

СИНХРОННОЕ ПОВЫШЕНИЕ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ПОТОКОВ РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ  
ЛОКАЛЬНЫХ ИСТОЧНИКОВ НА СОЛНЦЕ НА  $\lambda = 2.3$  И  $4.5$  СМ

О. А. Голубчина

В работе приводятся результаты наблюдений локальных источников (ЛИ) радиоизлучения Солнца 29.07.81 г. на РАТАН-600 методом "эстафеты". Исследовались ЛИ, потоки радиоизлучения которых на  $\lambda = 2.3$  см составляют  $F_1 = (4 - 23)$  с.е. (солнечных единиц), а на  $\lambda = 4.5$  см -  $F_1 = (4 - 40.6)$  с.е. ( $\delta F_1 < 0.25$  с.е.). Обнаружено синхронное изменение относительных потоков радиоизлучения ЛИ, удаленных друг от друга на расстояние вплоть до  $L > 10^5$  км. Такие синхронные уярчения зарегистрированы в моменты  $H_\alpha$  - вспышек и (или) радиовсплесков, зафиксированных службами Солнца на радиочастотах, близких к радиочастотам, на которых выполнены наши наблюдения. В эти же моменты по данным Prognos Data, как правило, зарегистрировано повышение мягкого рентгеновского излучения Солнца.

Оценена скорость возмущающего агента  $V \approx 6 \cdot 10^3$  км/с. Приведены точности измерения относительных потоков, а также яркостные температуры и размеры локальных источников.

*Given in this work are the observational results of local sources (LS) relative fluxes obtained with the RATAN-600 radiotelescope by "RELAY" technique on 29.07.81. The LS which fluxes were (4 - 23) s.u. at  $\lambda = 2.3$  cm and (4 - 40.6) s.u. at  $\lambda = 4.5$  cm,  $\delta F_1 < 0.25$  s.u. were investigated. The synchronous changes of relative fluxes of LS at  $\lambda = 2.3$  cm, 4.5 cm at just the same moment of  $H_\alpha$ -flare and (or) of radio bursts and as a rule an X-ray enhanced emission (Prognos Data) are discovered. The distance between such LS is equal up to  $10^5$  km. The velocity of triggering agent is about  $V \sim 6 \cdot 10^3$  km/s. The accuracy of relative fluxes, sizes and brightness temperatures of local sources are given.*

Проблема существования и механизма возникновения симпатических вспышек появилась в 1936 г. с момента обнаружения S. Richardson одновременных эрупций в 3-4 далеко разнесенных пятнах на Солнце (Richardson, 1936). Последующие наблюдения показали реальность существования волн Мортонa ( $V = 400$  км/с), корпускулярных потоков ( $V = 1000 - 2500$  км/с), берущих свое начало от вспышек и являющихся возмущающими агентами, инициирующими активизацию волокон и возникновение вторичных симпатических вспышек (Moreton, 1961; Mullaly, 1961).

В 1961 г., начиная с публикации R. F. Mullaly, посвященной обнаружению симпатических всплесков на  $\lambda = 21$  см на радиоинтерферометре в Кулгуре,

проблема симпатических вспышек расширила свой диапазон, проникнув и в область радиоизлучения. В дальнейшем симпатические всплески исследовали при сопоставлении явлений, происходящих в широком диапазоне излучения: радиодиапазоне, рентгене, ультрафиолете,  $H_{\alpha}$  - излучении, используя наземные наблюдения и наблюдения с космических аппаратов (Mullaly, 1961; Kai, 1969; Kundu et al., 1983; Tang and Moor, 1982; Nakajima et al., 1985; Athay and Moreton, 1961; Wild, 1969; Wild and Sheridan, 1968).

Наряду с развитием методик наблюдений в различных диапазонах длин волн и накоплением материалов наблюдений симпатических вспышек и всплесков, эволюционировало представление о механизме инициирования симпатических вспышек и всплесков от предположения существования "каких-то глубоких явлений, проявляющихся в далеко разнесенных точках на Солнце" (Richardson, 1936), корпускулярных потоков, ударных волн и волн Мортонна (Moreton, 1961) до предположения о высокоэнергетических электронах, перемещающихся вдоль магнитных силовых линий, соединяющих места первоначального и вторичного явлений (Mollaly, 1961; Kai, 1969; Kundu et al., 1983; Tang and Moor, 1982; Nakajima et al., 1985; Athay and Moreton, 1961; Wild and Sheridan, 1968) со скоростью  $V \approx 10^5$  км/с (Tang and Moor, 1982; Nakajima et al., 1985). Было показано, что могут существовать почти одновременно несколько видов возмущений, которые проявляются специфически в различных диапазонах частот.

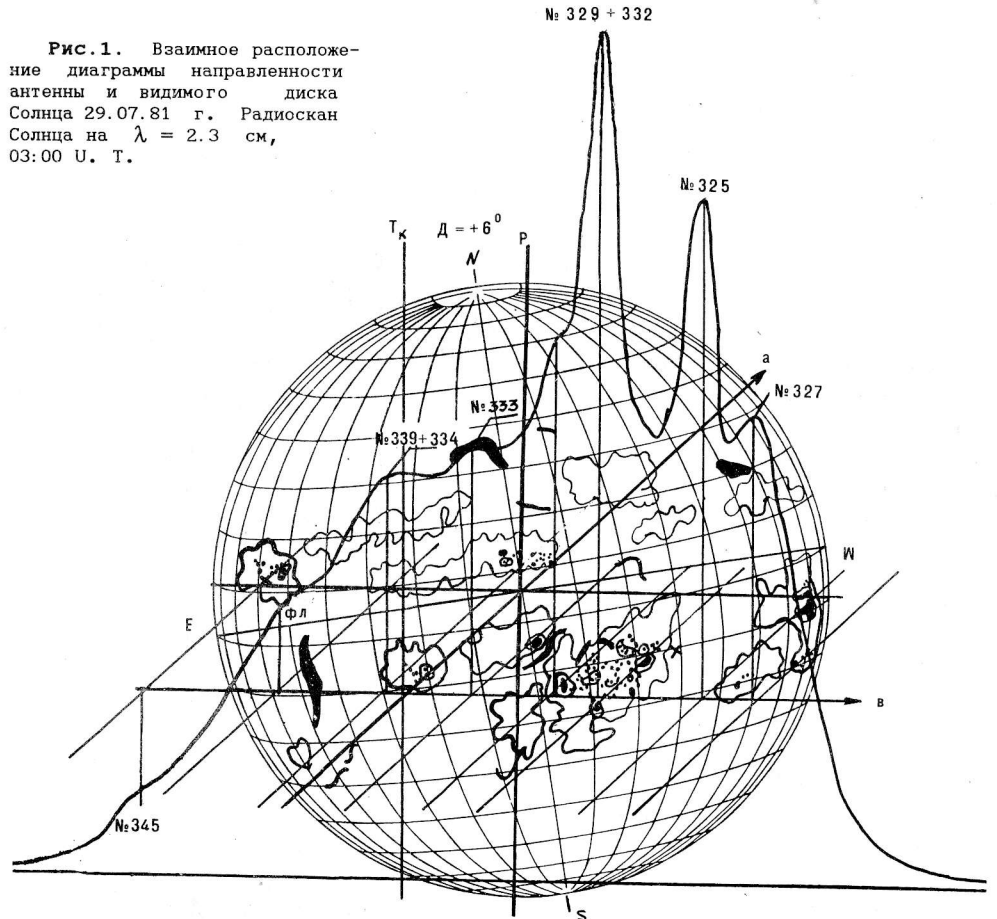
Как отмечено в работе (Nakajima et al., 1985), области вторичных вспышек и всплесков в перечисленных работах являются существенно различными по напряженности и структуре магнитных полей, а поэтому и явления вторичных вспышек и всплесков могут быть отличными друг от друга.

В данной работе приводятся наблюдения на РАТАН-600 методом "эстафеты" синхронных уярчений локальных источников на Солнце на  $\lambda = 2.3$  см и 4.5 см, т.е. исследуются области с достаточно сильным магнитным полем. Наблюдения выполнены 29.07.81 г. Методика обработки приведена в работе Голубчиной (1986). Угловое разрешение ножевой диаграммы направленности рабочей части антенны:  $\rho \approx 1.1' \cdot 17'$ ,  $\lambda = 2.3$  см и  $\rho \approx 2' \cdot 27'$ ,  $\lambda = 4.5$  см. Наблюдения проводились в период 02.18 - 06.30 U.T. Временное разрешение  $\Delta t = 14$  мин. Смещение центра диаграммы направленности по высоте к южному полюсу Солнца  $\Delta H = 6' - 7'$ . Фотогелиограмма Солнца, а также положение диаграммы направленности антенны показаны на рис.1.

Средние погрешности выделения "спокойного" Солнца на  $\lambda = 2.3$  см -  $(\delta F_0/F_0) = (0.3 - 2.3)\%$ , на  $\lambda = 4.5$  см  $(\delta F_0/F_0) = (1 - 1.5)\%$ . Мы обработали наблюдения 6 локальных источников, отождествленных с 5 группами пятен (Бюлл. "Солнечные данные", 1981): №№ 327, 325, 329+332, 333, 339+334 и одной флоккулой. Средние величины относительных потоков рассматриваемых локальных источников составляют  $(F_1/F_0) = (0.6 - 8.9)\%$  -  $\lambda = 2.3$  см;  $(F_1/F_0) = (2.8 - 28)\%$  -  $\lambda = 4.5$  см (табл.1). Погрешности измерения потоков локальных источников (ЛИ) приведены в табл.2. Измерения площадей под кривыми локальных источников и "спокойного" Солнца выполнены с помощью измерительной приставки DIGITAZER ЭВМ IBM/PC. Результирующие относительные погрешности определения относительных потоков ЛИ на  $\lambda = 2.3$  см -  $\delta(F_1/F_0) < 0.1\%$ , на  $\lambda = 4.5$  см -  $\delta(F_1/F_0) < 0.5\%$  Однако, если при выделении на сканах уровня "спокойного" Солнца игнорируют методику подобия (Голубчина, 1986), то результирующая погрешность резко возрастает и достигает значений  $\delta(F_1/F_0) = (2-8)\%$ . В этом случае проявление синхронных уярчений замыкается. Мы зафиксировали пять случаев

синхронных уярчений на  $\lambda = 2.3$  см с порядковыми номерами наблюдений №№ 3, 5, 10, 12, 15 и шесть случаев на  $\lambda = 4.5$  см - №№ 3, 5, 8, 10, 12, 15 (рис.2). Средние угловые размеры наиболее мощных ЛИ:  $r \sim 2.4'$ . (№ 325),  $r = 2.7'$  (№№ 329+332) на  $\lambda = 2.3$  см;  $r = 4.0'$  (№ 325),  $r = 4.7'$  (№№ 329+332) на  $\lambda = 4.5$  см.

Рис.1. Взаимное расположение диаграммы направленности антенны и видимого диска Солнца 29.07.81 г. Радиоскан Солнца на  $\lambda = 2.3$  см, 03:00 U. T.



Отмечается тенденция к увеличению угловых размеров на моменты синхронных уярчений, хотя четкой закономерности не обнаружено. Средние яркостные температуры рассматриваемых ЛИ :  $T = 5 \cdot 10^4$  К ( $\lambda = 2.3$  см),  $T = 13 \cdot 10^4$  К ( $\lambda = 4.5$  см) - (№ 325).  $T = 8 \cdot 10^4$  К ( $\lambda = 2.3$  см),  $T = 23 \cdot 10^4$  К ( $\lambda = 4.5$  см) - (№№ 329+332).

Таблица 1. Средние величины относительных потоков  $F_1/F$  (в процентах) ЛИ, отождествленных с соответствующими группами пятен

ЛИ (№ группы)	325	327	329+332	333	339+334	флоккулы
$\lambda = 2.3$ см ( $F_1/F_0$ ) %	4.9	2.7	8.9	1.5	2.1	-
$\lambda = 4.5$ см ( $F_1/F_0$ ) %	17.8	-	28.0	3.3	3.0	2.8

Кривые изменения относительных потоков  $F_1/F_0(t)$ , приведенные на рис. 2, демонстрируют существование синхронных изменений излучения ЛИ в моменты

наблюдений с номерами № 3, 5, 8, 10, 12, 15 на величины  $\Delta(F_1/F_0) = (0.1 - 7) \%$  (табл. 3,4). Относительные потоки ЛИ, отождествленных с группами пятен №№ 333, 339, 334 на  $\lambda = 2.3$  см и № 333 на  $\lambda = 4.5$  см, являются менее надежными из-за трудности выделения этих ЛИ на фоне радиоизлучения активного Солнца. Однако эти данные также приведены на рис. 2 и в таблицах. Практически моменты всех отмеченных нами синхронных уярчений совпадают с моментами увеличения мягкого рентгеновского излучения по данным спутника Прогноз-8 (Prognoz Data, 1983) Кроме того, в моменты синхронных уярчений службами Солнца зарегистрированы вспышки в  $H_\alpha$  в какой-либо из рассматриваемых групп пятен и (или) всплески (Solar Geophysical Data, 1981) на частотах 9100, 9400, 8800 МГц. Временной профиль радиоизлучения Солнца на частоте 9100 МГц любезно предоставил Т. С. Подстригач (НИРФИ). Следует особо отметить наблюдение № 8 (03:55:30). Синхронные уярчения ЛИ зарегистрированы только на одной волне наших наблюдений:  $\lambda = 4.5$  см. На ближайший момент 03:57 U.T. службами Солнца зафиксирован только кратковременный всплеск на частоте 9100, 9400 МГц, длительность которого  $\Delta t \sim 2$  мин, а на частоте 15400 МГц -  $\Delta t = 0.7$  мин. Кроме того, начало всплеска примерно на 1-1.5 мин позже наших наблюдений. Вероятно, этим объясняется то, что синхронное уярчение (№ 8) зафиксировано нами только на  $\lambda = 4.5$  см, так как во всех остальных случаях синхронность уярчения ЛИ на обеих волнах сопровождается  $H_\alpha$ -вспышкой в какой-либо группе или уже текущим всплеском (Бюл. "Солнечные данные", 1981; Prognoz Data, 1983; Solar Geophysical Data, 1981; 1982; 1984).

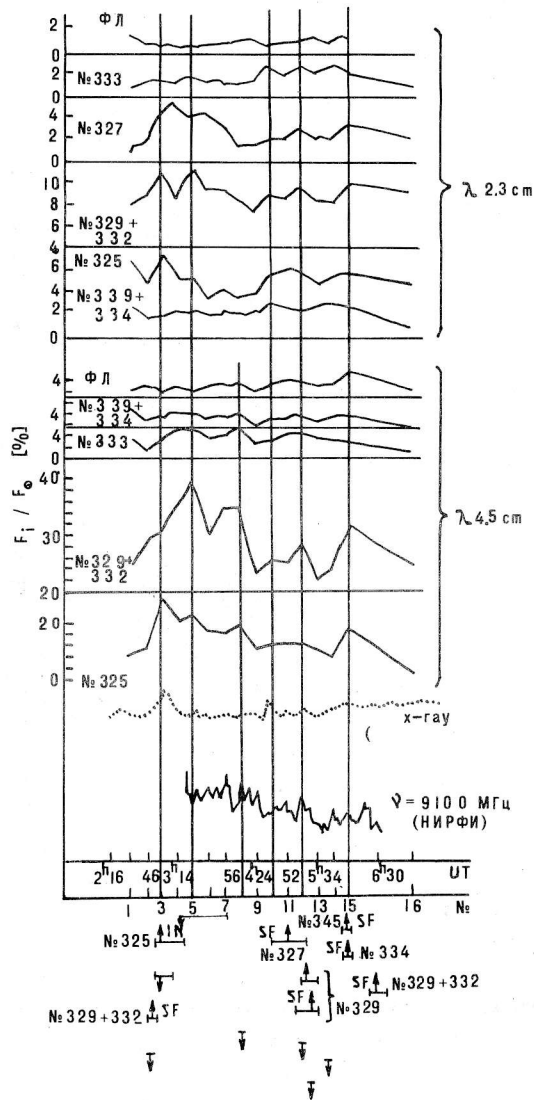


Рис. 2. Изменение относительных потоков ЛИ со временем на  $\lambda = 2.3$  см,  $\lambda = 4.5$  см - временной интервал  $H_\alpha$ -вспышки, - временной интервал радиовсплесков на  $\nu = 9100, 9400$  МГц. ( $F_\odot = 260$  с.е.,  $\lambda = 2.3$  см;  $F_\odot = 145$  с.е.,  $\lambda = 4.5$  см;).

Таблица 2. Зависимость погрешности  $\delta F_i/F_i$  (в процентах) измерения относительных потоков ЛИ от величины относительного потока ЛИ  $F_i/F_\odot$  (в процентах)

$\lambda = 2.3 \text{ см}$		$\lambda = 4.5 \text{ см}$	
$(F_i/F_\odot) \%$	$(\delta F_i/F_i) \%$	$(F_i/F_\odot) \%$	$(\delta F_i/F_i) \%$
1.5 - 4.9	1 - 2	2.8 - 3.3	1.5 - 3.7
< 1	5	28	0.6
9	< 1	18	0.8

Большая собирающая поверхность и узкая диаграмма направленности антенны РАТАН-600 по сравнению с радиотелескопами служб Солнца определяют более высокую чувствительность по потоку РАТАН-600. Вероятно, поэтому может происходить более ранняя фиксация повышения радиоизлучения ЛИ в наших наблюдениях по сравнению с данными служб Солнца (рис.3). Если предположить, что возмущающим агентом является поток высокоэнергетичных электронов, то вполне объяснима более ранняя по времени возможность наблюдений синхронных уярчений на большей длине волны. В связи с этим можно предположить, что появление и начало действия возмущающего агента связано не с моментом максимума вспышек или всплесков, а с началом радио или рентгеновских всплесков (рис.3, наблюдение № 8, табл. 5).

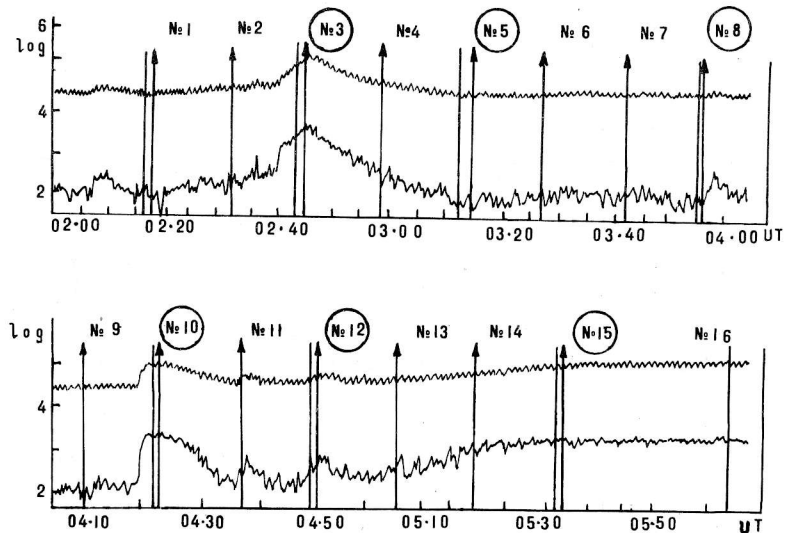


Рис. 3. Кривые изменения излучения Солнца в мягком рентгене, по данным спутника "Прогноз", и моменты наблюдений на РАТАН-600. (№...) - моменты и номера наблюдений синхронных уярчений ЛИ.

Из табл. 3,4 видно, что суммарное увеличение потоков радиоизлучения исследуемых нами ЛИ немногим отличается от величин потоков всплесков на частотах, близких к частотам наших наблюдений. Это свидетельствует, во-первых, о реальности синхронных уярчений, и, во-вторых, о том, что величина повышения потока радиоизлучения Солнца во время всплеска обусловлена суммарным увеличением излучения активных образований, расположенных по всему диску Солнца.

Табл. 3,4. Разности относительных потоков ЛИ  $\Delta(F_i/F_0)$  для двух соседних номеров наблюдений ( $N+1, N$ ) в моменты зафиксированных синхронных уярчений.  $\delta(\Delta F_i/F_0)$  - результирующая погрешность относительного потока излучения ЛИ для данного наблюдения.  $\Sigma \Delta F$  - суммарное увеличение относительных потоков ЛИ на момент синхронных уярчений (с.е. - солнечные единицы),  $F_{\text{макс}}$ ,  $F_{\text{ср}}$  - максимальный и средний потоки радиовсплесков по данным службы Солнца на  $\nu = 9400$  МГц (SGD)

$\lambda = 2.3$ см	№	$F_{\text{макс}}$	$F_{\text{ср}}$	$\Sigma \Delta F_i$	$\Delta(F_i/F_0)$	$\delta(\Delta F_i/F_0)$
№ + 1, №	группы	(с.е.)	(с.е.)	(с.е.)	%	%
3, 2	327				2.3	0.08
	325				2.9	0.21
	329+332	-	-	20.5	2.4	0.23
	333				0.07	0.03
5, 4	327				-1.53	0.04
	333				0.31	0.19
	329+332	-	-	9.1	3.00	0.06
	325				0.11	0.08
10, 9	339+334				0.10	0.01
	327				0.5	0.07
	325				1.5	0.11
	329+332	-	-	16.9	1.3	0.24
12, 11	333				2.3	0.08
	339+334				0.9	0.13
	327				0.5	0.06
	325			6.0	0.1	0.08
15, 14	329+332	-	-		1.0	0.16
	333				0.7	0.07
	327				0.7	0.06
	325	-	-	7.0	0.1	0.07
	329+332				1.8	0.07

Таблица 4

$\lambda=4.5$ см	№	$F_{\text{макс}}$	$F_{\text{ср}}$	$\Sigma F$	$\Delta(F_i/F_0)$	$\delta(F_i/F_0)$
№ + 1, №	группы	(с.е.)	(с.е.)	(с.е.)	%	%
3, 2	325				6.5	0.70
	329+332	11	4	16.5	2.4	0.77
	333				2.3	0.13
	339+334				0.2	0.16
5, 4	325				0.3	0.87
	329+332		5	9.0	5.5	1.21
	333	-			0.4	0.20
8, 7	325				2.3	0.78
	329+332				0.7	1.32
	333	15	6	8.1	1.8	0.21
	339+334				0.6	0.26
10, 9	фл.				0.2	0.19
	325				1.5	0.32
	329+332				3.0	0.46
	333	-	-	8.5	0.2	0.04
12, 11	339+334				0.7	0.05
	фл.				0.5	0.11
	325				1,0	0,30
	329+332				3,3	0,31
15, 14	333	9	2.5	9	0,6	0,11
	339+334				1,1	0,15
	фл.				0,2	0,13
	325				4.7	0.44
	329+332				7.0	0.43
	333				0.3	0.05
	339+334			20.3	0.3	0.14
	фл.				1.6	0.12

Для рассматриваемых нами ЛИ (табл. 3, 4) на  $\lambda = 2.3$  см  $F_i = (4-23)$  с. е.,  $\delta F_i = (0.03-0.13)$  с. е.,  $\Delta F_i = (0.2-7.8)$  с. е.;  $\lambda = 4.5$  см,  $F_i = (4-40.6)$  с. е.,  $\delta F_i = (0.06-0.24)$  с. е.,  $\Delta F_i = 0.3-10.2$  с. е. Заметим, что мы можем говорить о синхронных уярчениях в пределах временных интервалов 1.5 - 2.5 мин, т.е. примерно на промежутке времени прохождения Солнца через центральную часть главного лепестка диаграммы направленности антенны.

К сожалению, оценка скорости возмущающего агента в наших наблюдениях весьма приблизительная, так как в силу очень низкого временного разрешения  $\Delta t = 14$  мин невозможно указать момент начала синхронных уярчений. Другая возможная неоднозначность, связана с неопределенностью первоисточника возмущающего агента:  $H_\alpha$ - вспышка, радиовсплеск, рентгеновский всплеск. Если в наблюдении №10 в качестве первоисточника возмущающего агента принять начало  $H_\alpha$ -вспышки в гр. № 327, удаленной от гр. № 329+332 на расстояние  $5.5 \cdot 10^4$  км, а за начало синхронных уярчений - момент нашего наблюдения №10, то скорость возмущающего агента равна  $V \sim 6 \cdot 10^3$  км./с.

#### ВЫВОДЫ

1. Синхронное повышение относительных потоков излучения ЛИ - явление не редкое. 29.07.81 г. мы зарегистрировали 6 случаев на  $\lambda = 4.5$  см и 5 случаев на  $\lambda = 2.3$  см, причем синхронные уярчения, которые можно обработать с достаточной степенью точности, как правило, наблюдаются во всех ЛИ, удаленных друг от друга на расстояние вплоть до  $L \sim 10^5$  км.

2. Во всех случаях в момент синхронных уярчений ЛИ службами Солнца отмечаются вспышки в  $H_\alpha$  в какой-либо группе пятен и (или) всплески на частотах 9100, 9400, 8800, 15400 МГц.

3. Зарегистрирован один случай синхронных уярчений N 8 только на одной волне  $\lambda = 4.5$  см. При этом ни в одной группе пятен не зарегистрировано ни одной  $H_\alpha$  - вспышки. Повышение рентгеновского излучения и кратковременные всплески на частотах = 9100, 9400, 15400 МГц начались на  $\sim 2.5$  мин позже момента наших наблюдений.

4. Оценка скорости возмущающего агента дает величину, равную  $V = 6 \cdot 10^3$  км/с.

5. Увеличение потока радиоизлучения Солнца во время всплеска обусловлено суммарным повышением радиоизлучения активных образований, расположенных по всему диску Солнца.

Автор выражает глубокую благодарность Подстригачу Т. С. (НИРФИ, г. Горький) за предоставленные временные профили радиоизлучения Солнца на  $\nu = 9100$  МГц и Валничку Борису (АН ЧССР) за предоставленные данные спутника "Прогноз".

Таблица 5. Сводная таблица событий на Солнце (SGD) в моменты синхронных повышений относительных потоков ЛИ, зарегистрированных на РАТАН-600.

№, момент наблюдений на РАТАН-600	№ гр. координаты	$H_{\alpha}$ - вспышка					Радиовсплески	
		Балл $H_{\alpha}$ - всп.	$\Delta T$ (мин) длительность $H_{\alpha}$ - всп.	Момент начала $H_{\alpha}$ - всп. (U.T.)	Момент макс $H_{\alpha}$ - всп. (U.T.)	Момент конца $H_{\alpha}$ - всп. (U.T.)	$\nu$ -частота наблюд. (МГц) и длит. всплеска (мин.)	Момент начала (U.T.)
1	2	3	4	5	6	7	8	9
3 02:46 U.T	325 S08,W62	1N	24	02:41±1	02:43+2	03:05	9400(30) 8800(15) 3750(40)	02:39 02:40 02:39
5 03:14U.T	-	-	-	-	-	-	9100(43.8)	03:00E
8 03:56							9400(2) 9100(2) 15400(0.7)	03:57 03:57 03:57
10 04:24	327 S18,W70	SF	31	04:23+2	04:38+1	04:54	3750(5)	04:19
12 04:52	329 S12,W18	SN	13	04:51	04:54	05:04	9400(6) 9100(2) 8800(1) 4995(1.0D) 2695(1.0D)	04:49.5 04:49.3 04:50.1 04:50.1 04:50.1
15 05:34	45 №16,E56	-F	3D	05:30	05:31	05:33	9400(190) 3750(190) 3100 2000(200)	05:30 05:27 05:24 05:20
	334 №13,W01	-F	3D	05:32E	05:32U	05:35U		



№, момент наблюдения на РАТАН-600							Суммарное увеличение потока (РАТАН-600)		Мягкий рентген		
	Момент max	Момент конца	Тип всп.	F max	F сп.	$\Sigma \Delta$ $\lambda =$ 2.3см	$F_i$ с. е. $\lambda =$ 4.5см	Момент начала (U.T.)	Момент max	Момент конца	
1	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	
3 02:46U.T.	02:45 02:44.5 02:42	03:09 02:55	20GRF 4S/F 20GRF	11 17 3	4 - 1.5	20.5	16.5	02:40	02:46	03:05	
5 03:14U.T.		03:48	21GRF	-	5	9.1	9.0				
8 03:56	03:57.6 03:57.4 03:57.5	03:59 03:59 03:58	5S 2S/F 8S	15 46 25	6 - -	-	8.12	03:57	03:58	04:04	
10 04:24	04:20.1	04:24	5S	3	1	16.9	8.5	04:19.5	04:21.5	04:36.5	
12 04:52	04:50.2 04:49.7 04:50.6 04:50.6 04:50.6	04:55 04:51.3 04:51.1 04:51.1 04:51.1	5S 2S/F 8S 8S 8S	9 16 13 13 11	2.5 - - - -	6.0	9.0	04:49	04:50	04:58	
15 05:34	07:20 07:10 05:38 07:00	08:40 08:37	21GRF 21GRF 26FAL 20GRF	8 5 9 3	4 2 - 1.5	7.0	20.3	05:30	05:31	05:33	

#### ЛИТЕРАТУРА

- Athay R. G., Moreton C. E. : 1961, *Astrophys J.* 133, p. 935.  
Голубчина О. А.: 1986, *Труды астрон. обсерв. Скалнате Плесо*, XV, х. 11, 441.  
Kai K.: 1969, *Proc. Astron. Soc. Australia*, 1, p 186.  
Kundu M. R., Rust D. M., Bobrowsky M.: 1983, *Astrophys. J.*, 265, p.1084.  
Moreton G. E.: 1961, *Sky and Telescope*, XXI, p. 45.  
Mullaly R. F. : 1961, *Austral. J. Phys.* 14, p. 540.  
Nakajima N., Dennis B. R., Hoуng P., Nelson G., Kosugi T., Kai K.: 1985,  
*Astrophys. J.* 288, p. 806.  
Prognos Data-Part: 1983, 111, No. 55.  
Richardson S.: 1936, *Ann. Rept. Director Mt. W. Obs.* 35, p. 171.  
Solar Geophysical Data: 1981, No. 444, part 1.  
Solar Geophysical Data: 1982, No. 449, part 11.  
Solar Geophysical Data: 1984, No. 477, part 111  
"Солнечные данные": 1981, Бюл. No. 7.  
Tang F., and Moor R. L.: 1982, *Solar Phys.*, 77, p. 263  
Wild J. P., Sheridan K. V., and K. : 1968, *Nature*, 218 p. 536.  
Wild J. P.: 1969, *Proc. Astron. Soc. Austral.* 1, p. 181.

Поступила в редакцию  
22 января 1990 г.