

УДК 524.7-823

А. Е. Вольвач¹, А. Б. Пушкарев^{2,1,3}, Л. Н. Вольвач¹, Х. Д. Аллер⁴, М. Ф. Аллер⁴

¹ Науково-дослідний інститут «Кримська астрофізична обсерваторія», Научний, Крим

² Радіоастрономічний інститут ім. Макса Планка, Бонн, Німеччина

³ Головна (Пулковська) астрономічна обсерваторія, Санкт-Петербург, Росія

⁴ Радіоастрономічна обсерваторія Мічиганського університету, Анн Арбор МІ, США

ЭВОЛЮЦИЯ ПОТОКОВ И ПАРСЕКОВОЙ СТРУКТУРЫ КОМПАКТНЫХ ВНЕГАЛАКТИЧЕСКИХ РАДИОИСТОЧНИКОВ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ МОНИТОРИНГА НА ЧАСТОТАХ 4.8–36.8 ГГц И КАРТОГРАФИРОВАНИЯ ПО ГЕОДЕЗИЧЕСКИМ РСДБ-НАБЛЮДЕНИЯМ

Представлено результати досліджень змінності радіоджерел за даними регулярного моніторингу в діапазоні частот 4.8–36.8 ГГц, що проводиться в НДІ «Кримська астрофізична обсерваторія» (Україна) і Радіоастрономічній обсерваторії Мічиганського університету (США), а також спостережень у рамках міжнародних геодезичних РНДБ-програм на частотах 2 і 8 ГГц. Спільний аналіз варіацій інтегральних потоків і структур на мілісекундних масштабах, виконаний для 32 джерел, показав, що для частини об'єктів спалах на високих радіочастотах не супроводжується появою нового РНДБ-компонента, але для ряду джерел зміни потоків на різних радіочастотах відбуваються одночасно, а посилення потоку супроводжується появою нового РНДБ-компонента

ВВЕДЕНИЕ

Переменность активных ядер галактик (АЯГ) представляет собой сложное и многообразное явление. Предполагается, что огромная энергия, излучаемая АЯГ, рождается в результате аккреции на сверхмассивные черные дыры, находящиеся в центрах галактик. Сам феномен активности остается открытым вопросом, поскольку даже наличие сверхмассивной черной дыры является лишь необходимым, но не достаточным условием возникновения релятивистских выбросов, наблюдаемых в квазарах, объектах типа VL Lacertae и мощных радиогалактиках. Фактически все галактики в процессе своей эволюции проходят стадию активности, что подтверждается шкалой расстояний, на которой обнаружены активные галактические ядра — от красных смещений, близких к нулю, до $z > 5$.

Длительный мониторинг нестационарных источников открывает хорошую перспективу для установления связи между структурой источника, полученной из интерферометрических наблюдательных сессий, и переменностью его интегрального потока.

Настоящая работа ставит своей целью выделение явлений активности источников от момента зарождения первичного возмущения в ядрах до затухания вторичных процессов в джете.

НАБЛЮДЕНИЯ

Мониторинг в диапазоне частот 4.8–36.8 ГГц. Наблюдения переменности внегалактических радиоисточников на частотах 22.2 и 36.8 ГГц проводились с помощью 22-м радиотелескопа РТ-22 НИИ «КрАО» [14]. Представлены усредненные результаты наблюдений с 1973 по 2005 гг., объединенные с ранее опубликованными данными [2, 9, 12, 3, 11, 13]. Интервал усреднения — одна неделя. Применялась модуляция (переключение)

© А. Е. ВОЛЬВАЧ, А. Б. ПУШКАРЕВ, Л. Н. ВОЛЬВАЧ, Х. Д. АЛЛЕР, М. Ф. АЛЛЕР, 2009

диаграммы направленности антенны между двумя направлениями, разнесенными по азимуту, для уменьшения влияния флуктуаций излучения атмосферы на результаты измерений. Перед измерением интенсивности излучения определялось положение источника сканированием. Затем радиотелескоп устанавливался на источник поочередно главным и опорным (условно) лепестками диаграмм направленности, которые формируют при диаграммной модуляции и имеют взаимно ортогональные поляризации. Антенные температуры исследуемых объектов пересчитывались в плотности потоков по абсолютным значениям потоков калибровочных источников. Поглощение в атмосфере Земли определялось методом разрезов.

Наблюдения переменности радиоисточников на частотах 4.8, 8 и 14.5 ГГц проводились на 26-м радиотелескопе Радиоастрономической обсерватории Мичиганского университета. Методика наблюдений и обработки данных на РТ-26 приведены в работе [4].

РСДБ-наблюдения на частотах 2 и 8 ГГц. Геодинамические измерения регулярно проводятся с участием глобальной радиоинтерферометрической сети одновременно на частотах 8.6 и 2.3 ГГц, в том числе (начиная с 1994 г.) с участием 22-м радиотелескопа НИИ «КрАО» (станция Симеиз) [1, 18, 15]. Наблюдательные станции выполняют две основные функции: а) наведение радиотелескопа на источник; б) сопровождение источника и регистрацию сигнала.

Обычно в течение одной сессии наблюдаются 80–100 компактных источников. Длительность одной сессии составляет 24 ч. Каждая станция за этот период делает 300–500 сканов источников. Запись сигнала велась в правой круговой поляризации с однобитным квантованием одновременно в восьми частотных каналах шириной 8 МГц каждый: в *S*-полосе с центрами на 2.22, 2.24, 2.33, 2.36 ГГц и в *X*-полосе с центрами на 8.41, 8.48, 8.79, 8.90 ГГц. Общая ширина полосы составила 32 МГц при 16 спектральных каналах в каждом частотном. Для каждого источника получено 5–7 сканов с интегральным временем слежения около 55 мин, что для используемой конфигурации антенн соот-

ветствует около 65 тыс. измерений амплитуды и фазы функции видности. Корреляция данных была осуществлена на VLBA-корреляторе в Сокорро (Нью-Мексико, США) со временем интегрирования 4 с. Из РСДБ-наблюдений, выполненных согласно геодинамическим программам в периоды 16–17 января, 8–9 мая и 25–26 сентября 2002 г., получена тонкая структура ряда компактных внегалактических источников с активными ядрами (данные получены из архива NRAO <http://archive.nrao.edu>). Первичная калибровка была проведена с помощью пакета обработки AIPS (NRAO). Для калибровки амплитуды использовались кривые усиления антенн и системные температуры, измеренные в течение каждого сеанса. Коррекция фазы за остаточные задержки была выполнена процедурой FRING с использованием четырехминутного интервала усреднения при нахождении решений и применением модели точечного источника.

Самокалибровка и гибридное картографирование были проведены в DIFMAP [10]. В качестве начальной модели во всех случаях использовалась модель точечного источника в фазовом центре. При построении окончательной карты источника использовалось естественное взвешивание данных функции видности. Моделирование структуры объектов также было выполнено в DIFMAP с использованием круговых гауссовых составляющих.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Комплексный анализ вариаций интегрального излучения внегалактических источников и их структуры на масштабах миллисекунд дуги (мсд) может дать ключ к обнаружению и пониманию важных свойств активных галактических ядер. В табл. 1 указаны 32 радиоисточника, для которых проведен совместный анализ вариаций интегральных потоков и структур на миллисекундных масштабах. В первой и второй графах приведено название источника в нотации V1950.0 и J2000.0 соответственно, в третьей — его альтернативное название, в четвертой и пятой — оптический класс и красное смещение z , в шестой и седьмой — эпохи наблюдений в режиме одиночной антенны и РСДБ-наблюдений.

Таблица 1. Объекты и эпохи их наблюдений

Источник B1950.0	Источник J2000.0	Другое название	Опт. класс	z	Эпоха одиночных наблюдений	Эпоха РСДБ-наблюдений
0003 – 066	0006 – 0623	NRAO 005	BL Lac	0.347	1980.18–2007.01	2002.04–2002.95
0048 – 097	0050 – 0929		BL Lac	–	1969.72–2007.08	2002.04–2003.19
0133 + 476	0136 + 4751	DA 55	QSO	0.859	1971.30–2006.50	2002.04–2002.95
0234 + 285	0237 + 2848	CTD 20	QSO	1.207	1981.52–2006.98	2002.04–2003.19
0235 + 164	0238 + 1636		BL Lac	0.940	1974.63–2007.07	2002.04–2002.95
0336 – 019	0339 – 0146	CTA 26	QSO	0.852	1967.12–2006.62	2002.04–2003.19
0430 + 052	0433 + 0521	3C 120	RG	0.033	1966.59–2007.07	2002.04–2002.35
0458 – 020	0501 – 0159		QSO	2.291	1982.98–2006.87	2002.04–2003.19
0528 + 134	0530 + 1331		QSO	–	1976.29–2006.97	2002.04–2003.19
0552 + 398	0555 + 3948	DA 193	QSO	2.363	1970.80–2007.08	2002.04–2003.19
0642 + 449	0646 + 4451	OH 471	QSO	3.408	1980.73–2006.81	2002.04–2003.19
0716 + 714	0721 + 7120		BL Lac	0.310	1981.18–2007.08	2002.73
0804 + 499	0808 + 4950		QSO	1.432	1980.52–2006.83	2002.04–2003.19
0851 + 202	0854 + 2006	OJ 287	BL Lac	0.306	1971.07–2007.08	2002.04–2003.19
0923 + 392	0927 + 3902	4C 39.25	QSO	0.698	1967.12–2007.07	2002.04–2003.19
1101 + 384	1104 + 3812		BL Lac	0.031	1978.28–2007.08	2002.04–2003.19
1308 + 326	1310 + 3220	OP 313	QSO	0.997	1976.33–2007.08	2002.04–2002.73
1334 – 127	1337 – 1257		QSO	0.539	1974.73–2007.08	2002.04–2003.19
1404 + 286	1407 + 2827	OQ 208	RG	0.077	1974.56–2006.75	2002.04–2003.19
1606 + 106	1608 + 1029	4C + 10.45	QSO	0.672	1977.39–2006.53	2002.04–2003.19
1611 + 343	1613 + 3412	DA 406	QSO	1.401	1979.45–2006.47	2002.04–2003.19
1638 + 398	1640 + 3946	NRAO 512	QSO	1.666	1982.86–2006.62	2002.04–2003.19
1725 + 044	1728 + 0427		QSO	0.293	1977.43–2006.21	2002.73
1739 + 522	1740 + 5211	4C + 51.37	QSO	1.379	1983.62–2006.83	2002.04–2002.73
1741 – 038	1743 – 0350		QSO	1.057	1974.54–2007.07	2002.04–2003.19
1749 + 096	1751 + 0939	4C + 09.57	BL Lac	0.320	1978.87–2007.08	2002.04–2003.19
1803 + 784	1800 + 7828		BL Lac	0.680	1981.18–2007.08	2002.04–2003.19
1921 – 293	1924 – 2914		QSO	0.352	1974.68–2007.08	2002.04–2003.19
2145 + 067	2148 + 0657	4C + 06.69	QSO	0.999	1967.86–2007.07	2002.04–2003.19
2200 + 420	2202 + 4216	BL Lac	BL Lac	0.069	1968.32–2007.07	2002.01–2002.09
2223 – 052	2225 – 0457	3C 446	QSO	1.404	1967.30–2007.08	2002.04–2003.19
2230 + 114	2232 + 1143	CTA 102	QSO	1.037	1974.56–2007.07	2002.73

На рис. 1 для каждого из 32 источников из табл. 1 приведены: 1) кривые блеска на частотах 4.8, 8, 14.5, 22.2 и 36.8 ГГц, 2) результаты РСДБ-картографирования на частоте 8.6 ГГц, 3) реальная часть комплексной функции видности объекта на частоте 8.6 ГГц.

Многочастотные кривые блеска для большинства объектов покрывают периоды от 20 до 40 лет. Измерения интегральных плотностей потока источников проводятся с высокой временной скважностью, в среднем один раз в неделю на частотах 4.8–14.5 ГГц и 2–3 раза в месяц на частотах 22.2 и 36.8 ГГц. Средние квадратичные ошибки σ измеренных интегральных плотнос-

тей потоков определялись с учетом: средней квадратичной ошибки среднего $\sigma_{\text{ср}}$, оцениваемой по серии ON-ON измерений (шумы и неточность ведения телескопа); ошибки $\sigma_{\text{гш}}$ измерения сигнала от генератора шума, который применялся для отслеживания изменений коэффициента усиления радиометра (обычно $\sigma_{\text{гш}} < 1\%$); ошибки $\sigma_{\text{полг}}$, вносимой неточным знанием коэффициента поглощения в атмосфере; ошибки $\sigma_{\text{эф}}$ учета зависимости $A_{\text{эф}}$ от положения РТ-22 по углу высоты (в среднем $\sigma_{\text{эф}} \approx 2.5\%$). Результирующие значения ошибки в большинстве случаев сравнимы с размерами символов на рисунке.

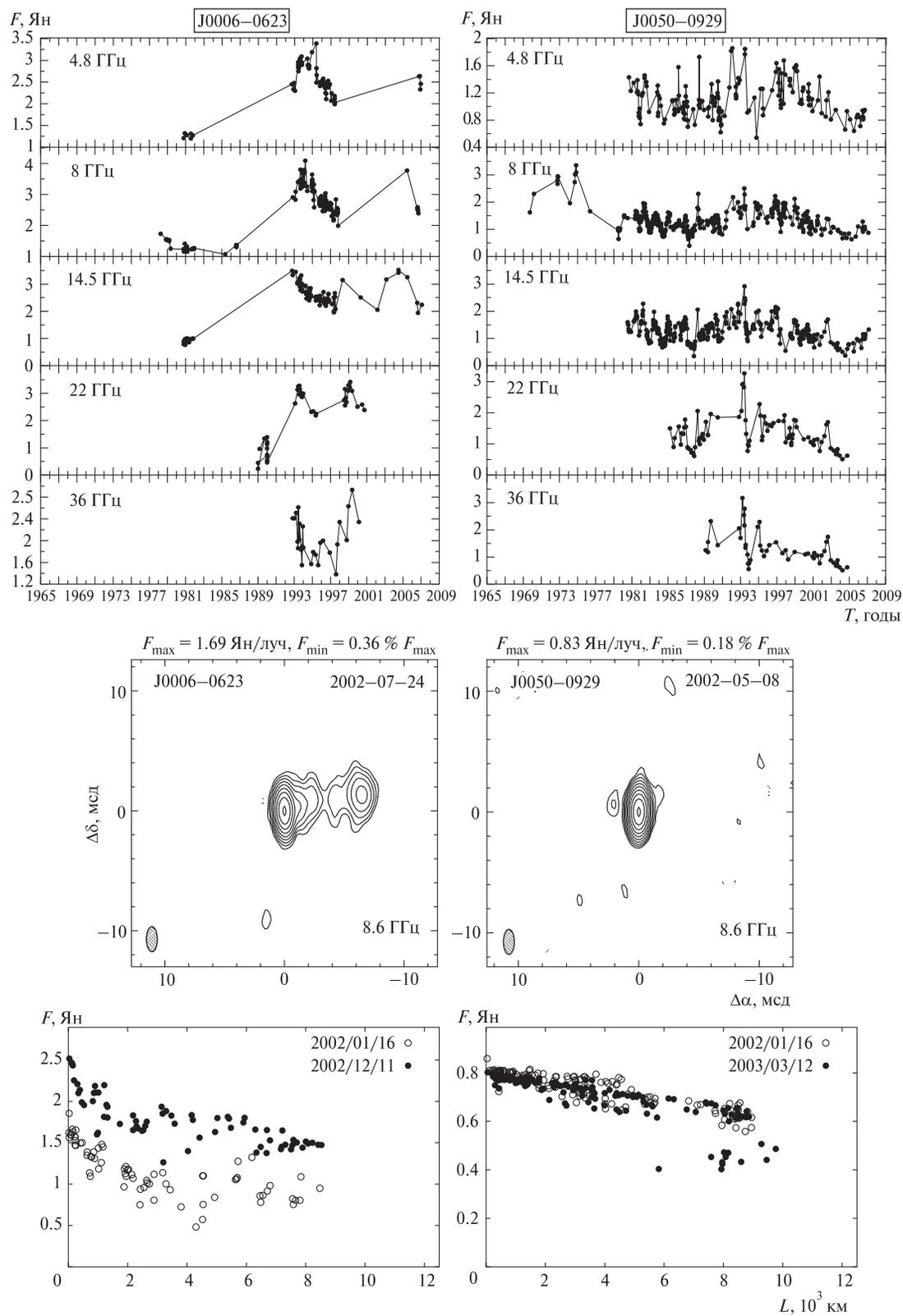


Рис. 1. Многочастотные кривые блеска F , а также РСДБ-карты и амплитуды функции видности на частоте 8.6 ГГц для 32 объектов (см. также с. 37–51)

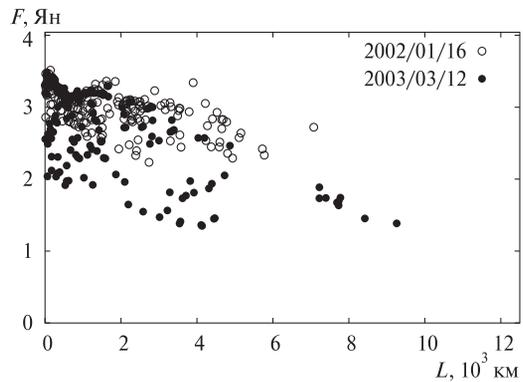
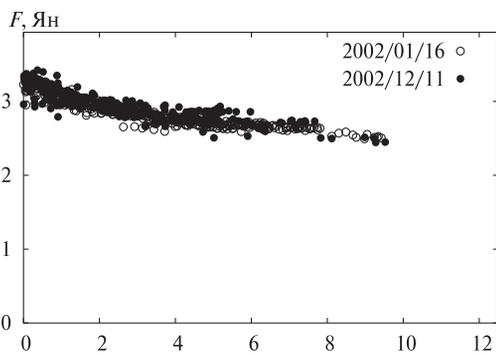
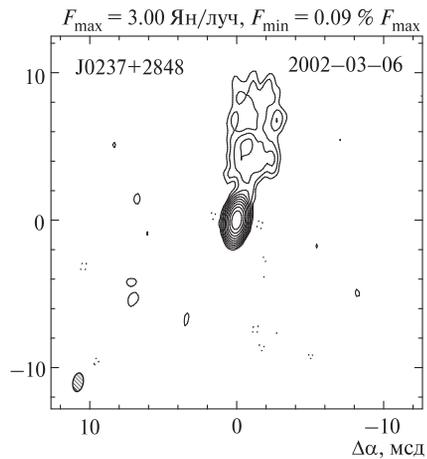
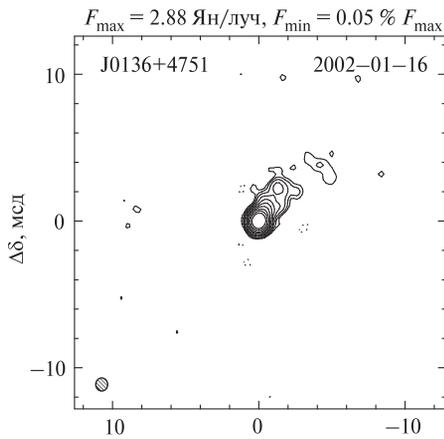
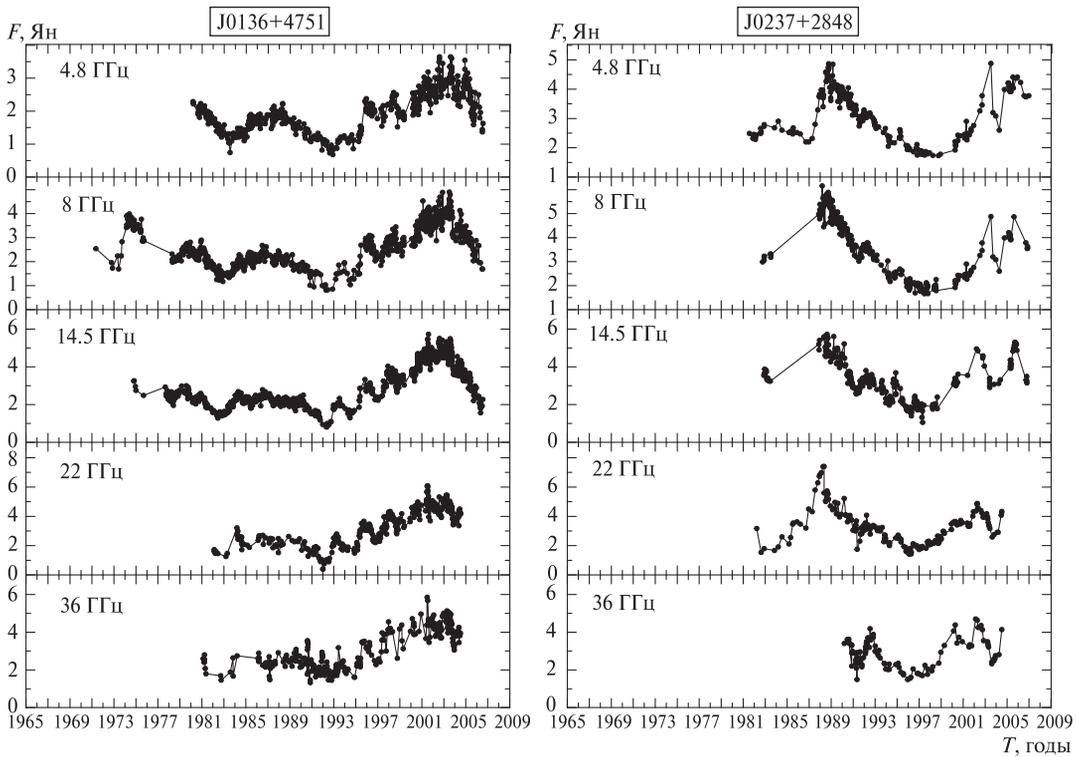


Рис. 1. Продолжение

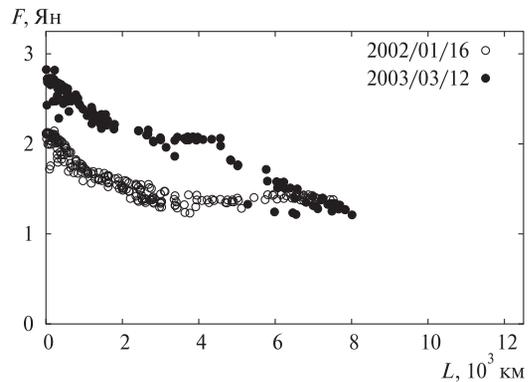
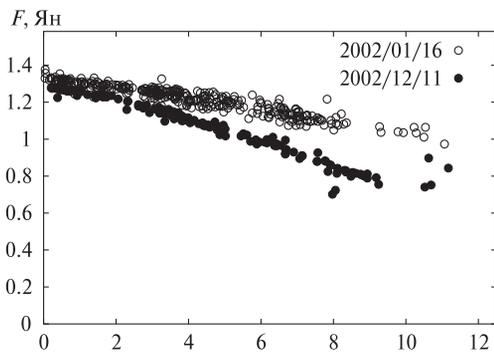
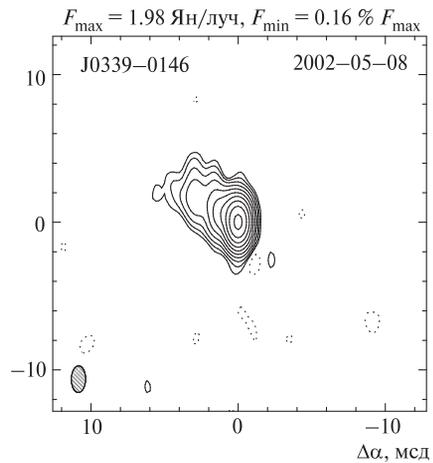
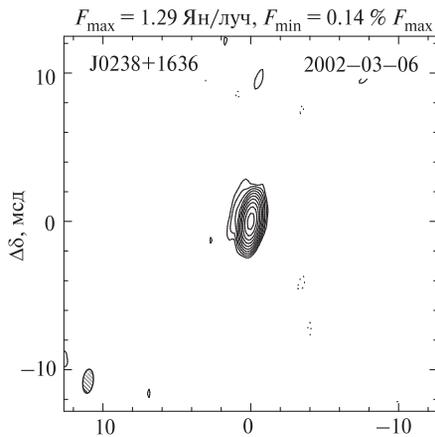
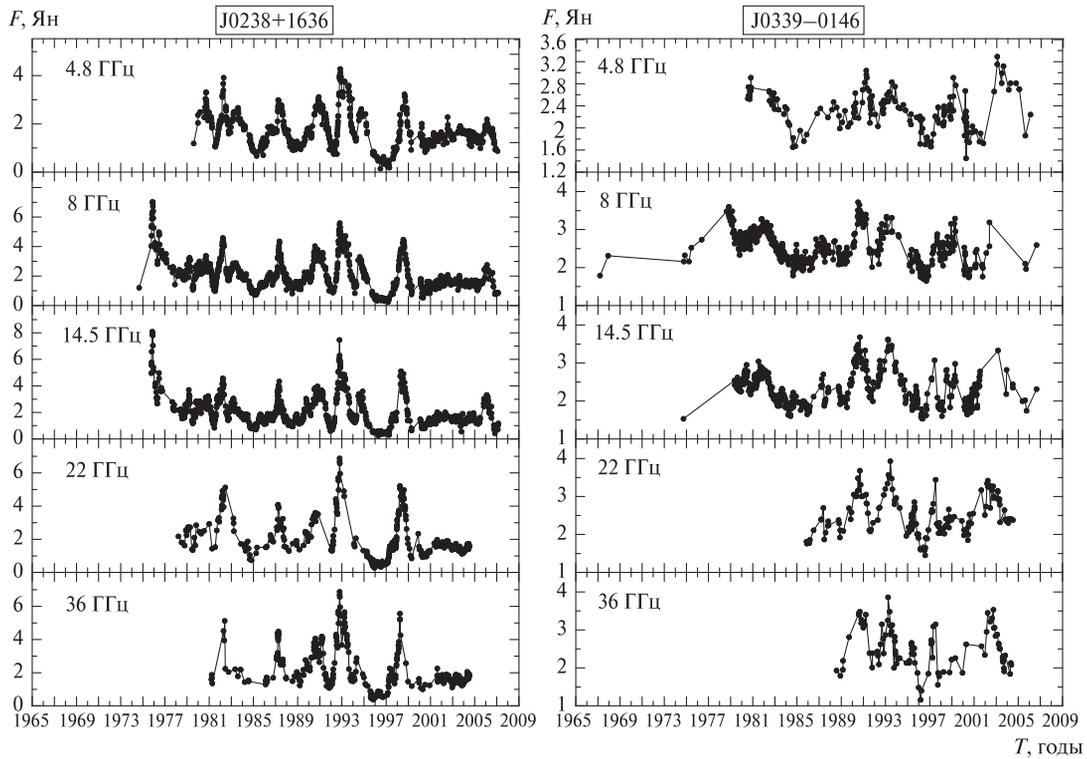


Рис. 1. Продолжение

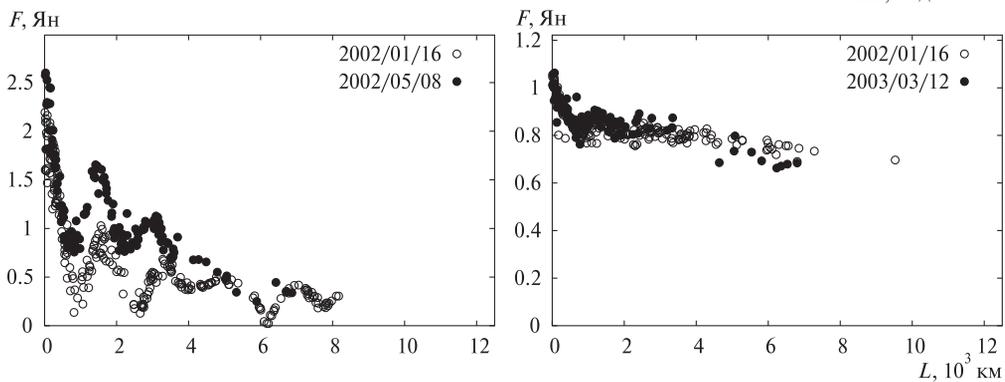
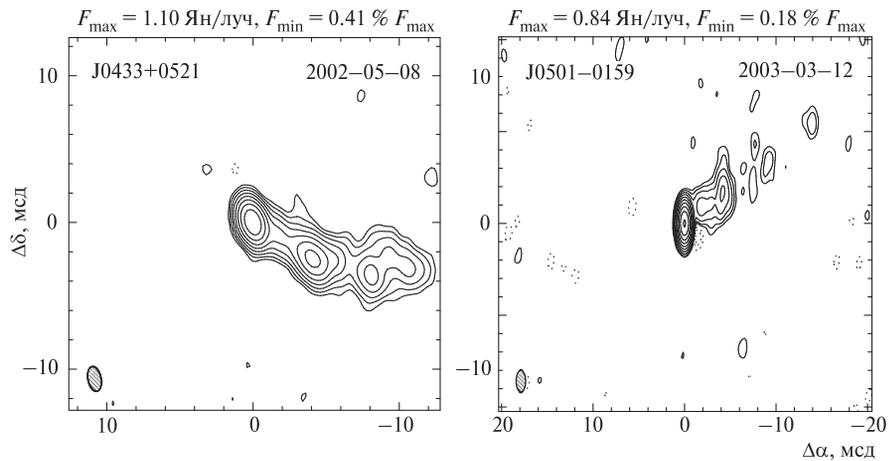
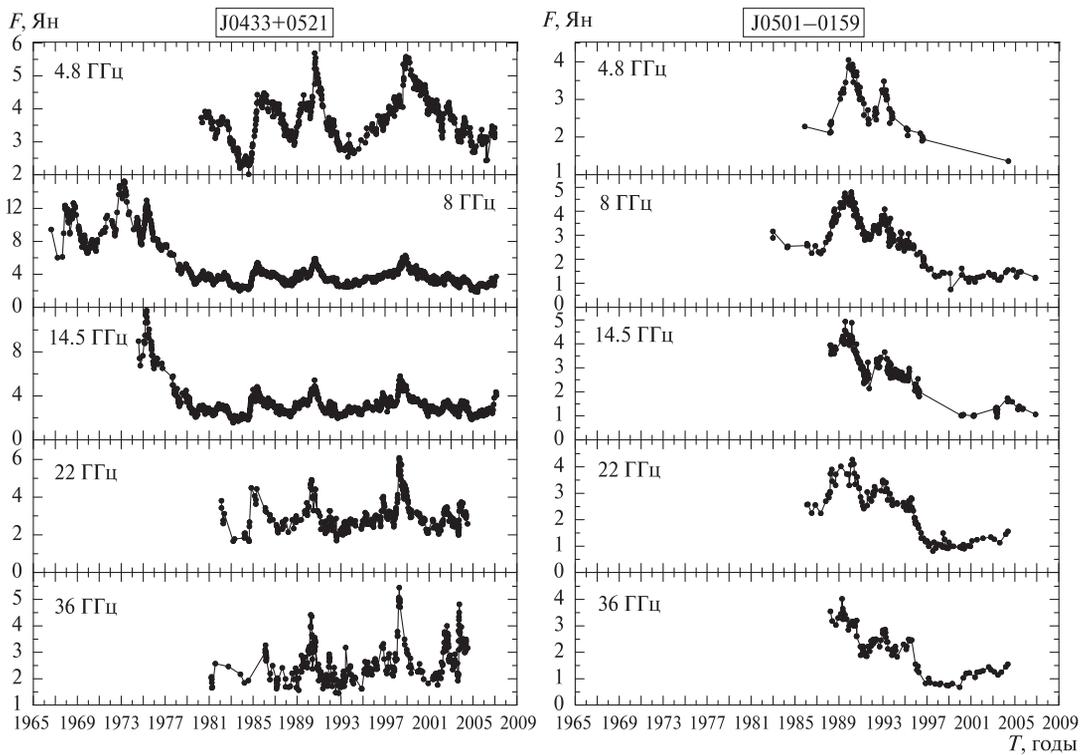


Рис. 1. Продолжение

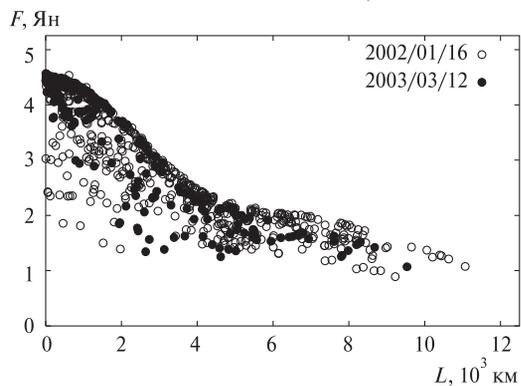
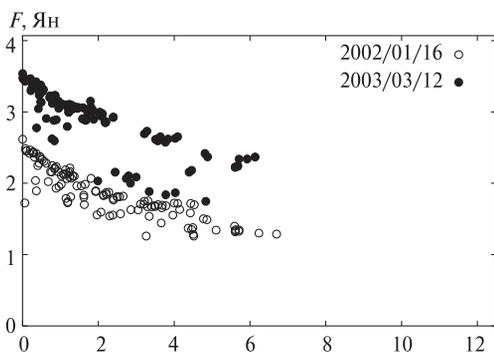
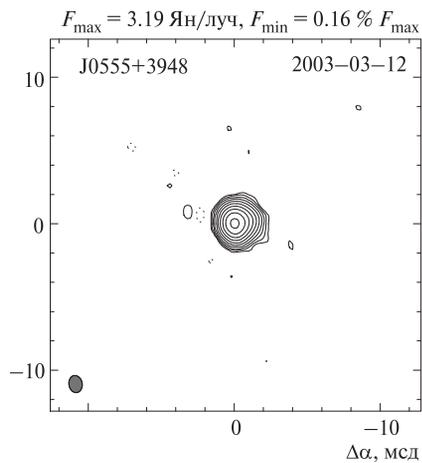
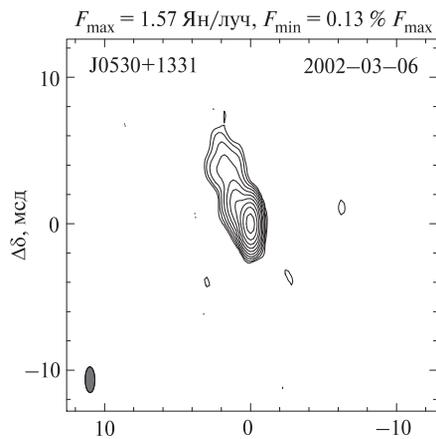
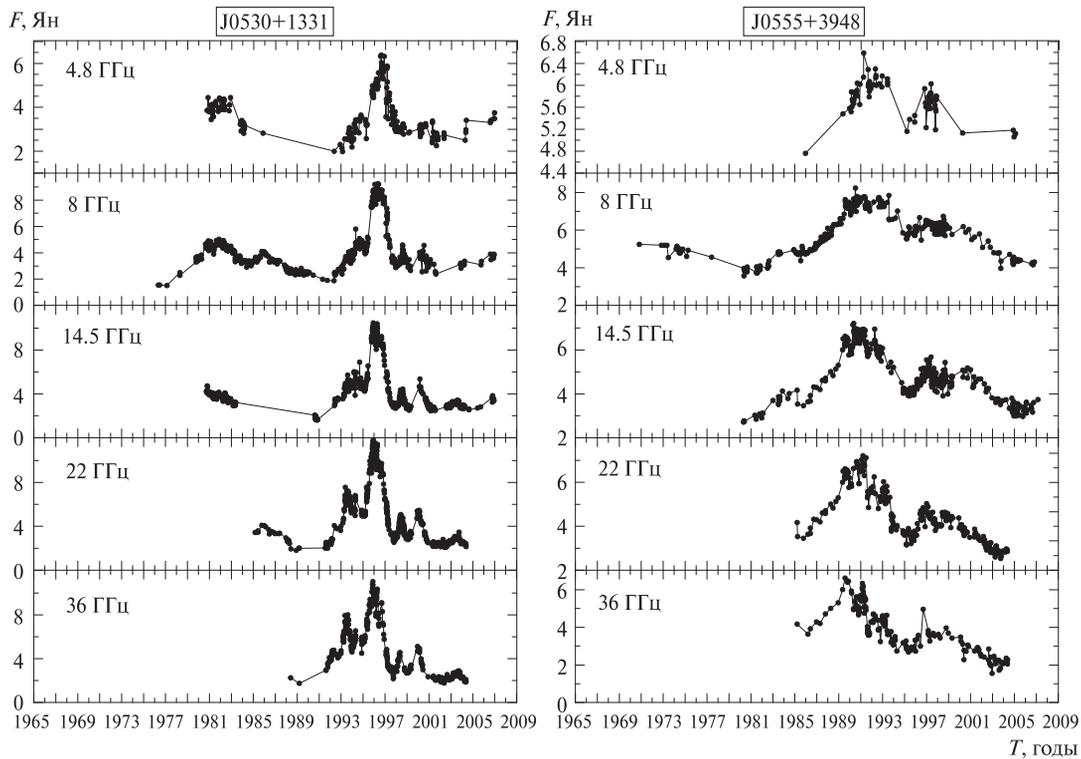


Рис. 1. Продолжение

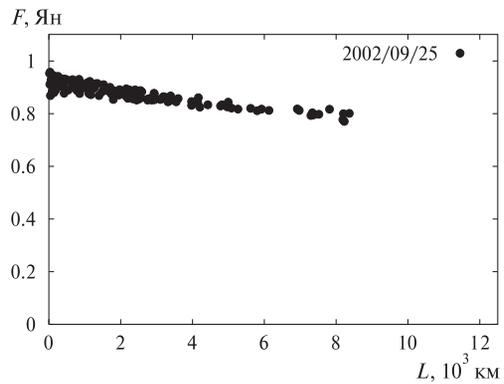
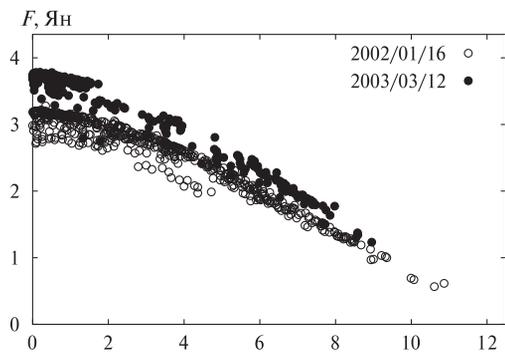
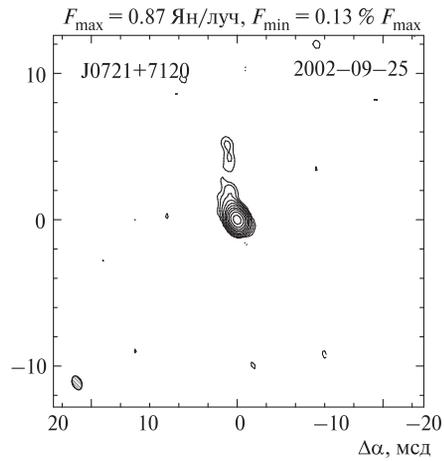
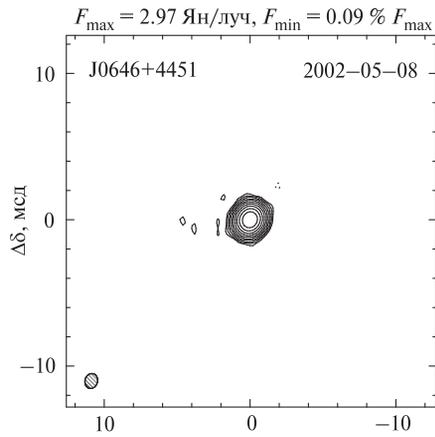
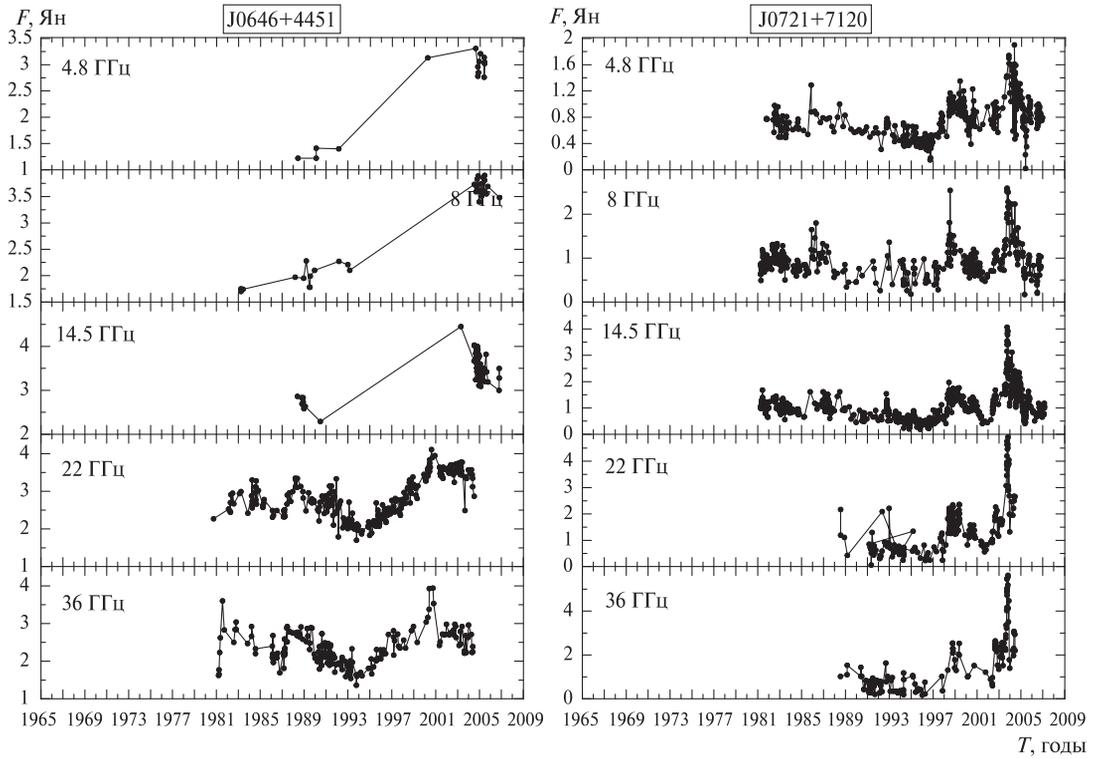


Рис. 1. Продолжение

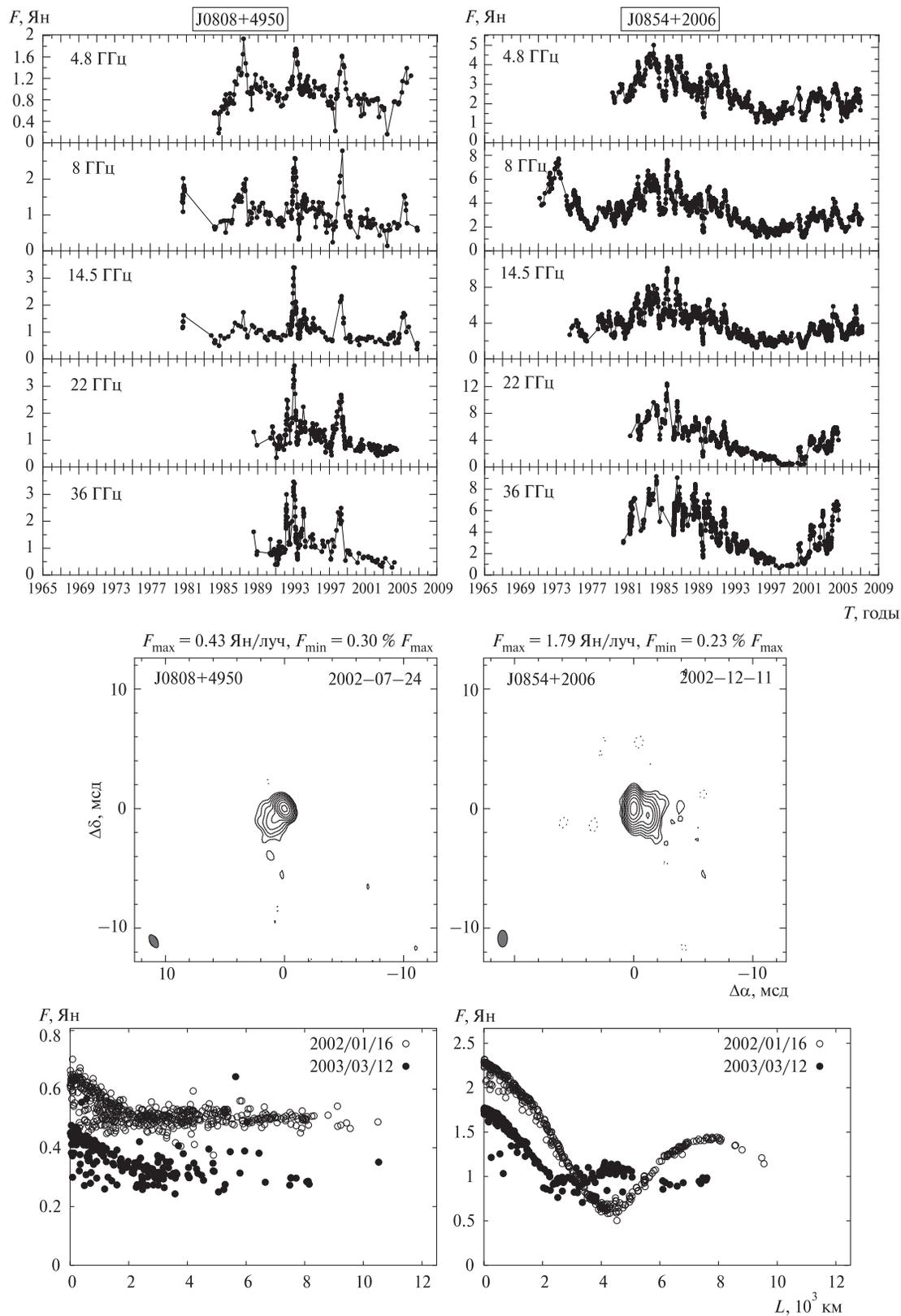


Рис. 1. Продолжение

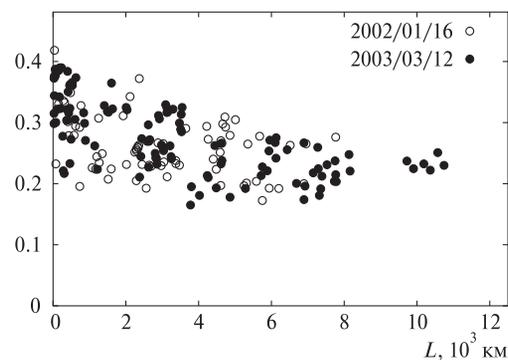
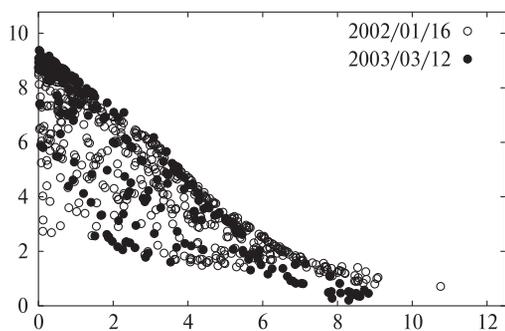
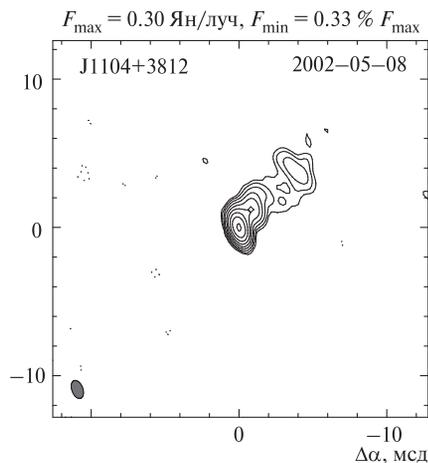
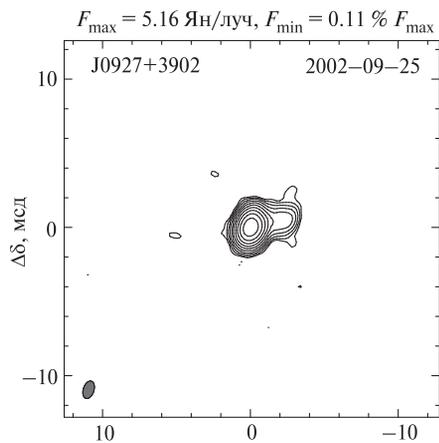
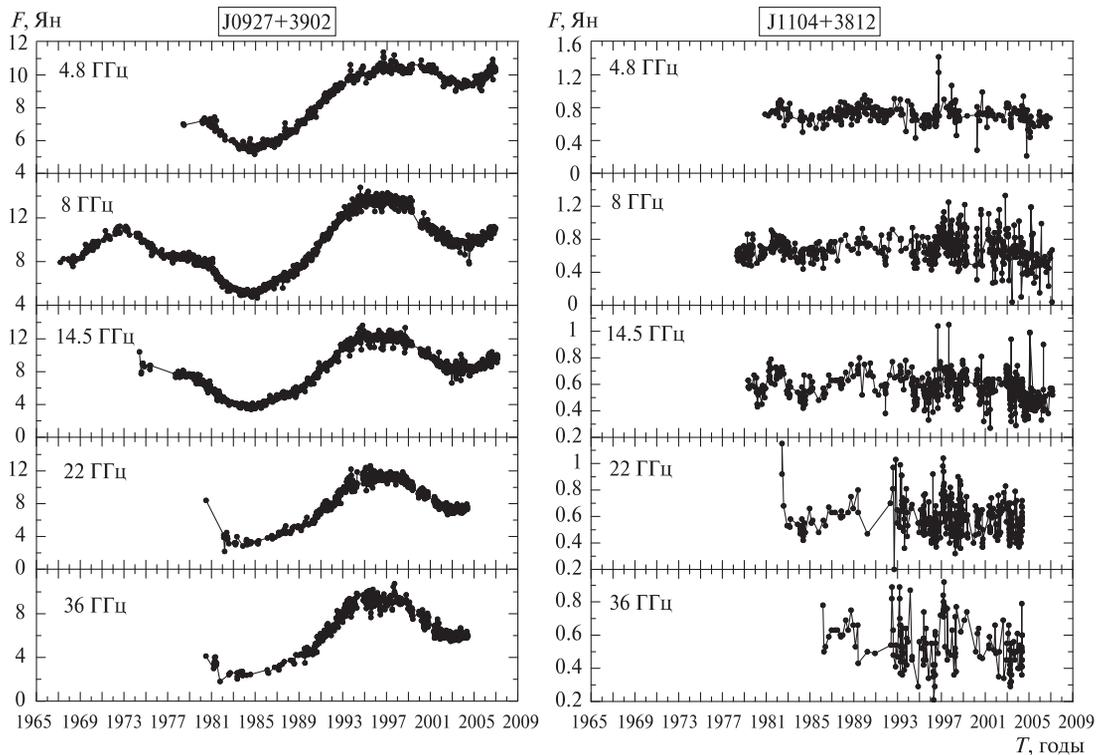


Рис. 1. Продолжение

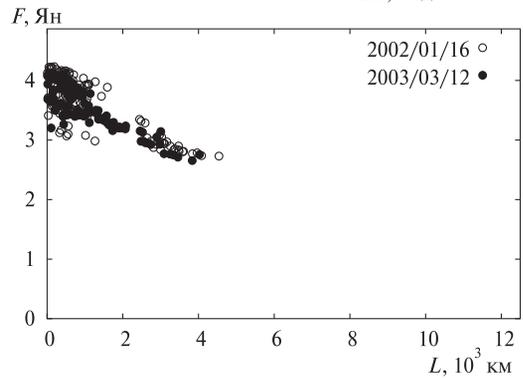
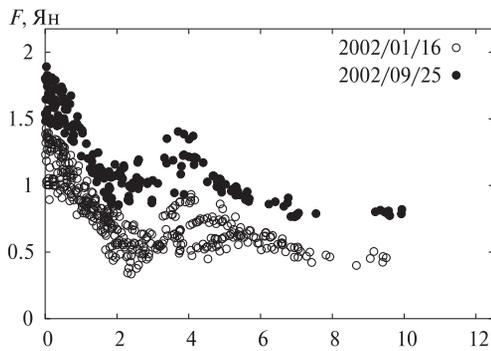
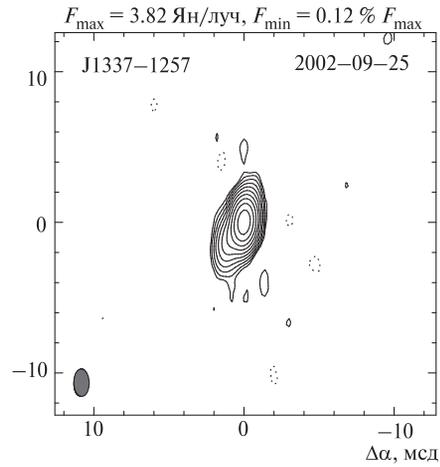
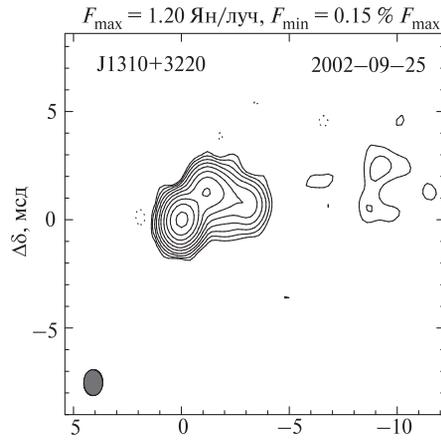
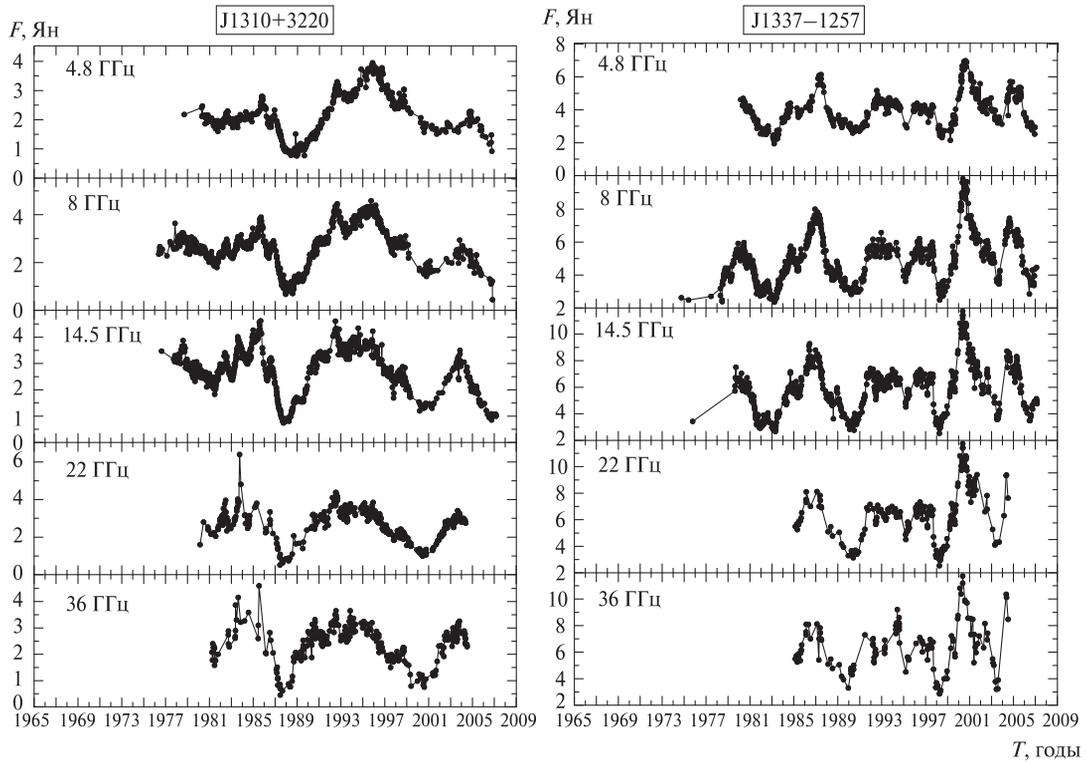


Рис. 1. Продолжение

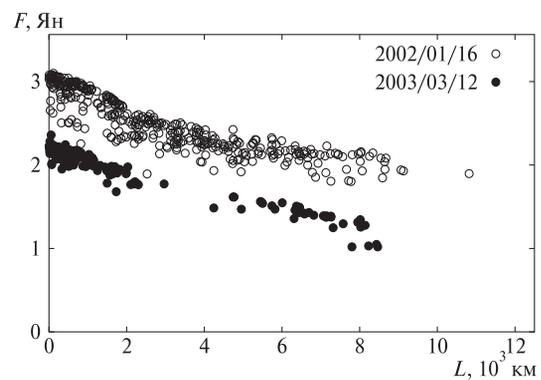
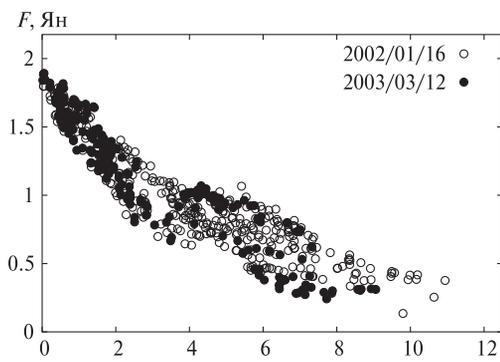
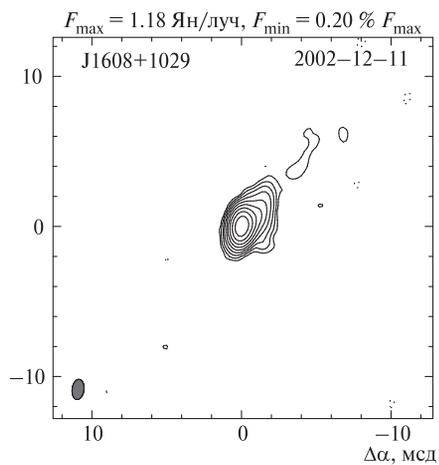
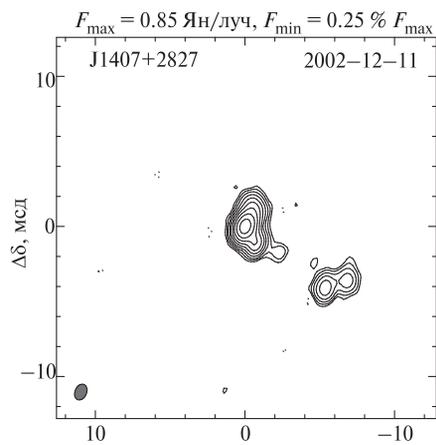
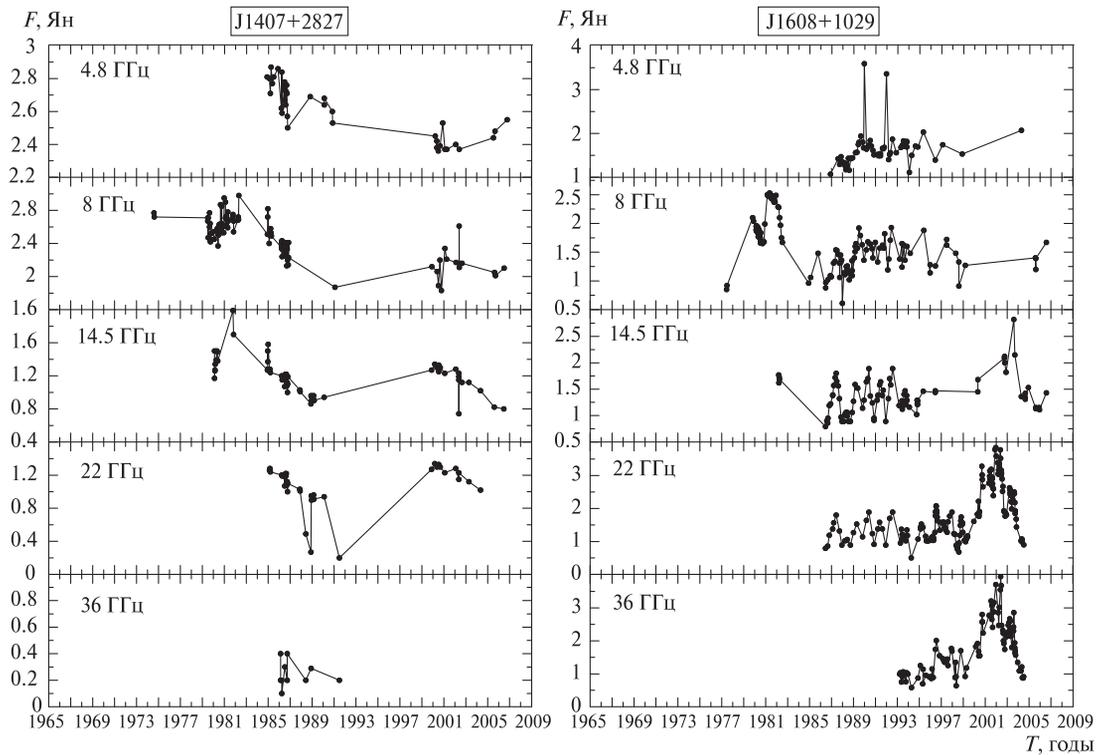


Рис. 1. Продолжение

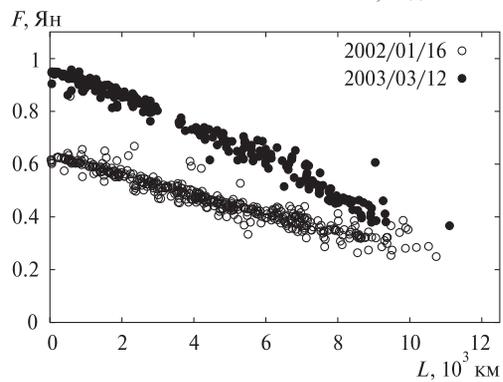
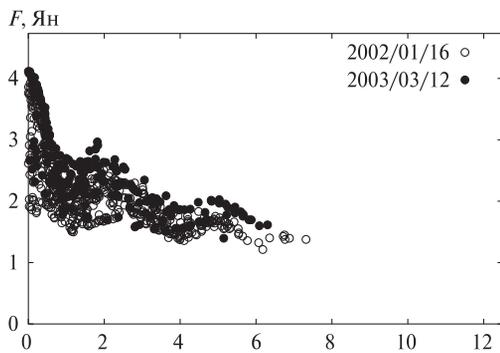
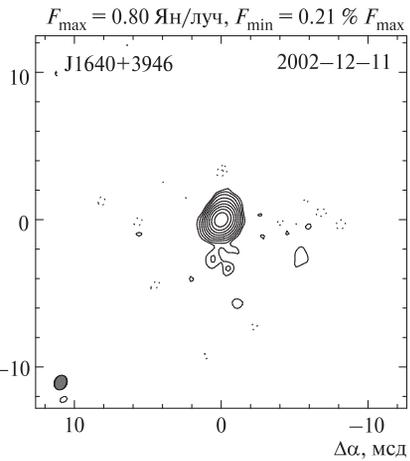
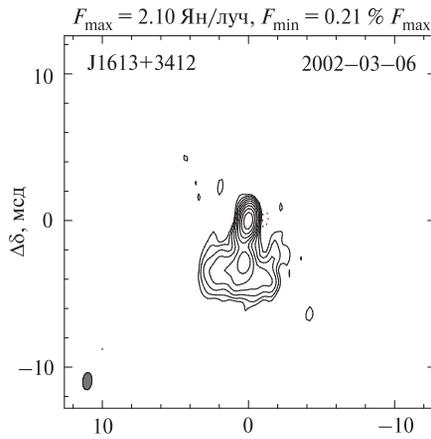
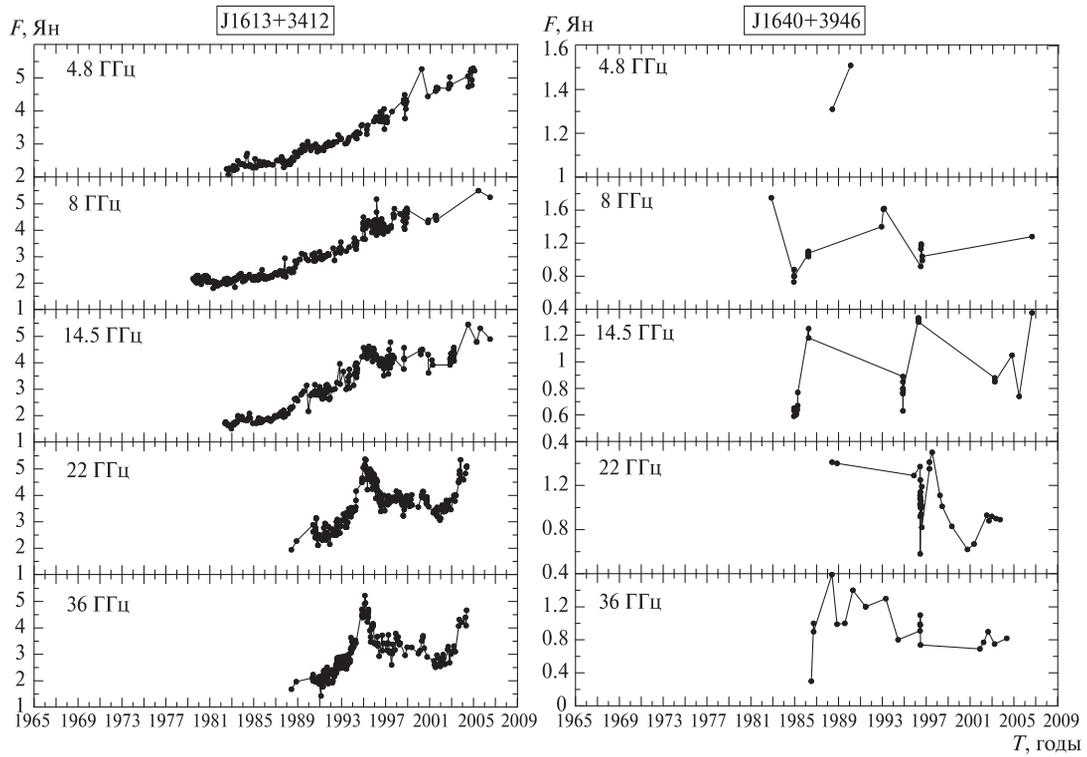


Рис. 1. Продолжение

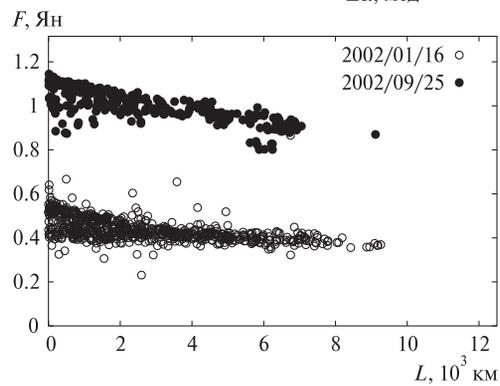
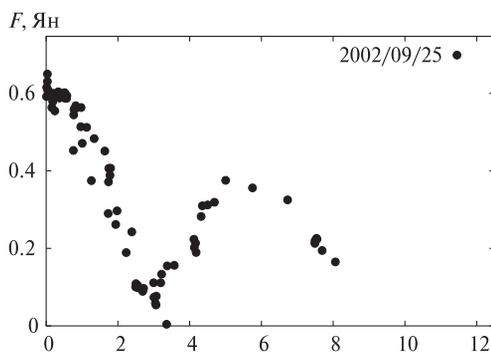
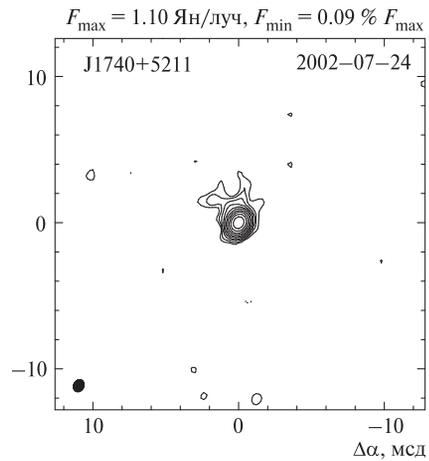
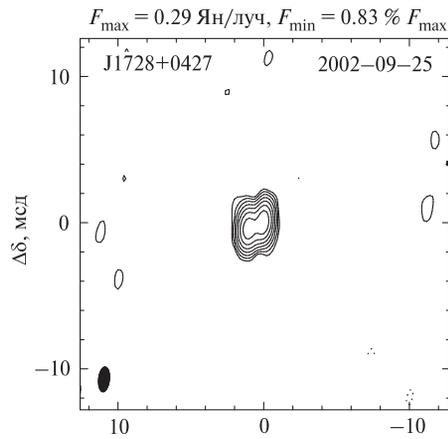
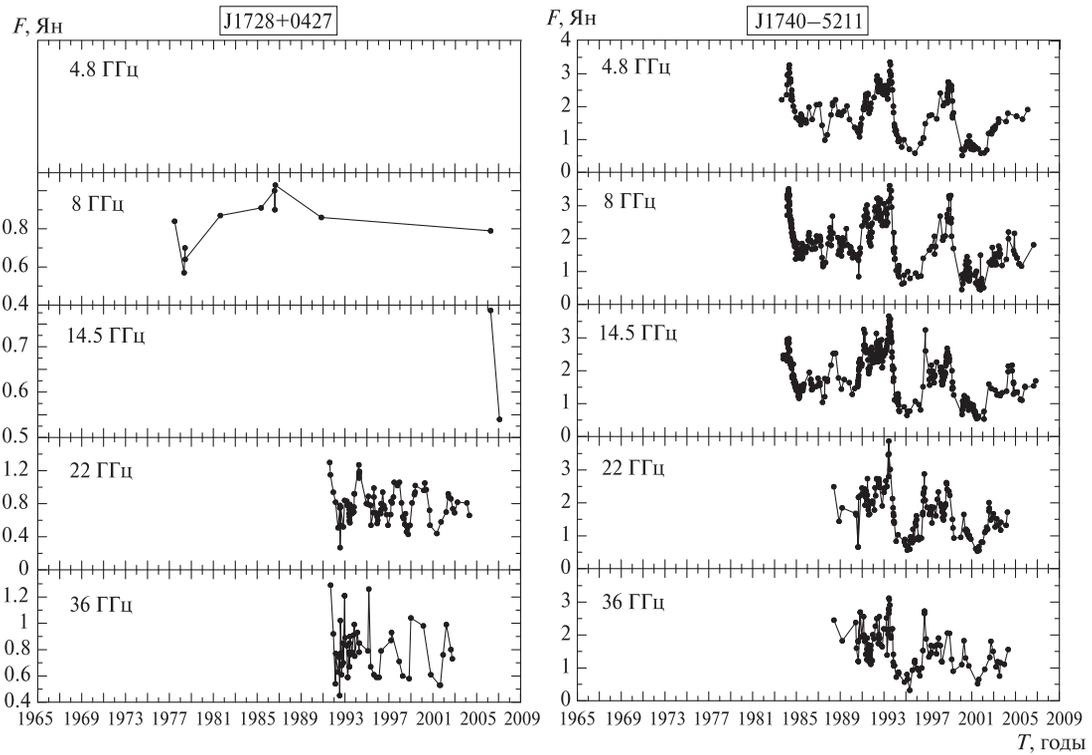


Рис. 1. Продолжение

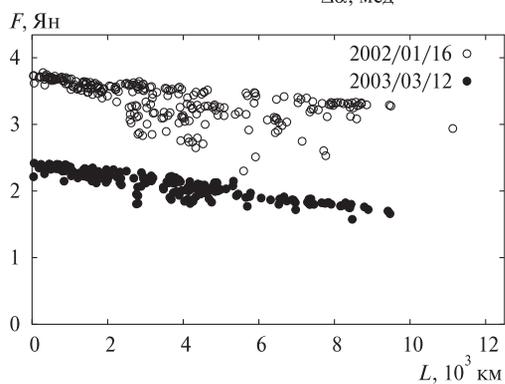
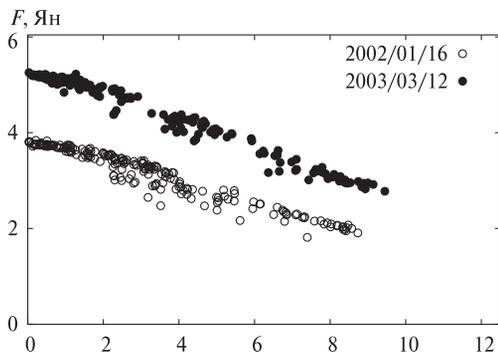
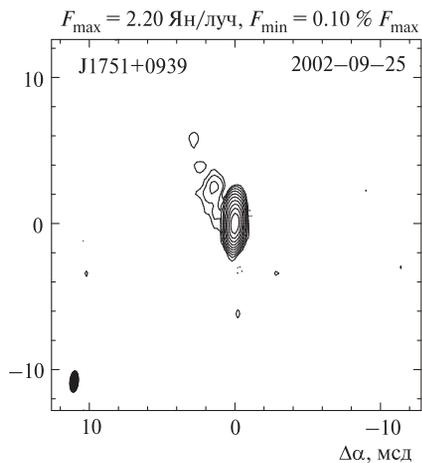
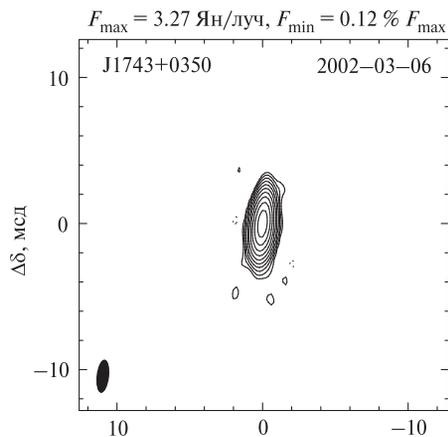
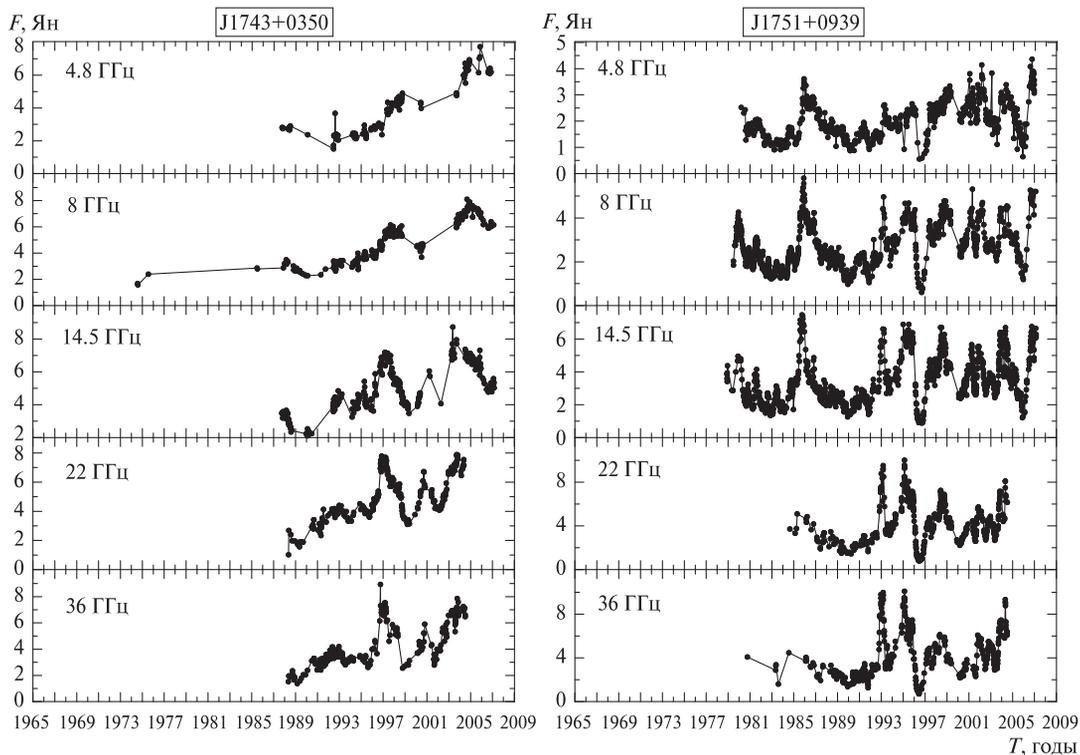


Рис. 1. Продолжение

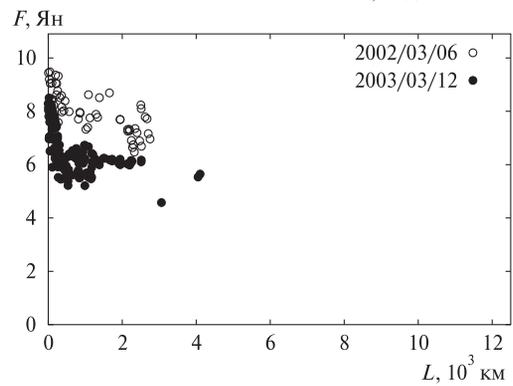
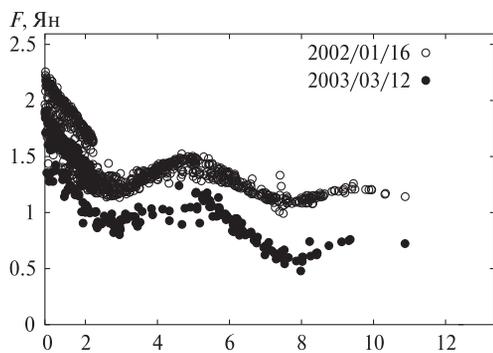
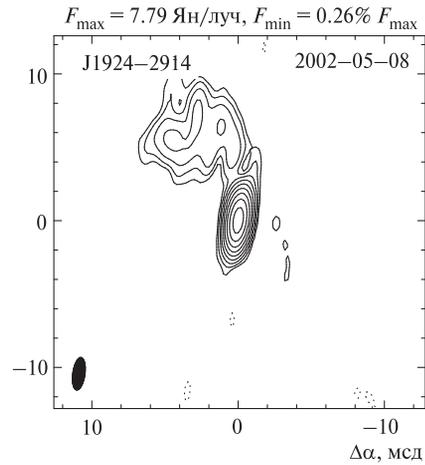
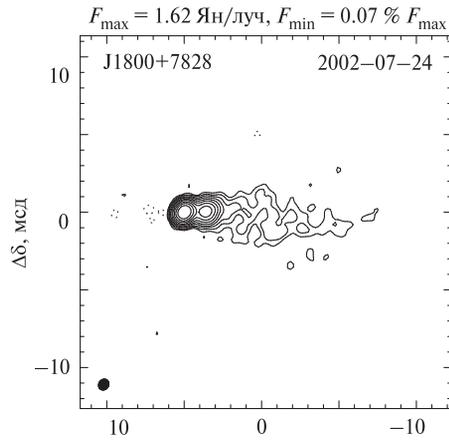
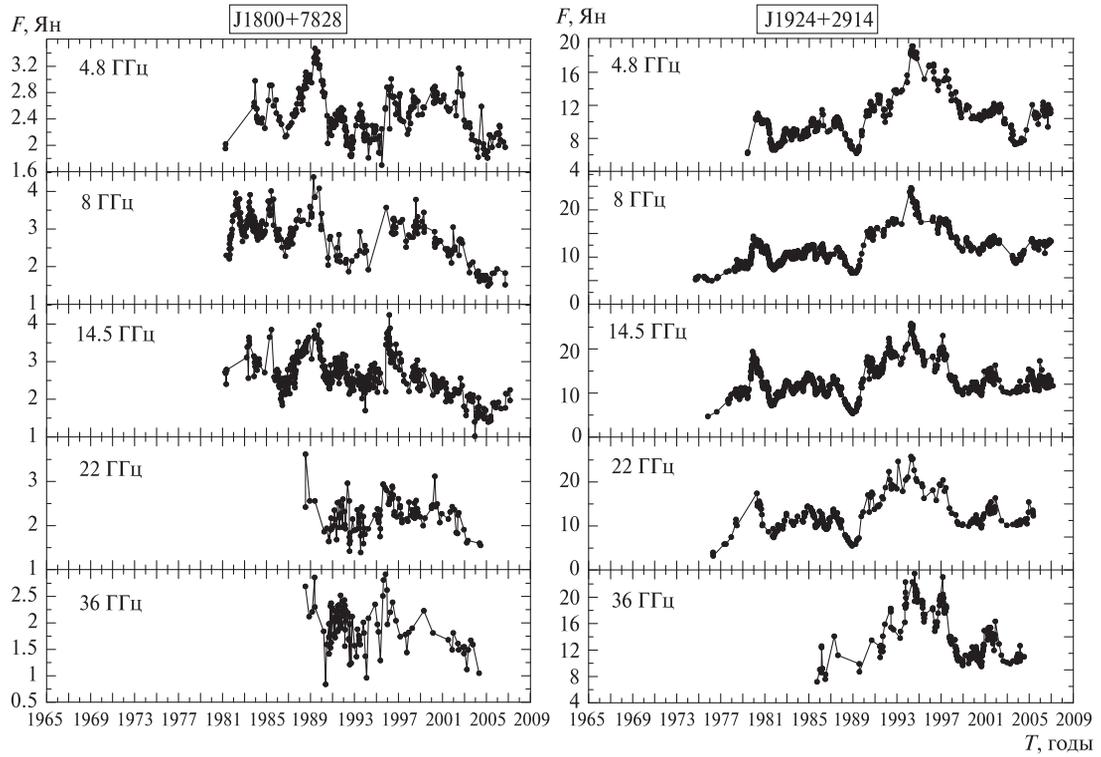


Рис. 1. Продолжение

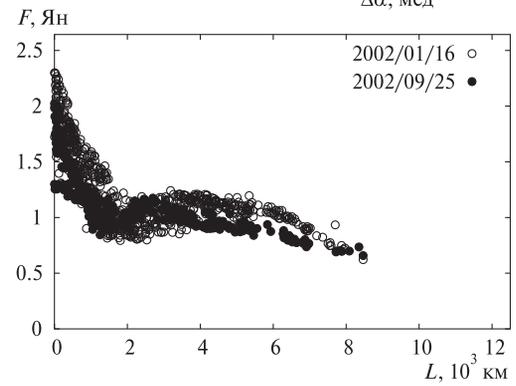
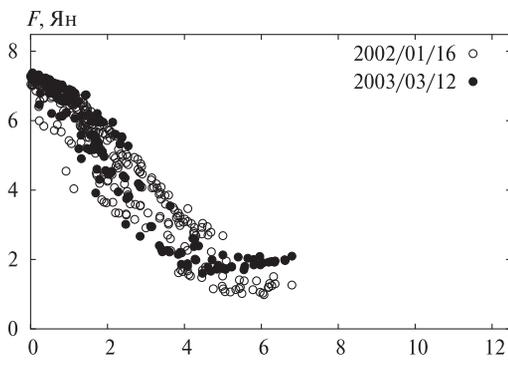
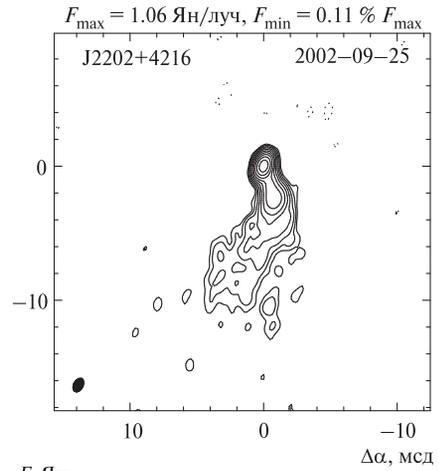
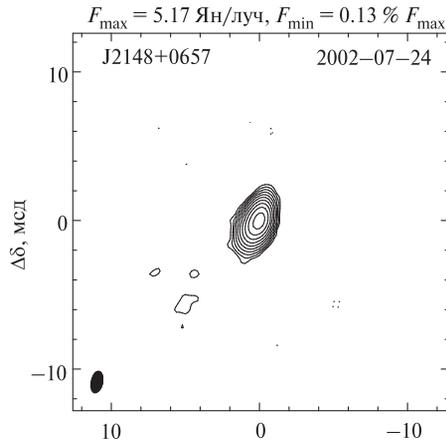
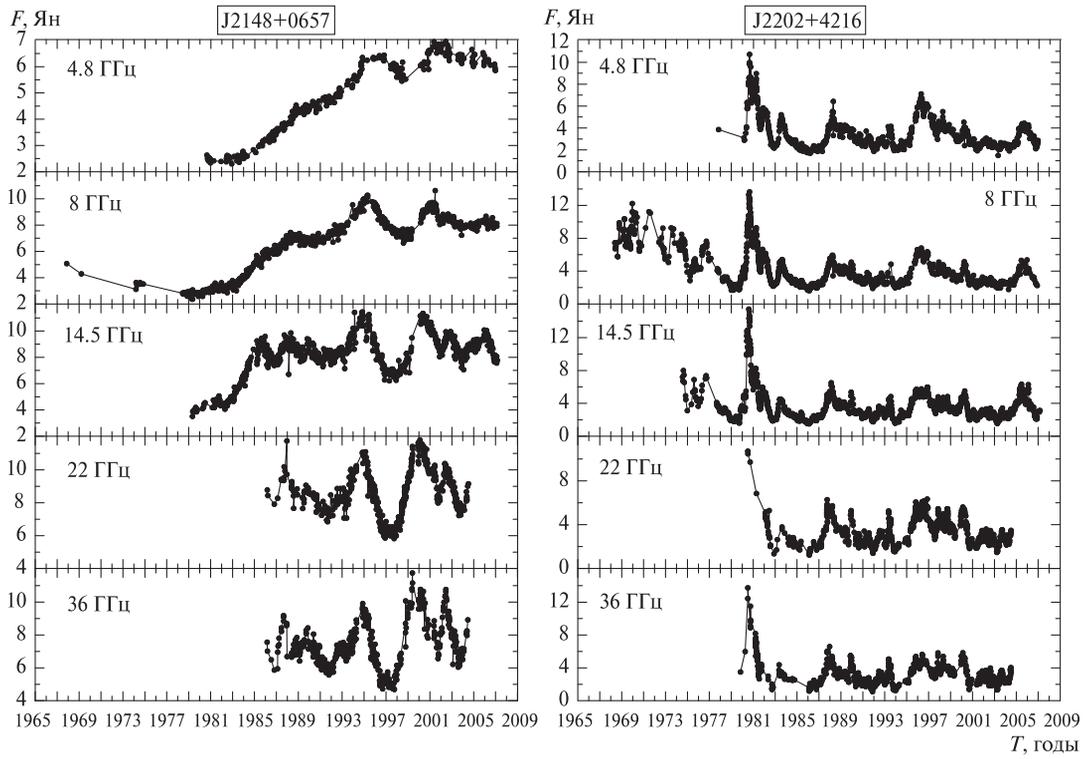


Рис. 1. Продолжение

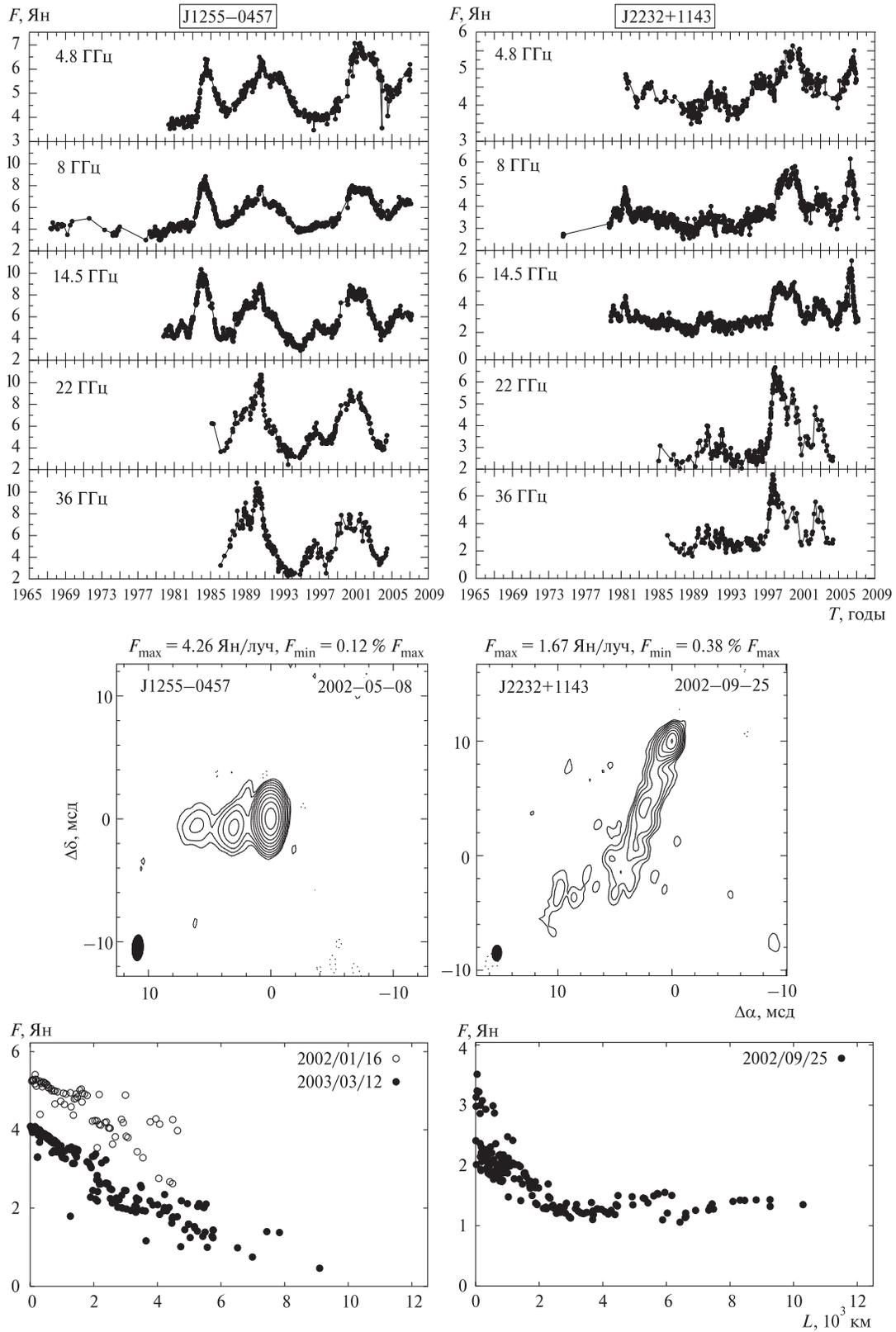


Рис. 1. Окончание

РСДБ-изображения источников на частоте 8.6 ГГц, приведенные на рис. 1, получены с применением естественного взвешивания данных. Размер одного пикселя выбирался равным 0.2 мсд. На каждой из карт показаны контуры плотности потока. Закрашенный в левом нижнем углу эллипс представляет ориентацию и размер диаграммы направленности по уровню половинной мощности. Контуры положительного потока проведены сплошными линиями, отрицательного потока — пунктирными. Контуры проведены с коэффициентом 2, начиная с уровня, соответствующего утроенному шуму с остаточной карты. На каждом изображении мы также приводим имя источника, дату, пиковое значение плотности потока в Ян/луч, а также уровень нижнего контура в процентах от величины соответствующего пикового значения. Среднее значение динамического диапазона восстановленных РСДБ-карт, определяемого как отношение пикового значения плотности потока к остаточному шуму, составляет около 1000, что дает возможность проследить развитие выбросов на парсекowych масштабах. Типичные значения углового разрешения находятся в пределах 0.7–2.5 мсд для наблюдений на 8.6 ГГц. Нижний предел этого интервала соответствует источникам с высокими склонениями, а верхний предел — источникам с низкими склонениями.

На рис. 1 мы также приводим реальную часть (амплитуду) комплексной функции видности, полученную для разных (максимально удаленных во времени) эпох наблюдений на 8.6 ГГц для каждого из объектов. Таким образом, функция видности представляет собой плотность коррелированного потока в зависимости от длины L соответствующей проекции базы. Каждая точка соответствует усредненному в пределах одного скана наблюдения значению коррелированной плотности потока. Среднее количество таких независимых измерений около 200. Значения функции видности показаны в проекции на направление струи, определяемое по позиционному углу ярких компонентов выброса. Изменение функции видности соответствуют изменению РСДБ-структуры объекта.

Численный анализ неравномерных временных рядов интегральных потоков радиоисточников базы данных КрАО и Мичиганского университета.

В связи с тем, что исследуемые данные не имеют постоянного шага по времени, в работе применены методы спектрального анализа неравномерных временных рядов. Разработан пакет программ, позволяющий вычислять оценки спектров мощности различными способами, исключать из них ложные пики, вызванные неравномерностью временной сетки, а также выделять с заданной вероятностью достоверные спектральные максимумы [17]. С их помощью удастся свести к минимуму влияние неравномерности временной сетки на вычисляемую периодограмму — оценку спектра мощности. Одной из часто применяемых на практике оценок спектра мощности является LS-спектр, в основе построения которого лежит аппроксимация временного ряда суммой гармонических функций методом наименьших квадратов [5]. Преимуществом LS-спектра считается экспоненциальное распределение отсчетов периодограммы белого шума, главным недостатком является отсутствие аналитической связи между оценкой спектра мощности и его истинным значением. Другим методом анализа, свободным от этого недостатка, является вычисление периодограммы Шустера $D(\omega)$, связанной с истинным спектром мощности $g(\omega)$ и спектральным окном $W(\omega)$ фундаментальным соотношением [6]

$$D(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} g(\omega') W(\omega - \omega') d\omega'$$

Наличие такой связи позволяет производить «чистку» спектра — удаление боковых лепестков и пиков, временной сетки, а также ложных максимумов, наличие которых определяется шумом.

В настоящей работе для «чистки» спектра применяется метод CLEAN. Суть указанного алгоритма заключается в последовательном вычитании из «грязного» спектра всех достоверных максимумов. Каждый вычитаемый спектральный пик определяется своей комплексной амплитудой, частотой и спектральным окном, зависящим от распределения временных отсчетов. Все вычитенные пики образуют «чистый»

спектр свободный от ложных максимумов и шумового компонента.

Для обнаружения временного сдвига между каждыми двумя записями $x_1(t)$ и $x_2(t)$ вычислялась их взаимная корреляционная функция

$$R(\tau) = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T x_1(t) x_2(t + \tau) dt .$$

Из-за того что отсчеты исследуемых временных рядов распределены неравномерно, при вычислении взаимной корреляции данные интерполировались на равномерную временную ось с шагом, определяемым по максимуму распределения расстояний между каждыми соседними отсчетами. По положению ближайшего к нулю максимума корреляционной функции можно определить запаздывание или опережение (в зависимости от знака абсциссы соответствующего максимума) сигнала на одной частоте относительно сигнала на другой.

Главными характерными особенностями многолетних кривых блеска источников являются наличие квазипериодических всплесков (вспышек) разной степени интенсивности, а также запаздывание всплеска с понижением частоты наблюдения. В качестве примера в табл. 2 мы приводим оценки запаздывания всплеска 1998 года в источнике 3С 120.

Запаздывание всплеска на низких частотах может быть объяснено эффектами поглощения излучения, усиливающимися с понижением частоты. Оценив из эволюции структуры источника скорость распространения возмущения по джету, можно перейти от разности моментов достижения максимума всплеска к разности абсолютных положений ядра на разных частотах и оценить светимость, величину магнитного поля и геометрические свойства джета [7].

На основе полученных баз данных миллиметрового и сантиметрового диапазонов длин волн проведен гармонический анализ кривых изменения потока излучения источников методом Шустера. Периоды, полученные для источника 3С 120, приведены в табл. 3.

Эволюция РСДБ-структуры и кривые блеска. Данные о РСДБ-структуре 32 объектов, для которых наблюдались изменения интенсивности

Таблица 2. Задержки прихода излучения на разных частотах в источнике 3С 120

Частотный интервал, ГГц	36.8–22.2	22.2–14.5	14.5–8.0	8.0–4.8
Задержка, годы	0.03	0.08	0.31	0.24

Таблица 3. Циклы активности источника 3С 120 на разных частотах

Частота, ГГц	36.8	22.2	14.5	8.0	4.8
Период, годы	6.6	9.0	11.2	11.1	11.1
	4.5	4.1	7.7	7.8	4.2
	2.0	2.0	5.3	6.0	
			4.6		

радиоизлучения, приведены в табл. 4. В третьей и четвертой графах приведены данные об РСДБ-структуре объекта на частотах 2 и 8 ГГц соответственно, в пятой — даты максимумов всплесков в период 1997–2002 гг. на частотах 4.8–36.8 ГГц, в шестой — оценочные амплитуды всплесков на частоте 36.8 ГГц. Оценочные амплитуды всплесков определялись как разность между значением плотности потока в максимуме всплеска и минимальным значением, зарегистрированным перед всплеском.

Как видно из табл. 4, РСДБ-структура «ядро — выброс» на частотах 2 и 8 ГГц зарегистрирована для большинства объектов для эпохи наблюдений 2002–2003 гг. Полученные нами мониторинговые данные о всплесках в период с 1997 по 2002 гг. коррелируют с наличием РСДБ-структур.

Мы также провели анализ на соответствие самых мощных вспышек эпохам рождения ярких РСДБ-компонентов, которые разрешаются на РСДБ-изображениях спустя, как правило, несколько месяцев, в зависимости от расстояния до объекта и скорости движения соответствующих компонентов в выбросах. Эти яркие джет-компоненты могут быть прослежены в течение достаточно долгого промежутка времени с характерным масштабом в несколько лет. Поэтому РСДБ-наблюдения на разных эпохах позволяют исследовать кинематику релятивистских выбросов, а именно определить угловую видимую скорость движения компонентов струи, а экстраполируя зависимость расстояния компо-

нента от оптически толстого начала струи, так называемого РСДБ-ядра, оценить также и эпоху рождения соответствующего компонента.

Исследование кинематики струй возможно при выполнении следующих условий:

- 1) выброс источника хорошо детектируется;
- 2) выброс содержит яркие компоненты, которые могут быть надежно промоделированы;
- 3) РСДБ-наблюдения достаточно разнесены по времени эпох (желательно нескольких), а положения кросс-идентифицированного на разных эпохах компонента отличаются в пределах ошибок измерений.

По имеющейся у нас на данный момент гео-динамической РСДБ-базе данных не для всех объектов имеется возможность проследить изменение эволюции структуры источника с течением времени.

Ниже мы представляем результаты анализа для четырех объектов, но по мере обработки РСДБ-сессий мы ожидаем увеличение числа источников для анализа кинематики их струй. Для анализа эволюции РСДБ-структуры мы использовали данные на частоте 8.6 ГГц, поскольку она обеспечивает более высокое угловое разрешение и возможность зарегистрировать движение

Таблица 4. РСДБ-структура и всплески в период 1997–2002 гг.

Источник	РСДБ-структура на 2 ГГц	РСДБ-структура на 8 ГГц	Дата всплеска, год	Амплитуда всплеска, Ян
0003-066	ОВ, 8 мсд	ОВ, 8 мсд	1999	1.4
0048-097	К	К	—	—
0133+476	ОВ, 18 мсд	ОВ, 5 мсд	1998	2.1
0234+285	ОВ, 15 мсд	ОВ, 10 мсд	2000	1.9
0235+164	Н	Н	1998	4.9
0336-019	ОВ, 8 мсд	ОВ, 5 мсд	1997	2.2
0430+052	ОВ, 35 мсд	ОВ, 12 мсд	1998	4.1
0458-020	ОВ, 20 мсд	ОВ, 15 мсд	2000	0.5
0528+134	ОВ, 10 мсд	ОВ, 6 мсд	1998, 2000	2.1, 2.9
0552+398	К	К	—	—
0642+449	ОВ, 8 мсд	К	2001	1.5
0716+714	ОВ, 10 мсд	ОВ, 4 мсд	1999	3.1
0804+499	ОВ, 10 мсд	ОВ, 2 мсд	1998	2.2
0851+202	ОВ, 20 мсд	ОВ, 2 мсд	2000	1.9
0923+392	ОВ, 10 мсд	ОВ, 3 мсд	1997	7.8
1101+384	ОВ, 60 мсд	ОВ, 6 мсд	1997	0.4
1308+326	ОВ, 15 мсд	ОВ, 9 мсд	1998	0.5
1334-127	ОВ, 30 мсд	ОВ, 3 мсд	2000	10.8
1404+286	ОВ, 8 мсд	ОВ, 8 мсд	2001	1.2 (22.2 ГГц)
1606+106	ОВ, 10 мсд	ОВ, 4 мсд	2002	3.5
1611+343	ОВ, 4 мсд	ОВ, 4 мсд	2000	1.3
1638+398	ОВ, 14 мсд	К	1997	0.6 (22.2 ГГц)
1725+044	ОВ, 55 мсд	ОВ, 2 мсд	1997, 2000	0.4, 0.5
1739+522	ОВ, 15 мсд	ОВ, 2 мсд	1998	2.1
1741-038	Н	Н	1997, 2001	5.1, 3.2
1749+096	ОВ, 15 мсд	ОВ, 4 мсд	1998, 2002	6.1, 4.1
1803+784	ОВ, 40 мсд	ОВ, 10 мсд	1999	0.9
1921-293	ОВ, 8 мсд	ОВ, 6 мсд	1999, 2002	9.1, 6.2
2145+067	ОВ, 75 мсд	ОВ, 2 мсд	2000, 2002	7.1, 4.8
2200+420	ОВ, 25 мсд	ОВ, 12 мсд	1997, 2000	4.2, 2.1
2223-052	ОВ, 200 мсд	ОВ, 7 мсд	1997, 2001	3.2, 6.3
2230+114	ОВ, 20 мсд	ОВ, 15 мсд	1998, 2000, 2003	5.8, 1.1, 2.8

Примечание. К — компактная, Н — неразрешенная, ОВ — односторонний выброс.

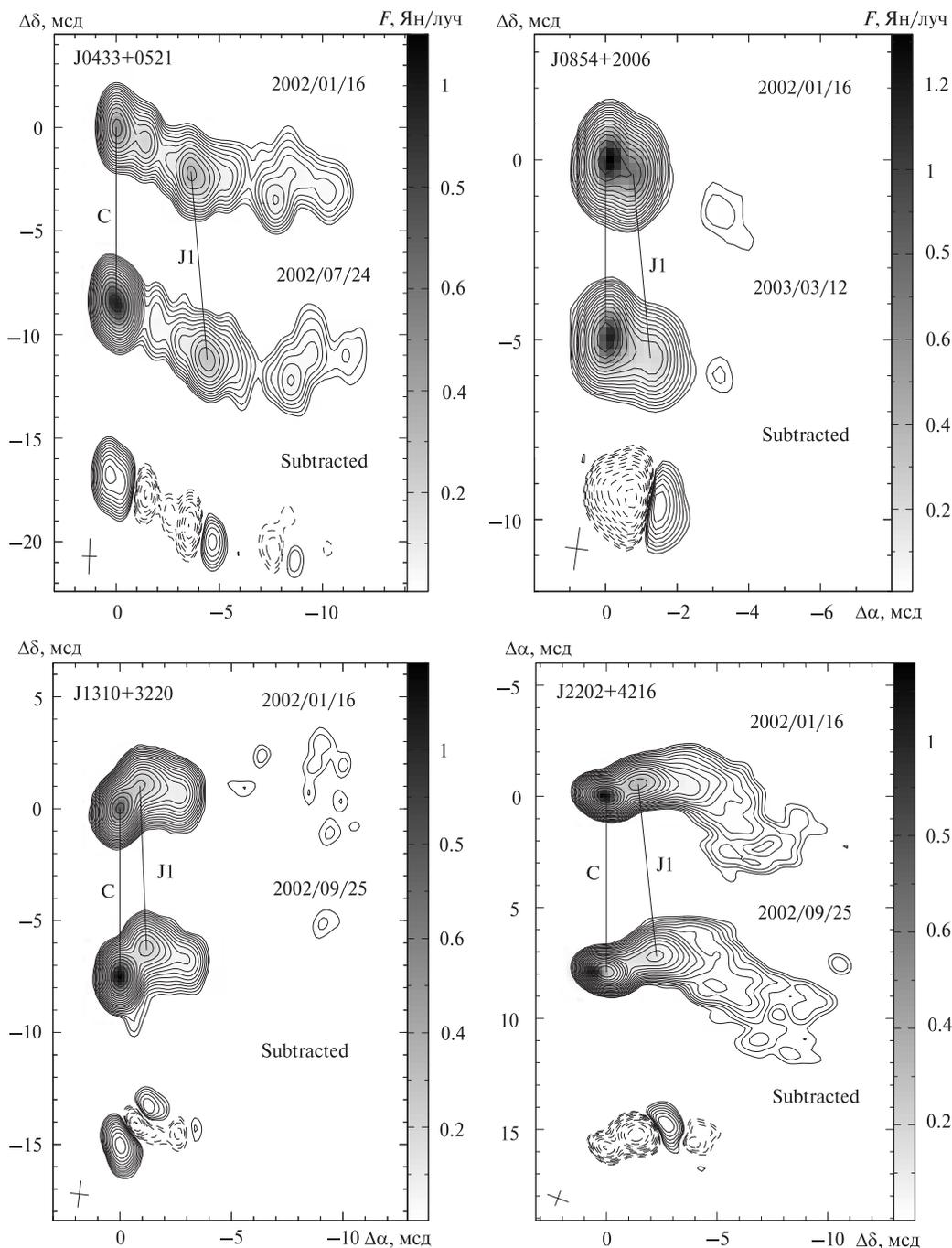


Рис. 2. Эволюция РСДБ-структуры в объектах J0433+0531, J0854+2006, J1310+3220 и J2202+4216

компонентов струй на более коротких интервалах времени.

Мы построили модели РСДБ-структур выбросов источников по данным на частоте 8.6 ГГц

с помощью процедуры *modelfit* пакета DIFMAP. Использовалось минимальное количество круговых гауссовых компонентов, которые, будучи свернуты с соответствующей синтезированной

Таблица 5. Корреляция эпох рождения ярких РСДБ-компонент и всплеск мониторинговых кривых блеска

Источник	μ , мсд/год	β_{app}/c^*	T_0 , год	
			РСДБ	Мониторинг
J0433 + 0531	1.362 ± 0.165	3.03 ± 0.37	1998.61 ± 0.47	1998.29 ± 0.04
J0854 + 0531	0.569 ± 0.016	10.95 ± 0.31	2000.58 ± 0.13	2000.14 ± 0.47
J1310 + 3220	0.447 ± 0.045	23.30 ± 2.35	1998.92 ± 0.27	1998.74 ± 0.36
J2202 + 4216	1.188 ± 0.227	5.43 ± 1.04	2000.59 ± 0.40	2000.13 ± 0.08

* Для модели плоской Вселенной с параметрами $\Omega_m = 0.3$, $\Omega_\Lambda = 0.7$ и постоянной Хаббла $H_0 = 70 \text{ км} \cdot \text{с}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$.

диаграммой направленности, воссоздают изображение, схожее с оригиналом. Результаты моделирования, проведенные по данным на разные эпохи наблюдений, позволили определить скорость движения самых ярких деталей выбросов в четырех объектах: J0433+0521, J0854+2006, J1310+3220 и J2202+4216.

На рис. 2 мы представляем РСДБ-карты этих источников на разные эпохи, а также их разницу, отражающую эволюцию структуры. Для каждого из объектов на рис. 2 указаны стационарный компонент РСДБ-ядра (С) и движущийся самый яркий компонент струи (J1).

Значения видимой угловой скорости μ и линейной скорости β_{app} в единицах скорости света в проекции на небесную сферу, а также оценки даты рождения РСДБ-компонента и эпохи максимума всплеска по кривым блеска на частоте 36.8 ГГц просуммированы в табл. 5. В каждом из случаев соответствующие эпохи совпадают в пределах ошибок измерений.

Следует отметить, что эволюция структуры источника и вариаций потока свидетельствует о том, что короткопериодические и долгопериодические вариации потоков могут иметь разную природу. Так, для объекта 3С120 вариации потоков с масштабом 2 года могут быть связаны с орбитальным периодом в системе из двойных черных дыр [16]. Основой для такого предположения является наличие компонента у центральной черной дыры $M \sim 4 \cdot 10^6$ масс Солнца, который при наличии очень тесной орбиты с радиусом $R \sim 6 \cdot 10^{15}$ см служит мощным возмущающим компонентом системы. В периферии компонент пересекает аккреционный диск цент-

ральной и более массивной черной дыры и формирует ударные волны, распространяющиеся по диску, в том числе и в направлении на его центральные области. Напротив, долгопериодические вариации потока с периодом в 11.1 лет могут быть следствием прецессии центрального тела, под которым мы понимаем центральную черную дыру и внутренние «вмороженные» области аккреционного диска, где формируются истоки выбросов и истечений релятивистского вещества. Наличие усредненного периода 4.3 года может быть связано с нутационными движениями в тесной двойной системе из черных дыр.

Тем не менее, есть возможность предсказывать наиболее важные события в жизни источника. Зная признаки начальной фазы цикла, мы сможем разместить на единой хронологической шкале разрозненные проявления активности. В связи с этим необходимо подчеркнуть важность постоянного мониторинга потоков в широком диапазоне частот для прогноза и исследования всплесочной активности.

ВЫВОДЫ

Совместный анализ эволюции потоков и структуры, выполненный для 32 компактных внегалактических радиоисточников по результатам мониторинга на частотах 4.8–36.8 ГГц и картографирования по геодезическим РСДБ-наблюдениям, позволил выделить всплески, связанные с возникновением первичного возмущения в ядре. У большинства объектов следует, видимо, ожидать появления новых компонентов в ядрах, которые могут быть обнаружены с помощью РСДБ-наблюдений.

Для джерел J0433+0521, J0854+2006, J1310+3220 і J2202+4216 зміни щільності потоків на різних радіочастотах відбуваються одночасно, і вибух в міліметровому діапазоні довжин хвиль супроводжується вибухом нового сантиметрового РСДБ-компонента із ядра: визначені дати народження РСДБ-компонентів, а також видимий кутовий і лінійний швидкості вибухів.

Для частини об'єктів вибух на високих радіочастотах не супроводжується появою нового РСДБ-компонента.

Робота частково проводилася в рамках проекту науково-дослідницьких робіт «Російсько-українська РНДБ-мережа для цілей астрометрії і геодинаміки» Національної академії наук України.

1. *Вольвач А. Е., Петров Л. Ю.* Результати вимірювання горизонтальної швидкості руху радіоастрономічної станції Сімеїз // *Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.* — 2005. — **101**. — С. 203–214.
2. *Ефанов В. А., Моисеев И. Г., Нестеров Н. С., и др.* Наблюдения радиоджерел на РТ-22 КАО и РТ-14 РХУТ в мм-диапазоне волн // *Изв. Крым. астрофиз. обсерватории.* — 1981. — **64**. — С. 103–108.
3. *Нестеров Н. С., Вольвач А. Е., Стрелка И. Д.* Наблюдения переменных внегалактических радиоджерел на частоте 36 ГГц // *Письма в Астрон. журн.* — 2000. — **26**, №.4. — С. 249–252.
4. *Aller H. D., Aller M. F., Latimer G. E., Hodge P. E.* Spectra and linear polarizations of extragalactic variable sources at centimeter wavelengths // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 1985. — **59**. — P. 513–768.
5. *Barning F. J. M.* The numerical analysis of the light-curve of 12 Lacertae // *Bull. Astron. Inst. Neth.* — 1963. — **17**. — P. 22–28.
6. *Deeming T. J.* Fourier Analysis with Unequally-Spaced Data // *Astrophys. and Space Sci.* — 1975. — **36**. — P. 137–158.
7. *Lobanov A. P.* Ultracompact jets in active galactic nuclei // *Astron. and Astrophys.* — 1998. — **330**. — P. 79–89.
8. *Nesterov N. S., Volvach A. E., Stepanov A. V., et al.* Simeiz VLBI station — new position // *Joint European and National Astronomy Meeting (JENAM-95): Abstracts (Special Publication)*, 25–29 Sept. 1995, Catania, Italy. — Catania: Astrophysical Observatory, 1995. — P. 61.
9. *Salonen E., Terasranta H., Urpo S., et al.* Five years monitoring of extragalactic radio sources. Observations at 12, 22 and 37 GHz // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* — 1987. — **70**. — P. 409–435.
10. *Shepherd M. C.* Difmap: an Interactive Program for Synthesis Imaging // *Astron. Soc. Pacif. Conf. Ser.* — 1997. — **125**. — P. 77–84.
11. *Terasranta H., Achren J., Hanski M., et al.* Twenty years monitoring of extragalactic sources at 22, 37 and 87 GHz // *Astron. and Astrophys.* — 2004. — **427**. — P. 769–771.
12. *Tarasranta H., Tornikoski M., Valtaoja E., et al.* Ten years monitoring of extragalactic radio sources at 22, 37 and 87 GHz // *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* — 1992. — **94**. — P. 121–173.
13. *Terasranta H., Wiren S., Koivisto P., et al.* 24 year monitoring of extragalactic sources at 22 and 37 GHz // *Astron. and Astrophys.* — 2005. — **440**. — P. 409–410.
14. *Volvach A. E.* RT-22 CrAO long-term monitoring of extragalactic radio sources at 22 and 37 GHz // *Astron. Soc. Pacif. Conf. Ser.* — 2006. — **360**. — P. 133–136.
15. *Volvach A., Nesterov N., Petrov L.* Simeiz radio telescope: IVS Network station, single-dish S/X band observations // *Kinematics and Physics of Celestial Bodies. Suppl. Ser.* — 2000. — **3**. — P. 43–45.
16. *Volvach A. E., Pushkarev A. B., Larionov M. G., et al.* Variations in the integral fluxes and structure of the radio source 3C120 // *Astrophysics.* — 2007. — **50**, N 3. — P. 265–272.
17. *Volvach A. E., Volvach L. N., Larionov M. G., et al.* Flux density evolution of the sources 3C273, 3C279 and 3C454.3 at the frequencies 102 MHz — 36.8 GHz // *Astron. and Astrophys. Transactions.* — 2006. — **25**. — P. 385–391.

Надійшла до редакції 18.03.09

*A. E. Volvach, A. B. Pushkarev,
L. N. Volvach, H. D. Aller, M. F. Aller*

EVOLUTION OF FLUX DENSITY AND PARSEC-SCALE STRUCTURE OF COMPACT EXTRAGALACTIC RADIO SOURCES FROM MONITORING RESULTS AT 4.8–36.8 GHz AND IMAGING ON THE BASIS OF GEODETIC VLBI OBSERVATIONS

We present some results on the variability of radio sources which from continuous monitoring observations made at 4.8–36.8 GHz at the Crimean Astrophysical Observatory (Ukraine) and Michigan Radio Astronomy Observatory (USA), and from international geodetic VLBI observations carried out at 2 and 8 GHz. The combined analysis of integral flux density variations and milliarcsecond scale structures was performed for 32 sources. It is found that for a number of sources the flux density bursts at high frequencies are not accompanied by emerging new VLBI jet component, while for some objects the flux density changes occur quasi-simultaneously at different frequencies and the bursts are accompanied by ejecting new VLBI component.