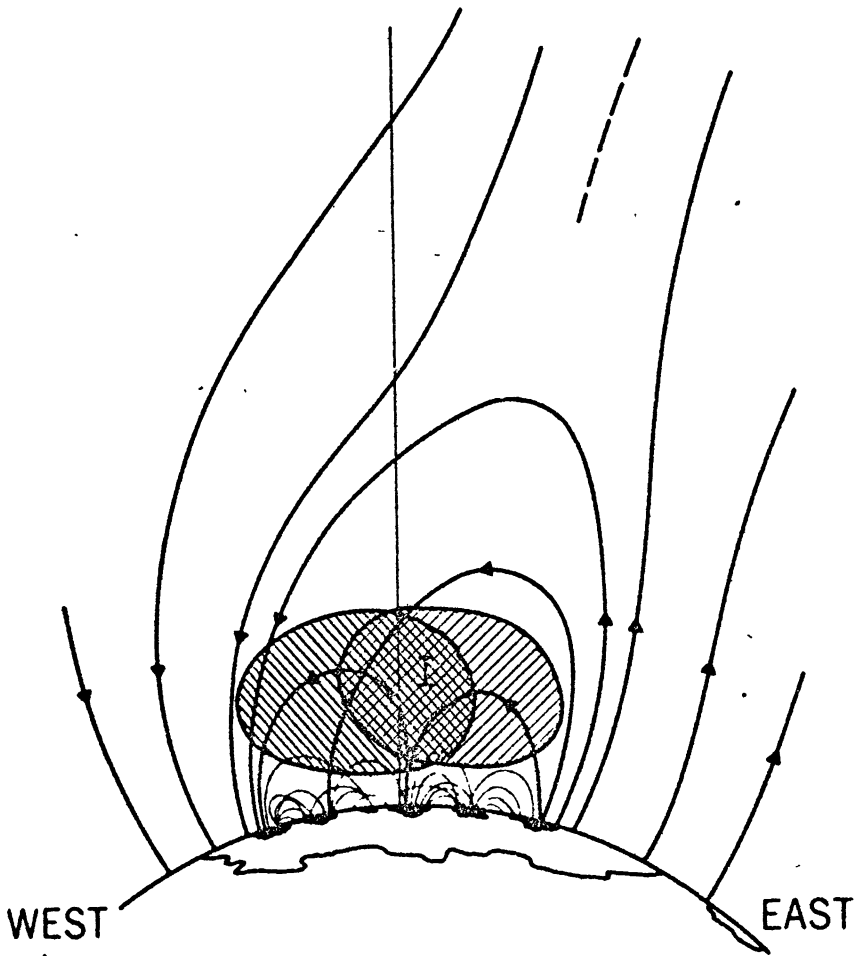
CONTINUUM 460 MHz

CONTINUUM 168 MHz

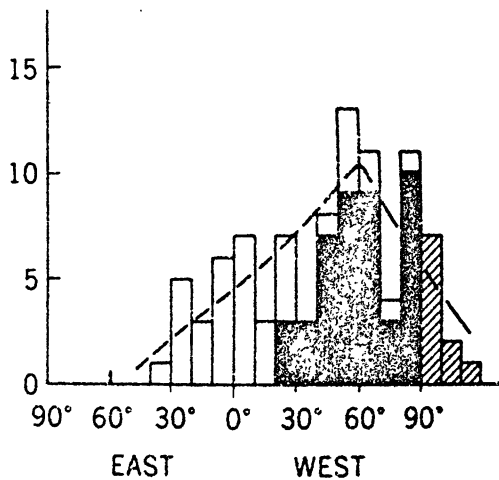


JANUARY 6, 1969

PUC. 12



*Puc. 13*



*рис. 14*



## СОДЕРЖАНИЕ

	стр.
1. Свойства принимаемого у Земли радиоизлучения шумовых бурь 1 типа . . . . .	1
а) Динамический спектр шумовых бурь в метровом диапазоне волн . . . . .	1
б) Декаметровые и гектометровые бури . . . . .	7
в) Поляризация радиоизлучения бурь . . . . .	8
2. Свойства области источника шумовых бурь по наблюдениям радиоизлучения . . . . .	11
а) Диаграмма направленности источников радиобурь . . . . .	11
б) Строение источника бури и положение его в короне . . . . .	12
3. Источники радиобурь и корональные магнитные поля . . . . .	15
4. Шумовые бури и потоки энергичных электронов.	19
Литература . . . . .	22
Подписи к рисункам . . . . .	26
Рисунки . . . . .	27-39