

Л. И. Матвеевко, С. С. Сиваконь

СЕЙФЕРТОВСКАЯ ГАЛАКТИКА NGC 1275
СВЕРХТОНКАЯ СТРУКТУРА

Представлено к печати
директором ИКИ РАН
А. А. Петруковичем

Seifert Galaxy NGC 1275 — super fine structure

L. I. Matveenko, S. S. Sivakon'

lmatveenko@gmail.com

Space Research Institute
of Russian Academy of Sciences (IKI RAN), Moscow

The radio maps of the Seyfert galaxy NGC 1275 prepared in the polarized emission at $\lambda = 2$ cm and $\lambda = 7$ mm, resolution $20 \mu\text{as}$, epochs 2000–2015 from VLBA archive results of observations. The circular structure diameter $\varnothing \approx 2$ mas (1 pc) opened, the inclination of which to the sky plane is 60° . The three centers of activity — whirlwinds are located along the structure. The surrounding relativistic plasma is coming along two arms into the north center activity. The jet diameter $\varnothing \approx 0,12$ mas is ejecting to the south direction $X \approx -10^\circ$ into the second center activity $\rho \approx 2,5$ mas — whirlwind, which is parallel to jet. The coaxial jet $\varnothing \approx 0,8$ and $\varnothing \approx 0,3$ mas is ejected into the east direction $X \approx -90^\circ$ — to the third center activity, and then to the north direction $\varnothing \approx 0,7$ and $\varnothing \approx 0,35$ mas. The projects of the jets at the sky plane determined the knots of a net. The nozzle of the first whirlwinds begin divided into two part with resolution $3 \mu\text{as}$. The nozzles of other activity centers are more elongated $80 \times 40 \mu\text{as}$, and $80 \times 120 \mu\text{as}$ to ejection direction.

Keywords: active galactic nuclei, super fine structure NGC 1275, whirlwind nature, three center activities, jets

Сейфертовская галактика NGC 1275 — сверхтонкая структура

Л. И. Матвеевко, С. С. Сиваконь

lmatveenko@gmail.com

Институт космических исследований
Российской академии наук (ИКИ РАН), Москва

По архивным данным наблюдений на антенной решётке со сверхдлинными базами (РСДБ, VLBA — Very Long Baseline Array) на длине волны $\lambda = 2$ см и $\lambda = 7$ мм построены карты сейфертовской галактики NGC 1275 в поляризованном излучении эпохи 2000–2015 гг. с разрешением 20 мкс. Выделена кольцевая структура диаметром $\varnothing \approx 2$ мс (1 пк), наклонённая под углом 60° к картинной плоскости, вдоль которой расположены три центра активности вихревой природы. В основной северный центр по двум рукавам поступает релятивистская плазма и эжектируется в южном направлении $X \approx -10^\circ$ в виде пустотелой трубки — джета диаметром $\varnothing \approx 0,12$ мс, в удалённой части которого $\rho \approx 2,5$ мс сформирован второй центр активности — вихрь, ориентированный параллельно джету. Истечение вещества в виде коаксиального потока с диаметрами составляющих, равными $\varnothing_{21} \approx 0,8$ и $\varnothing \approx 0,3$ мс происходит в восточном направлении $X \approx -90^\circ$, где расположен третий центр активности с коаксиальным джетом, эжектированным в северном направлении, диаметры потоков равны $\varnothing \approx 0,7$ и $\varnothing \approx 0,35$ мс. Проекция обоих коаксиальных потоков — тангенциальных направлений стенок, накладываются на картинной плоскости, образуя узлы сетки. Раздвоение сопла первой системы проявляется при разрешении 3 мкс. Размеры области двух последующих центров активности протяжены 80×40 мкс и 80×120 мкс соответственно и вытянуты в направлении эжекции потоков.

Ключевые слова: активные ядра галактик, сверхтонкая структура NGC 1275, вихревая природа, три центра активности, джеты

ВВЕДЕНИЕ

Сейфертовская галактика NGC 1275 — известный радиоисточник 3C 84 находится на расстоянии 110 Мпк, что соответствует размерам 0,55 пк/мс. Природа её до конца не ясна. По одним представлениям, это сталкивающиеся галактики (Минковский, 1957), по другим — взрывающаяся галактика (Burbidge, Burbidge, 1965). В оптике наблюдаются две системы волокон, ориентированные под углами $\sim 60^\circ$ и -10° . Предполагается, что системы волокон относятся к галактике позднего типа (Rubin et al., 1977). Скорости волокон соответствуют ~ 5200 км/с. Расщепления спектральных линий в области ядра определяются относительной скоростью излучающих областей ~ 600 км/с (Дибай, 1968). Наблюдаемое расщепление линий связано с орбитальным движением областей вокруг центра с периодом $\sim 10^4$ лет. Масса меньшего ядра равна $\sim 3 \cdot 10^8 M_{Sun}$ (Шкловский, 1978). Плотность электронов поглощающей среды, затеняющей центральную область галактики, достигает $N_e \approx 1,5 \cdot 10^6 \text{ см}^{-3}$, а в плотных вкраплениях, излучающих яркие эмиссионные линии, $N_e \approx 8 \cdot 10^8 \text{ см}^{-3}$. Преобладает поглощение в восточной части экрана (Romney, 1979). Скорость этой составляющей отличается от скорости волокон и соответствует ~ 8200 км/с. Радиоспектр источника 3C 84 имеет высокочастотный избыток, определяемый компактным ядром. Его излучение переменного и наблюдается в виде всплесков (Баррет и др. 1965; Костенко, Матвеевко, 1966, 1968; Dent, 1965). Характерное время нарастания потока не превышает 1 года, что свидетельствует о малых угловых размерах области излучения. Наблюдения со сверхдлинными базами (РСДБ) на длине волны $\lambda = 3$ см позволили выделить компактное ядро размерами $\sim 0,3$ мс дуги и две удалённые компоненты на расстоянии ~ 3 мс дуги в направлении 9° и 170° (Матвеевко и др., 1973; Schilizzi et al., 1975). Наблюдения на длине волны 1,35 см с разрешением 0,1 мс дуги в период спада высокой активности установили раздвоенную структуру активной области (Матвеевко и др., 1979, 1980; Паулини-Тос и др., 1978).

Не смотря на многосторонние исследования объекта, всё ограничивалось лишь некоторым уточнением отдельных сторон понимания его природы — моделей. Впрочем, это относится ко всем объектам с активными ядрами. Многочисленные умозаключения не продвигали нас вперёд в понимании их природы, нужны были реальные представления о протекающих процессах в их ядрах — активных зонах. Казалось, что это неразрешимая задача и прежде всего в радиоизлучении. Не зря говорят: «Лучше один раз увидеть, чем сто раз услышать». Размеры зон чрезвычайно малы и менее всего это можно было ожидать в радиоспектре электромагнитного излучения. Однако глубокое развитие методов анализа радиоизлучения, в том числе до когерентного уровня, технических средств исследований

позволили решить эту задачу VLBI (Very Long Baseline Interferometry) (Матвеевко и др. 1965; Matveyenko, 2007). *Отклик радиointерферометра, равно как и синтезированной диаграммы направленности РСДБ-сети, представляется комплексным числом, вещественная часть которого определяет угловое разрешение, соответствует доле радиointерферометрического лепестка, а мнимая фазовая определяется чувствительностью — отношением сигнал/шум существенно выше и может достигать процентов ширины лепестка, что и было реализовано — достигнуто предельное микросекундное угловое разрешение.* Открыты процессы, протекающие в ядрах объектов — вихревая самоорганизованная природа — космический торнадо. Яркостная температура фрагментов исследуемого объекта 3С 84 в среднем не превышает $T_b < 10^{12}$ К и соответствует оптимальному угловому разрешению 25 мкс ($\approx 0,01$ пк). В области сопла $T_b \geq 10^{12}$ К и угловое разрешение достигает нескольких микросекунд (≈ 1 мпк).

Исследования сверхтонкой структуры галактики на волне 2 см, по архивным данным НРАО (Национальная радиоастрономическая обсерватория, США) за период 2005–2010 гг. с микросекундным угловым разрешением, подтвердили раздвоенность центральной области. Составляющие структуры разнесены в картинной плоскости в восточном направлении на 0,5 пк (Матвеевко, Селезнев 2016). Каждая из составляющих содержит яркий компактный источник — эжектор и биполярный коаксиальный джет. Эжекторы разнесены в направлении 45° . Диаметры коаксиальных потоков соответствуют $\varnothing_1 \approx 0,3$ пк, $\varnothing_2 \approx 0,8$ пк и $\varnothing_3 \approx 1,4$ пк. Яркостная температура центрального потока нарастает по мере приближения к соплу и превышает $T_b > 10^{12}$ К. Предполагается вихревая природа структуры — два параллельных вихря. Поступающее вещество перетекает по спирали к центру системы и эжектируется по мере накопления избыточного углового момента. Остаточное вещество выпадает на формирующееся центральное массивное тело. В случае кеплеровского движения отличие скоростей двух систем ~ 600 км/с соответствует периоду обращения $T \approx 5 \cdot 10^3$ лет, а масса центральных тел $M \approx 10^7 M_{Sun}$ и соответствует ранее сделанным оценкам (Шкловский, 1978).

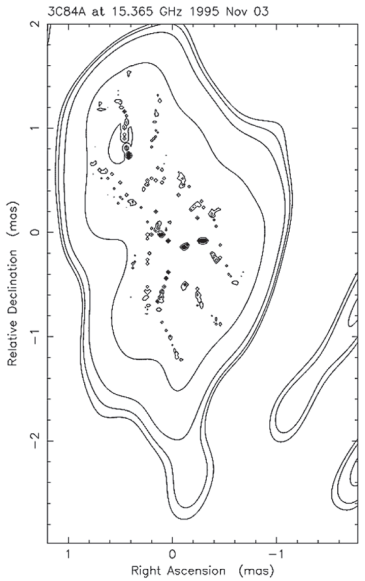
Центральная активная область галактики затеняется достаточно плотной областью тепловой плазмы, наблюдаемой в спектральных линиях в оптике. Это ограничивает возможности исследований тонкой структуры в длинноволновой части сантиметрового диапазона радиоволн. В настоящей работе приведены результаты исследований структуры галактики в поляризованном излучении на длинах волн $\lambda = 2$ см и $\lambda = 7$ мм.

ТОНКАЯ СТРУКТУРА АКТИВНОЙ ОБЛАСТИ ГАЛАКТИКИ

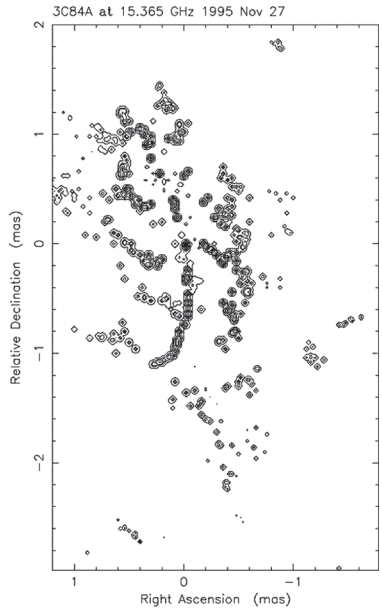
Отклик радиointерферометра представляется комплексным числом, что соответствует синтезированной диаграмме направленности и её фазовой характеристике. Угловое разрешение, определяемое вещественной частью, достигает доли ширины интерференционного лепестка минимального раз-

мера. Точность углового разрешения мнимой части — фазы определяется отношением сигнал/шум и существенно превышает это значение. Яркостная температура фрагментов исследуемого объекта 3С 84 в среднем не превышает $T_b < 10^{12}$ К и соответствует оптимальному угловому разрешению 25 мкс ($\approx 0,01$ пк). В области сопла $T_b \geq 10^{12}$ К и угловое разрешение достигает нескольких микросекунд (≈ 1 мпк).

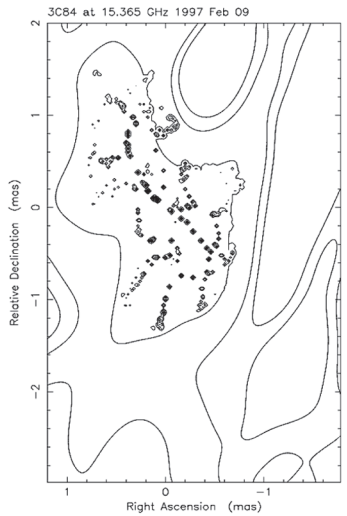
$\lambda = 2$ см. Рассмотрим особенности тонкой структуры и кинематики активной области в галактике NGC 1275 на длине волны 2 см с угловым разрешением 25 мкс (≈ 14 мпк), полученных по архивным данным наблюдений NRAO на VLBA (Very Long Baseline Array) в период 1995–2015 гг. (рис. 1а, см. с. 6–15). Не смотря на небольшой период по астрономическим масштабам, структура галактики претерпевает существенные изменения. В начале периода 1995–1997 гг. структура имеет характерный вид «ёлочки» — изогнутой веточки с хвоей. Пиковая яркость сопла в этот период не превышает $I_o \leq 0,8$ Ян/луч, ($T_b \leq 10^{12}$ К), а веточек — до 10 % пикового значения. Эта структура может быть представлена как тангенциальные направления стенок воронок — хвоя нанизанных на веточку. Воронки — фрагменты вращающегося пустотелого потока джета, эжектируемого из сжимающегося сопла 27.11.1995. Противоположные направления правой и левой составляющей хвои возможно определяются отличием скоростей потоков, поступающих по рукавам. В эпоху 27.11.1995 изгиб веточки — джета меняется на обратный и восстанавливается в следующую эпоху. Это может определяться изменением наклона — проекции дугообразной структуры на картинную плоскость, наблюдаемую с ребра. В верхней части веточки расположен яркий компактный источник — сопло активной зоны № 1. Далее в джете на расстоянии 0,8 мс расположен вихрь зоны № 2. Его яркость достигает пикового значения. И наконец, восточнее вихря на расстоянии 0,3 мс от него расположен вихрь № 3. Как видно в эпоху 12.07.1997 к первому соплу по спиральному рукаву поступает окружающее вещество. В начале 2000 г. верхняя часть веточки изгибается, дополняя стенку эллипса — части окружности, наклонённой к картинной плоскости. В 2008–2009 гг. эллипс виден полностью, его размеры 2×1 мс, а большая ось ориентирована под углом 10° . Эллипс соответствует окружности, диаметром $\varnothing \approx 2$ мс (≈ 1 пк), наклонённой под углом 60° к картинной плоскости. Левая часть стенки эллипса — центральный поток джета зоны № 1, окружена двумя параллельными полосками — тангенциальными направлениями стенок пустотелой составляющей диаметром $\varnothing \approx 0,4$ мс, эпоха 25.08.2008. Джет направлен в сторону вихря активной зоны № 2, из которого эжектируется коаксиальный поток в направлении вихря активной зоны № 3, эпохи, предшествующие 2011 г. Из этой зоны происходит эжекция коаксиального потока в северном направлении, параллельно джету № 1, 12.12.2011. В эпохи 27.02.2011–24.06.2011.06.24 наблюдается повышенное поглощение в зоне № 2. Поглощение снижает яркостную температуру сопла — в два-четыре раза по сравнению с соседними эпохами. Данная структура сохраняется до конца рассматриваемого периода 2015 г. Рассмотрим особенно-сти структуры галактики NGC 1275 на длине волны $\lambda = 7$ мм.



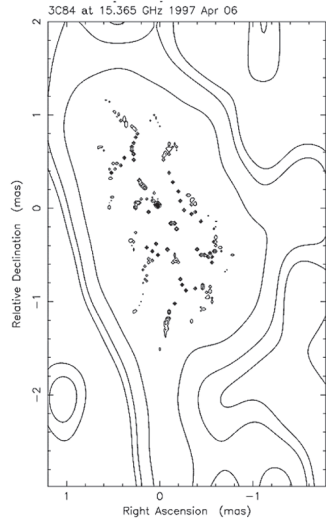
Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.378 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) @ 0.09, Ch.1..2., FAST



Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.79 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) @ 0.09, Ch.1..2., FAST

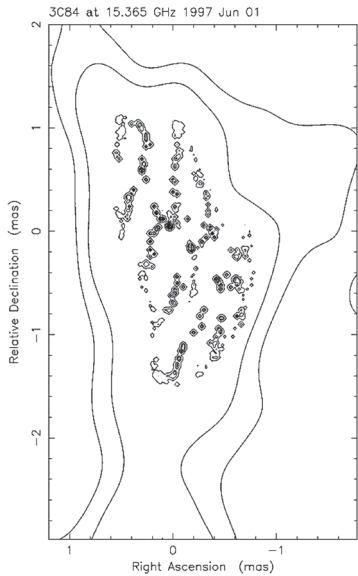


Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.106 (2000.0)
 Map peak: 0.31 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) @ 0.09, Ch.1..4., FAST

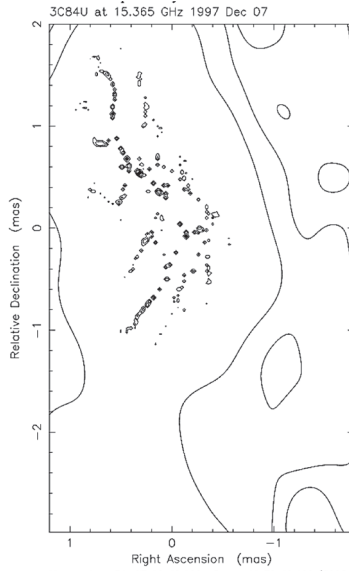


Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.691 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) @ 0.09, Ch.1..4., FAST

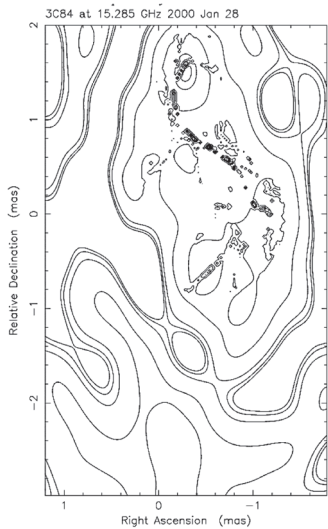
Рис. 1а. Радиокарты Сейфертовской галактики NGC 1275: $\lambda = 2$ см, $\phi = 25$ мкс, 1995–2015 гг. (продолжение и окончание см. на с. 7–15)



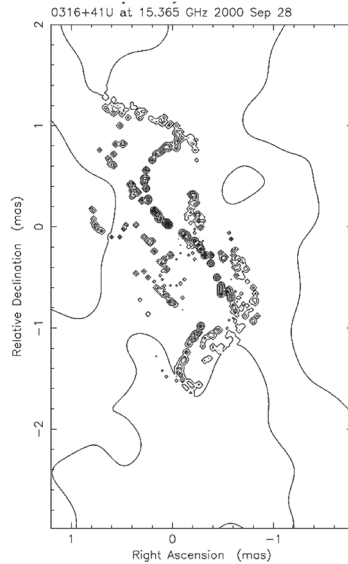
Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.455 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2.5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) - 09, Ch. 1..4., FAST



Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.106 (2000.0)
 Map peak: 0.537 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2.5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) - 09, Ch. 1..4., FAST

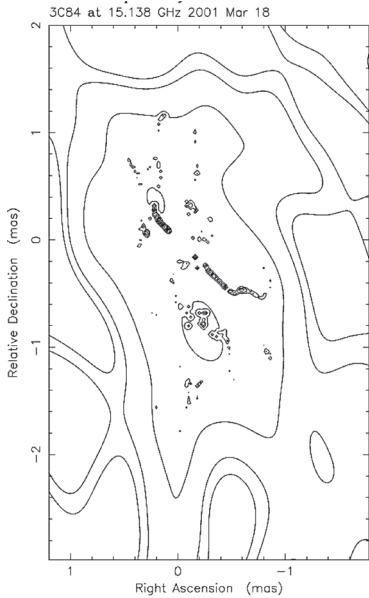


Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.106 (2000.0)
 Map peak: 0.249 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2.5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) - 09, Ch. 1..2., FAST

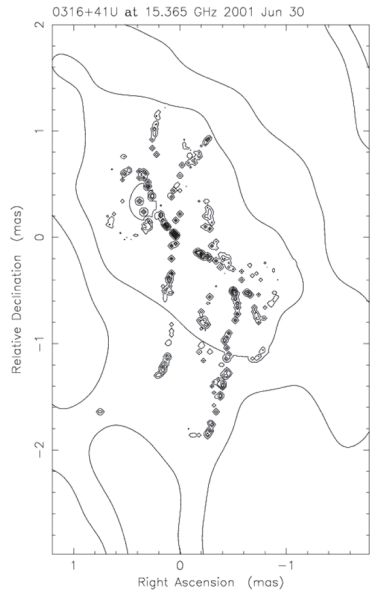


Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.453 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2.5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) - 09, Ch. 1..4., FAST

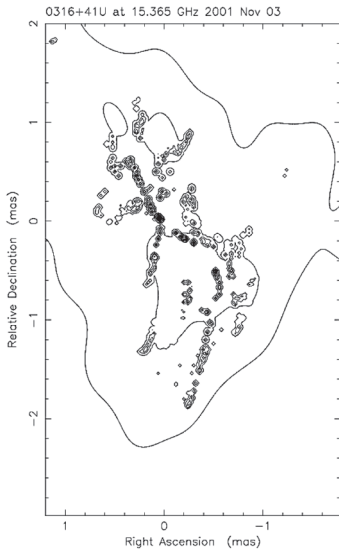
Рис. 1а. Продолжение (начало см. на с. 6, окончание — на с. 15)



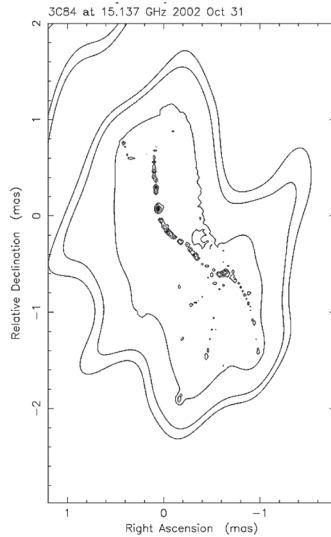
Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.502 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas)-f0²-09,Ch.1..4,,FAST



Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.309 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas)-f0²-09,Ch.1..4,,FAST

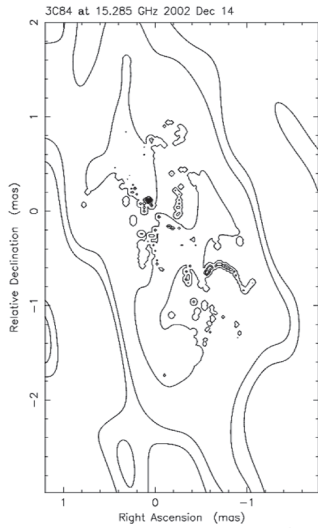


Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.442 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas)-f0²-09,Ch.1..4,,FAST

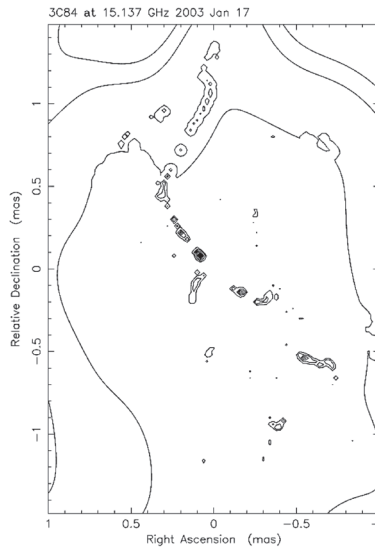


Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.581 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas)-f0²-09,Ch.1..4,,FAST

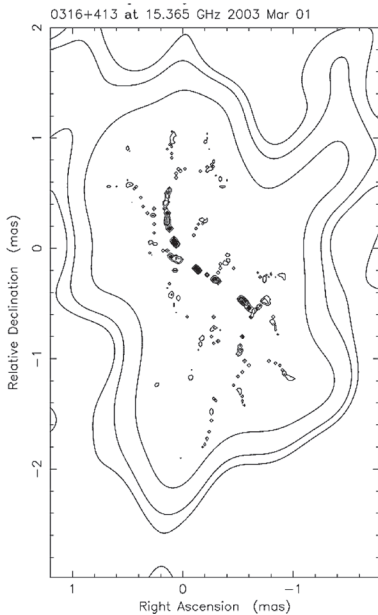
Рис. 1а. Продолжение (начало см. на с. 6, окончание — на с. 15)



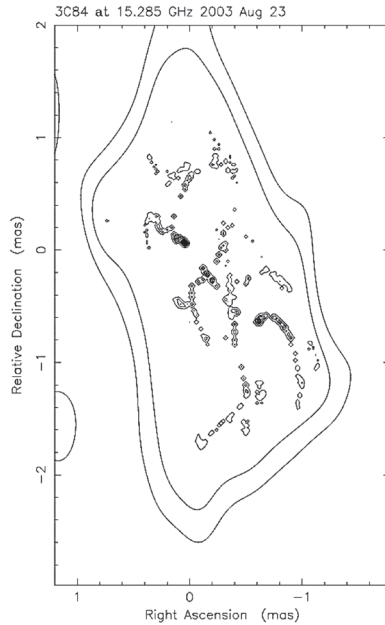
Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.836 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) @ 0°-09, Ch.1..2., FAST



Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.464 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99



Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.395 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) @ 0°-09, Ch.1..4., FAST



Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.103 (2000.0)
 Map peak: 0.672 Jy/beam
 Contours %: 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70 80 90
 Contours #: 99
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) @ 0°-09, Ch.1..2., FAST

Рис. 1а. Продолжение (начало см. на с. 6, окончание — на с. 15)

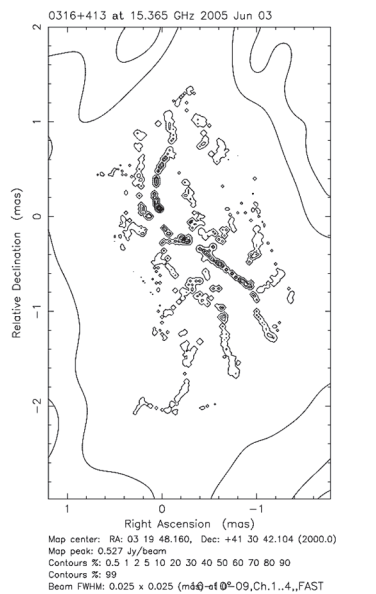
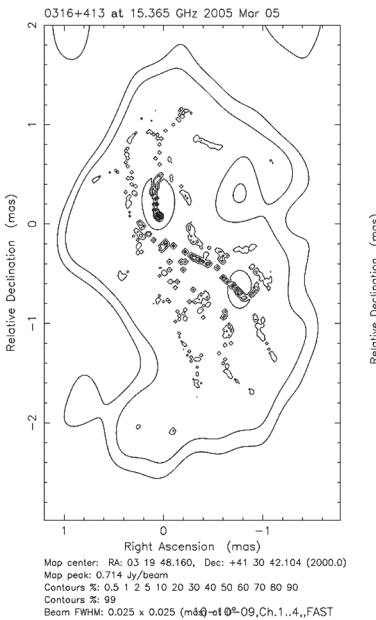
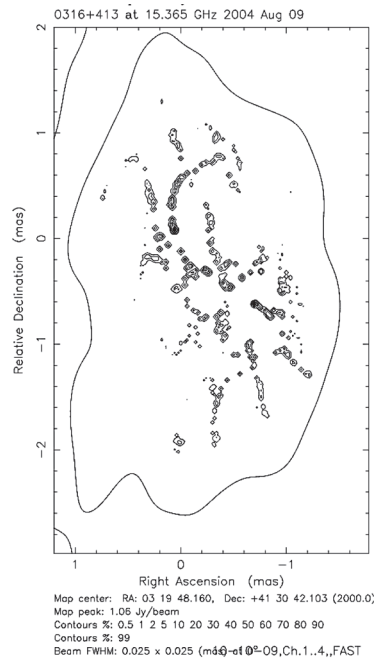
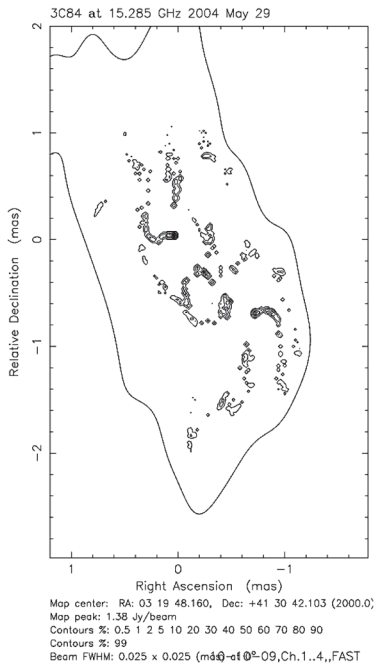


Рис. 1а. Продолжение (начало см. на с. 6, окончание — на с. 15)

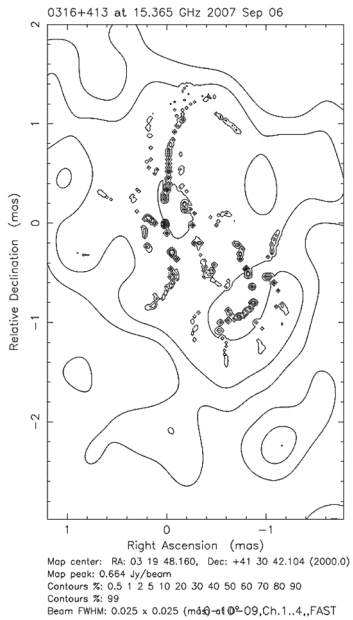
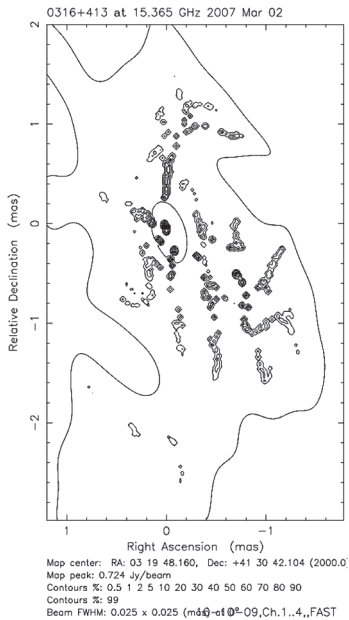
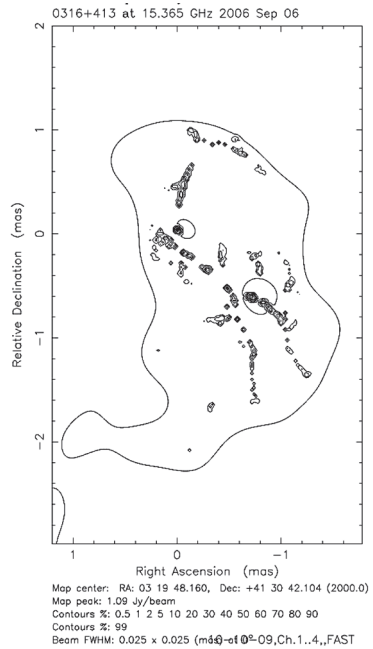
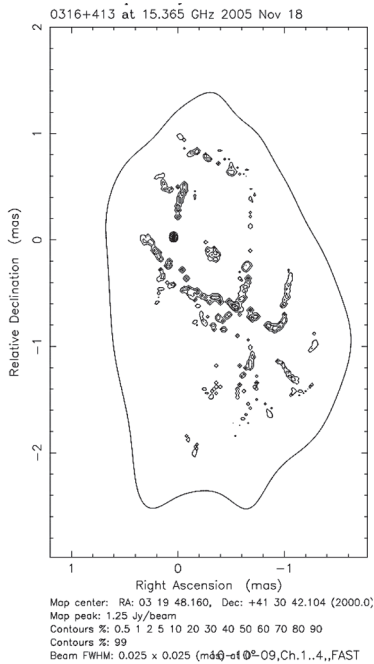


Рис. 1а. Продолжение (начало см. на с. 6, окончание — на с. 15)

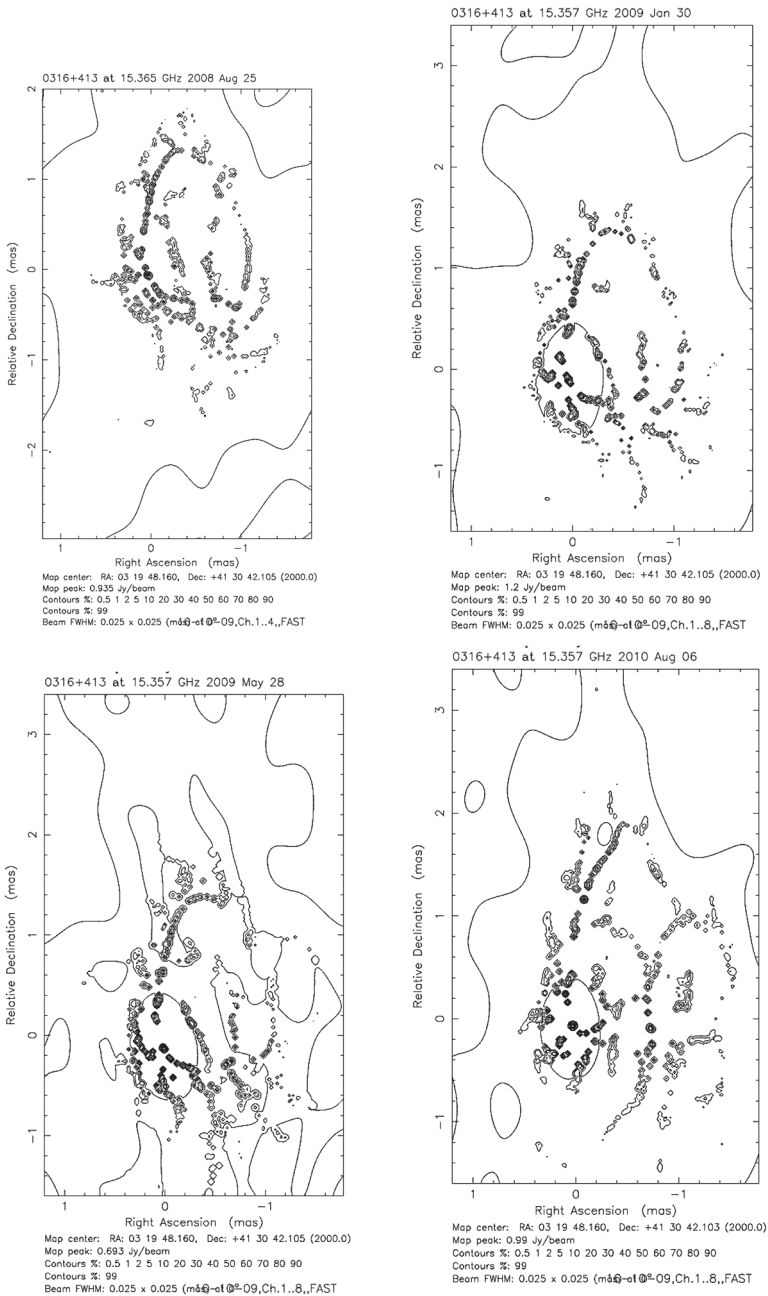


Рис. 1а. Продолжение (начало см. на с. 6, окончание — на с. 15)

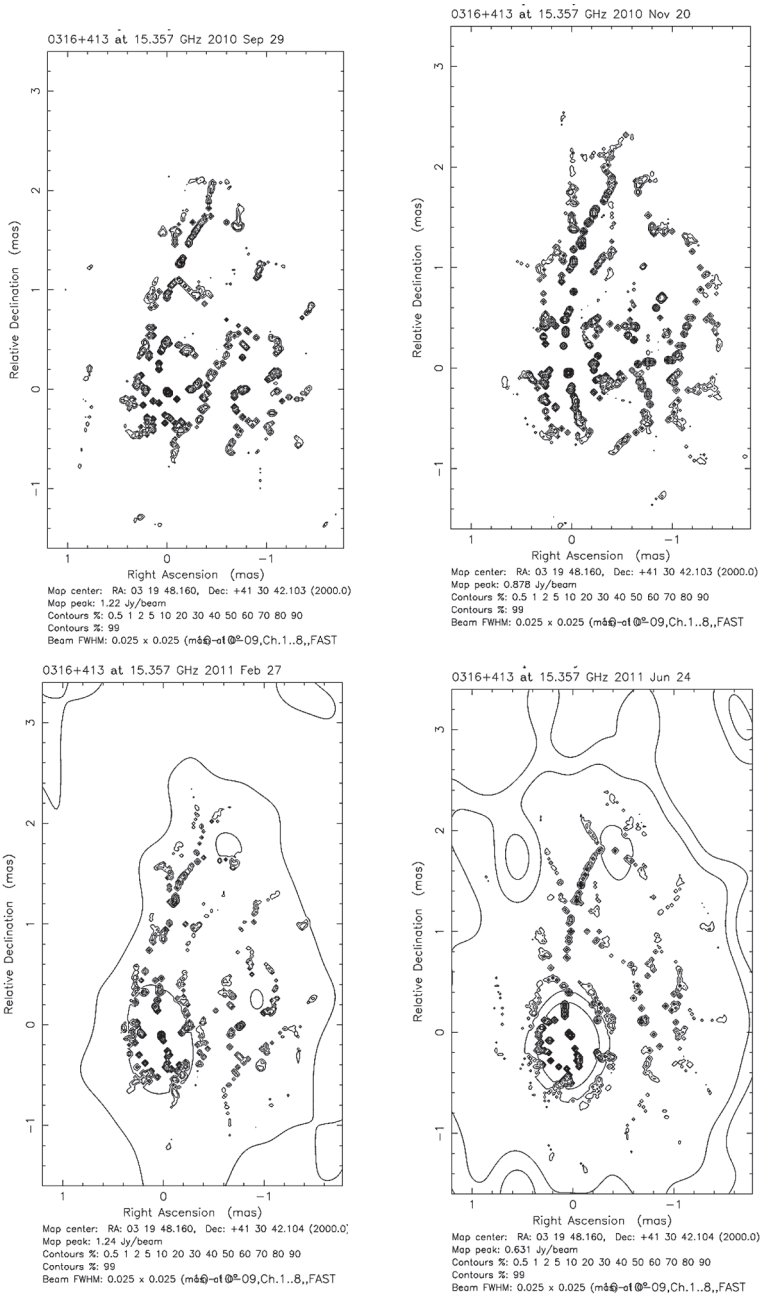


Рис. 1а. Продолжение (начало см. на с. 6, окончание — на с. 15)

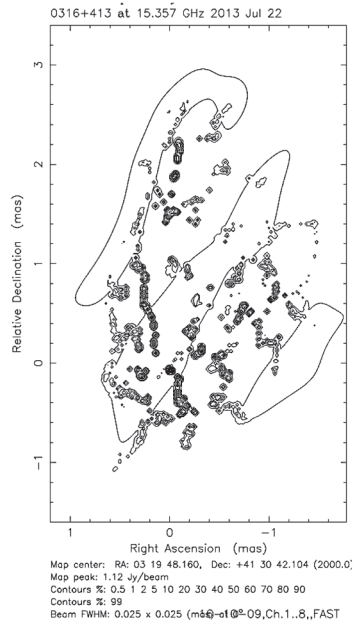
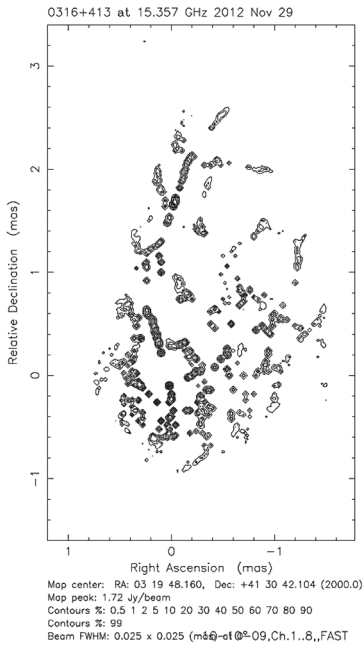
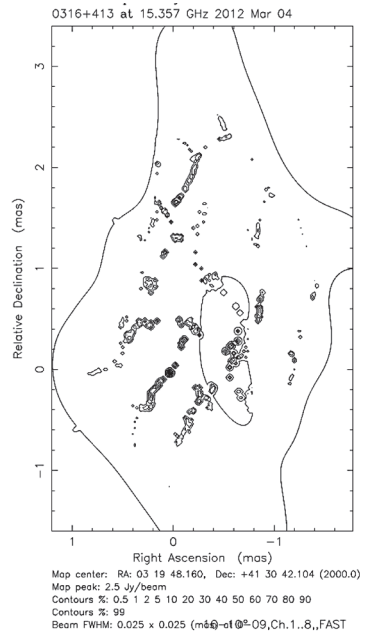
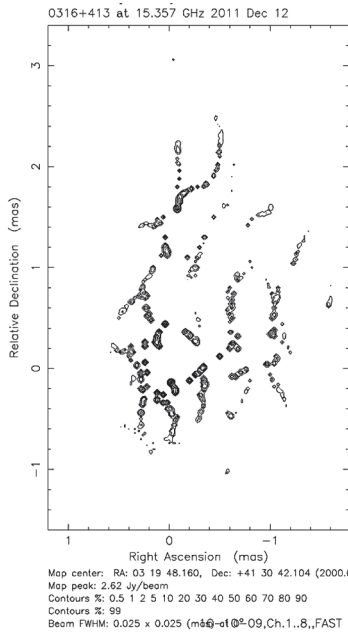


Рис. 1а. Продолжение (начало см. на с. 6, окончание — на с. 15)

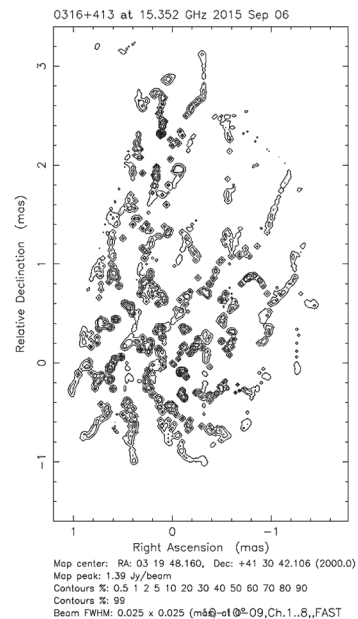
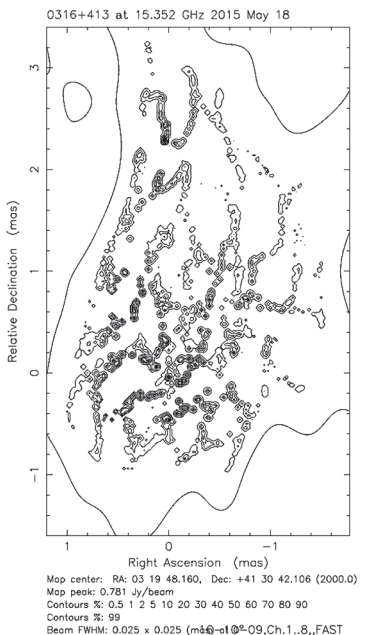
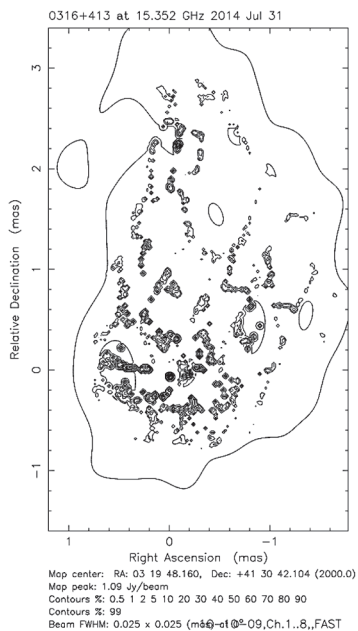
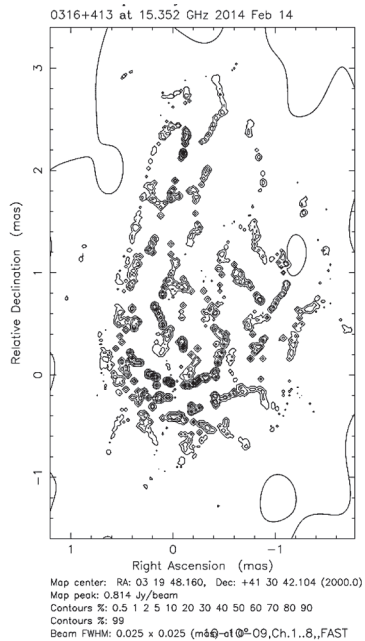


Рис. 1а. Окончание (начало см. на с. 6–14)

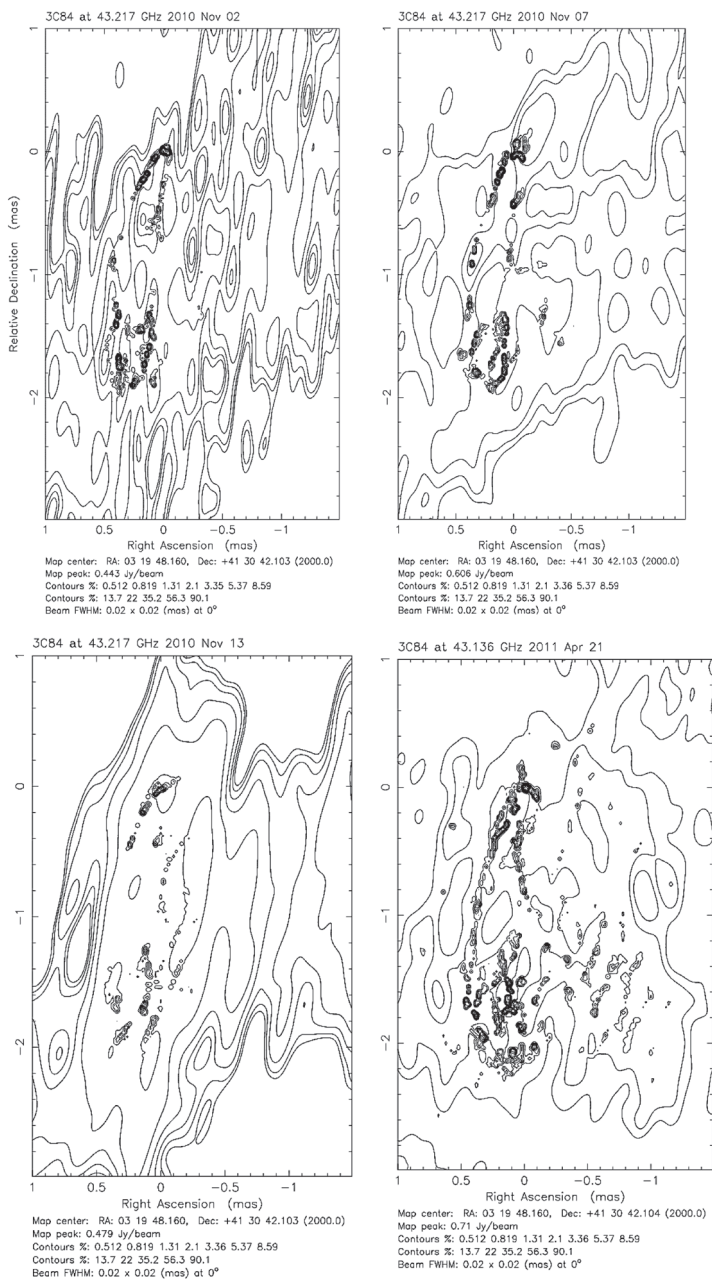


Рис. 16. Радиокарты Сейфертовской галактики NGC 1275: $\lambda = 7$ мм, $\phi = 20$ мкс, 2010–2015 гг. (продолжение и окончание см. на с. 17–26)

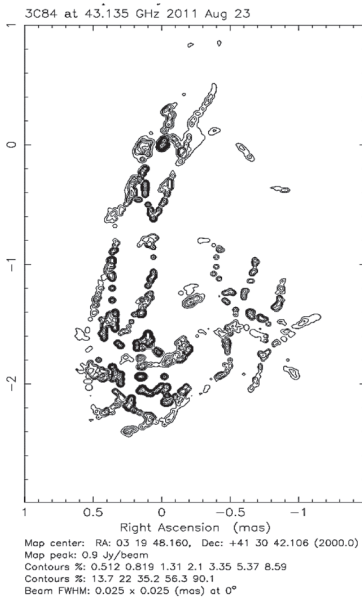
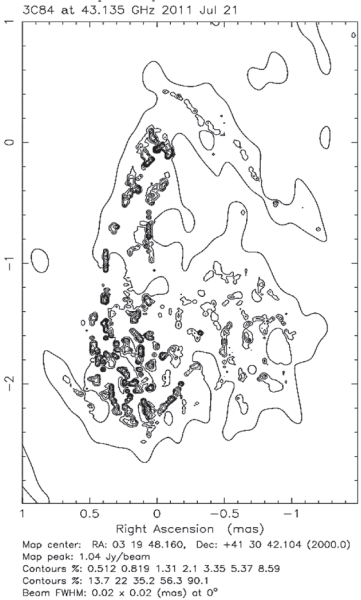
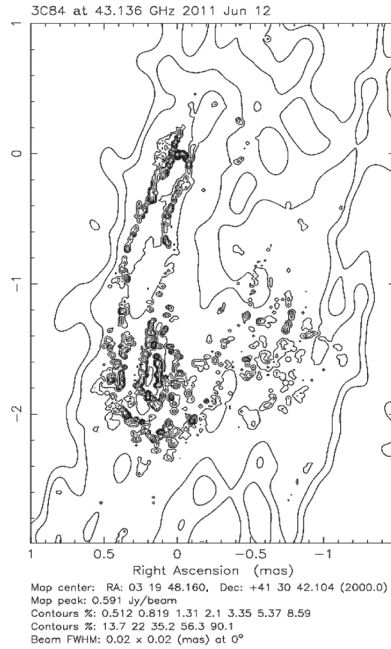
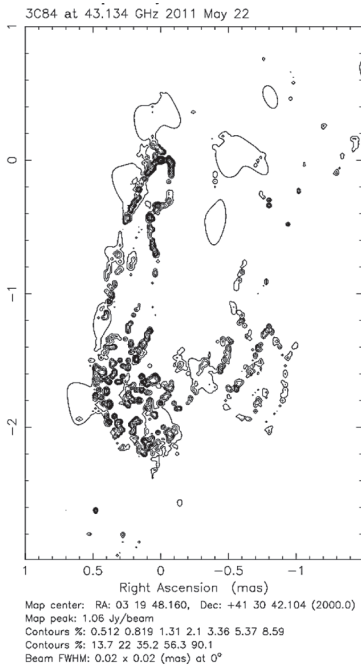


Рис. 16. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание — на с. 26)

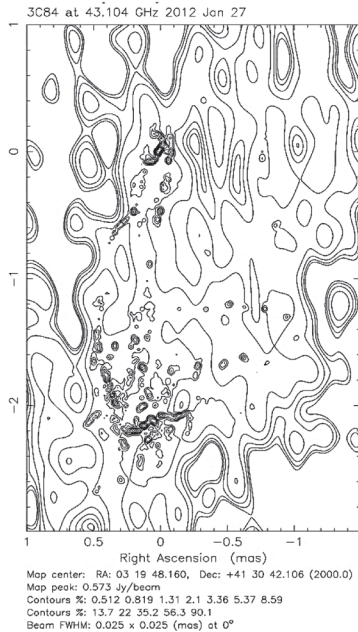
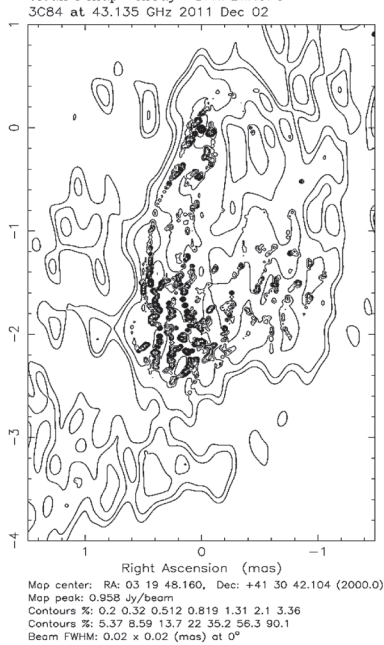
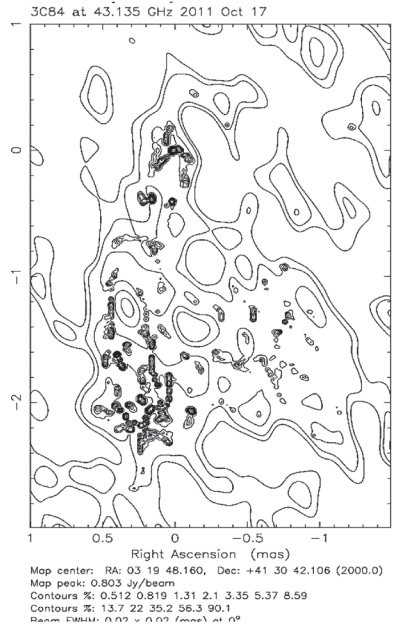
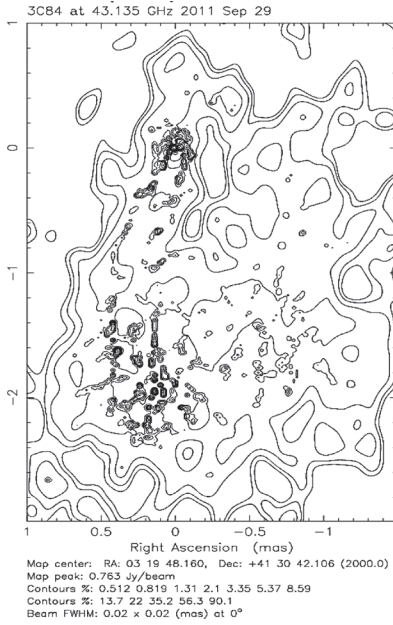
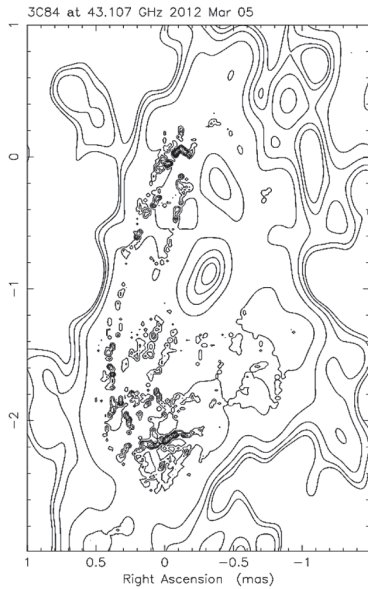
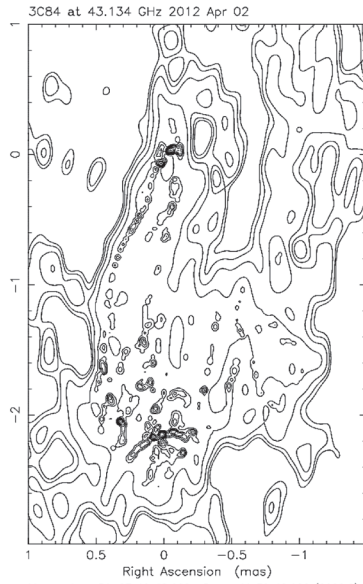


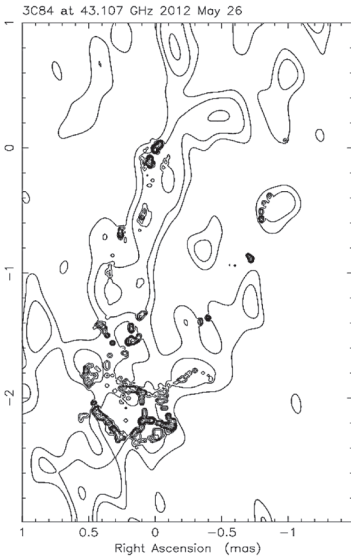
Рис. 16. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание — на с. 26)



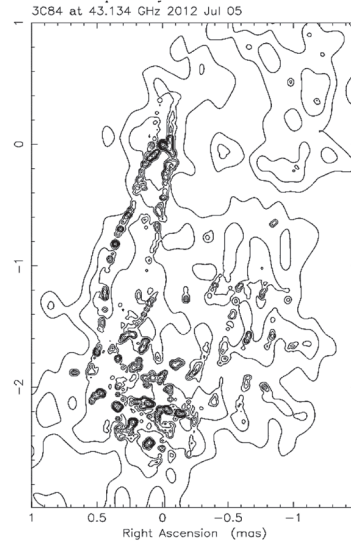
Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.106 (2000.0)
 Map peak: 0.554 Jy/beam
 Contours %: 0.512 0.819 1.31 2.1 3.36 5.37 8.59
 Contours %: 13.7 22 35.2 56.3 90.1
 Beam FWHM: 0.02 x 0.02 (mas) at 0°



Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.106 (2000.0)
 Map peak: 0.517 Jy/beam
 Contours %: 0.512 0.819 1.31 2.1 3.35 5.37 8.59
 Contours %: 13.7 22 35.2 56.3 90.1
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) at 0°



Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.104 (2000.0)
 Map peak: 0.651 Jy/beam
 Contours %: 0.512 0.819 1.31 2.1 3.36 5.37 8.59
 Contours %: 13.7 22 35.2 56.3 90.1
 Beam FWHM: 0.02 x 0.02 (mas) at 0°



Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.104 (2000.0)
 Map peak: 1.01 Jy/beam
 Contours %: 0.512 0.819 1.31 2.1 3.35 5.37 8.59
 Contours %: 13.7 22 35.2 56.3 90.1
 Beam FWHM: 0.025 x 0.025 (mas) at 0°

Рис. 16. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание — на с. 26)

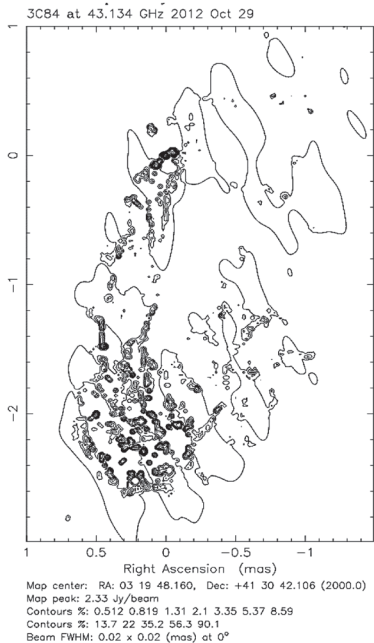
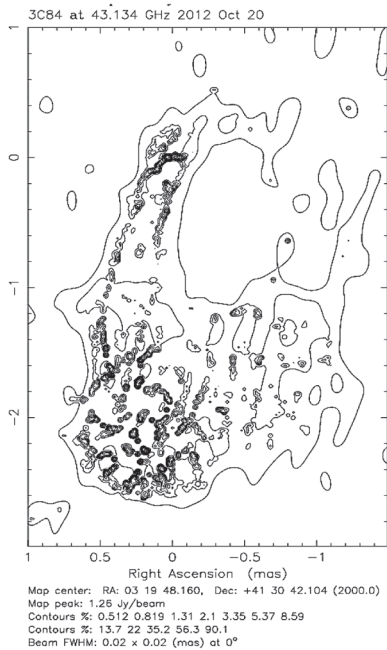
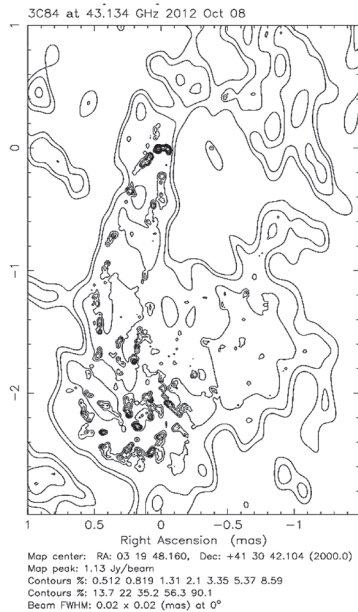
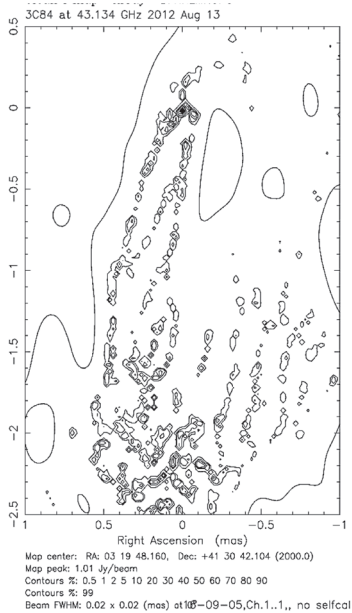


Рис. 16. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание — на с. 26)

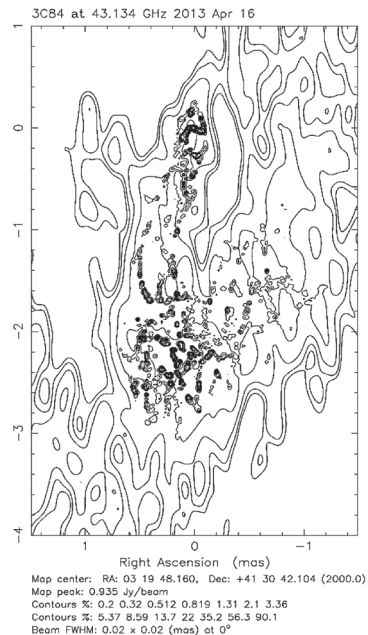
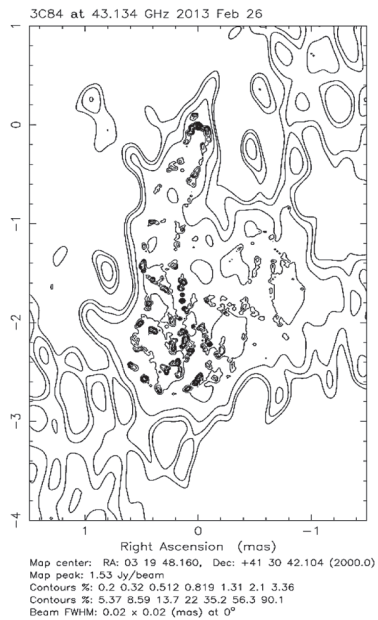
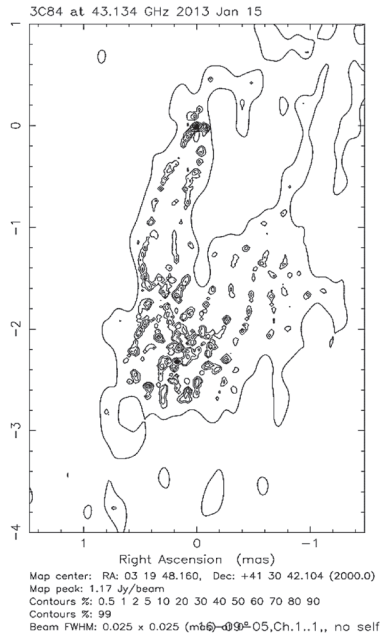
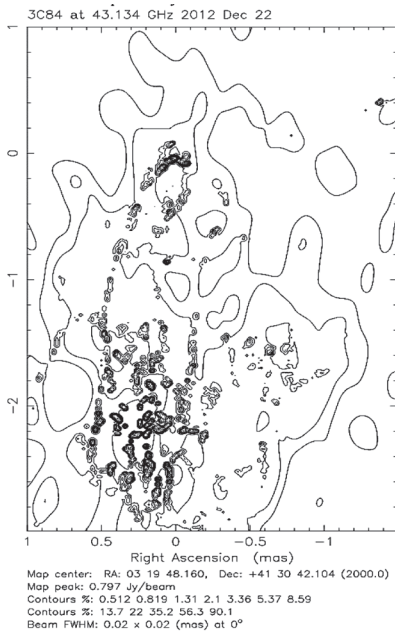


Рис. 16. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание — на с. 26)

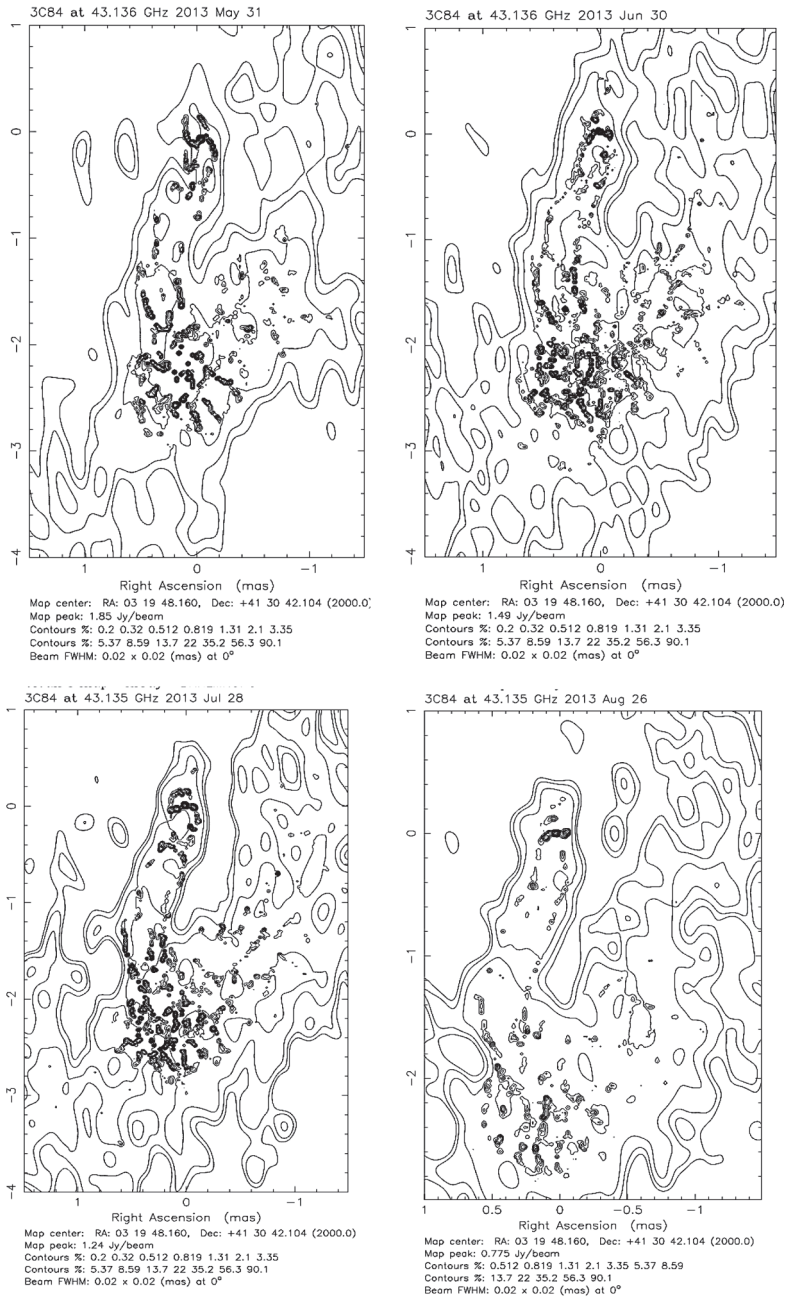


Рис. 1а. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание — на с. 26)

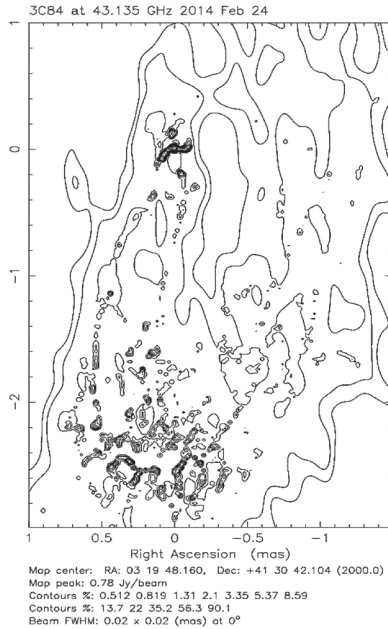
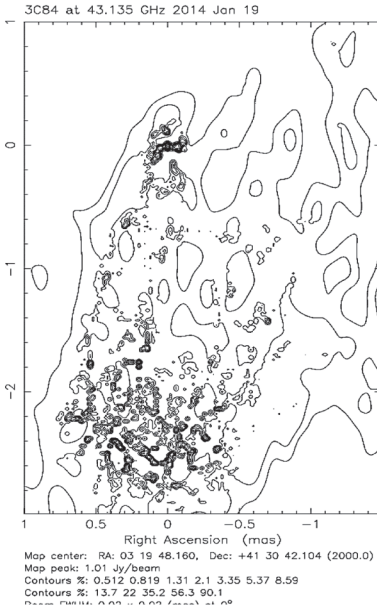
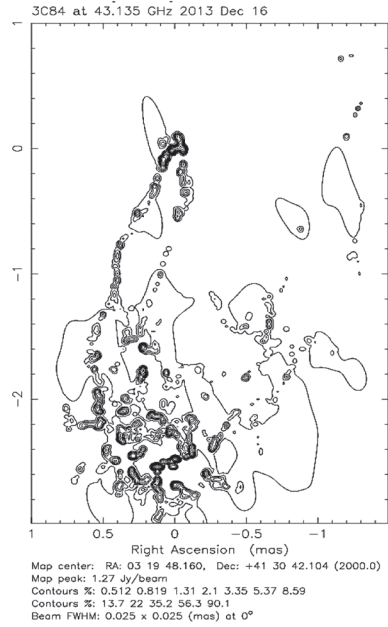
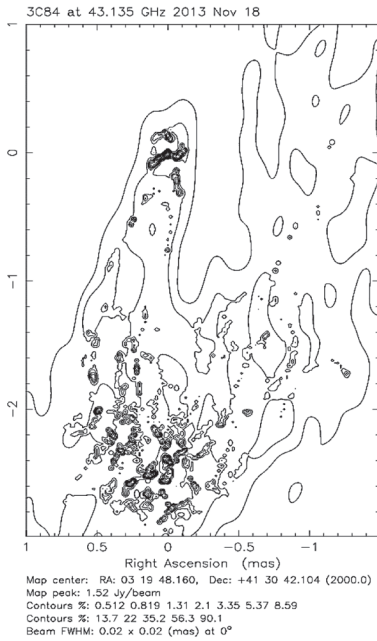


Рис. 16. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание — на с. 26)

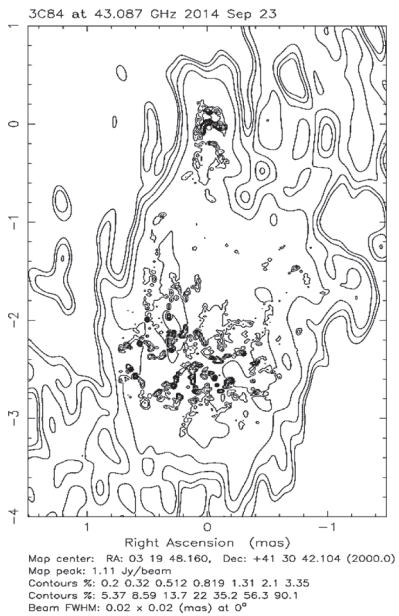
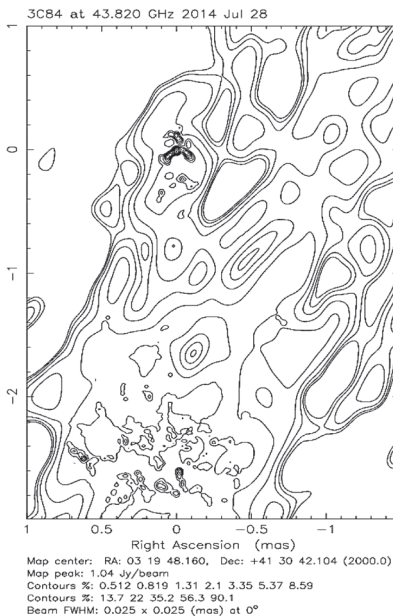
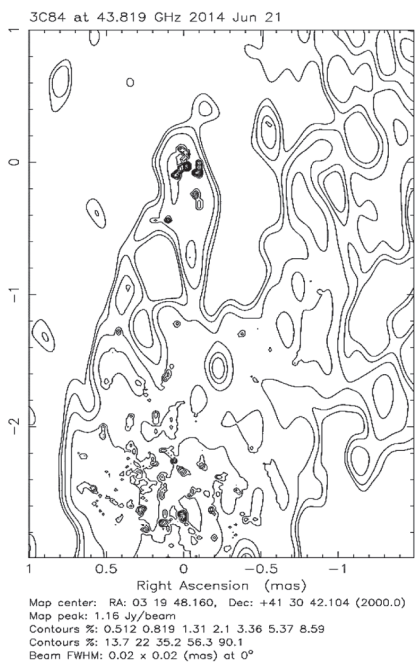
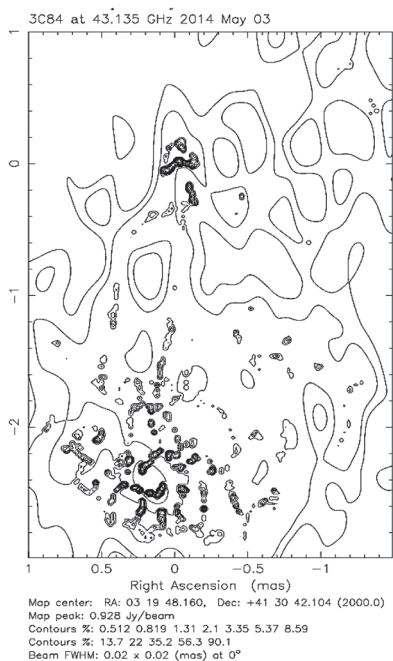


Рис. 16. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание — на с. 26)

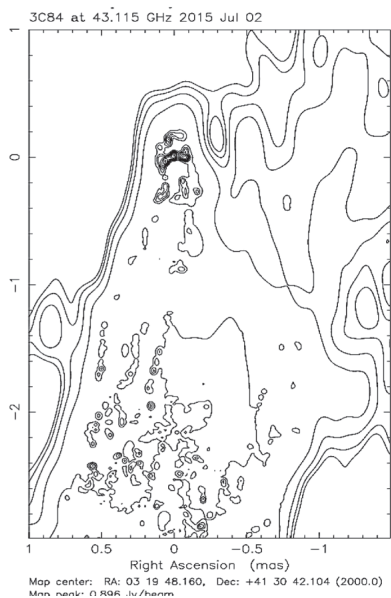
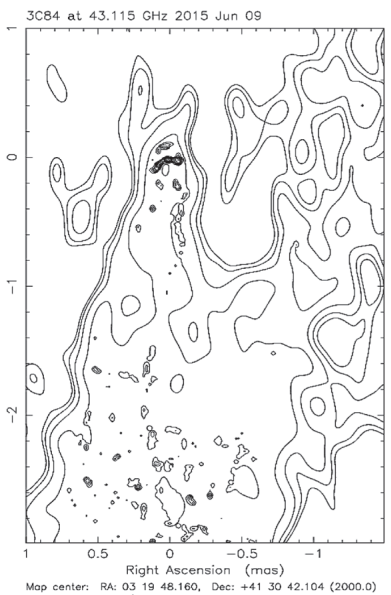
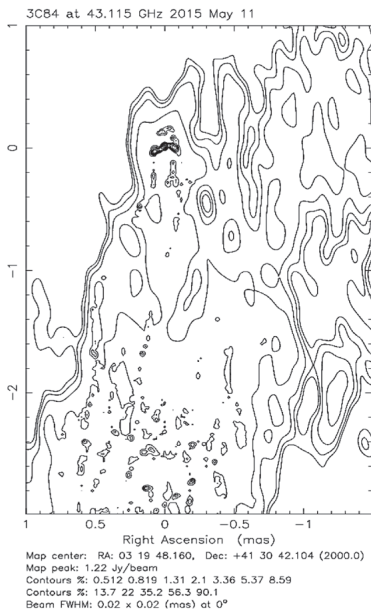
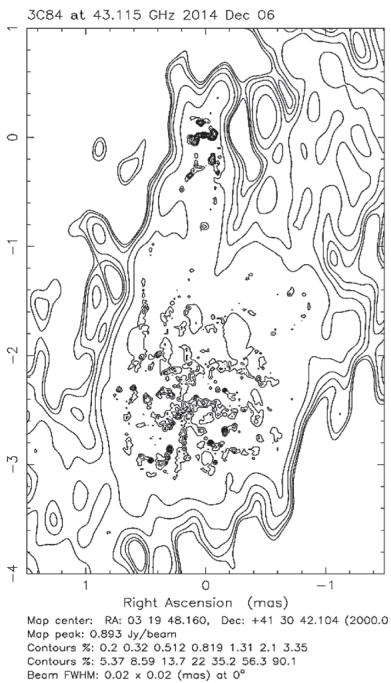
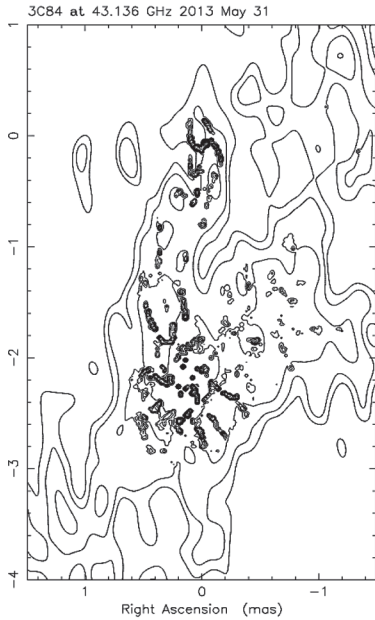
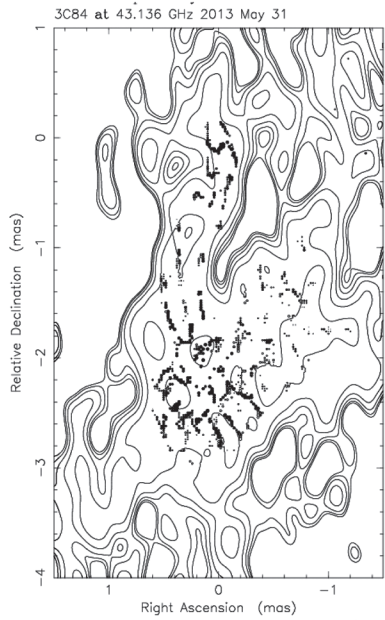


Рис. 16. Продолжение (начало см. на с. 16, окончание — на с. 26)

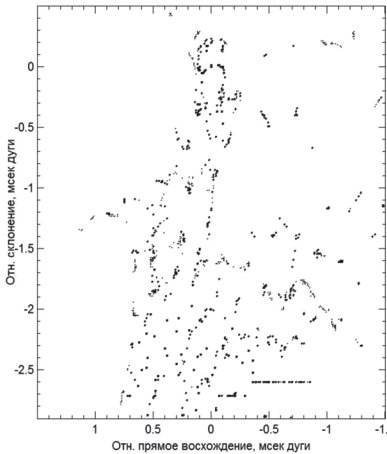


3C84 at 43.136 GHz 2013 May 31
 Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.104 (2000.0)
 Map peak: 1.85 Jy/beam
 Contours %: 0.2 0.32 0.512 0.819 1.31 2.1 3.35
 Contours %: 5.37 8.59 13.7 22 35.2 56.3 90.1
 Beam FWHM: 0.02 x 0.02 (mas) at 0°

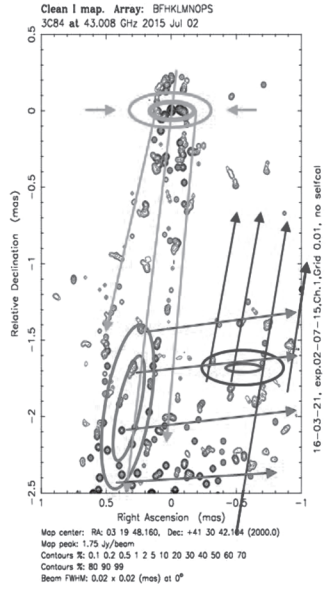


3C84 at 43.136 GHz 2013 May 31
 Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.104 (2000.0)
 Map peak: 1.8 Jy/beam
 Contours %: 0.049 0.078 0.125 0.2 0.32 0.512 0.819
 Contours %: 1.31 2.1 3.35 5.37 8.59 13.7 22 35.2
 Contours %: 56.3 90.1 18-10-13, Ch. 1..1., FAST
 Beam FWHM: 0.01 x 0.01 (mas) at 0°

Источник: 3C84 Частота: 43008 МГц V: 11.2 км/с
 Дата создания: 27.05.2016; Файл: E:\Stanislav\Private\Orion\DiffmapView_2010_03_6



Поляризация : I
 Пикс: 1.43 Яя/луч Луч: 5 мксек Уровни, % : 0.01 0.02 0.05 0.1 0.2 0.5 1 2 5 10 20 30 40



Clean I map. Array: BFHKL MNOPS
 3C84 at 43.008 GHz 2015 Jul 02
 Map center: RA: 03 19 48.160, Dec: +41 30 42.104 (2000.0)
 Map peak: 1.75 Jy/beam
 Contours %: 0.1 0.2 0.5 1 2 5 10 20 30 40 50 60 70
 Contours %: 80 90 99
 Beam FWHM: 0.02 x 0.02 (mas) at 0°

Рис. 16. Окончание (начало см. на с. 16–25)

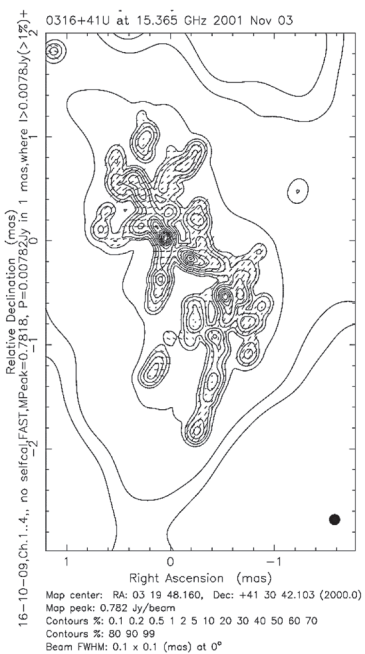
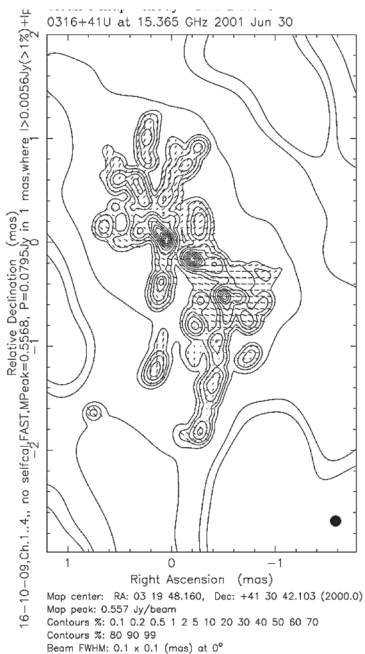
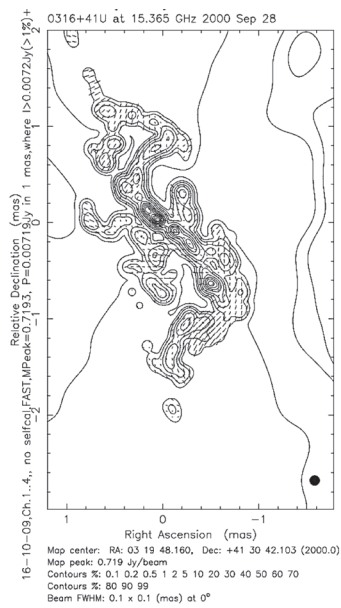
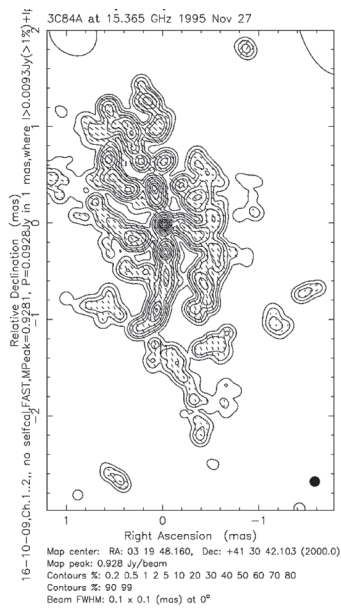


Рис. 1в. Радиокарты Сейфертовской галактики NGC 1275: $\lambda = 2$ см, $\varphi = 100$ мкс, 1995–2016 гг. (продолжение и окончание см. на с. 28–34)

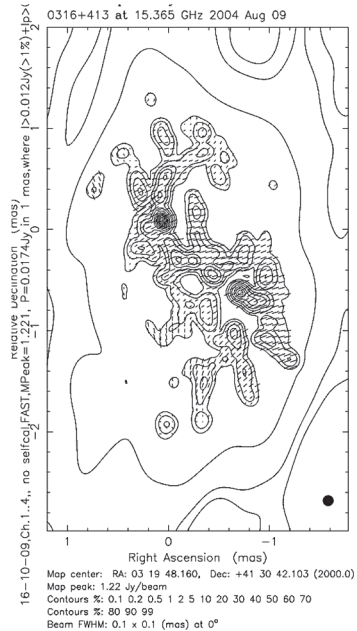
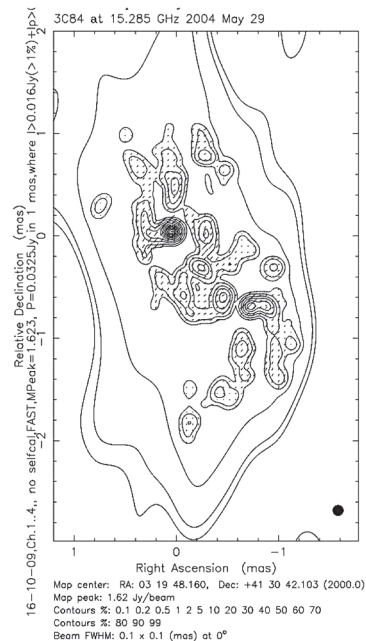
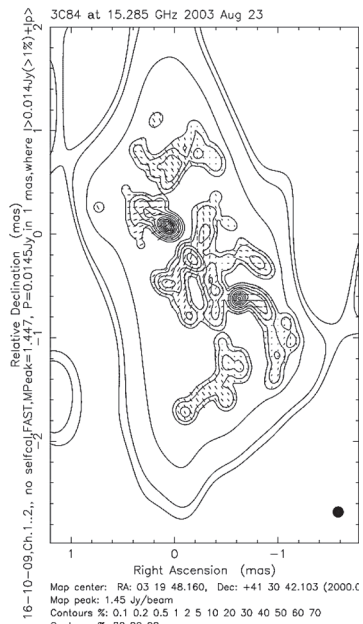
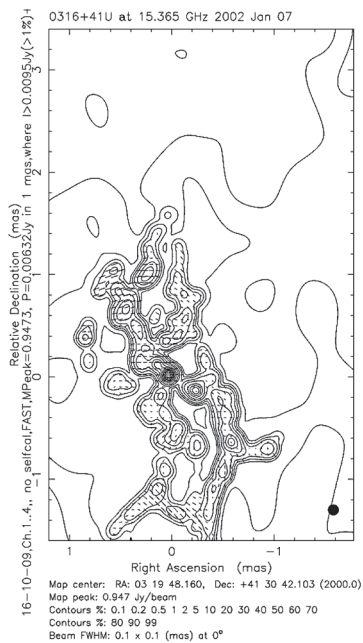


Рис. 1в. Продолжение (начало см. на с. 27, окончание — на с. 34)

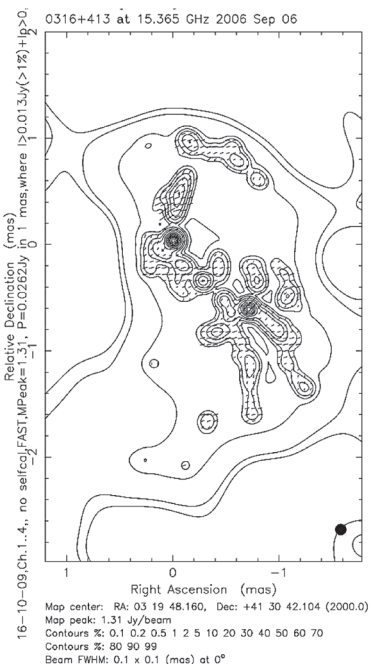
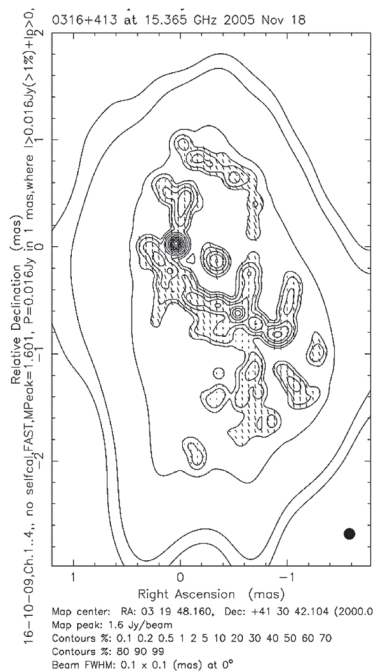
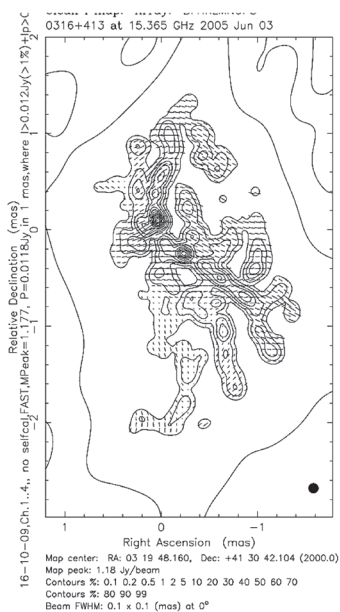
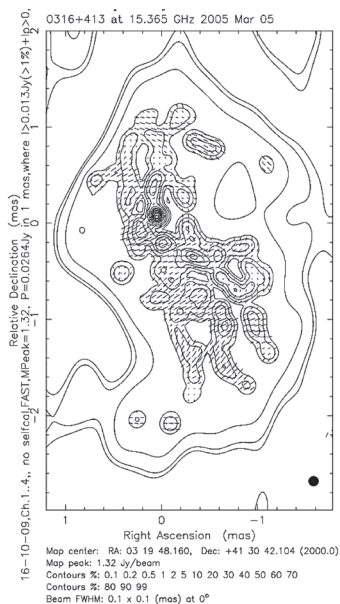


Рис. 1в. Продолжение (начало см. на с. 27, окончание — на с. 34)

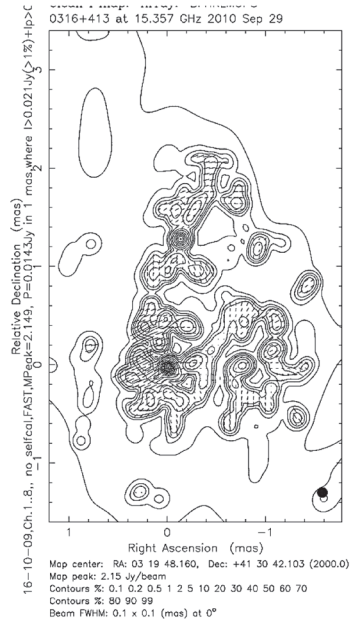
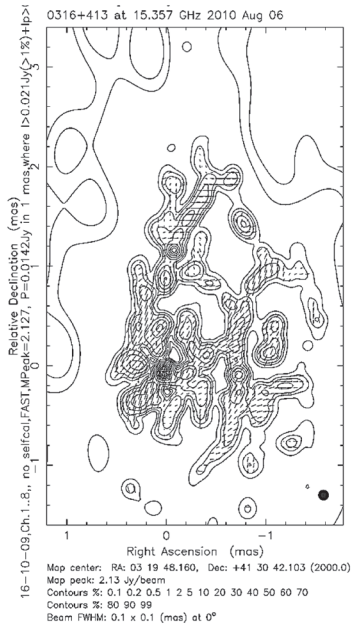
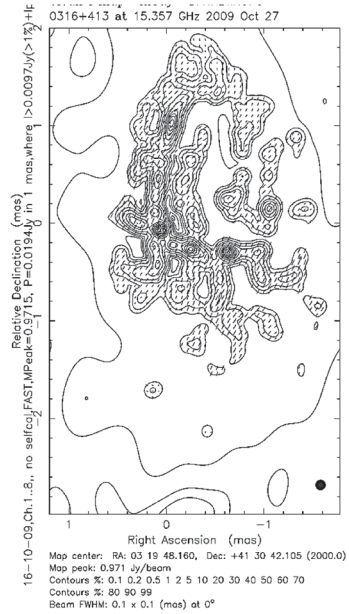
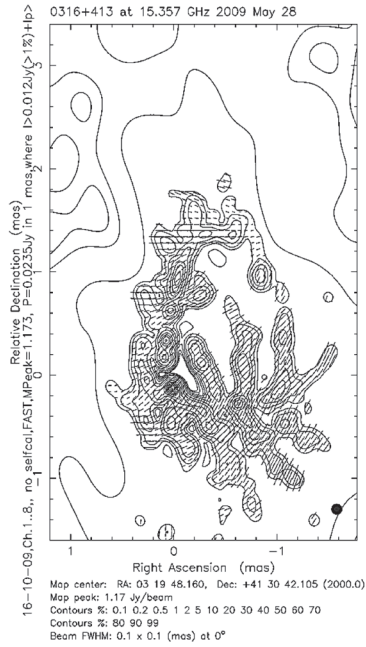


Рис. 1в. Продолжение (начало см. на с. 27, окончание — на с. 34)

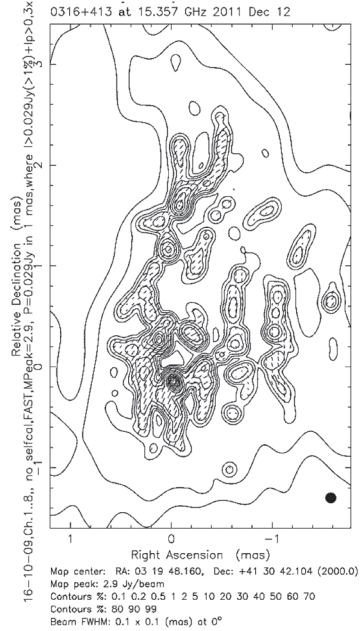
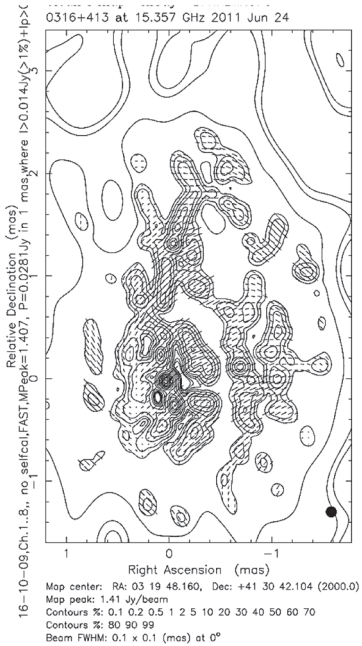
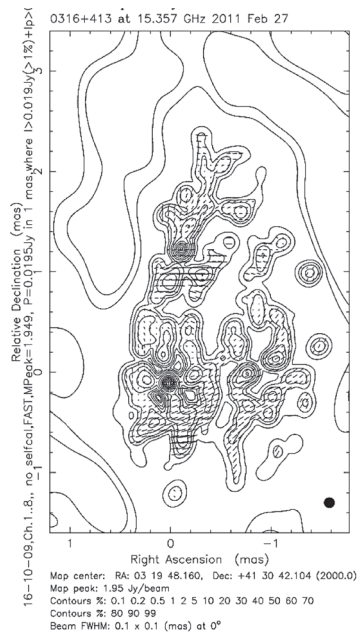
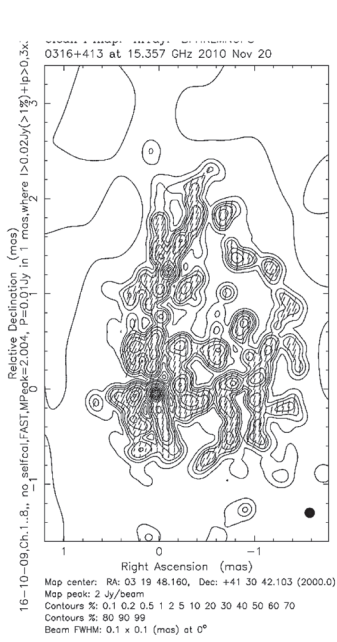


Рис. 1в. Продолжение (начало см. на с. 27, окончание — на с. 34)

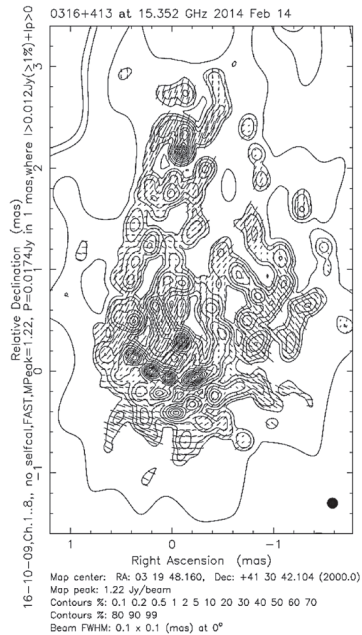
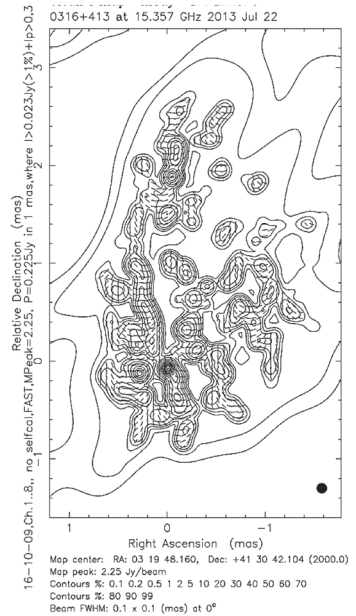
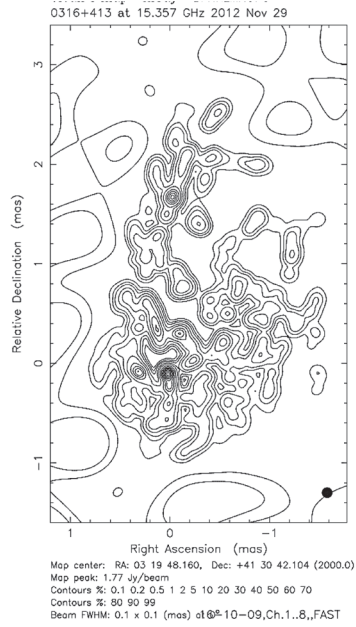
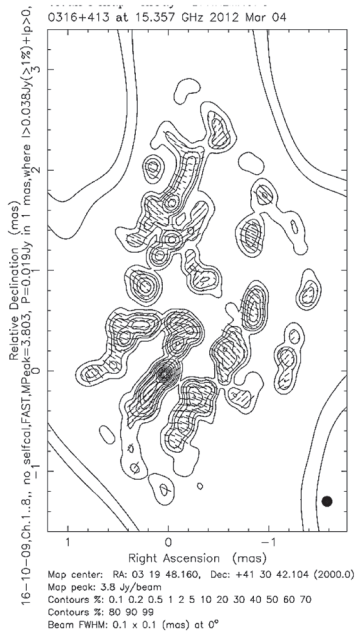


Рис. 1в. Продолжение (начало см. на с. 27, окончание — на с. 34)

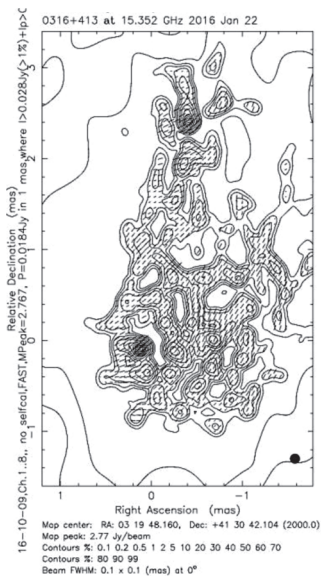
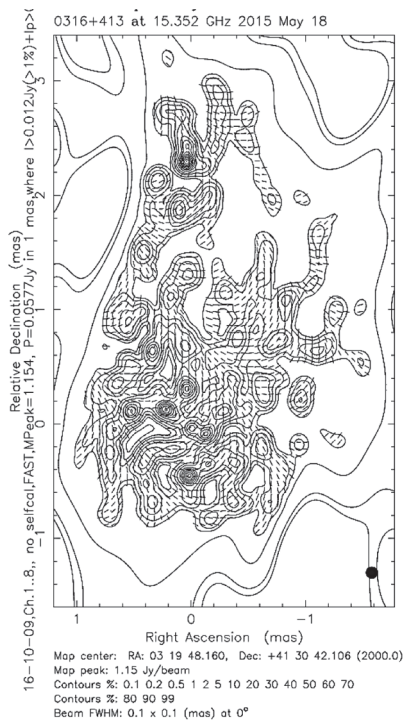
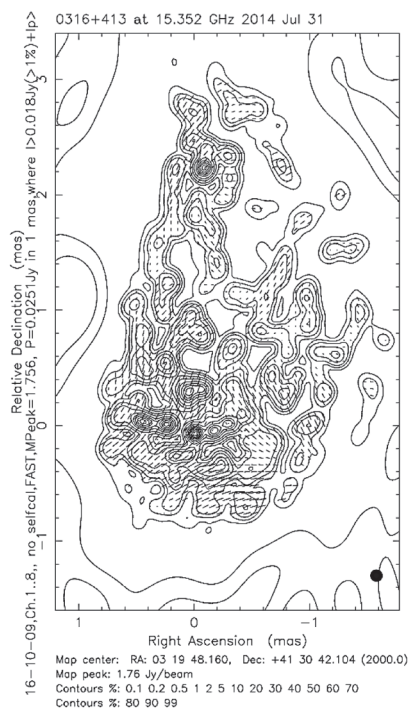


Рис. 1в. Окончание (начало см. на с. 27–33)

$\lambda = 7$ мм. Прозрачность тепловой плазмы — экрана на длине волны $\lambda = 7$ мм возрастает на порядок по сравнению с предыдущим случаем $\lambda = 2$ см, что повышает возможности исследований сверхтонкой структуры активной области. Радиокарты сейфертовской галактики NGC 1275 на длине волны 7 мм построены по архивным данным наблюдений Бостонского университета на системе VLBA, за период 2010–2015 гг. Радиокарты, соответствующие 40 эпохам, с угловым разрешением до 5 мкс (2,7 мпк) в том числе в поляризованном излучении рис. 1б (см. с. 16–26). Оптимальное разрешение для исследований тонкой структуры галактики соответствует 20 мкс. Тонкая структура $\lambda = 7$ мм близка данным на $\lambda = 2$ см в близлежащие эпохи. Как и ранее выделяются три активных центра. Окружающее вещество поступает по рукавам в активную зону № 1, эжектируется в зоны № 2 и № 3 и далее в северном направлении с частичным возвратом в зону № 1, завершая полный цикл крупномасштабного вихря. Рассмотрим отдельные этапы формирования структур. Рассмотрим более подробно кинематику тонкой структуры активной области.

Поступление вещества. Окружающее вещество поступает в активную зону по двум рукавам с противоположных сторон, эпохи 31.05.2013, 02.07.2015 и эжектируется в южном направлении, $\lambda = 7$ мм (см. рис. 1б). Две параллельные полосы — тангенциальные направления пустотелого потока — джета. Контрджет направлен на север. Его размеры невелики и не превышают 0,3 мс, т.е. примерно в пять раз меньше джета. Биполярный поток джет–контрджет эжектируется из сопла диаметром $\varnothing = 0,12$ мс (0,07 пк) и практически уносит избыточный угловой момент, эпоха 02.11.2010. Излучение центрального потока джета на пределе обнаружения, что предполагает отсутствие либо незначительное количество вещества, доходящего до центра вихря и тем более выпадение остатка на формирующееся центральное тело. Наблюдаемое увеличение диаметра сопла с $\varnothing = 0,17$ мс в апреле до $\varnothing = 0,23$ мс в августе 2011 г. свидетельствует о повышенной скорости поступающего вещества — достижения критического углового момента на более удалённом расстоянии от центра. Увеличенный диаметр удалённой части джета $\varnothing \approx 0,3$ мс на расстоянии $\rho = 1,5$ мс, может определяться аналогичной причиной — повышенной скоростью поступающего вещества в предшествующий период. Об этом же свидетельствует формирование в потоке джета вихря № 2.

Прецессия джета. Анализ данных показывает, что в отдельные эпохи форма джета имеет вид спирали, что предполагает прецессию оси вращения. При этом величина угла прецессии — амплитуда синусоиды в 1,5–2 раза выше у правой стенки. Асимметрия, вероятно, определяется отличием скоростей потоков, поступающих по рукавам с противоположных направлений, эпоха 22.05.2011. Полупериод спирали $T/2$ по мере удаления потока от сопла увеличивается с 0,25; 0,32 и до 0,34 мс, что свидетельствует об увеличении угловой скорости прецессии, либо уменьшении скорости потока джета за рассматриваемое время в 1,5 раза.

Кольцевые структуры потоков. В стенках джета наблюдаются симметричные цепочки фрагментов, соответствующие тангенциальным направлениям

колец. Их яркость не превышает 2 % пикового значения, что снижает точность определения относительного положения. Наиболее чётко эти структуры — две параллельные цепочки компонент левая и правая проявляются в эпоху 17.10.2011. Положения фрагментов в стенках джета ρ (мс) в течение рассматриваемого периода, их яркости I , в процентах относительно пикового значения, приведены в табл. 1 и показаны на рис. 2а (см. с. 40) — левая сторона и 2б — правая. На графиках выделяются восемь групп фрагментов (а–h), относительное положение которых соответствует линейной зависимости от расстояния (рис. 3, см. с. 42). Средние значения положения фрагментов в стенках практически совпадают, расстояние между кольцами равно $0,18 \pm 0,01$ мс (0,1 пк). Скорости фрагментов — наклон прямых не превышает $v \leq 0,08$ с. строны.

Таблица 1а. Положение цепочек компонент центрального потока, $\lambda = 7$ мм

Эпоха	ρ , мс	Эпоха	ρ , мс	Эпоха	ρ , мс
21.04.2011	0,60	20.10.2012	0,75	31.05.2013	1,10
22.05.2011	0,80	26.05.2012	0,30	30.06.2013	0,30
22.05.2011	1,25	05.07.2012	0,70	30.06.2013	0,55
12.06.2011	0,40	13.08.2012	0,60	26.08.2013	0,40
12.06.2011	0,70	13.08.2012	0,70	26.08.2013	0,50
12.06.2011	1,10	13.08.2012	0,90	26.08.2013	0,60
12.06.2011	1,25	13.08.2012	1,20	26.08.2013	0,90
21.07.2011	0,85	08.10.2012	0,70	18.11.2013	0,25
21.07.2011	1,45	08.10.2012	1,10	19.01.2014	0,40
23.08.2011	0,50	20.10.2012	0,75	24.02.2014	0,40
29.09.2011	0,50	29.10.2012	0,50	24.02.2014	1,40
29.09.2011	0,70	05.07.2012	0,70	03.05.2014	0,40
29.09.2011	1,00	13.08.2012	0,60	03.05.2014	1,35
29.09.2011	1,45	13.08.2012	0,70	23.09.2014	0,20
17.10.2011	1,10	13.08.2012	0,90	23.09.2014	0,35
02.12.2011	0,50	13.08.2012	1,20	23.09.2014	1,30
02.12.2011	0,85	08.10.2012	0,70	06.12.2014	0,30
02.12.2011	1,00	08.10.2012	1,10	06.12.2014	0,70
02.12.2011	1,30	20.10.2012	0,75	06.12.2014	1,10
05.03.2012	0,40	29.10.2012	0,50	06.12.2014	1,40
05.03.2012	0,85	29.10.2012	0,80	11.04.2015	0,25
05.03.2012	1,20	29.10.2012	1,20	11.04.2015	0,85
05.03.2012	1,40	15.01.2013	0,40	11.05.2015	0,80
02.04.2012	0,40	15.01.2013	0,80	11.05.2015	1,20
02.04.2012	0,70	15.01.2013	1,10	11.05.2015	1,40

Эпоха	ρ , мс	Эпоха	ρ , мс	Эпоха	ρ , мс
05.07.2012	0,70	26.02.2013	0,40	09.06.2015	0,20
13.08.2012	0,60	26.02.2013	0,90	09.06.2015	0,32
13.08.2012	0,70	16.04.2013	0,25	02.07.2015	0,40
13.08.2012	0,90	16.04.2013	0,40	02.07.2015	1,00
13.08.2012	1,20	16.04.2013	0,90	02.07.2015	1,40
08.10.2012	0,70	31.05.2013	0,40	01.08.2015	0,35
08.10.2012	1,10	31.05.2013	0,45	01.08.2015	1,00
20.10.2012	0,75	31.05.2013	0,60	01.08.2015	1,50

Таблица 16. Положение компонент
левой и правой цепочек, $\lambda = 7$ мм

Эпоха	$\rho_{\text{лев}}$	%	$\rho_{\text{прав}}$	%	Эпоха	$\rho_{\text{лев}}$	%	$\rho_{\text{пра}}$	%	
02.11.2010	0,06	20	0,03	3	05.03.2012	0,12	30	0,26	10	
	0,22	10	0,23	5		0,46	5	0,5	10	
	0,31	5	0,43	5		0,7	5	0,76	2	
	0,8	4	0,58	4		1,1	5	1,3	5	
	1,0	5	0,68	1		1,6	5	1,45	5	
07.11.2010	0,22	10	0,23	5	02.04.2012	0,1	20	0,28	10	
	0,17	20				0,35	10	0,46	10	
	0,4	5	0,4	10		0,56	5	0,7	10	
	0,95	5	0,82	2		0,9	5	0,95	5	
13.11.2010	1,3	10	1,35	10	26.05.2012	1,3	5	1,3	5	
	0,22	20				0,15	20	0,13	2	
	0,5	10	0,4	10		0,72	5	1,05	1	
21.04.2011	1,45	2	1,2	15	05.07.2012	1,03	3	1,25	2	
	0,15	5	0,2	1		0,12	20	0,12	20	
	0,4	10	0,3	2		0,4	10	0,4	20	
	0,95	2	0,45	2		0,75	10	0,7	20	
	1,3	2	1,15	2		0,95	10	0,95	10	
22.05.2011	1,6	2	1,35	2	13.08.2012	1,25	5	1,26	10	
	0,05	10	0,05	2		0,13	20	0,22	5	
	0,15	10	0,3	2		0,4	10	0,46	5	
	0,25	10	0,4	10		0,5	5	0,78	2	
	0,5	5	0,5	5		1,1	2	1,2	2	
	0,75	2	0,65	5		08.10.2012	0,1	10	0,25	5
	0,9	1	0,8	2			0,38	5	0,42	5
1,05	2	1,25	2	0,78	5		0,61	5		
	1,2	2				1,2	2	1,02	5	

Эпоха	$\rho_{\text{лев}}$	%	$\rho_{\text{прав}}$	%	Эпоха	$\rho_{\text{лев}}$	%	$\rho_{\text{пра}}$	%
12.06.2011	0,1	10	0,05	2		1,3	2		—
	0,17	5	0,08	2	20.10.2012	0,1	5	0,25	10
	0,35	5	0,23	2		0,4	5	0,45	10
	0,48	2	0,33	2		0,8	5	0,67	5
	0,65	2	0,45	2		1,25	5		—
	0,78	2	0,64	3		1,45	5	1,08	2
	0,9	2	0,9	2	29.10.2012	0,13	2	0,2	5
	1,1	5	1,1	2	20.10.2012	0,32	5	0,4	5
	1,3	5	1,35	2		0,76	5	0,72	2
21.07.2011	0,13	2	0,27	2		1,02	5	1,2	2
	0,38	5	0,42	5		1,32	5	1,32	5
	0,72	2	0,62	3	15.01.2012	0,13	5	0,27	5
	1,0	2	0,9	1		0,54	2	0,48	2
	1,1	2	1,3	2		0,83	1	0,68	1
	1,35	5				1,22	1	1,08	1
23.08.2011	0,08	2	0,08	2	26.02.2013	0,1	10	0,1	1
	0,4	10	0,38	2		0,18	10	0,21	10
	0,55	2	0,92	2		0,46	5	0,47	5
	1,0	5	1,15	5		0,7	2	0,67	5
	1,1	5	1,3	5		1,01	5	1,0	2
29.09.2011	0,16	20	0,12	5		1,3	5	1,22	5
	0,8	20	0,25	5		1,52	10	1,41	5
	0,58	5	0,45	5	16.04.2013	0,06	5	0,15	1
	0,72	2	0,7	2		0,16	2	0,28	10
	1,02	2	0,95	2		0,5	1	0,44	5
	1,3	5	1,3	1		1,03	2	0,68	2
17.10.2011	0,1	20	0,21	1		1,36	2	1,0	10
	0,2	10	0,4,2	10		1,48	5	1,3	5
	0,42	10	0,72	10	31.05.2013	0,07	2	0,07	5
	0,73	5	1,0	5		0,18	2	0,16	2
	1,15	5	1,5	5		0,23	5	0,3	1
02.12.2011	0,15	10	0,2	5		0,42	5	0,47	0–5
	0,42	10	0,4	10		0,8	2	0,7	1
	0,73	2	0,7	2		1,1	2	0,95	1
	1,02	2	1,22,	5	05.31.2013	1,46	1	1,3	2
	1,22	2	1,4	2	30.06.2013	0,06	5	0,2	2
30.06.2013	0,15	1	0,48	2	28.07.2014	0,07	5	0,04	5
	0,42	2	0,8	1		0,12	10	0,02	10
	0,88	1	1,22	1		0,4	5	0,24	10
	1,5	1	1,53	2		0,55	5	0,52	1

Эпоха	$\rho_{лев}$	%	$\rho_{прав}$	%	Эпоха	$\rho_{лев}$	%	$\rho_{пра}$	%
28.07.2013	0,12	5	0,1	5		0,63	1	0,65	3
	0,28	5	0,16	2		0,95	1	0,93	1
	0,47	5	0,28	2		1,24	3	1,15	1
	0,7	2	0,4	2		1,54	5	1,4	2
	0,98	2	0,54	2		1,72	2	1,6	3
	1,22	1	0,8	2	23.09.2014	0,07	5	0,04	5
	1,4	3	1,12	1		0,12	2	0,36	2
	1,55	2	1,47	2		0,32	1	0,7	1
26.08.2013	0,08	20	0,2	5		0,58	0,5	1	1
	0,	5	0,37	5		1,0	0,5		—
	0,1	5	0,56	2		1,26	0,5		—
	0,61	2	0,75	2		1,55	0,5		
	0,88	1	1,09	1	06.12.2014	0,36	5	0,1	2
	1,13	1	1,3	1		0,57	2	0,18	2
	1,44	1				1,0	0,5	0,37	2
18.11.2013	0,04	10	0,14	2		1,17	0,5	0,6	0,5
	0,1	5	0,23	2		1,52	1	0,83	0,5
	0,34	2				1,65	3	1,22	0,5
	0,54	2	0,6	1		1,75	5	1,51	0,5
	0,55	1	0,77	2	11.04.2015	0,04	1	0,1	1
	1,28	2	1,22	1		0,26	2	0,15	1
	1,52	2	1,55	1		0,33	5	0,28	1
16.12.2013	0,05	10	0,1	1		0,5	3	0,4	1
	0,28	1	0,14	1		0,63	3	0,67	0,5
	0,34	2	0,14	1		0,88	2	0,82	0,5
	0,62	2	0,5	1		1,14	1	1,08	0,5
	0,87	2	0,8	0,5		1,33	1	1,29	0,5
	1,2	1	1,0	1		1,62	2	1,68	1
	1,58	1	1,4	1	11.05.2015	0,1	2	0,05	2
19.01.2014	0,08	5	0,12	2		0,15	2	0,2	2
	0,32	5	0,23	2		0,3	1	0,3	2
	0,68	2	0,7	1		0,65	1	0,56	1
	0,89	1	0,93	1		1,05	0,5	0,82	0,5
	1,2	2	1,18	1		1,3	0,5	0,9	0,5
	1,5	1	1,5	0,5		1,64	0,5	1,32	0,5
	1,65	1	1,67	1	09.06.2015	0,07	5	0,03	0,5
24.02.2014	0,1	10	0,16	2		0,13	1	0,17	2
	0,37	2	0,27	2		0,37	0,5	0,22	1
	0,6	2	0,53	2		0,62	1	0,42	1
	0,75	1	0,7	1		0,95	1	0,54	1

Эпоха	$\rho_{\text{лев}}$	%	$\rho_{\text{прав}}$	%	Эпоха	$\rho_{\text{лев}}$	%	$\rho_{\text{пра}}$	%
	1,2	1	0,9	1		1,1	1	0,82	1
	1,63	1	1,06	1		1,4	2	1,1	1
			1,3	1		1,67	2	1,46	2
			1,67	2	02.07.2015	0,6	1	0,05	1
03.05.2014	0,14	5	0,05	5		0,14	1	0,17	1
	0,43	2	0,22	5		0,38	0,5	0,27	2
	0,64	1	0,52	1		0,7	0,5	0,4	1
	0,95	1	0,86	1		0,9	0,5	0,6	1
	1,27	1	1,28	2		1,1	0,5	0,9	1
	1,6	1	1,52	2		1,3	0,5	1,1	1
						1,63	0,5	1,22	1

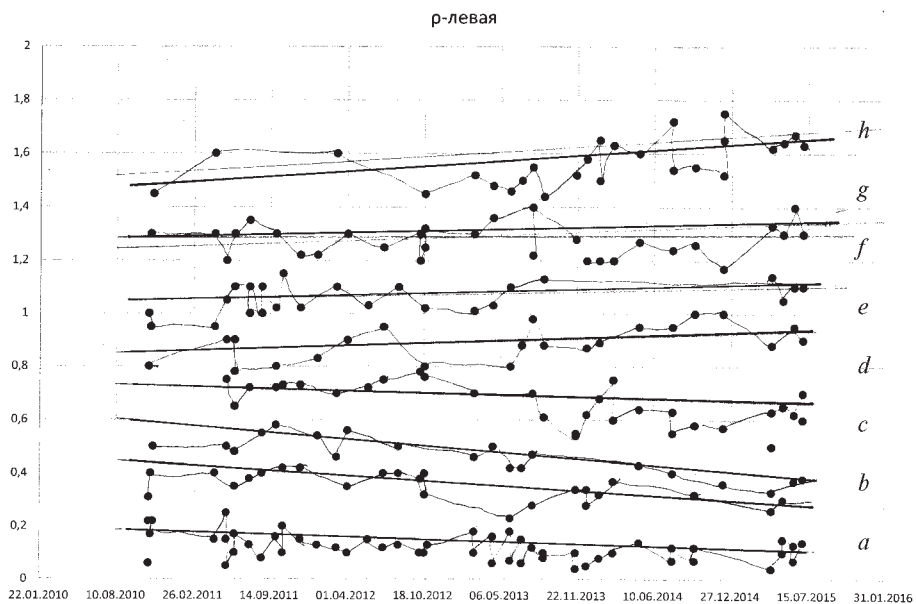


Рис. 2а. Положение цепочек компонент, $\lambda = 7$ мм

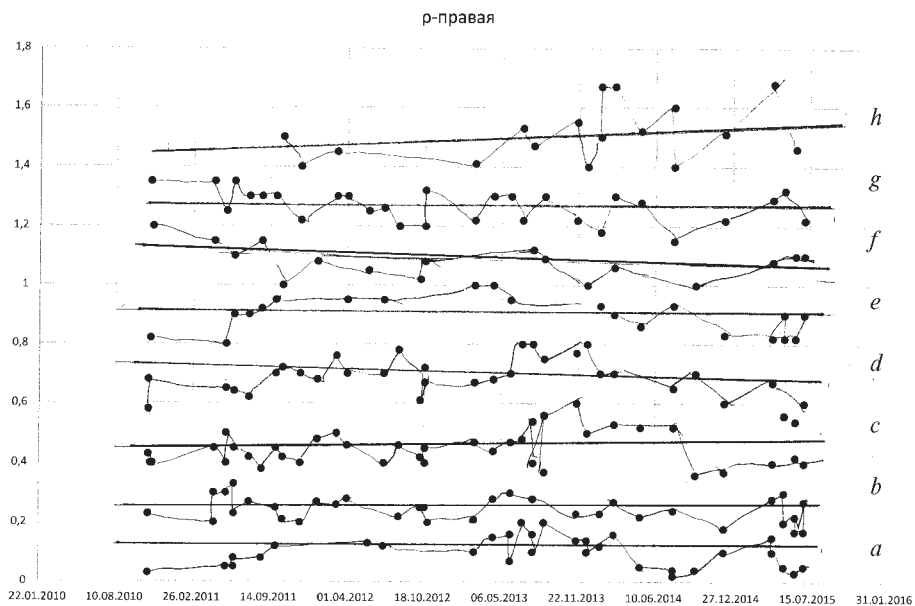


Рис. 2б. Положение цепочек компонент, $\lambda = 7$ мм

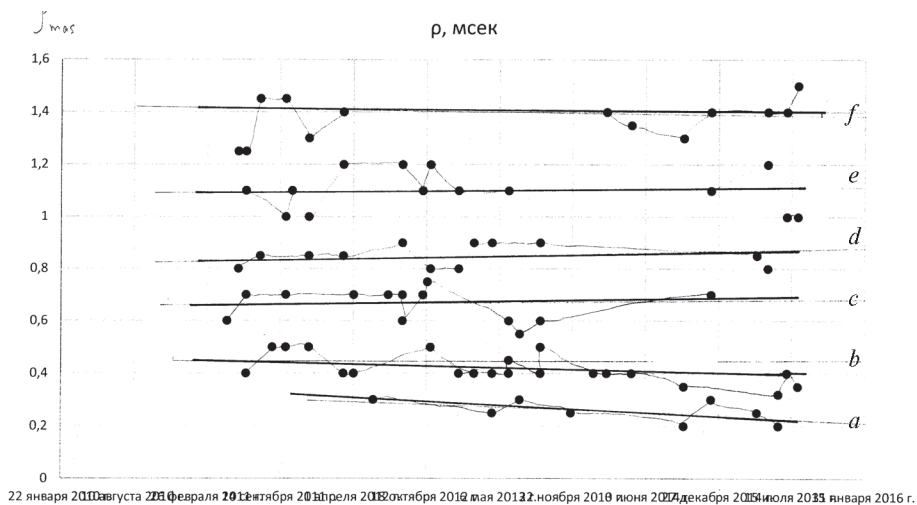


Рис. 2в. Положение цепочек компонент центрального джета, $\lambda = 7$ мм

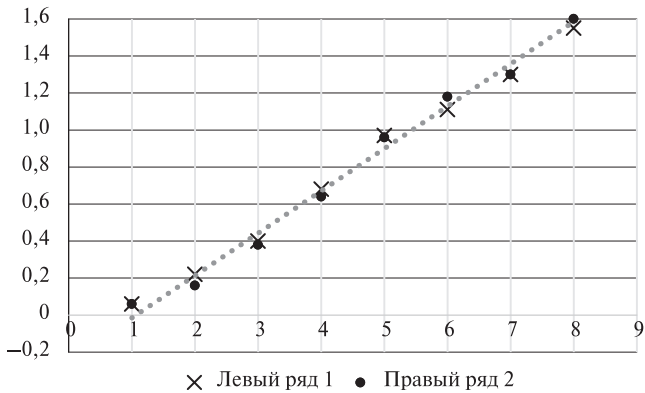


Рис. 3. Относительное положение колец

Центральный поток джета. Как ранее упоминалось, яркость фрагментов центрального потока невелика — на пределе обнаружения. Отдельные фрагменты на уровне 2 % проявляются к концу 2011 г. эпоха 02.11.2010. Общее распределение вкраплений в центральном потоке за рассматриваемый период представлено в табл. 1 и показано на рис. 2в. Выделяются четыре группы компонент (*a–d*). В среднем шаг фрагментов нарастает по мере удаления от сопла с 0,15 мс в начале и до 0,29 мс в конце соответственно. Исходя из наклона прямых, верхний предел скоростей фрагментов центрального джета не превышает $v \leq 0,01$ с.

Вихри. Одной из особенностей джета первой активной зоны является образование в его удалённой части $\rho \approx 1,5$ мс структуры эллиптической формы, 02.11. 2010, $\lambda = 7$ мм (см. рис. 1б). Большая ось эллипса ориентирована параллельно потоку джета. Вероятно, структура соответствует проекции окружности, диаметром $\varnothing \approx 0,5$ мс (0,3 пк), наклонённой к картинной плоскости под углом 65° . Окружность — результат формирования вихря № 2 в потоке джета первой зоны. Из него эжектируются коаксиальные потоки в восточном направлении $X \approx -90^\circ$. Диаметры потоков равны $\varnothing_{21} \approx 0,8$ мс и $\varnothing_{22} \approx 0,3$ мс соответственно, эпохи 21.04.2011, 02.12.2011, 06.12.2014. Скорости потоков достаточно высоки и в них формируется вихрь № 3 с коаксиальным джетом в северном направлении $X \approx -10^\circ$. Большие диаметры потоков, равные $\varnothing_{31} \approx 0,7$ и $\varnothing_{32} \approx 0,35$ мс, свидетельствуют о высоких скоростях поступательного движения. Проекции потоков двух последних зон на картинную плоскость образуют узлы сетки эпохи 21.04.2011, 05.07.2012, 20.10.2012 (см. рис. 1б). Структура этой области с разрешением 5 мкс в эпоху 02.07.2015 показана на карте (см. рис. 1б). Рассмотрим структуру сопел.

Структура сопел. Анализ сверхтонкой структуры фрагментов галактики в широком спектре угловых разрешений от 50 до 3 мкс установил небольшое раздвоение сопла активной зоны № 1 в направлении джет-контрджет

при разрешении 3 мкс (0,0015 пк). Зоны сопел двух других активных центров размыты в пределах 80×40 мкс и 80×120 мкс соответственно. Это определяется отсутствием эжекции центрального потока.

Относительное положение вихрей в разные эпохи, $\lambda = 7$ мм, приведены в табл. 2 и показаны на рис. 4 (см. с. 44). Расстояние между 1-й и 2-й зонами ρ_{12} за рассматриваемый период увеличивается с 1,7 мс до 2,4 мс и соответствует $0,7 \pm 0,15$ мс за 4,5 г. Если это изменение определяется удалением вихря, то его скорость $v = 0,25 \pm 0,06$ с. Но это может быть результатом внутренних изменений структуры активной зоны. Расстояние между второй и третьей зоной $\rho_{23} = 0,9 \pm 0,1$ мс в пределах ошибок не меняется. Предел скорости в этом случае не превышает $v \leq 0,04$ с.

Таблица 2. Расстояние между активными зонами источника 3С 84, $\lambda = 7$ мм, разрешение 25 мкс, 2010–2015 гг., ρ (мс)

№	Эпоха	ρ_{1-2}	ρ_{2-3}	ρ_{3-1}
1	02.10.2010	1,1	0,82	1,3
2	07.10.2010	1,4	0,3	1,6
3	13.10.2010	1,6	—	—
4	21.04.2011	1,3	0,7	1,7
5	22.05.2011	1,8	0,8	1,6
6	12.06.2011	1,8	0,7	1,7
7	21.07.2011	1,9	0,75	1,7
8	23.08.2011	1,9	0,8	1,6
10	17.10.2011	2,0	0,9	1,6
11	02.12.2011	1,9	0,9	1,7
12	27.01.2012	2,0	0,8	1,7
14	05.03.2012	1,9	—	—
15	26.05.2012	1,9	—	—
16	05.07.2012	2,0	0,9	1,8
17	08.10.2012	2,1	0,9	1,8
19	28.10.2012	2,3	1,0	1,75
18	22.12.2012	2,1	0,9	1,7
24	15.01.2013	2,1	0,9	1,8
25	26.02.2013	1,9	0,9	1,9
26	16.04.2013	2,1	0,7	1,8
27	31.05.2013	2,2	0,85	1,7
28	30.06.2013	2,3	0,8	1,85
29	28.07.2013	2,2	0,95	1,85
30	26.08.2013	2,2	—	—
31	18.10.2013	2,4	0,65	2,0
33	19.01.2014	2,2	0,6	2,1

№	Эпоха	ρ_{1-2}	ρ_{2-3}	ρ_{3-1}
34	24.02.2014	2,4	0,6	2,3
35	03.05.2014	2,4	0,7	2,3
37	31.07.2014	2,3	0,9	2,1
41	11.05.2015	2,5	0,75	2,3
	Среднее	1,5–2,4	0,9–0,7	1,7–2,2

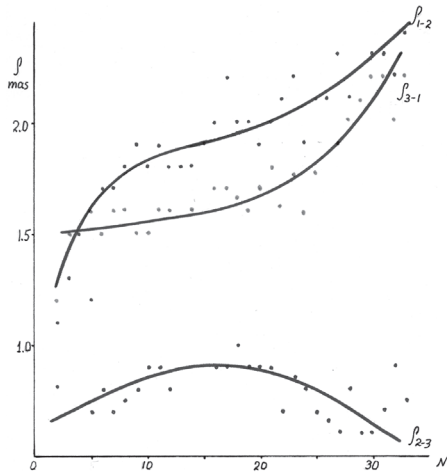


Рис. 4. Относительное положение вихрей

ПОЛЯРИЗАЦИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНОЙ ЗОНЫ ГАЛАКТИКИ

Проведены исследования тонкой структуры активной области галактики NGC 1275 в поляризованном излучении на обеих длинах волн для определения распределения магнитных полей и связи с процессами формирования тонкой структуры. Угловое разрешение на длине волны $\lambda = 7$ мм эпохи 2010–2015 гг. соответствует 20 мкс (рис. 5а, см. с. 45–48) и с разрешением 50 мкс на длине волны $\lambda = 2$ см (рис. 5б, см. с. 49–53). Для повышения контрастности активных областей вихрей $\lambda = 2$ см приведены также карты с угловым разрешением равным 100 мкс (см. рис. 5б). Уровень и ориентация поляризации соответствуют отрезкам прямых линий и обозначены с левой стороны карт. Как ранее было установлено тонкая структура галактики определяется тремя последовательными вихрями с джетами, образующими единую систему — крупномасштабный вихрь диаметром $\varnothing \approx 2$ мс (≈ 1 пк), наклонённый под углом 60° к картинной плоскости и практически идентична на обеих длинах волн.

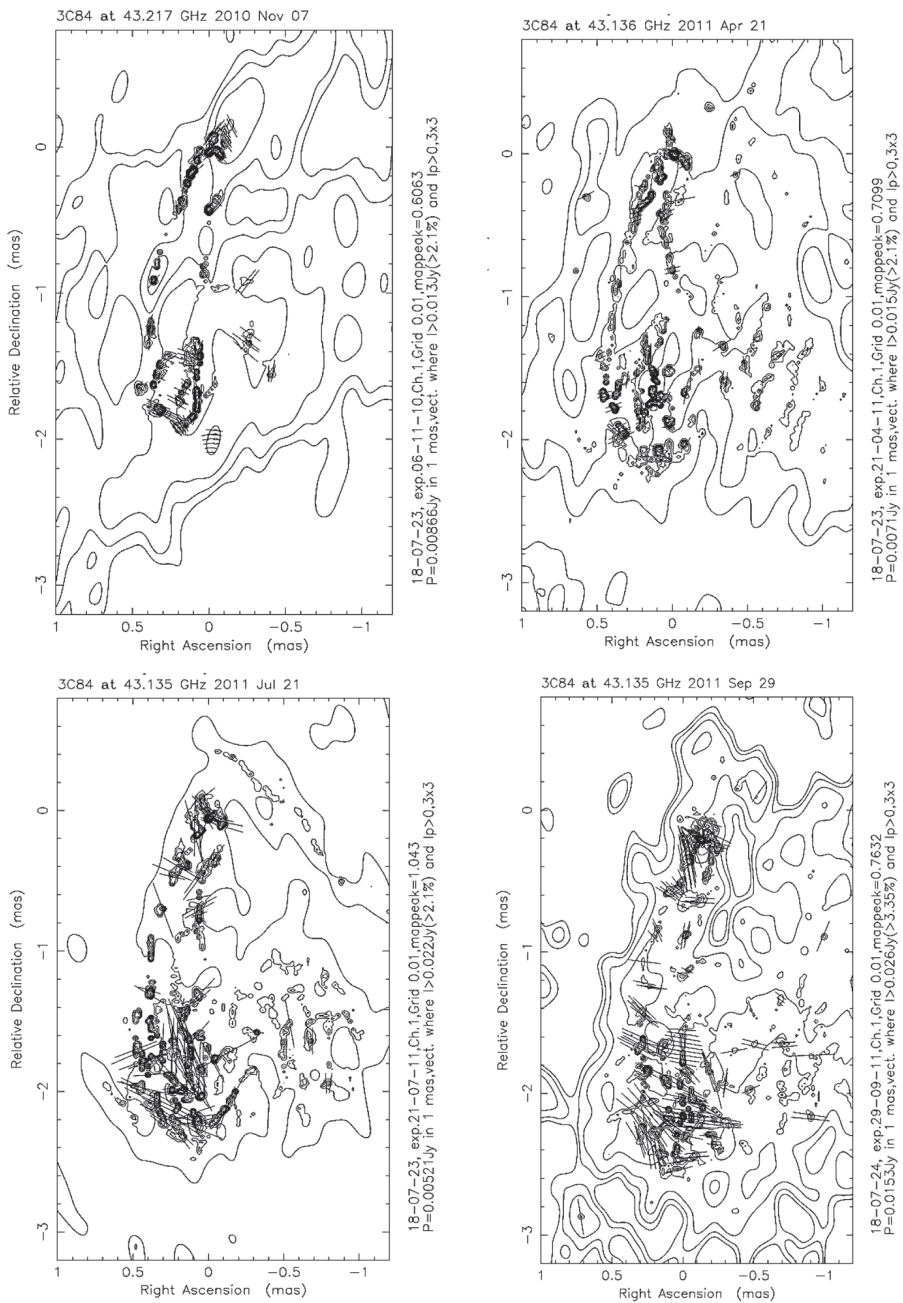


Рис. 5а. Карты поляризации: $\lambda = 7$ мм (продолжение и окончание см. на с. 46–48)

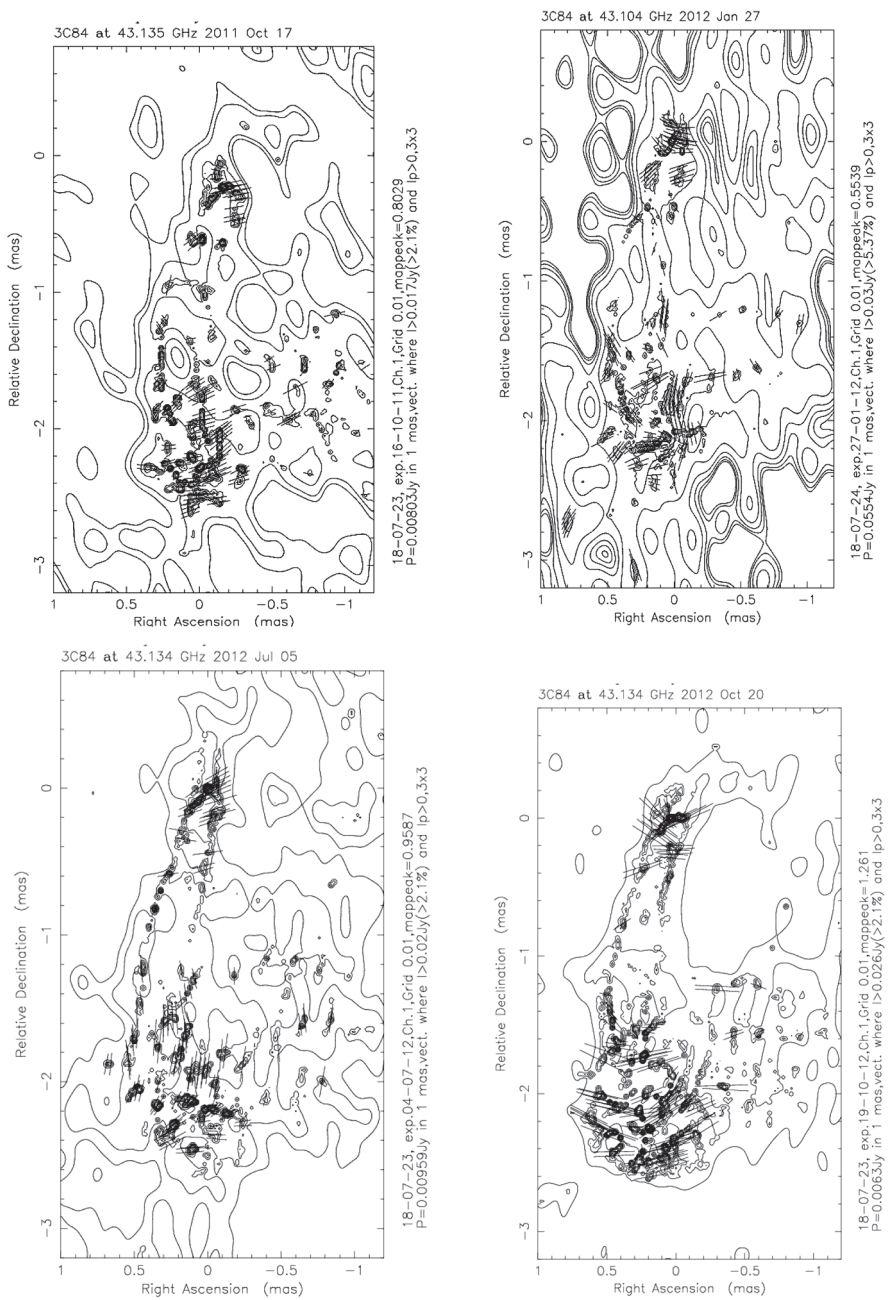
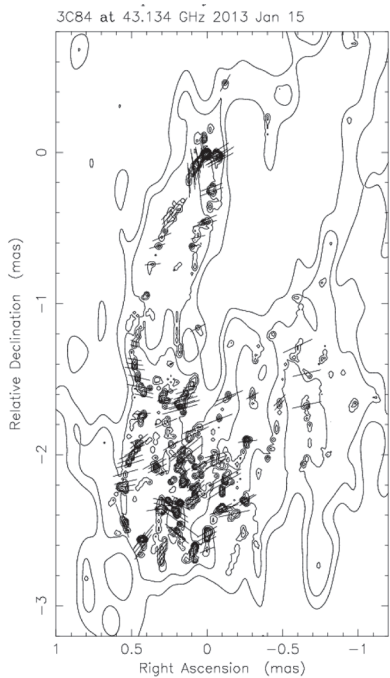
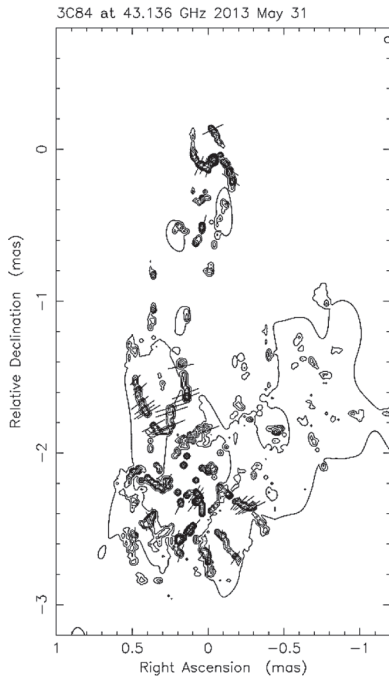


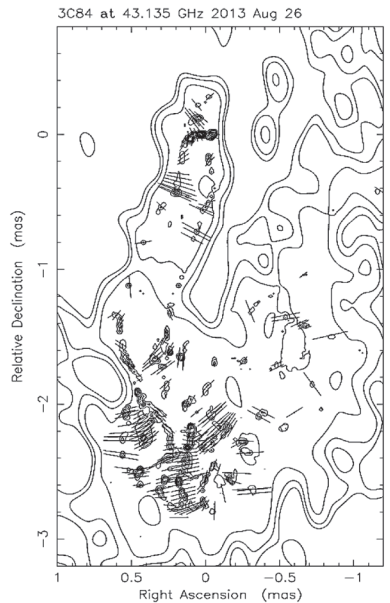
Рис. 5а. Продолжение (начало см. на с. 45, окончание — на с. 48)



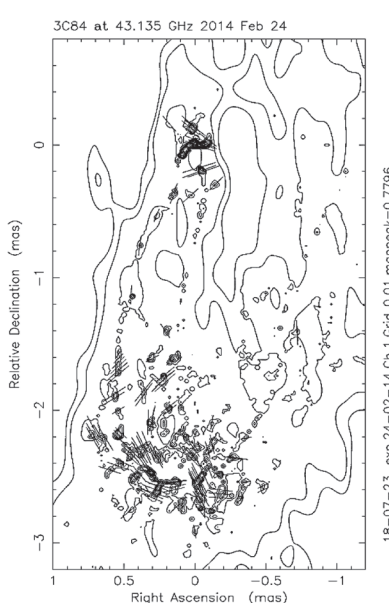
18-07-23, exp.15-01-13.Ch.1,Grid.0.01,magpeak=1.08
P=0.0054,y in 1 mas, vect. where $l > 0.023y (> 2.1\%)$ and $lp > 0.3x3$



18-07-23, exp.30-05-13.Ch.1,Grid.0.01,magpeak=1.847
P=0.00924,y in 1 mas, vect. where $l > 0.039y (> 2.1\%)$ and $lp > 0.3x3$



18-07-23, exp.26-08-13.Ch.1,Grid.0.01,magpeak=0.7749
P=0.00775,y in 1 mas, vect. where $l > 0.016y (> 2.1\%)$ and $lp > 0.3x3$



18-07-23, exp.24-02-14.Ch.1,Grid.0.01,magpeak=0.7796
P=0.0078,y in 1 mas, vect. where $l > 0.016y (> 2.1\%)$ and $lp > 0.3x3$

Рис. 5а. Продолжение (начало см. на с. 45, окончание — на с. 48)

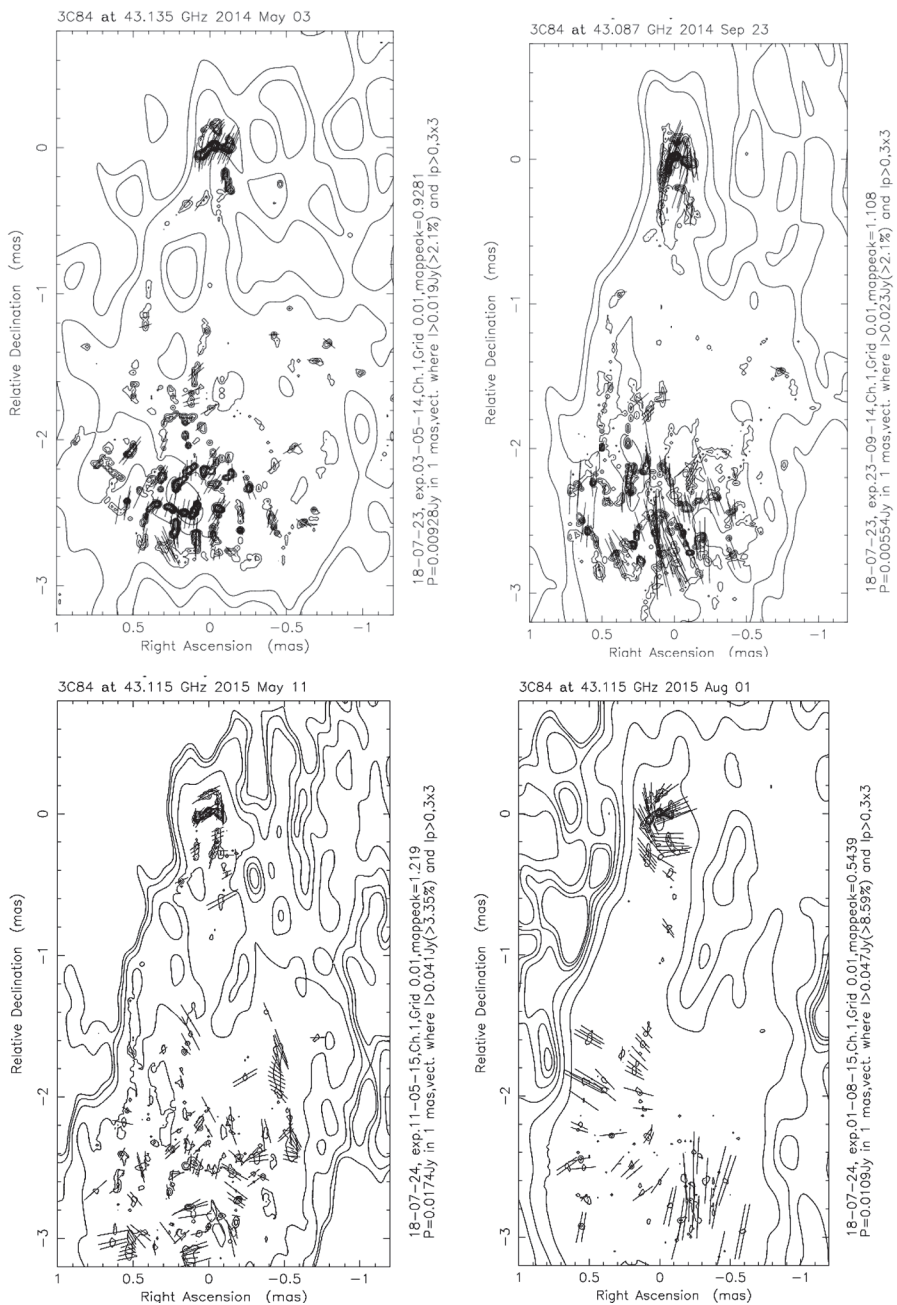


Рис. 5а. Окончание (начало см. на с. 45–47)

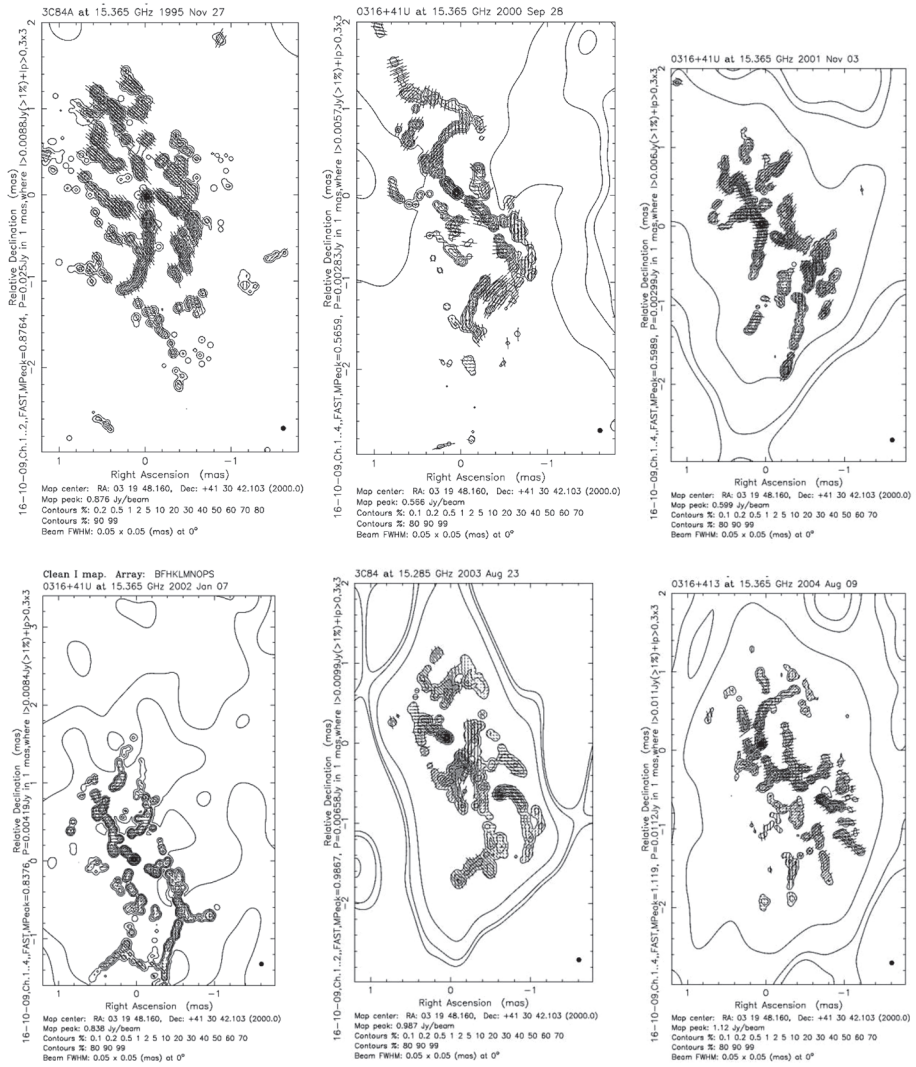


Рис. 56. Карты поляризации: $\lambda = 2$ см (продолжение и окончание см. на с. 50–53)

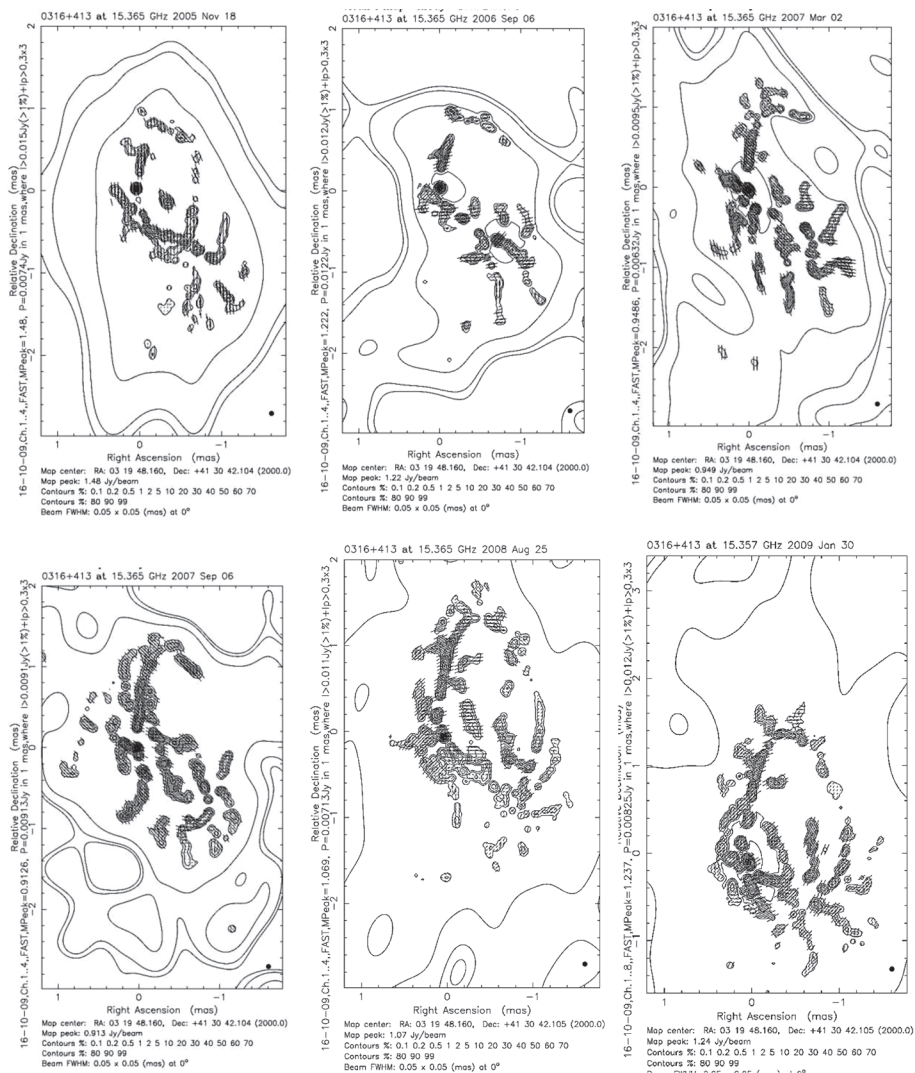


Рис. 56. Продолжение (начало см. на с. 49, окончание — на с. 53)

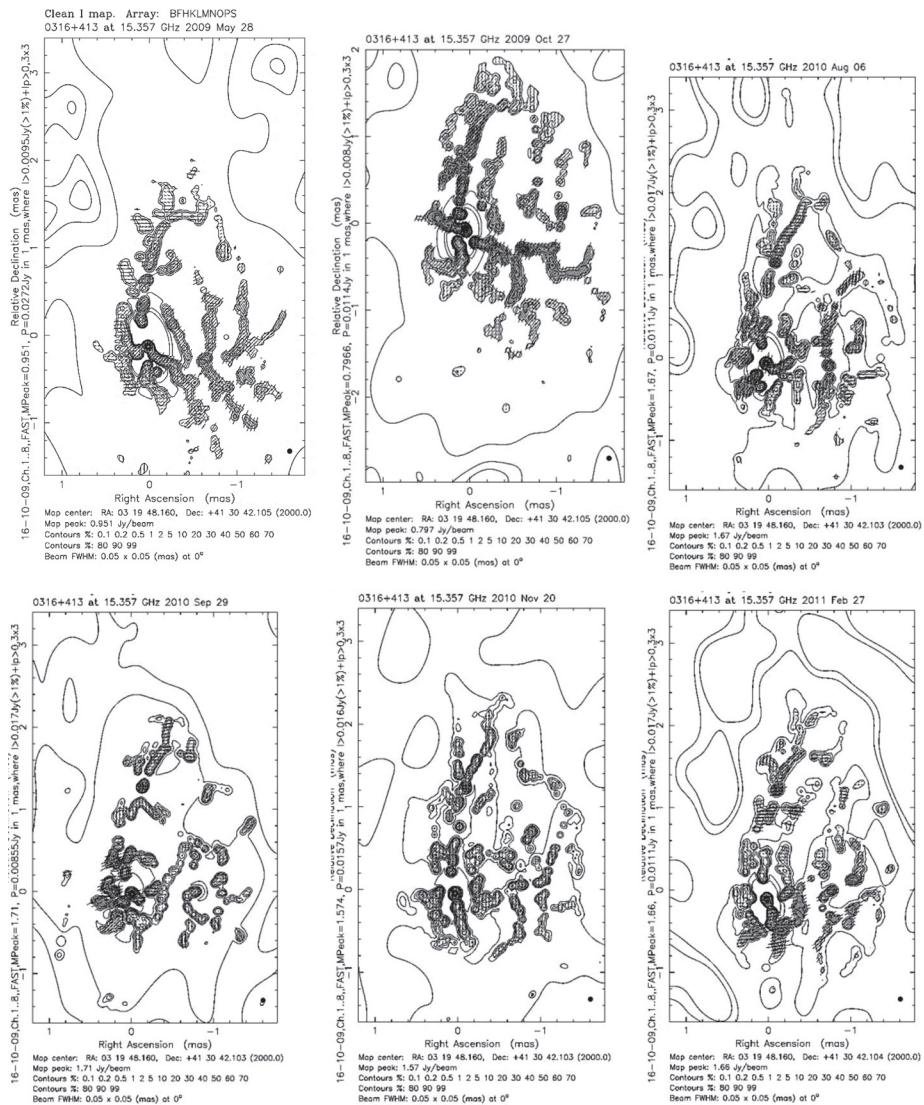


Рис. 56. Продолжение (начало см. на с. 49, окончание — на с. 53)

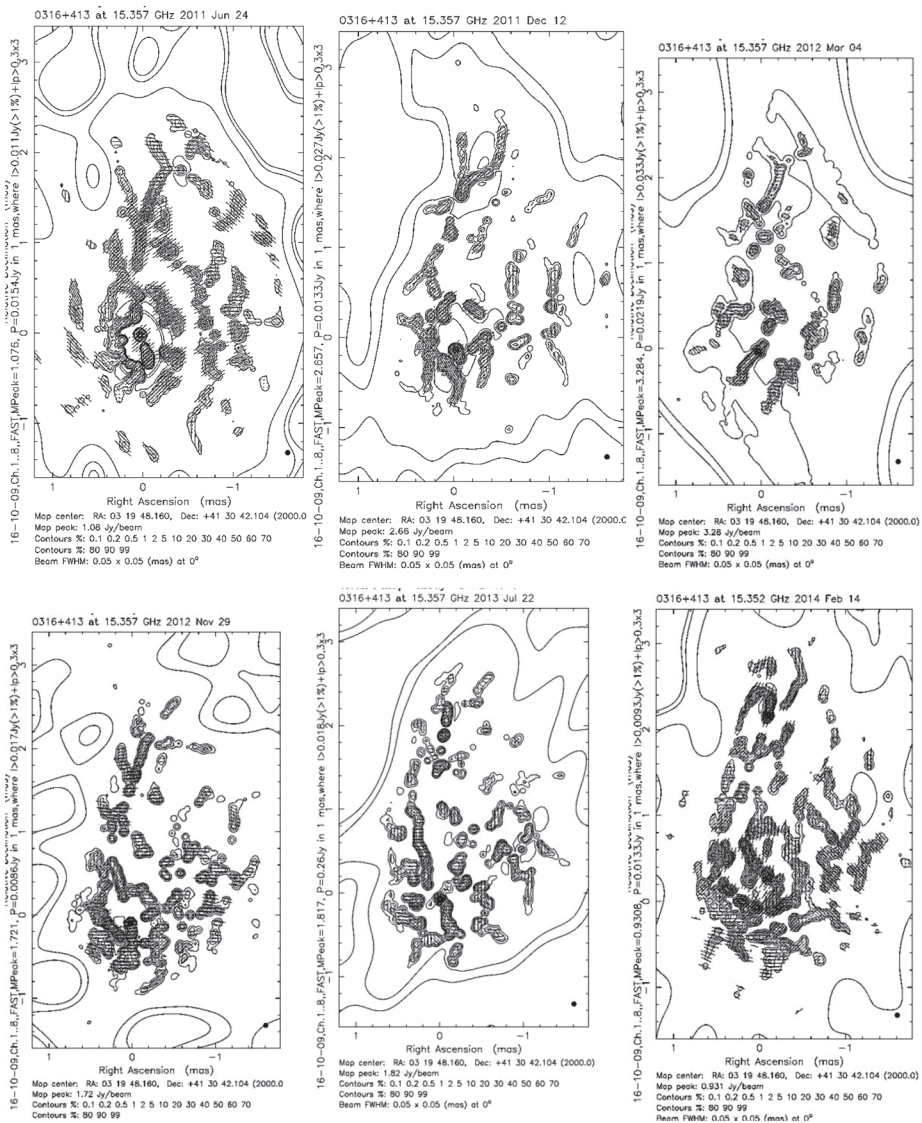


Рис. 56. Продолжение (начало см. на с. 49, окончание — на с. 53)

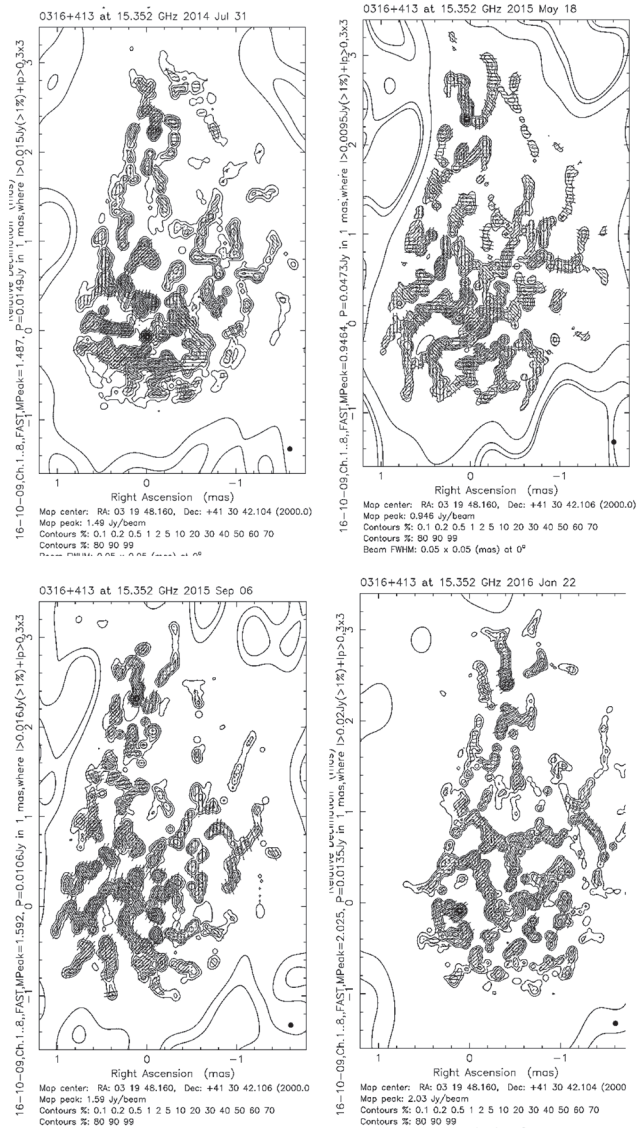


Рис. 56. Окончание (начало см. на с. 49–52)

Рассмотрим зависимость поляризованного излучения с особенностями структуры активных зон. Следует обратить внимание и на совпадение ориентации джетов и волокон тепловой плазмы, что предполагает влияние общего магнитного поля. В тоже время ориентации поляризации фрагментов структуры на обеих длинах волн практически идентичны, что свидетельствует о незначительном фарадеевском вращении, низком уровне магнитного поля в поглощающем экране. То есть магнитные поля структур определяются самими структурами и не выходят далеко за их пределы. Рассмотрим особенности этих зависимостей с начального момента. Окружающая плазма поступает по рукавам в первую активную зону и эжектируется в южном направлении. В отличие от большинства объектов с активными ядрами в рассматриваемом случае яркость центрального потока существенно ниже окружающих составляющих и не превышает нескольких процентов пикового значения (Матвеевко, 2016, 2018; Матвеевко, Селезнев, 2015; Матвеевко, Сиваконь, 2013). Поляризация излучения джетов ориентирована под углом от 45 до 90° относительно направления скорости потока (см. рис. 5а–в). Это относится и к рукавам, по которым окружающее вещество поступает к соплу, эпоха 31.05.2013 (см. рис. 5а), $\lambda = 7$ мм. Ориентации поляризации в рукавах — перпендикулярно потокам — скорости, что соответствует большой вращательной скорости либо большой оптической толще поступающего вещества. Ориентация поляризации синхротронного излучения перпендикулярна магнитному полю для оптически тонкого источника и параллельна при большой оптической толще. Оптическая толщина в рукаве вблизи сопла — высокая и магнитное поле перпендикулярно скорости потока и соответствует магнитной силовой трубке, окружающей поток. Наблюдаемые магнитные поля — результат движения электропроводящей среды токов — эффект динамо. Поступательное движение потока возбуждает магнитную силовую трубку — магнитное поле перпендикулярное скорости потока, а в случае джета — вращающегося потока продольное поле. Относительное сочетание двух скоростей формирует суммарное магнитное поле. При равенстве составляющих ориентация поля соответствует 45° , что мы и наблюдаем в большинстве случаев джетов. В удалённых частях джета (малая оптическая толщина) поляризация ориентирована перпендикулярно полю — скорости джета. В джетах вращательно движущихся потоках плазмы генерируются кольцевые и продольные токи и соответственно продольные магнитные поля и окружающие магнитные силовые трубки. Соотношение этих составляющих и определяет ориентацию магнитного поля и ориентации поляризации. В случае преобладания продольного поля — высокой скорости вращения поляризация перпендикулярна вектору скорости. При продольной составляющей скорости преобладает ориентация параллельная поступательной скорости потока, что мы и наблюдаем в удалённых участках джета, где оптические толщи областей синхротронного излучения невелики и поляризация перпендикулярна магнитному полю.

Уровень поляризации сопла не превышает $m_0 \approx 0,4\%$, $\lambda = 2$ см и $m_0 \approx 0,7\%$, $\lambda = 7$ мм (табл. 3, 4). В первом случае при повышении яркости I_0

уровень поляризации снижается, $m \approx 0,08 \%$, что свидетельствует о низком уровне поляризации излучения сопла по сравнению с окружением. Уровень поляризации сопел № 2, № 3 также снижается до $m \approx 0,6 \%$, а при снижении яркости уровень поляризации возрастает до нескольких процентов. В джете поляризация фрагментов достигает 3–5 %, а отдельных случаях до 10–15 % и соответствует оптически тонким областям излучения.

Таблица 3. Данные уровня поляризации излучения сопла m_o пиковой яркости (%), I_o — уровень пиковой яркости (Ян/луч), разрешение 100 мкс, 2-го и 3-го сопла (%), X — ориентация поляризации в зависимости от эпохи, длина волны $\lambda = 2$ см

Параметры	$m_o \text{ пик} / I_o$	m_2 / X	m_3 / X	m_{jet} / X	m_{jet} / X
27.11.1995	0,09/0,93	6/45	13/45	13/45	11/45
28.09.2000	0,4/0,72	0,06/45	0,01/60	2,5/10	12/45
30.06.2001	0,4/0,56	0,6/45	0,6/45	12/45	2/45
07.01.2002	0,1/0,95	0,2/90	0,1/—	2,8/45	2/45
29.05.2004	0,1/1,62	0,3/45	0,4/45	1/45	1/45
18.11.2005	0,01/1,6	0,15/45	0,08/—	0,6/30	0,3/5
06.09.2006	0,08/1,3	0,6/45	0,4/45	0,3/45	4/60
02.03.2007	0,1/1,3	0,08/—	1/45	3/45	3/45
25.08.2008	0,08/1,2	0,3/45	0,6/60	5/50	4/45
28.05.2009	0,1/1,2	0,8/45	0,1/35	2/80	12/45
27.10.2009	0,1/1,0	0,2/45	0,2/30	6/45	6/45
06.06.2010	0,01/2,1	0,1/20	0,6/45	4/45	1,2/45
20.11.2010	0,08/2	0,6/20	4/40	17/10	20/0
27.02.2011	0,04/2	0,8/50	0,3/—	3/10	4/45
29.11.2012	0,05/1,8	0,12/0	1,5/80	4,5/90	8/90
22.07.2013	0,08/2,5	0,5/45	1/90	0,5/45	1/90
18.05.2015	0,1/1,2	0,2/45	0,8/90	1,2/90	1,6/90

Таблица 4. Параметры поляризации на длине волны $\lambda = 7$ мм

Параметры	$m_o \text{ пик} / I_o$	m_2	m_3	m_{jet}	m_{jet}
23.08.2011	0,6/2,14	0,5	—	5	0,3
29.09.2011	0,1/1,6	0,15	2,4	10	2,4
02.12.2011	0,8/1,34	0,8	1,7	1,7	1,7
02.04.2012	0,07/1,05	0,2	1	2	2
29.10.2012	0,3/3,14	1,2	1	2,4	0,8
01.08.2015	0,6/2,18	5	5	14	17

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Сейфертовская галактика NGC 1275 — сталкивающиеся галактики, взрывающаяся галактика или космический торнадо? Исследования тонкой структуры активной области галактики с угловым разрешением 20 мкс и сверхтонкой с разрешением несколько микросекунд на длинах волн 2 см и 7 мм установили наличие трёх последовательных вихрей. Окружающее вещество повышенной плотности перетекает с высокой скоростью по двум рукавам в активную зону № 1. Избыточный угловой момент уносится джетом — трубкой диаметром $\varnothing \approx 0,3$ мс (0,2 пк) в южном направлении, где формируется второй вихрь с коаксиальным джетом, эжектируемом в западном направлении. На расстоянии 1 мс от него формируется третий вихрь с эжекцией джета в северном направлении параллельно первому джету. Частично эжектируемый поток возвращается в первую активную зону, замыкая кольцевую структуру диаметром 1,8 пк, наклонённую к картинной плоскости под углом $X \approx 65^\circ$. Неравномерность поступающего вещества определяет изменение яркости сопел.

Природа структуры и кинематики активной зоны самосогласована и соответствует вихревой природе. Раздвоение сопла первой системы — проявляется при разрешении 3 мкс. Размеры области двух последующих центров активности — протяжены 80×40 и 80×120 мкс соответственно и вытянуты в направлении эжекции потоков. Вращение джетов автоколлимирует потоки и определяют продольную и круговую составляющую магнитных полей, ориентацию поляризации излучения. Наблюдаемые изменения ориентации поляризации относительно скорости потока лежат в пределах 45° вблизи сопла и 90° в удалённой части. Уровень поляризации излучения сопел не превышает долей процента и возрастает до 10–15 % в удалённой джета. Размеры джета примерно в пять раз превышают размеры контрджета и определяются ускорением — торможением потоков, движущихся по и против магнитного поля.

В заключение авторы выражают благодарность Н. Ю. Комаровой за помощь в подготовке рукописи к публикации.

ЛИТЕРАТУРА

- Баррет А. Х., Кутуза Б. Г., Матвеевко Л. И.* и др. Наблюдения источников радиоизлучения на волне 3,3 см и 0,8 см // *Астрон. журн.* 1965. Т. 42. № 3. С. 527–530.
- Дибай Э. А.* Свойства ядра NGC 1275 // *Астрофизика.* 1968. Т. 46. С. 725.
- Костенко В. И., Матвеевко Л. И.* Исследование спектров источников космического радиоизлучения ЗС 273 и ЗС 84 в миллиметровом и сантиметровом диапазонах волн // *Астроном. журн.* 1966. Т. 43. № 2. С. 280–283.
- Костенко В. И., Матвеевко Л. И.* Переменность плотностей потоков некоторых источников радиоизлучения на частоте 5760 МГц // *Астрон. журн.* 1968. Т. 45. № 6. С. 1181–1184.
- Матвеевко Л. И., Келлерман К. И., Паулини-Тос И. И. К.* и др. Структура ядра сейфертовской галактики NGC 1275. М.: ИКИ АН ССР, 1979. Пр-535. 13 с.

- Матвеевко Л. И., Кардашов Н. С., Шоломицкий Г. Б.* О радиоинтерферометре с большой базой // Изв. вузов. Радиофизика. 1965. Т. 4. С. 651–654.
- Матвеевко Л. И., Келлерман К. И.* и др. Структура ядра сейфертовской галактики NGC 1275 // Письма в Астрон. журн. 1980. Т. 6. С. 77.
- Матвеевко Л. И., Коган Л. Р., Костенко В. И.* и др. Сверхтонкая структура некоторых компактных радиоисточников // Астрон. журн. 1973. Т. 50. № 6. С. 1157–1165.
- Матвеевко Л. И.* Многоликое единство: препринт. М.: ИКИ РАН, 2016. Пр-2179. 60 с.
- Матвеевко Л. И.* РСДБ — Окно во вселенную: препринт. М.: ИКИ РАН, 2018. Пр-2188. 29 с.
- Матвеевко Л. И., Селезнев С. В.* Кинематика ядра радиогалактики M 87 // Письма в Астрон. журн. 2015. Т. 41. № 12. С. 772.
- Матвеевко Л. И., Селезнев С. В.* Особенности тонкой структуры ядра галактики NGC 1275 // Письма в Астрон. журн. 2016. Т. 42. С. 237–245.
- Матвеевко Л. И., Сиваконь С. С.* Кинематика активной области квазара 3C 345 // Письма в Астрон. журн. 2013. Т. 39. № 8. С. 547–579.
- Паулини-Тос И. И. К., Пройс Е., Витцел А.* и др. Наблюдения компактных радиоисточников на волне 1.35 см с высоким угловым разрешением // Письма в Астрон. журн. 1978. Т. 4. № 2. С. 64–69.
- Шкловский И. С.* О возможной двойственности ядра NGC 1275 // Письма в Астрон. журн. 1978. Т. 4. С. 493.
- Burbidge E. M., Burbidge G. R.* Optical Evidence Suggesting the Occurrence of a Violent Outburst in NGC 1275 // *Astrophys. J.* 1965. V. 142. P. 1351.
- Dent W. A.* Quasi-Stellar Sources: Variation in the Radio Emission of 3C 273 // *Science.* 1965. V. 148. P. 1458. DOI: doi:10.1126/science.148.3676.1458.
- Matveyenko L. I.* Early VLBI in the USSR // *Astronomische Nachrichten.* 2007. V. 328. No. 5. P. 411–419.
- Minkovski R.* Optical investigations of radio sources // *Proc. IAU Symp. No. 4.* N. Y.: Cambridge Univ. Press., 1957. P. 107.
- Romney J.* Fine-scale structure of the neutral hydrogen absorption in NGC1275: Thesis (Dissertation (Ph.D.)). California Institute of Technology, 1979.
- Rubin V. C., Fort W. K., Peterson Ch. Jr., Oort J. H.* New observations of the NGC 1275 phenomenon // *Astrophysical J.* 1977. V. 211. P. 693–696.
- Schilizzi R. T., Cohen M.* et al. Observations with a VLB array. III — The sources 3C 120, 3C 273B, 2134+004, and 3C 84 // *Astrophysical J.* 1975. V. 201. P. 263–274.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение	3
Тонкая структура активной области галактики	4
Поляризация излучения активной зоны галактики	44
Заключение	56
Литература	56

055(02)2

ИКИ РАН
Москва, 117997, Профсоюзная ул., 84/32

Подписано к печати 13.03.2019 г.

Заказ 4175

Формат 60×84/16

Тираж 75

3.37 усл.-печ. л.

