

УДК 524.354/.353

ДАЛЬНЕЙШИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ПЕРЕМЕННЫХ РАДИО-  
ИСТОЧНИКОВ НА РАТАН-600

**В. А. МАЙЗЕЛЬ**, М. Г. МИНГАЛИЕВ, С. А. ПУСТИЛЬНИК, С. А. ТРУШКИН

Поступила 5 апреля 1979

Принята к печати 20 мая 1981

По результатам наблюдений на радиотелескопе РАТАН-600 на волнах 2.08, 3.9, 6.52, 8.2 см получены спектры переменных радиоисточников Симеиз 0528+13, PKS 0735+17, OJ 287, 3C 273, 3C 279, PKS 1510-08 на эпоху 1977.23. Проведено сравнение этих спектров со спектрами, полученными в эпохи 1976.25 и 1976.75. Для источника Симеиз 0528+13 по этим наблюдениям обнаружено быстрое возрастание плотности потока на волне  $\lambda 2.08$  за время  $\tau < 10$  дней. Для этого же источника по всем доступным данным построена сводная кривая блеска на сантиметровых волнах за период 10 лет. Из кривой блеска видно, что Симеиз 0528+13 является одним из наиболее активных радиоисточников.

1. *Введение.* В нашей предыдущей статье [1] были представлены результаты измерений спектров переменных источников в сантиметровом диапазоне длин волн на эпохи 1976.25 и 1976.75. Здесь мы приводим результаты следующего цикла наблюдений (эпоха 1977.23) для шести источников, наблюдавшихся в двух предыдущих циклах: Симеиз 0528+13, PKS 0735+17, OJ 287, 3C 273, 3C 279 и PKS 1510-08. В этом цикле наблюдения проводились на волнах  $\lambda 2.08, 3.9, 6.52, 8.2$  см.

Спектры эпохи 1977.23 сравнены со спектрами эпох 1976.25 и 1976.75 и сделаны выводы о характере переменности на временах  $\tau \geq 0.5$  года для разных источников.

У источника Симеиз 0528+13 мы обнаружили в этом цикле быстрое возрастание потока на волне 2.08 см ( $\tau \leq 10$  дней). Собрав все доступные нам измерения этого источника в коротком сантиметровом диапазоне длин волн, мы построили сводную кривую блеска за последние 10 лет. Большая амплитуда переменности и быстрые «вспышки» ставят этот источник в один ряд с такими объектами, как OJ 287.

2. *Наблюдения. Аппаратура.* Наблюдения проводились на северном секторе РАТАН-600 с помощью штатных радиометров [3, 4]. Кроме радиометров на волны 2.08, 3.9, 6.52 см, использовавшихся в предыдущих циклах, в этом цикле наблюдения проводились и с новым радиометром на волну 8.2 см, который будет описан в отдельной статье. Параметры диаграммы направленности телескопа приведены в нашей работе [1], там же приведены чувствительности приемников по антенной температуре на  $\lambda$  2.08, 3.9, 6.52 см. Для приемника на  $\lambda$  8.2 см чувствительность  $\Delta T_A (\tau = 1\text{с}) \approx 0.02\text{ К}$ .

Наблюдения всех источников проведены в течение двух коротких циклов с 14 по 19 марта и с 28 марта по 1 апреля 1977 года.

Методика наблюдений в этом цикле полностью аналогична описанной в статье [1]: двухлучевой прием на волнах  $\lambda$  2.08, 3.9 см и опорный рупор в небо в качестве эквивалента антенны на волнах  $\lambda$  6.52, 8.2 см.

Для калибровки по плотности потока в течение этого цикла проводились наблюдения опорных источников 3С 161 и 3С 286. Принятые значения плотностей потоков этих источников приведены в табл. 1 (в  $\text{Ян} = 10^{-26}\text{ Вт/м}^2\text{ Гц}$ ).

Таблица 1  
ПЛОТНОСТИ ПОТОКОВ ОПОРНЫХ  
ИСТОЧНИКОВ

Источник	2.08 см	3.9 см	6.52 см	8.2 см
3С 161	2.5	4.6	7.2	8.6
3С 286	3.4	5.5	7.5	9.4

Ошибки измерений обсуждены в статье [1]. Для измерений на  $\lambda$  8.2 см  $\Delta S_{\text{шум}} = 0.06\text{ Ян}$ .

3. *Результаты.* В табл. 2 приводятся средние за цикл значения плотности потоков, среднеквадратичные ошибки этой величины и число наблюдений на каждой волне. Кроме того, полученные спектры выведены на графиках вместе со спектрами в предыдущие эпохи, для того, чтобы легче можно было произвести их сравнение визуально. Первый столбец — название источника. Второй столбец — тип объекта, Q — квазар, L — лацертид, RSO — красный звездообразный объект с неисследованным оптическим спектром; 3, 4 и 5 столбцы — плотность потока, ошибка и число наблюдений на волне  $\lambda$  2.08 см; 6, 7, 8 столбцы — то же на  $\lambda$  3.9 см; 9, 10 и 11 столбцы — то же для  $\lambda$  6.52 см и 12, 13, 14 столбцы — то же для  $\lambda$  8.2 см,  $S$ , приведены в  $\text{Ян} = 10^{-26}$ .

Таблица 2

СРЕДНИЕ ПЛОТНОСТИ ПОТОКОВ ПЕРЕМЕННЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ НА ЭПОХУ 1977.23

Источник	Тип	2.08 см			3.9 см			6.52 см			8.2 см		
		$S_v$	$\Delta S_v$	$n$	$S_v$	$\Delta S_v$	$n$	$S_v$	$\Delta S_v$	$n$	$S_v$	$\Delta S_v$	$n$
Симеиз 0528+13*	RSO	1.62	0.24	7	1.42	0.02	6	1.67	0.10	6	1.88	0.05	7
PKS 0735+17	L	1.85	0.10	7	2.02	0.04	6	1.84	0.09	7	2.16	0.10	7
OJ 287**	L	2.40	0.20	6	2.04	0.07	5	1.76	0.09	6	1.01	0.06	6
3C 273	Q	34.5	2.3	8	41.3	2.10	8	41.3	1.20	4	45.0	1.10	4
3C 279	Q	11.8	1.0	8	13.6	2.12	8	13.8	1.20	5	13.2	0.85	5
PKS 1510-08	Q	1.32	0.10	8	1.80	0.06	7	1.76	0.05	8	1.55	0.07	9

\* Следует отметить, что для этого источника  $S_v$  и  $\Delta S_v$  на волне  $\lambda$  2.08 см написаны формально. Для него обнаружено значимое возрастание потока между началом цикла (14—17 марта) и концом цикла (29—31 марта) от  $(1.28 \pm 0.10)$  Ян.

\*\* Для OJ 287 на  $\lambda$  2.08 выборочная дисперсия по отдельным измерениям также слишком велика по сравнению с ожидаемой для непременного источника. По-видимому, в этом цикле на волне  $\lambda$  2.08 см OJ 287 показывал быструю переменность с амплитудой  $\lesssim 30\%$ .

4. Обсуждение. Из сравнения спектров, полученных в три последовательные эпохи с шагом в полгода, можно сделать уточненные выводы по сравнению со статьей [1] о характере переменности этих источников на временах сравнимых или больше полугода. Рассмотрим полученные результаты конкретно по каждому источнику.

Симеиз 0528+13. В диапазоне  $\lambda\lambda$  3.9—8.2 см поток монотонно падал за период, охваченный нашими наблюдениями (эпохи 1976.25—1977.23). На волне 2.08 см поток в начале последнего цикла уже был больше, чем в предыдущем цикле, а в конце марта 1977 г. возрос приблизительно в 1.5 раза по сравнению с потоком в середине марта (быстрая вспышка). По скорости убывания потока в диапазоне  $\lambda\lambda$  8.2—3.9 см характерное время падения блеска  $\tau = (d \ln S/dt)^{-1}$  можно оценить порядка 3—4 лет. Этот вывод подтверждается и сравнением с кривой блеска и за более длительный период (смотри следующий раздел). Дальнейшие наблюдения на РАТАН этого источника показали, что в 1977 г. его поток в сантиметровом диапазоне достиг абсолютного минимума и стал быстро расти (подробнее смотри следующий раздел).

PKS 0735+17. Спектр этого источника оставался плоским в диапазоне  $\lambda\lambda$  2.08—8.2 см в течение всех трех циклов. Поток в этом диапазоне с точностью до ошибок измерений  $\lesssim 10\%$  тоже оставался неизменным в течение года. На волне  $\lambda$  2.08 см в первых двух циклах (эпохи 1976.25 и

1976.75) в спектре намечается слабый завал в сторону коротких волн. За период наших наблюдений PKS 0735+17 был самым спокойным из 6-ти наблюдавшихся переменных радионисточников. Характерное время изменения блеска в сантиметровом диапазоне в этот период  $\tau \geq 10$  лет.

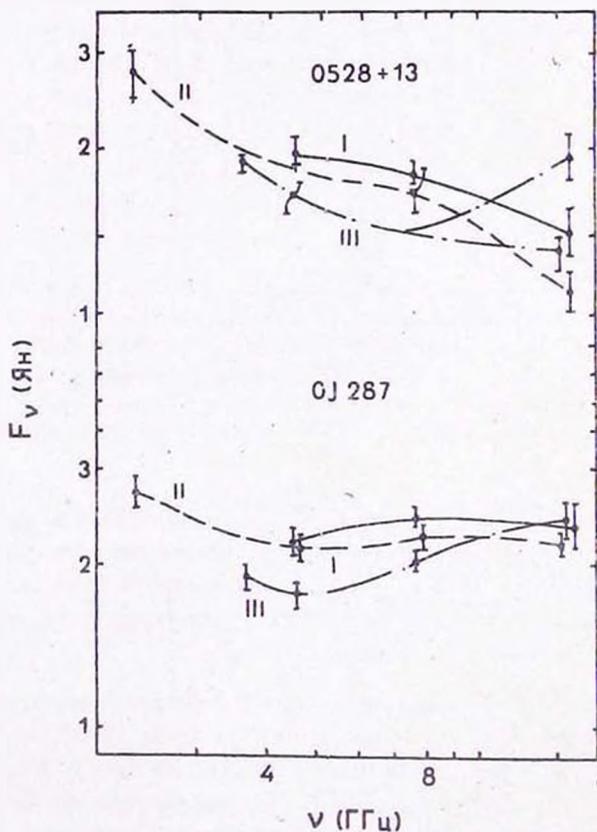


Рис. 1. Спектры источников Сигмеиз 0528+13 и OJ 287 на эпохи 1976.25 (кривая I), 1976.75 (кривая II) и 1977.23 (кривая III). По оси абсцисс — частота в ГГц, по оси ординат — плотность потока в Янских. В третьем цикле у Сигмеиз 0528+13 поток на  $\lambda 2.08$  см резко увеличился к концу цикла, что показано разветвляющейся кривой III на участке от  $\lambda 3.9$  см до  $\lambda 2.08$  см.

OJ 287. В течение трех циклов у этого источника значительно изменились как спектр, так и поток в диапазоне  $\lambda \lambda 3.9—8.2$  см. В первом и втором циклах (1976.25 и 1976.75) спектр в диапазоне  $\lambda \lambda 2.08—6.52$  см был практически плоским ( $\alpha = 0$ ), причем поток во всем диапазоне за полгода упал приблизительно на 10%. По результатам 3-го цикла обнаружено дальнейшее уменьшение потока в диапазоне  $\lambda \lambda 3.9—8.2$  см с одновременным увеличением потока на волне  $\lambda 2.08$  см. При этом спектр превратился в ин-

версный ( $\alpha > 0$ ), что при обычной синхротронной интерпретации соответствует появлению нового высокочастотного компонента. Характерное время падения потока в диапазоне  $\lambda$  3.9—8.2 см по нашим наблюдениям  $\tau \approx 5$  лет.

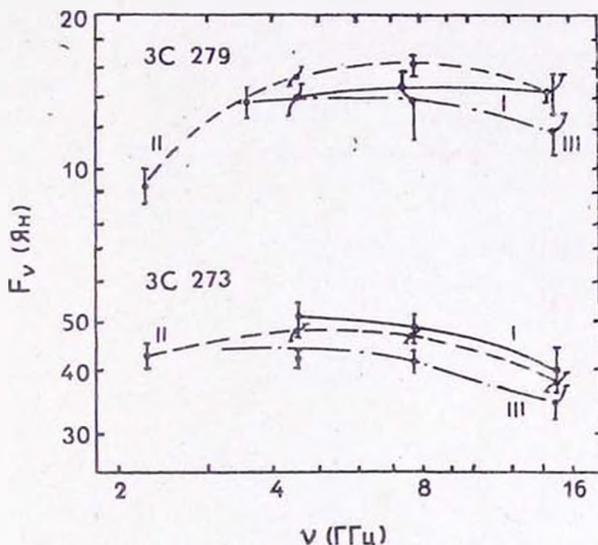


Рис. 2. Спектры источников 3C 273 и 3C 279 на эпохи 1976.25 (кривая I), 1976.75 (кривая II) и 1977.23 (кривая III), по осям то же, что на рис. 1.

**3C 273.** По нашим наблюдениям, поток этого источника в диапазоне 2.08—6.52 см падал от первого цикла ко второму и от второго цикла к третьему. Характер спектра за этот период в указанном диапазоне оставался одним и тем же с точностью до ошибок измерений. Характерное время падения потока  $\tau \leq 6$  лет. В более длинноволновой области ( $\lambda \geq 8$  см), судя по нашим данным о потоках на  $\lambda$  13 см во втором цикле и на  $\lambda$  8.2 см в третьем цикле, падение происходит медленнее.

Описанное поведение спектра 3C 273 в модели канонического синхротронного источника соответствует случаю прозрачной на волнах  $\lambda$  2—6 см расширяющейся оболочки, с уменьшающейся во времени плотностью релятивистских электронов и напряженностью магнитного поля [5]. Воспользовавшись формулами из [5] для скорости падения потока со временем в прозрачной части спектра, можно получить момент начала вспышки, затухание которой мы наблюдали:

$$(S_2/S_1) = (t_2/t_1)^{-2\alpha}, \quad \alpha = 2\alpha + 1,$$

$\alpha$  — в прозрачной части спектра ( $\lambda$  2.08—3.9 см)  $\approx 0.3$ . Отсюда, сравни-

вая потоки в эпохи 1976.25 и 1977.23, легко получим, что  $t_1(1976.25) \approx \approx 1$  год, т. е. выброс частиц и вспышка произошли в эпоху 1975.25, где-то в апреле—мае 1975 г. На кривой блеска на волне  $\lambda$  2.8 см, приведенной в [8], видно, что как раз в этот период началось увеличение потока, что подтверждает наши оценки момента вспышки.

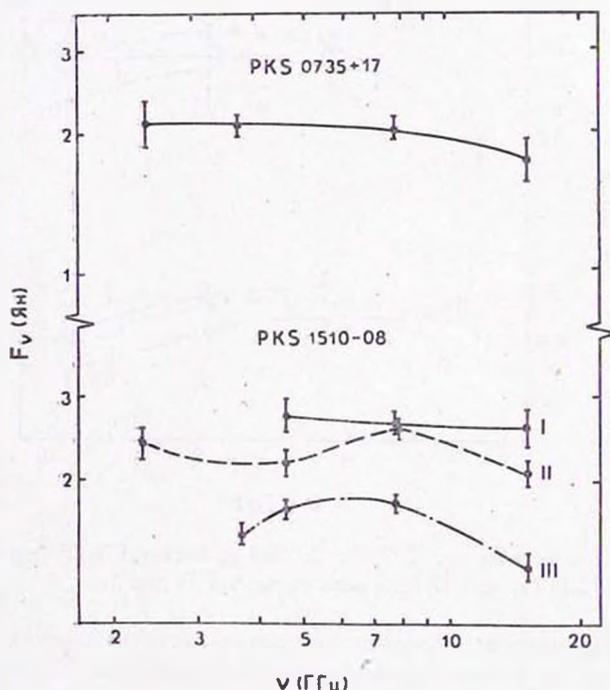


Рис. 3. Спектры источников PKS 0735+17 и PKS 1510—08 на эпохи 1976.25 (кривая I), 1976.75 (кривая II) и 1977.23 (кривая III). Для PKS 0735+17, ввиду отсутствия значимых отличий от цикла к циклу, приведен только средний за три цикла радиоспектр.

ЗС 279. Изменения сантиметрового потока этого источника в течение трех циклов наших наблюдений носили немонотонный характер. В период между первым и вторым циклом произошел общий подъем потока в диапазоне  $\lambda$  2.08—6.52 см, до 10% на  $\lambda$  3.9 см. В следующий период поток во всем диапазоне упал до 14% на  $\lambda$  2.08 и  $\lambda$  3.9 см. Характер спектра в этом диапазоне остался неизменным, со средним спектральным индексом  $\alpha \approx 0$ .

По нашим наблюдениям можно только констатировать, что для этого источника в сантиметровом диапазоне свойственна переменность на временах в полгода.

*PKS 1510—08.* У этого источника в течение года (эпохи 1976.25, 1976.75 и 1977.23) произошло общее изменение характера спектра в см диапазоне и сильно изменился поток. В первом цикле спектр в диапазоне  $\lambda$  2.08—6.52 см плоский ( $\alpha \approx 0$ ) и средний по спектру поток  $S_{\nu} \approx 2.7$  Ян. Во втором цикле поток на волне  $\lambda$  3.9 см остался неизменным, а поток как на  $\lambda$  2.08, так и на  $\lambda$  6.52 см упал. Таким образом, в спектре образовался максимум около  $\lambda$  3.9 см. В третьем цикле зарегистрировано убывание потока уже во всем диапазоне  $\lambda$  2.08—8.2 см, причем максимум в спектре сместился к волне  $\lambda = 5$  см. Характерное время уменьшения потока по данным второго и третьего циклов  $\tau = 2.5$  года. Интерпретация в рамках модели расширяющейся оболочки для такого типа изменений радиоспектра, очевидно, встречает трудности.

Отметим здесь, что для трех источников: *PKS 0735+17*, *OJ 287* и *3C 273*, которые наблюдались в конце января—начале февраля 1977 г. на американском радиотелескопе VLA на волнах, близких к нашим  $\lambda$  6.52 и  $\lambda$  2.08 см [6], имеется хорошее согласие между нашими измерениями потоков в марте 1977 г. и потоками, приведенными в [6].

5. *О переменности источника Симеиз 0528+13 за последние 10 лет.* Пять из шести источников, наблюдавшихся нами в этих циклах, патрулировались в течение последних 10 лет на волнах 2.8 и 4.5 см канадскими радиоастрономами из обсерватории Алгонкин [7, 8]. В работе [8] приводятся кривые блеска, которые позволяют проследить характер переменности этих источников с характерным временным разрешением 1—2 месяца, а для *OJ 287* — с лучшим разрешением. В работе [9] приводятся кривые блеска на волне 3.7 см за интервал около 5 лет.

К сожалению, источник Симеиз 0528+13 не патрулировался в этих программах. Поэтому для него нет однородного наблюдательного ряда на больших интервалах времени. Для того, чтобы хотя бы грубо представить себе характер переменности этого источника, мы собрали всю доступную нам информацию об измерениях потока Симеиз 0528+13 в диапазонах 7.7—8.5 ГГц и 14.5 ГГц и свели эти данные в условную кривую блеска (рис. 4).

Для диапазона 7.7—8.5 ГГц использованы следующие наблюдения:

1. Апрель—май 1969 г.—8.5 ГГц, РТ-22 КрАО [10] — первое обнаружение.
2. Апрель—май 1970 г.—8.5 ГГц, РТ-22 КрАО, частное сообщение авторов [10].
3. Декабрь 1971 г.—7.7 ГГц, Большой Пулковский радиотелескоп, ссылка в [10].
4. Июнь 1975 г.—8.1 ГГц, NRAO [2].
5. Июнь 1975 г.—7.7 ГГц, РАТАН-600 (не опубликовано).

6. Апрель 1976 г.— март 1977 г., 7.7 ГГц, РАТАН-600 [1] и настоящая статья.

7. Декабрь 1977 г. и апрель 1978 г., 8.5 ГГц, РАТАН-600, Ларионов, Горшков, частное сообщение.

8. Декабрь 1978 г.— март 1979 г., 7.7 ГГц, РАТАН-600, наши наблюдения, не опубликовано.

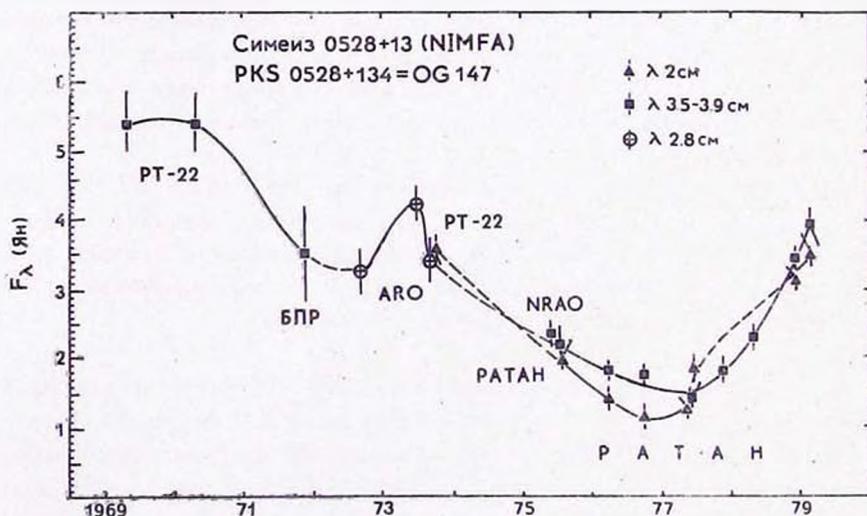


Рис. 4. Кривые блеска источника Симеиз 0528+13 (NIMFA) в диапазонах  $\lambda$  3.5—3.9 см с 1969 по 1979 г. и  $\lambda$  2.08 см с 1973 по 1979 г. по наблюдениям на РАТАН, РТ-22 (КРАО АН СССР), БПР (Пулково), АРО (Алгонкин, Канада), NRAO (США). По оси абсцисс — время в годах, по оси ординат — плотность потока в Янских

Кроме того, в промежутке с августа 1972 г. по сентябрь 1973 г. использованы также измерения потока на  $\nu = 10.6$  ГГц в Алгонкинской радионаблюдательной обсерватории [11]. Этот источник обозначен в [11] как OG 147.

Для диапазона 14.5 ГГц использованы следующие наблюдения:

1. Сентябрь 1973 г., 14.4 ГГц, РТ-22 КРАО [12].
2. Июль 1975 г., 14.4 ГГц, РАТАН-600, не опубликовано.
3. Апрель 1976 г.— март 1977 г., РАТАН-600, [1] и настоящая статья.

4. Декабрь 1978 г.— март 1979 г., РАТАН-600, наши наблюдения, не опубликовано.

Исходя из приведенной на рис. 4 кривой блеска, поведение источника Симеиз 0528+13 в коротком сантиметровом диапазоне можно охарактеризовать так. Объект был открыт в фазе наибольшей яркости ( $S_\nu \approx 5.4$  Ян с учетом коррекции на 14% шкалы, принятой в [10]), причем период этот

продолжался не менее года. С 1970 г. по 1977 г. поток от источника падал монотонно до значения  $S_\nu \approx 1.4$  Ян. В 1973 г., как видно из наблюдений а  $\lambda 2.8$  см, произошла небольшая вспышка с характерным временем не больше полугода.

Быстрая вспышка на волне  $\lambda 2.08$  см была обнаружена по нашим наблюдениям на РАТАН в конце марта 1977 г. Поток в этот период возрос в 1.5 раза за  $\tau \leq 10$  дней. Сейчас источник находится в фазе большой вспышки и, безусловно, представляет интерес для патрулирования, так как можно ожидать новых быстрых «вспышек». Изучение вариаций спектра в таких вспышках могло бы дать важный материал для проверки различных моделей радиопеременности.

Резюмируя, можно отметить, что по большой амплитуде относительного изменения потока от 5.4 до 1.4 Ян и по малому характерному времени радиовспышки радиоисточник Сimeiз 0528+13 является одним из наиболее активных и интересных для дальнейшего изучения.

О природе этого объекта пока сказать ничего нельзя. Он находится в низких галактических широтах ( $b'' \approx -11^\circ$ ) и отождествлен с очень слабым объектом: RSO 20<sup>m</sup> [2] в области с заметным поглощением. Оптический спектр его не изучен.

Авторы выражают благодарность Ю. Н. Парийскому за поддержку этой работы и ценные советы, М. Г. Ларионову и А. Г. Горшкову за представление неопубликованных данных. Авторы благодарны также коллегам лаборатории А. Б. Берлина, поддерживавшим аппаратуру в хорошем состоянии.

Специальная астрофизическая  
обсерватория АН СССР

## FURTHER OBSERVATIONS OF VARIABLE RADIO SOURCES WITH RATAN-600 RADIOTELESCOPE

V. A. MAIZEL<sup>1</sup>, M. G. MINGALIEV, S. A. PUSTILNIK, S. A. TRUSHKIN

Radiospectra at epoch 1977.23 of variable radio sources Simeiз 0528+13, PKS 0735+17, OJ 287, 3C 273, 3C 279 and PKS 1510-08 are presented as a result of observations with RATAN-600 at wavelengths 2.08, 3.9, 6.52 and 8.2 cm. The comparison of these spectra is made with the spectra obtained at epochs 1976.25 and 1976.75. The radio source Simeiз 0528+13 has shown, in late March 1977, the fast increase of flux density at  $\lambda 2.08$  cm with characteristic time  $\tau \leq 10$  days. For this source the light curve for centimetre range was constructed

using all known measurements during the last 10 years. This light curve gives evidence that Simeiz 0528+13 is one of the most active radio sources.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. М. Г. Мингалев, С. А. Пустильник, С. А. Трушкин, Р. М. Киракосян, В. Г. Мацимян, *Астрофизика*, 14, 91, 1978.
2. J. J. Condon, P. D. Hicks, D. L. Jauncey, *A. J.*, 82, 692, 1977.
3. С. Э. Хайкин, Н. Л. Кайдановский, Ю. Н. Парийский, Н. А. Есепкина, *Изв. ГАО*, № 188, 3, 1972.
4. Ю. Н. Парийский, О. Н. Шиврис, Д. В. Корольков, А. Б. Берлин, Н. Л. Кайдановский, Н. А. Есепкина, Ю. К. Зверев, А. И. Копылов, Э. И. Коркин, А. П. Лавров, Н. С. Соболева, А. А. Стоцкий, *Радиофизика*, 19, № 11, 1581, 1976.
5. K. I. Kellermann, in "Galactic and Extragalactic Radioastronomy", eds. Verschuur and Kellermann, Springer Verlag, 1974. (Русск. пер.: "Галактическая и внегалактическая радиоастрономия", Мир, М., 1976).
6. F. N. Owen, R. W. Porcas, S. L. Mufson, T. J. Moffett, *A. J.*, 83, 685, 1978.
7. W. J. Medd, B. H. Andrew, G. A. Harvey, J. L. Locke, *Mem. R. Astron. Soc.*, 77, 109, 1972.
8. B. H. Andrew, J. M. MacLeod, G. A. Harvey, W. J. Medd, *A. J.*, 83, 863, 1978.
9. W. A. Dent, J. E. Kapitzky, *A. J.*, 81, 1053, 1976.
10. М. Г. Ларионов, А. Г. Горшков, М. В. Попов, Н. Г. Моисеев, *Астрон. цирк.*, № 665, 1971.
11. M. R. Gearhart, J. D. Kraus, B. H. Andrew, *Ap. J.*, Suppl., ser., 30, No. 3, 337, 1971.
12. В. Р. Амирханян, А. Г. Горшков, В. К. Конникова, М. Г. Ларионов, В. Г. Мирковский, Н. А. Струков, В. С. Эткин, *Астрон. цирк.*, № 802, 7, 1973.