

Министерство высшего и среднего специального образования
Р С Ф С Р

Ордена Трудового Красного Знамени
Научно-исследовательский радиотехнический институт (НИРФИ)

Препечат № 83

О СУЩЕСТВОВАНИИ СВЯЗИ
КВАЗИПЕРИОДИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ С
ПЕРИОДАМИ БОЛЕЕ 20 МИНУТ В РАДИОИЗЛУЧЕНИИ
СОЛНЦА НА ВОЛНЕ 3 СМ С ВОЗНИКНОВЕНИЕМ
ПРОТОННЫХ ВСПЫШЕК.

М.М.Кобряк, А.И.Коршунов, С.И.Арбузов,
Б.В.Пахомов, Б.М.Фридман

Горький - 1975 г.

Одним из новых и перспективных методов исследования Солнца является изучение флуктуаций его радиоизлучения [1]. Ценную информацию можно получать, исследуя квазипериодические компоненты во флуктуациях излучения, происхождение которых связано с какими-либо волновыми (колебательными) движениями в активных областях Солнца [2]. Так уже первые эксперименты на антеннах с высоким угловым разрешением показали наличие связи некоторых квазипериодических компонент флуктуаций солнечного радиоизлучения (периоды 180 сек, 600–900 сек) с солнечной активностью [3]. Измерения на интерферометре с малой базой подтвердили, что для активных областей наиболее четко проявляются квазипериодические компоненты с периодами 600–900 сек [4]. Кроме того, было отмечено возрастание амплитуды квазипериодических компонент с ростом активности Солнца [5]. Поскольку квазипериодические компоненты флуктуаций солнечного радиоизлучения являются отражением волновых (колебательных) процессов в атмосфере Солнца, тем самым, есть основания полагать, что они связаны и с процессами передачи энергии, ее накопления и поэтому могут быть, своего рода, индикатором предвспышечной неустойчивости. Однако, непосредственной связи квазипериодических компонент с периодами 10–15 минут со вспышками найти не удалось [4]. Тем не менее, представляется вероятным, что квазипериодические компоненты флуктуаций солнечного радиоизлучения с большими периодами могут быть непосредственно связаны с процессами, происходящими в активном центре перед возникновением мощных

вспышек. Причем можно ожидать, что возникновение предвспышечной неустойчивости особенно четко проявит себя во флуктуациях частотного спектра малотормозного излучения активной области и в поляризованном излучении, так как изменение этих характеристик в большой степени связано с вариациями магнитных полей в активном центре.

С целью изучения солнечной активности и ее связи с квазипериодическими компонентами флуктуаций радиоизлучения нами была проведена серия экспериментов [6], во время которых было зарегистрировано несколько событий на Солнце, сопровождавшихся сильными потоками протонов. Измерения проводились как на остроуправленных антеннах (угловое разрешение порядка размеров активной области), так и с диаграммами направленности большими размерами Солнца. В проведенных экспериментах регистрировались интенсивность и наклон спектра солнечного радиоизлучения, а также, в одном случае и поляризованное излучение. Некоторые результаты измерений и, в частности, обнаруженное возникновение и увеличение некоторых квазипериодических компонент флуктуаций наклона спектра радиоизлучения в предвспышечный период опубликованы в работах [7, 8, 9]. Для увеличения времени наблюдения и, таким образом, возможности более уверенного выделения квазипериодических компонент с периодами до нескольких часов были организованы специальные наблюдения за Полярным Кругом. Ниже приведены результаты измерений, полученных в периоды, когда на Солнце произошли протонные вспышки 07.03.70 г., 01.09.71 г., 02.08.72 г., 04.08.72 г., 07.08.72 г., 03.07.74 г., 04.07.74 г. [10, 11, 12, 13].

1. Вспышка 7-го марта 1970 г.

Наблюдения проводились на радиотелескопе с параболической антенной диаметром 2 метра и с супергетеродинным приемником, на входе которого был установлен параметрический усилитель. Регистрировались интенсивность, поляризация и наклон спектра солнечного радиоизлучения на волне 3 см. Флуктуационный порог чувствительности по каждому каналу 3°K , $0,8^{\circ}\text{K}$, $0,8^{\circ}\text{K}$ соответственно (при постоянной интеграции $\tau = 1$ сек) [14]. Анализируя записи,

полученные 05.03.70 г. и 06.03.70 г. можно заключить, что по мере приближения ко дню возникновения протонной вспышки 7-го марта отмечается увеличение амплитуды флуктуаций наклона спектра и поляризованного излучения Солнца, достигающее величины 1,5–2,0% от уровня "спокойного" Солнца, рис. 1 а, б. Причем 1-го марта эта величина не превышала 0,5%. Флуктуации наклона спектра принимают отчетливо выраженный периодический характер с периодом около 30 минут. В записях интенсивности радиоизлучения столь явно выраженной периодичности не наблюдалось. Полученные реализации, длительность которых не превышает 3-х часов, не позволяют говорить о четком выделении более долгопериодных компонент.

2. Вспышка 1-го сентября 1971 г.

Проводилось измерение интенсивности солнечного радиоизлучения на волне 3 см на 2-х метровом радиотелескопе [15]. Длительность реализации (6,5 часов) позволяет уверенно говорить о появлении и существенном увеличении 27-го августа квазипериодической компоненты с периодом около 80 минут (до 2–3% от T "спок" C), которая до 26-го августа не проявлялась, рис. 2. Интересно отметить, что вспышка 1-го сентября произошла на краю солнечного диска.

3. Вспышки 2-го, 4-го и 7-го августа 1972 г.

Наблюдения проводились за полярным кругом, что позволило довести непрерывное время наблюдения до 15 часов. Измерения проводились ежедневно с 15 июля до 16 августа. Радиотелескоп с параболическим зеркалом диаметром 2 метра и супергетеродинным приемником регистрировал разность и сумму интенсивностей радиоизлучения на частотах 9870 МГц и 9670 МГц. Флуктуационный порог чувствительности приемника при $\tau = 1$ сек $2,5^{\circ}\text{K}$ и $1,5^{\circ}\text{K}$ для каждого приемного канала соответственно [7].

Возникшие в начале августа 1972 г. мощные вспышки были причиной необычно интенсивных радиовсплесков в широком диапазоне волн, сильных выбросов энергичных частиц и повышенной геомагнитной активности [12]. Все три

вспышки были классическими протонными. Они возникли в активном центре со сложной структурой магнитных полей (МС МАТН 11976). Вспышкам предшествовало возникновение больших градиентов магнитного поля вблизи нейтральной линии. На восточном лимбе эта активная область появилась 29-го июля 1972 г.

На рис. 3 а,б,в,г приведены наиболее характерные, усредненные по интервалу $\Delta t = 20$ минут записи интенсивности и наклона спектра, сделанные 29-го июля, 31 июля, 1 и 7 августа 1972 г. Виден явно выраженный периодический характер изменения наклона спектра (разности интенсивностей) в предвспышечный период. В записях интенсивности такой же периодичности не наблюдается, хотя в спектре мощности флуктуаций присутствуют различные квазипериодические компоненты. Наблюдаемые периоды, как видно на рисунке, не постоянны, а меняются в течение времени наблюдения. Именно этим обусловлен разброс периодов квазипериодических компонент, приведенных на рис. 4 [9]. Причиной этого, вероятнее всего, является изменение структуры активной области и, в частности, изменение ее размеров, непрерывное возникновение и исчезновение отдельных деталей группы, что вызывает соответствующие изменения в конфигурации магнитного поля. Такие изменения в группе хорошо наблюдались в течение ее прохождения по диску Солнца. Как и в предыдущих случаях отмечается возрастание величины амплитуды колебаний наклона спектра и флуктуаций интенсивности радиоизлучения в предвспышечный период развития активного центра. Достаточная длительность реализаций позволила исследовать наличие и поведение квазипериодических компонент с периодами более 30 минут. Наиболее важным результатом явилось, то, что характер изменения амплитуды флуктуаций различен для квазипериодических компонент с разными периодами. На рис. 5 показано изменение средней за интервал непрерывного наблюдения величины амплитуды флуктуаций интенсивности и наклона спектра радиоизлучения Солнца за время с 29-го июля по 10 августа 1972 г. Крестиками отмечено изменение величины квазипериодических компонент с периодами менее 15-20 минут. Их увеличение началось с появлением активной области из-за восточного лимба, и, насколько можно судить, не связано с происшедшим протонными вспышками,

так как их интенсивность не менялась непосредственно ни до, ни после вспышек. Для компонент с периодами более 30 минут имеет место тесная связь изменения их интенсивности со вспышками. За несколько дней до протонной вспышки происходит возрастание интенсивности этих компонент и сразу после вспышки их резкое уменьшение.

4. Вспышки 3-го и 4-го июля 1974 г. Результаты.

наблюдения с высоким угловым разрешением.

Для исключения возможного наложения флуктуаций от различных образований солнечной атмосферы были проведены эксперименты на радиотелескопе РТ-22, имеющим на волне $\lambda = 3$ см угловое разрешение около 5 угл. мин. Это позволило исследовать квазипериодические компоненты флуктуаций радиоизлучения отдельной активной области (McMATH 13043) в которой произошли вспышки 3-го и 4-го июля 1974 г., а также невоспыхнувшей активной группы McMATH 13057. Для измерений использовался радиометр с флуктуационным порогом чувствительности $\delta T = 1^\circ K$ при постоянной времени интегрирования 1 сек. Регистрировался наклон спектра радиоизлучения активной группы [16]. Группа McMATH 13043 появилась из-за восточного края солнечного диска 29-го июня 1974 г. и представляла собой развитую группу пятен сложной структуры. На рис. 6а,б,в,г,д,е показаны усредненные по интервалу 20 минут записи наклона спектра, полученные 27.06.74 г., 30.06.74 г., 01.07.74 г., 02.07.74 г., 03.07.74 г., 04.07.74 г. На записи 27-го июня трудно выделить визуально какие-либо квазипериодические компоненты. Заметные флуктуации появились 30-го июня. 1-го и 2-го июля, то есть за три дня до вспышки, отмечается существенное увеличение амплитуды флуктуаций. Изменение наклона спектра принимает явно выраженный квазипериодический характер. На рис. 7 показано изменение средней за интервал непрерывного наблюдения величины квазипериодических компонент флуктуаций с различными периодами в интервале времени с 27-го июня до 8 июля 1974 г. Поведение флуктуаций наклона спектра аналогично событиям августа 1972 г. На рис. 8 приведена гистограмма периодов квазипериодических компонент флуктуаций наклона спектра,

визуально выделяемых на полученных записях. При сопоставлении активной области McMATH 13057 таких флуктуаций не наблюдалось, рис. 6 ж.

5. Заключение.

На основании приведенного экспериментального материала можно заключить, что имеется тесная связь между определенными компонентами флуктуаций и сильными проявлениями солнечной активности. Величина флуктуаций как наклона спектра так и интенсивности радиоизлучения активных областей заметно возрастает, причем за несколько дней до вспышки начинают четко проявляться квазипериодические компоненты с периодами более 30–40 минут, которые видны на записях без специальной обработки. Аналогичная картина наблюдалась в августе 1972 г. с ИСЗ на частоте 350 кГц [21]. Непосредственно перед вспышками квазипериодические изменения наклона спектра проявляются особенно сильно. Интересно отметить, что колебания с такими же периодами наблюдаются и во всплесках радиоизлучения, генерируемых во время протонных вспышек [7].

В интервале наблюдений за время с 1969 года по 1974 год было зарегистрировано 7 протонных вспышек. Перед всеми вспышками за несколько дней наблюдалось резкое возрастание величины флуктуаций наклона спектра радиоизлучения Солнца. При достаточно длинных реализациях можно было четко обнаружить заметное увеличение (до нескольких процентов от излучения "спокойного" Солнца) квазипериодических компонент с периодами более 30 минут. Интенсивность этих компонент уменьшается сразу после вспышки. Общий цикл наших экспериментов с 1969 года по 1974 год включительно захватывает около 120 дней. Однако, во время этих наблюдений, кроме описанных выше протонных событий, не было случая аналогичного возрастания амплитуды квазипериодических компонент с такими периодами, хотя в этот период неоднократно регистрировались сравнительно слабые проявления солнечной активности. Поскольку описанные явления наблюдались почти в течение половины солнечного цикла и их общий характер сохранялся, насколько можно судить по приведенному экспериментальному материалу, можно предположить, что процессы предвспышечной неустойчивости обусловлены общим механизмом или определенным классом

структур, не очень сильно отличающихся своими параметрами. Наличие характерных периодов квазипериодических компонент флуктуаций радиоизлучения перед вспышками можно объяснить, предполагая, как раскачивание корональных структур от некоторых подфотосферных колебательных процессов, так и возбуждение собственных колебаний при определенных условиях. В первом случае раскачка может быть вызвана, например, собственными колебаниями всего Солнца [17, 18], вращением ядра Солнца [19], собственными колебаниями тех или иных солнечных структур, которые могут возбуждать корональные конденсации, причем в предвспышечный период, связанный с неустойчивостью, эти колебания проявляются особенно сильно. Во втором случае самовозбуждение колебаний корональных структур может быть следствием возникновения различного типа неустойчивостей в корональной плазме, например, желобковой или балонной [20]. Различного вида плазменная неустойчивость, развиваясь, может явиться триггерным механизмом вспышки. В обоих случаях разрушение или изменение корональных структур при вспышке влечет за собой резкое уменьшение или изменение соответствующих компонент флуктуаций.

К сожалению, наши наблюдения долгопериодных компонент флуктуаций нельзя считать достаточными. Необходимо проведение дальнейших измерений и специальных исследований для изучения физики предвспышечных процессов. Тем не менее уже полученные данные позволяют надеяться, что наблюдаемые проявления предвспышечной неустойчивости во флуктуациях солнечного радиоизлучения открывают пути как для изучения этих процессов, так и для заблаговременного прогнозирования геоэффективных вспышек на Солнце.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кобрин М.М. Сборник докладов сессии Научного Совета по комплексной проблеме "Радиоастрономия", ИЗМИРАН, 13-16 октября, 27, 1970.
2. Кобрин М.М., Пахомов В.В., Прокофьева Н.А., **Solar Physics**, в печати.
3. Дурасова М.С., Кобрин М.М., и др. **Астрономический циркуляр**, № 531, 1969.
4. Гельфрейх Г.Б., Деревянко О.Г., Коржавин А.Н., Стасюк Н.П. **Солнечные данные**, № 9, 88, 1969.
5. Durasova M.S., Kobrin M.M., Yudin O.I., **Nature**, v.229, p.5282, 83, 1971.
6. Кобрин М.М. и др. Отчет по НИР "Исследование радиоастрономическими методами волновых движений в атмосфере Солнца". Гос. рег. № 78017727, НИРФИ, г. Горький, 1973.
7. Кобрин М.М., Коршунов А.И., Снегирев С.Д., Тимофеев Б.В. **Солнечные данные**, № 10, 79, 1973.
8. Кобрин М.М., Коршунов А.И., Пахомов В.В. **УФН**. т: 109, 773, 1973.
9. Коршунов А.И., Прокофьева Н.А. **Солнечные данные**, в печати.
10. **Solar Geophysical Data**, n.308, Part I, 1970
11. **Solar Geophysical Data**, Boulder, 1971.
12. **Report of Ionosphere and Space Research in Japan**, v.26, n.4, 287, 1972.

13. **Solar Geophysical Data**, n.360, Part I, 1974.
14. Белов И.Ф., Лебедев Е.И., Пивоваров В.Ф., Тимофеев Б.В., Фридман М.В., Хрулев В.В. Изв. ВУЗов Радиофизика, т. 17, № 2, 204, 1974.
15. Кобрин М.М., Пахомов В.В., Дурасова М.С., и др. Изв. ВУЗов, Радиофизика, т. 16, № 9, 1550, 1973.
16. Арбузов С.И., Пахомов В.В., Прокофьева Н.А. Солнечные данные, в печати.
17. Алешин В.И., Кобрин М.М., Коршунов А.И. Изв. ВУЗов Радиофизика, т. 17, № 5, 747, 1973.
18. **Charles L. Wolff, Astrophys. J.**, v. I974, n.2, Part I, p.489, I974.
19. **Jan W. Roxburgh, Nature**, v.248, n.5445, p.209, I974.
20. Пустильник Л.А., Стасюк Н.П. Изв. САО, 6, 55, 1974.
21. Григорьева В.П. **Астрономический циркуляр**. № 875, 5, 1975.

ПОДПИСИ К РИСУНКАМ

Фиг. 1 а, в. Записи поляризации (1), наклона спектра (2) и интенсивности (3) солнечного радиоизлучения, полученные 05.03.70 г. (а) и 06.03.70 г. (б).

Фиг. 2. Запись интенсивности радиоизлучения Солнца, полученная 27.08.71.

Фиг. 2 а, б, в, г. Записи наклона спектра (1) и интенсивности (2) солнечного радиоизлучения за 28-29.07.72 г. (а), 30-31.07.72 г. (б), 31.07-01.08.72 г. (в) и 06.-07.08.72 г. (г).

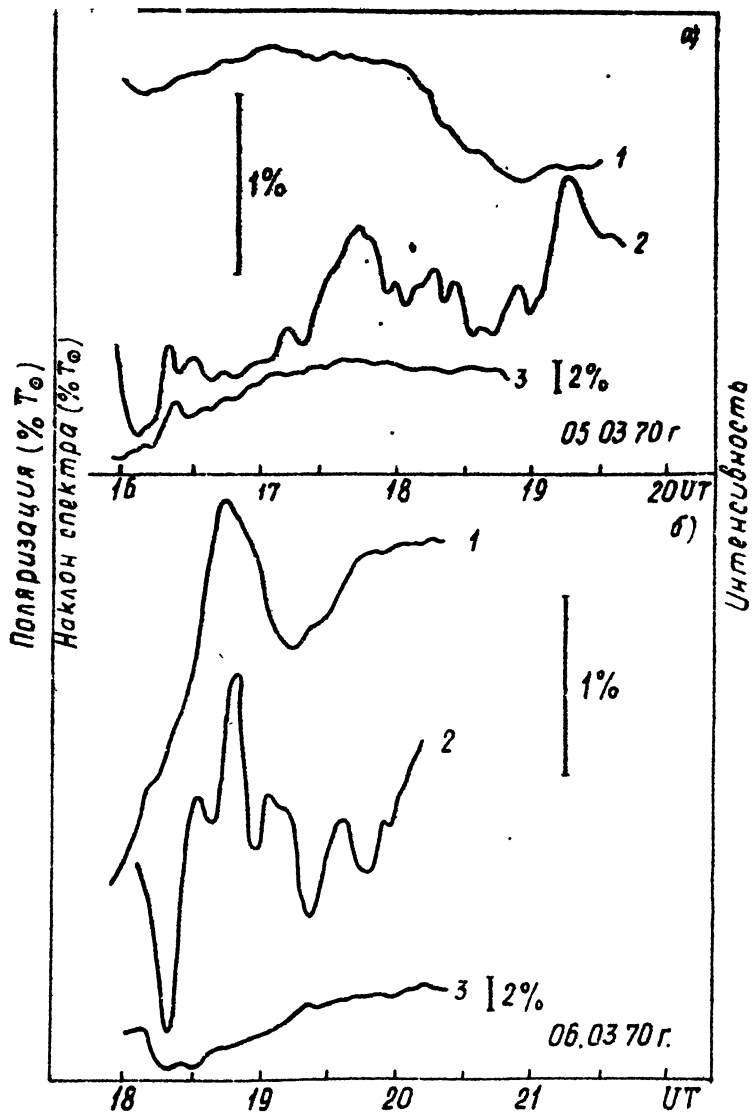
Фиг. 4. Периоды наблюдаемых с 29.01.72 г. по 08.08.72 г. квазипериодических компонент флуктуаций наклона спектра радиоизлучения Солнца.

Фиг. 5. Изменение величины амплитуды квазипериодических компонент флуктуаций интенсивности и наклона спектра радиоизлучения Солнца. На оси времени отмечены моменты возникновения протонных вспышек 02.08.72 г., 04.08.72 г. и 07.08.72 г.

Фиг. 6 а, б, в, г, д, е, ж. Записи наклона спектра радиоизлучения активной области Mc Math 13043 за 27.06.74 г. (а), 30.06.74 г. (б), 01.07.74 г. (в), 02.07.74 г. (г), 03.07.74 г. (д), 04.07.74 г. (е) и активной области Mc Math 13057 за 17.07.74 г. (ж).

Фиг. 7. Изменение величины квазипериодических компонент флуктуаций наклона спектра радиоизлучения активной области Mc Math 13043. На оси времени отмечены моменты возникновения протонных вспышек 03.07.74 г. и 04.07.74 г.

Фиг. 8. Периоды наблюдаемых с 30.06.74 г. по 05.07.74 г. квазипериодических компонент флуктуаций наклона спектра радиоизлучения активной области Mc Math 13043.



1-Поляризация , 2-Наклон спектра ; 3- Интенсивность
Рис. 1а,б

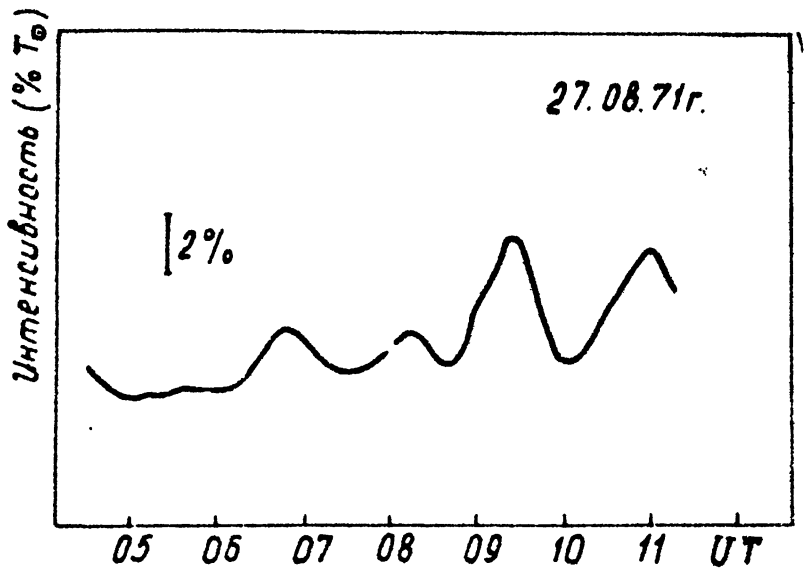
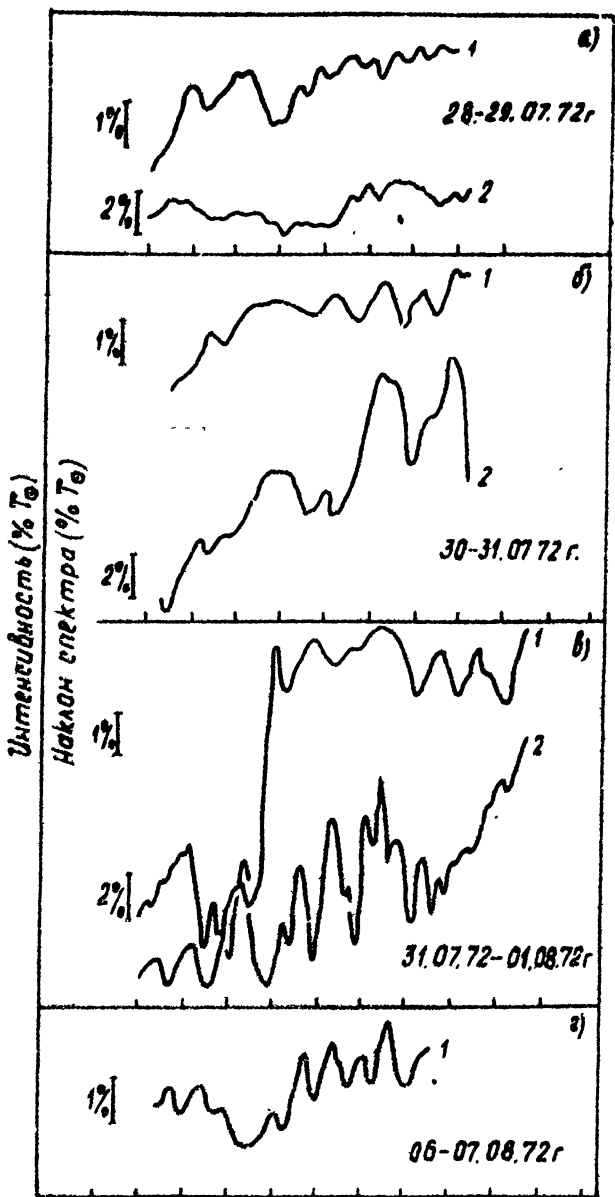


Рис 2



1- Наклон спектра ; 2- Интенсивность

Рис. 3а, б, в, г.

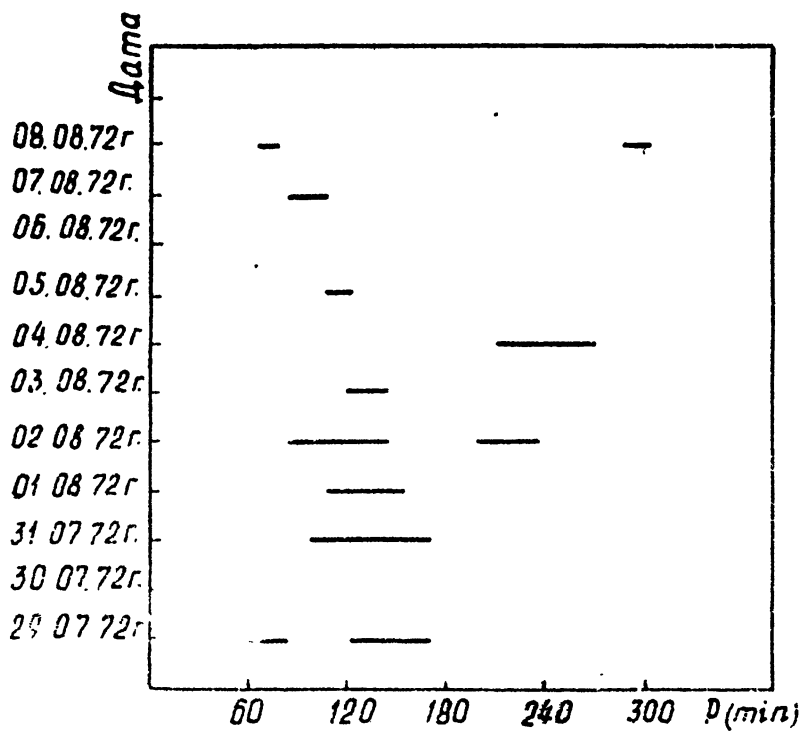


Рис 4

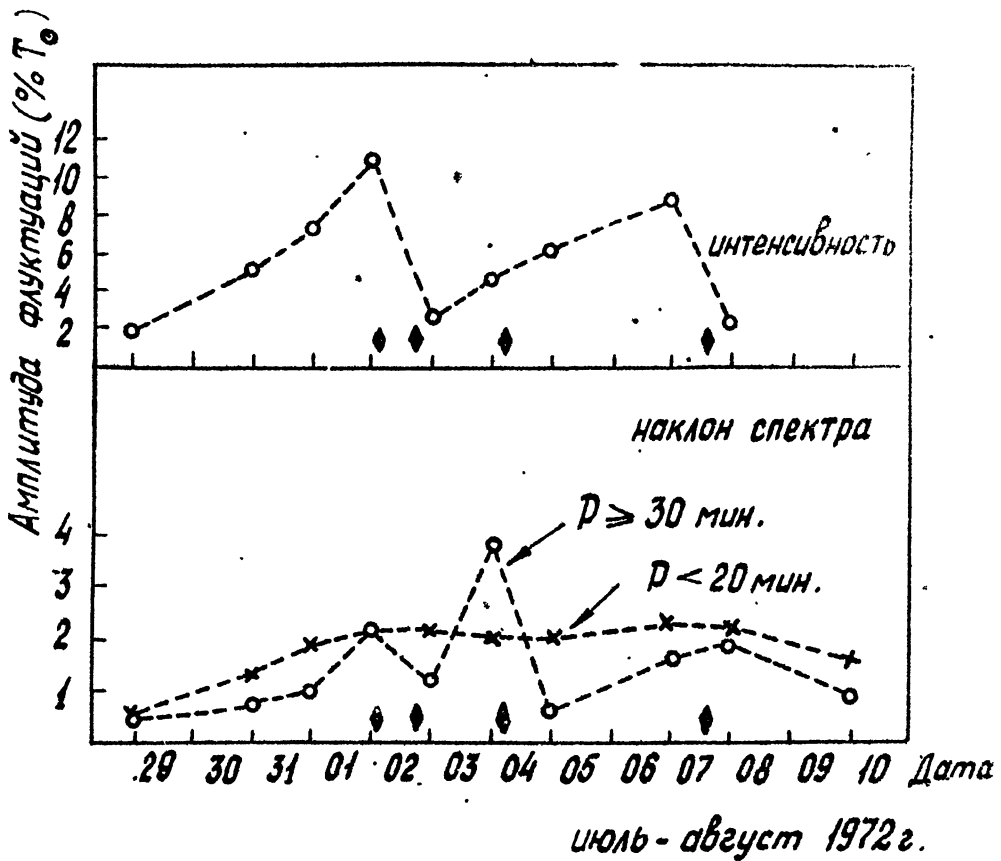


Рис. 5.

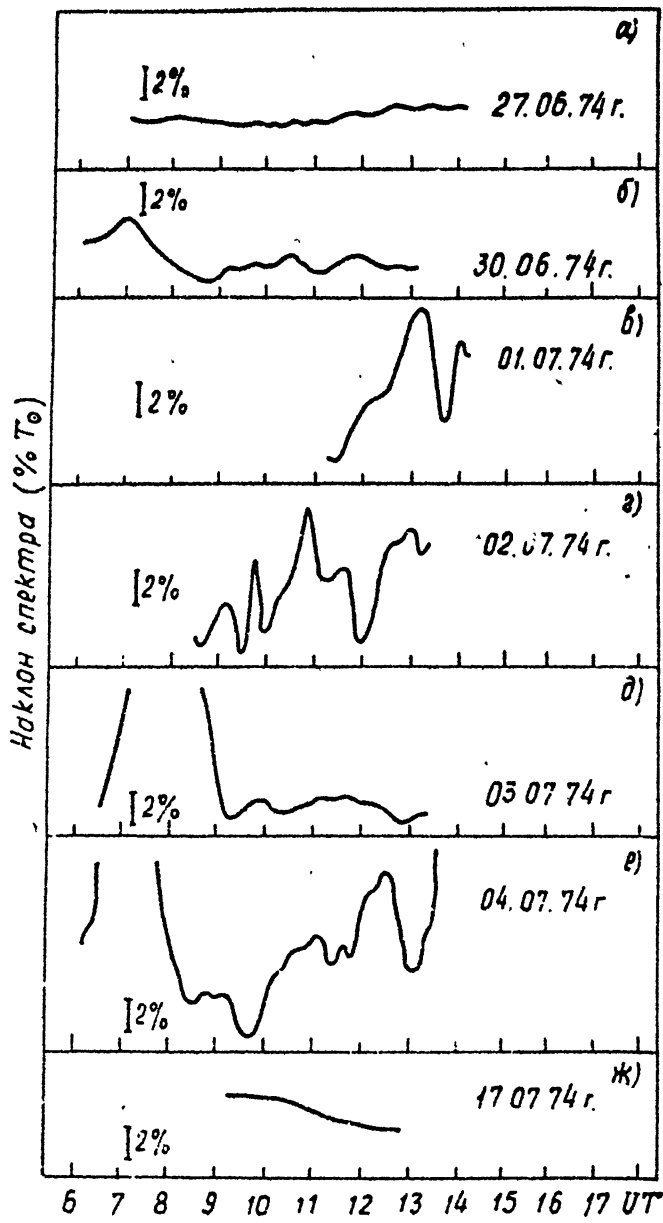
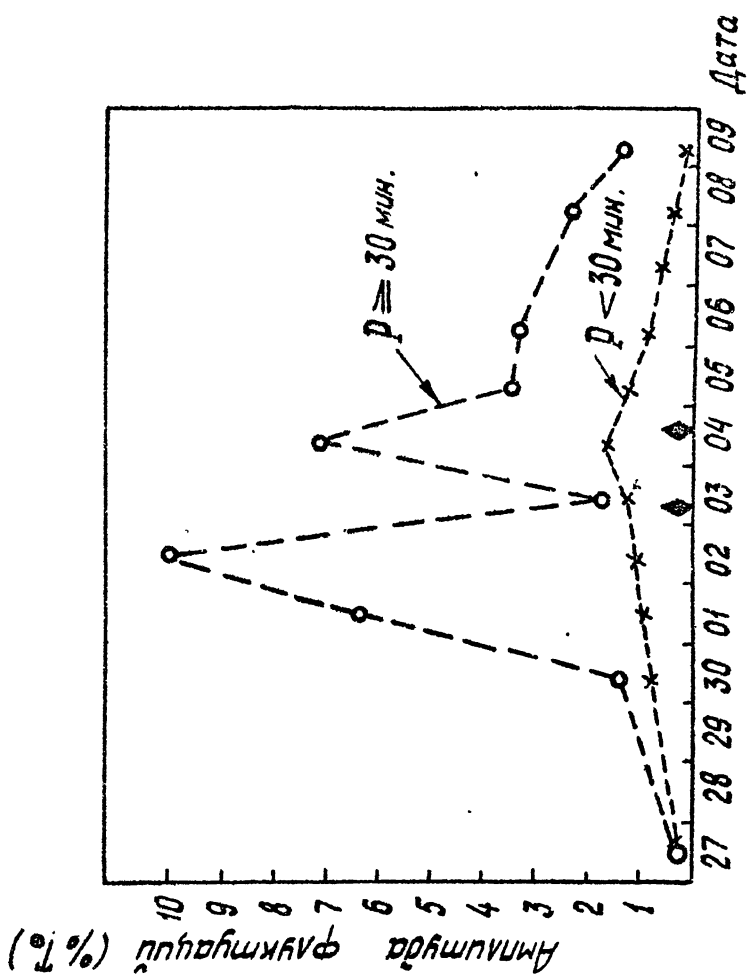


Рис б а, б, в, г, д, е, ж.



Июль - Июль 1974г.

Рис. 7

