

УДК 523.98

## Проявление синхронных изменений излучения активных областей на Солнце в сантиметровом диапазоне длин волн

*О.А. Голубчина*

Санкт-Петербургский филиал Специальной астрофизической обсерватории РАН, Россия

Поступила в редакцию 24 февраля 2006 г.

**Аннотация.** По данным наблюдений радиоизлучения Солнца в сантиметровом диапазоне длин волн (1.92–4.5 см) на РАТАН-600 в 1980, 1981, 1982 и 2001 гг. показано, что обнаруженные синхронные уярчения источников солнечного радиоизлучения, а следовательно, и симпатические всплески являются достаточно частыми явлениями.

Выявлены линейно коррелированные крупномасштабные временные компоненты динамики изменения потоков радиоизлучения источников на Солнце на временных масштабах равных двум–четырем часам по данным наблюдений на западном секторе РАТАН-600 в режиме “эстафеты” и на южном секторе в многоазимутальном режиме.

THE MANIFESTATION OF SYNCHRONOUS VARIATIONS OF SOLAR SOURCE CM-EMISSION, *by O.A. Golubchina*. The radio observations of the Sun at centimeter range (1.92–4.5) cm were carried out with the radio telescope RATAN-600 in 1980, 1981, 2001. These observations showed that revealed synchronous brightenings of solar radio sources and therefore, the sympathetic bursts are rather frequent events.

The linear-correlated large-scale temporal components in the dynamics of the variations of the solar source radio emission were revealed. It was made for the (2–4) hours interval observations by “relay” method (Western Sector) and by method of multi-azimuth observations (Southern Sector) with the RATAN-600.

**Ключевые слова:** Солнце, синхронные уярчения, источники солнечного радиоизлучения

---

### 1 Введение

Симпатические вспышки и всплески являются парными вспышечно-всплесковыми событиями, которые проявляются на Солнце почти одновременно в местах, удалённых друг от друга на расстояния вплоть до величин, превышающих  $10^6$  км (Голубчина, 2001; Накаджима и др., 1985; Огирь, 1982; Уайлд, 1969; Цханг и др., 2000). На РАТАН-600, начиная с 1980 г., проводятся наблюдения радиоизлучения Солнца для исследования синхронных уярчений источников солнечного радиоизлучения в сантиметровом диапазоне длин волн. Так как временное разрешение РАТАН-600 составляет минуты времени (а не секунды), то вместо термина “симпатические всплески” мы используем термин “синхронные уярчения”, что означает почти одновременное повышение относительных потоков нескольких источников солнечного радиоизлучения.

Уярчения считаем синхронными, если они зарегистрированы на интервале времени 2 – 2.5 мин., т. е. на интервале времени прохождения Солнца через главный лепесток диаграммы направленности антенны.

## 2 Обработка наблюдательных данных

Благодаря высокой чувствительности радиотелескопа РАТАН-600 по потоку, специально разработанным методикам наблюдений (метод “эстафеты” и метод “многоазимутальных наблюдений”), а также благодаря специально разработанной методике обработки данных наблюдений, полученных в период 9, 10 февраля 1980 г., 17, 24, 29 июля 1981 г., 11.09.01 г., на радиотелескопе РАТАН-600 были обнаружены синхронные уярчения источников сантиметрового радиоизлучения Солнца.

Длительность одного сеанса наблюдений Солнца была равна 2–4 часам. Интервал времени между соседними прохождениями Солнца через главный лепесток диаграммы направленности антенны составлял 20 мин. в феврале 1980 г., 14 мин – в июле 1981 г. и 8 мин – в 2001 г.

Диаграмма направленности антенны (д. н. а.) в режиме “эстафеты” как и в режиме многоазимутальных наблюдений на южном секторе с перископом является ножевой. Пространственное разрешение антенны в режиме “эстафеты” по уровню 0.5 мощности на волне 2.3 см составляло  $1.1 \times 15.4$  угл. мин., а на волне 4.5 см –  $2.3 \times 27.7$  угл. мин. Чувствительность системы по потоку равна 0.02 с. е. п. (с. е. п. – солнечная единица потока).

Наблюдения на южном секторе с перископом в 2001 г. проводились на четырёх волнах: (1.92, 2.24, 2.74, 3.21) см. Пространственное разрешение антенны по уровню 0.5 мощности составляло соответственно: на волне 1.92 см –  $17.3$  (угл. сек.)  $\times$   $14$  (угл. мин.); на 2.24 см –  $21$  (угл. сек.)  $\times$   $16$  (угл. мин.); на 2.74 см –  $23$  (угл. сек.)  $\times$   $18.8$  (угл. мин.); на 3.21 см –  $26.7$  (угл. сек.)  $\times$   $23$  (угл. мин.). Чувствительность системы радиотелескоп-радиометр по потоку равнялась 0.005 с. е. п.

Поскольку д. н. а. является ножевой, то в нее одновременно могут попадать несколько источников, отождествленных с несколькими группами пятен, дающих на записи радиоизлучения Солнца один источник. В этом случае источник обозначается суммой соответствующих групп пятен, например, источник 72 + 74 (9.02.80 г.).

Для выявления существования синхронных повышений интенсивности радиоизлучения источников исследовалась зависимость их относительных потоков ( $F/F_0$ ) от времени (Голубчина, 1999; Голубчина и др., 2004; Голубчина, 1995). Здесь  $F$  – поток от источника солнечного радиоизлучения,  $F_0$  – поток радиоизлучения от условно спокойного Солнца.

## 3 Обсуждение

Полученные величины синхронных уярчений соответствуют изменению абсолютных потоков источников от нескольких процентов до десятков процентов.

Синхронность уярчений не означает, что уярчения обязательно должны проявляться во всех источниках, наблюдаемых в данный момент на Солнце. Нами зарегистрированы синхронные уярчения в течение одного сеанса наблюдений в 2–5 источниках. Согласно результатам наблюдений на РАТАН-600, синхронные уярчения источников могут наблюдаться как на одной волне, так и на нескольких волнах наблюдений. Часто синхронные уярчения происходят во время  $H\alpha$ -вспышек различных баллов, например,  $SF$ ,  $N$ ,  $B$ . Как правило, синхронные уярчения наблюдались нами во время усиления интегрального излучения Солнца в мягком рентгене (рис. 1).

В разные моменты времени одного и того же сеанса наблюдений синхронные уярчения могут происходить в различных сочетаниях источников. Зарегистрированные нами величины синхронных уярчений также разные ( $< 1$  с. е. п.).

Таким образом, за период 9, 10 февраля 1980 г. и 17, 24, 29 июля 1981 г. на РАТАН-600 в течение 16 часов наблюдений был получен 61 скан радиоизлучения Солнца на волне 2.3 см. Службами Солнца в это же время зарегистрировано 25 всплесков на частотах (9100–15400) МГц. Наблюдения Солнца на РАТАН-600 методом “эстафеты” попали на моменты 18

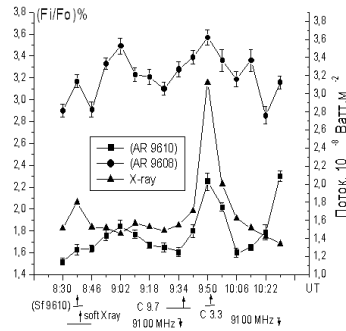


Рис. 1. Временные вариации относительных потоков источников, отождествленных с AR 9610, AR 9608, и интегрального потока Солнца в мягком рентгене (GOES 8). Стрелками изображены моменты  $H_{\alpha}$ -вспышек, рентгеновских вспышек и радиовсплесков

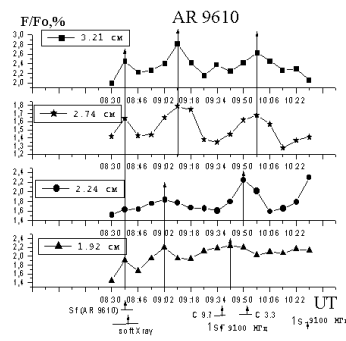


Рис. 2. Временные вариации относительных потоков радиоизлучения AR 9610

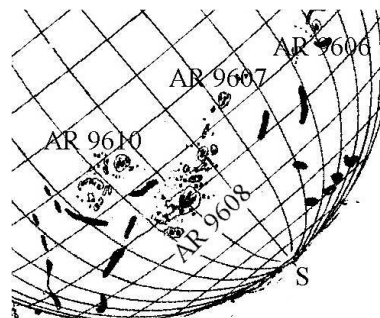


Рис. 3. Фрагмент гелиограммы Солнца (ГАС ГАО РАН)

всплесков, отмеченных службами Солнца. В этот период времени было зарегистрировано 20 синхронных уярчений источников на волне 2.3 см, причём синхронные уярчения источников солнечного радиоизлучения наблюдались на РАТАН-600 в том случае, если момент наблюдений был близок к моментам микроволновых всплесков различных типов: 3s, 5s, 8s, 45s, 28 PRF, 31 ABS, 20 GRF, 21 GRF, 30 PB, зарегистрированных службой Солнца на частотах 15400, 11800, 9400, 9100, 8800 МГц. Синхронные уярчения источников солнечного радиоизлучения наблюдались на РАТАН-600 также во время залимбовых вспышек.

Синхронные изменения относительных потоков радиоизлучения источников зарегистрированы как внутри одной группы пятен на расстояниях  $< 10$  гелиографических градусов, так и в источниках, отождествленных с биполярными группами пятен, удаленными друг от друга на расстояния вплоть до  $L > 10^5$  км.

Исследование синхронных уярчений источников солнечного радиоизлучения на волнах больших 4.5 см в настоящее время на РАТАН-600 проблематично, т. к. применяемая методика обработки наблюдений не позволяет с необходимой степенью точности выполнять процедуру выделения спокойного Солнца.

Оценки скорости возмущающих агентов проводились в тех случаях, когда в процессе обработки мы точно установили место первичного всплеска, либо когда служба Солнца давала координаты вспышки в определенной области в момент близкий к моменту наших наблюдений. Поэтому были сделаны оценки нижней границы скорости возмущающего агента. Нижняя граница скорости предполагаемого возмущающего агента равна  $(2 - 12) \times 10^3$  км/сек.

Согласно результатам обработки наблюдений 11.09.01 г., синхронность изменения относительных потоков радиоизлучения AR 9608 и AR 9610 на промежутке времени (09:26 – 09:58) UT на волнах 2.74 см и 3.21 см нарушается. Это, вероятно, обусловлено запаздыванием момента максимума радиоизлучения AR 9610 на 7-11 мин. относительно соответствующего максимума излучения AR 9608 на волнах 2.74 см и 3.21 см (рис. 2, 3). В силу низкого временного разрешения РАТАН-600 (8 мин.), в этом случае мы можем оценить лишь нижнюю границу скорости возмущающего агента, которая оказалась равной  $V = (3 - 7) \times 10^2$  км/сек. Вероятно, что в рассматриваемом случае на волнах 2.74 см и 3.21 см волновой фронт, распространяющийся от места первичного всплеска в AR 9608, усиливает синхронное уярчение AR 9610, ранее возникшее под воздействием высокоэнергичных электронов, вырвавшихся в процессе первичного всплеска в AR 9608 и переместившихся в AR 9610 по магнитным петлям, соединяющим эти активные области.

В то же время синхронность излучения источника AR 9606 сохраняется. Вероятно, волновой фронт, распространяющийся от всплеска в AR 9608, диссипирует, проходя через протяженную к западу активную область AR 9608, AR 9607, не достигая AR 9606 (рис. 2, 3).

Вычисленные нижние границы скорости возмущающего агента синхронных уярчений от  $V = (3 - 5) \times 10^2$  км/сек до  $V > 10^4$  км/сек указали на то, что даже в узком диапазоне длин волн (1.92-4.5) см триггерным механизмом синхронных уярчений источников солнечного радиоизлучения могут быть как волновые фронты, так и высокоэнергичные электроны, высвобождающиеся в процессе первичного всплеска.

Для выявления существования линейно коррелированных крупномасштабных временных компонент динамики изменения радиоизлучения источников исследовалась линейная корреляция величин их относительных потоков на всем интервале наблюдений (Голубчина, 1995; Голубчина и др., 2004). Вычисленные значения коэффициентов линейной корреляции и соответствующие уровни значимости, которые оценивались в рамках статистики малых выборок Фишера, указывают на значимую линейную корреляцию относительных потоков радиоизлучения активных областей. Последнее свидетельствует о взаимосвязи активных процессов в этих источниках на всем интервале наблюдений.

Полученные коэффициенты корреляции изменений потоков со временем для ряда источников солнечного радиоизлучения с вероятностью 0.95 – 0.99 отвергают нуль-гипотезу о некоррелированности изменений потоков этих источников, удаленных друг от друга на расстояния вплоть до значений  $L > 10^5$  км, что указывает на взаимосвязь этих активных областей не только в моменты вспышек и всплесков, но и в периоды их отсутствия.

Иногда наблюдается низкая линейная корреляция крупномасштабных временных изменений относительных потоков источников солнечного радиоизлучения. С одной стороны, это может быть обусловлено отсутствием заметных взаимодействий источников в интервалы времени свободные от вспышек и всплесков. С другой стороны, возможные смещения по времени активности одного источника относительно другого (или, как было показано, действие волновых фронтов) могут замыкать линейную корреляцию крупномасштабных временных изменений потоков радиоизлучения источников на этих волнах.

Дальнейшее использование различных методов наблюдений на РАТАН-600, анализ результатов наблюдений радиоизлучения Солнца на РАТАН-600 совместно с данными наблюдений, полученными на других радиотелескопах, в  $H_{\alpha}$ -линии, в ультрафиолетовом и рентгеновском диапазонах, а также совершенствование инструментальной, методической и вычислительной баз на РАТАН-600 будут способствовать более глубокому изучению физических процессов на Солнце в широком диапазоне длин волн.

Автор глубоко признателен М.Б. Огирь, которая поддерживала на начальном этапе это направление исследований на РАТАН-600.

Автор выражает благодарность сотрудникам СПб САО и ГАО РАН Гараимову В.И. и Тохчуковой С.Х. за помощь в обработке наблюдений.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ 05-02-17228а.

## Литература

- Голубчина О.А. // Физика Солнца и космическая электродинамика. Труды Гос. Астрон. института им. П.К. Штернберга. 2001. Т. LXXI, С.16.
- Голубчина О.А. // Кинематика и физика небесных тел. 1999. Т. 15 № 1. С. 59.
- Голубчина О.А., Тохчукова С.Х., Богод В.М., Гарсия Х.А., Гараимов В.И. // Письма в Астрон. журн. 2004. Т. 30. № 10. С. 787.
- Голубчина (Golubchina O.A.) // Solar Phys. 1995. V. 160/1. P. 199.
- Накаджима и др. (Nakajima N., Dennis B.R., Hoynig P., Nelson G., Kosugi T., Kai K.) // Astrophys. J. 1985. V. 2. P. 806.
- Огирь М.Б. // Солнечные данные. 1982. № 3. С. 91.
- Уайлд (Wild J.P.) // Proceed. of ASA. V.1. N.5. P. 181.
- Цханг и др. (Zhang C.X., Wang H., Wang J.X., Yan Y.) // Sol. Phys. 2000. V. 195. P. 135.