

МНОГОЧАСТОТНЫЕ ОДНОМЕРНЫЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ РАДИОЯРКОСТИ ДЛЯ 47 РАДИОГАЛАКТИК В САНТИМЕТРОВОМ ДИАПАЗОНЕ ВОЛН. I

Н. С. Соболева

Приводятся одномерные многочастотные радиоизображения на сантиметровых волнах для 47 радиогалактик в диапазоне склонений от -43 до $+53^\circ$, а также морфологическое описание этих источников. Показано, что практически во всех источниках радиоизображения частотно независимы, за исключением области ядерного источника. Для трех ярких радиогалактик (3C 111, Лебедь А, Центавр А) прослежена эволюция спектра ядерного источника за период 3—5 лет.

The onedimensional multifrequency radiobrightness distributions for 47 radio galaxies at centimeter wavelenghts in the declination range -43 to $+53^\circ$ are presented, the morphology of these sources is discussed. It is shown that the brightness distributions are independent of frequency, except the nuclear source region.

For 3 bright radio galaxies (3C 111, Cyg A, Cen A) the evolution of spectra of the nuclear sources has been observed for 3—5 years.

Несмотря на то что класс радиогалактик известен уже более 25 лет, единой модели, объясняющей структуру, энергетику, время жизни и другие свойства радиогалактик, пока нет. В понимании процессов, происходящих в радиогалактиках, чрезвычайно важную роль играют такие параметры, как распределение поляризованного и неполяризованного радиоизлучения по источнику, которое, в свою очередь, позволяет судить о распределении спектрального индекса, меры вращения, направления магнитного поля, наличии тепловой плазмы в различных частях источника и т. д. В середине 70-х годов с вводом в строй радиотелескопа РАТАН-600, с помощью которого легко проводить одновременные многочастотные наблюдения объектов в сантиметровом диапазоне с диаграммой направленности до $10-16''$ в горизонтальном направлении, задача получения таких изображений стала возможной. Для наблюдений были отобраны около 50 объектов в основном из каталогов 3 Кембриджского и Паркского. При отборе источников были удовлетворены следующие требования (учитывались возможности радиотелескопа и приемной аппаратуры).

1. Интегральная плотность потока источника должна быть ≥ 1 ян.

2. Угловой размер более $20''$, но менее $10-15$ мин дуги. Это требование связано с ограниченной чувствительностью радиотелескопа. Поэтому с большими угловыми размерами отобраны были только самые яркие источники.

3. Так как наблюдения производились только с помощью северного сектора РАТАН-600, то позиционный угол оси источника должен быть отличным от вертикали, особенно для источников с большими отрицательными склонениями, так как ширина вертикальной диаграммы РАТАН-600 увеличивается с уменьшением угла места.

4. Диапазон склонений, в котором возможно проводить наблюдения с помощью северного сектора, от -43 до $+53^\circ$.

С п и с о к р а д и о г а л а к т и к

PKS 0002+12	Гидра А	PKS 1556-21
3С 33	3С 219	3С 327
3С 39	3С 225	
	3С 227	PKS 1602-09
PKS 0131-36	3С 234	3С 329
3С 46	3С 264	
3С 47	3С 267	Геркулес А
3С 66	3С 270	3С 353
3С 75	3С 278	3С 382
3С 79		3С 403
3С 88	Центавр А	
Печь А	PKS 1332-33	Лебедь А
PKS 0349-27	3С 303	3С 411
3С 98		PKS 2053-20
3С 105	PKS 1449-13	
3С 109		PKS 2104-25
3С 111	PKS 1514+00	
	3С 321	3С 452
PKS 0800-09	3С 323.1	3С 465

Список отобранных объектов приведен в таблице. Измерения были начаты 1. 1977. Начиная с этого времени и до 1. 1980 было проведено несколько двадцатидневных циклов наблюдений. В связи с тем что на телескопе все время устанавливается новая, более чувствительная аппаратура, расширяется диапазон длин волн, снимается устаревшая аппаратура, длины волн, на которых производились наблюдения, в различные циклы немного отличаются. Так же обстоит дело с калибровочными источниками, набор которых в течение этих циклов менялся. Почти все источники, за исключением тех, спектр которых резко обрывается в сторону коротких волн, наблюдались с одинаковым расположением первичных облучателей относительно фокуса. При этом поперечный вынос из фокуса на различных волнах составлял от 1 до 2.8 длины волны. Поэтому даже на самых низких углах места боковой лепесток диаграммы направленности (абберационный) не превосходит 10% от главного лепестка. Если размер источника по склонению был сравним с полушириной вертикальной диаграммы направленности радиотелескопа, то делалось несколько сечений источника, соответствовавших склонению наиболее ярких деталей источника. Все наблюдения проходили в меридиане в режиме прохождения, каждое сечение наблюдалось по 8 раз, затем кривые осреднялись (всего было получено около 1000 кривых прохождения). Чистка кривых прохождения не производилась. Специальных координатных измерений тоже не было. Поляризационные измерения проводились только на нескольких радиоисточниках, однако в настоящей статье мы не будем касаться вопросов распределения поляризованного радиоизлучения, так как эта работа не доведена до конца. Для тех источников, где на самой короткой волне (1.38 и 2.08 см) интегральная плотность потока слишком мала для получения полной одномерной структуры источника, наблюдения проводились для получения сведений о ярких точечных деталях.

Источники расположены по прямому восхождению. Первая часть настоящей работы содержит описание морфологии источников, одномерные изображения источников на частотах наблюдения, интегральные спектры источников, иногда спектры отдельных деталей, а также некоторые общие выводы.

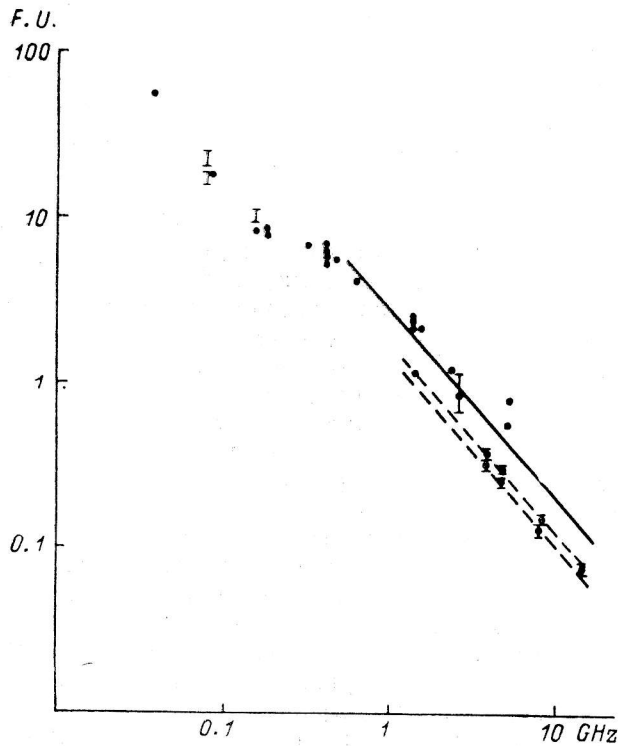
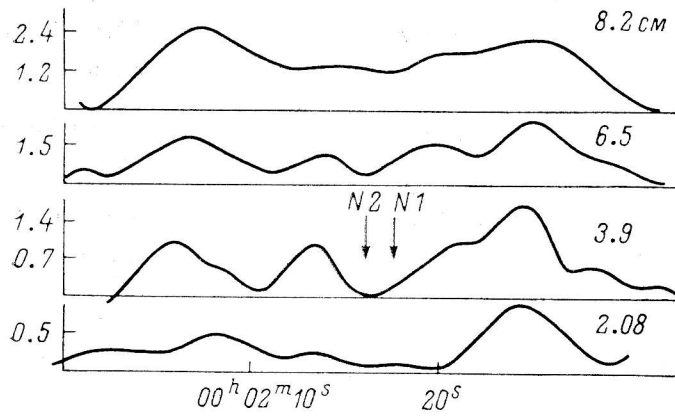


Рис. 1. PKS 0002+12.

Стрелками показано положение оптических галактик, предлагаемых для отождествления, штриховыми линиями — спектры компонент.

Указания к рис. 1—47.

Вверху нанесены кривые прохождения источника, по осям абсцисс — $\alpha_{1950.0}$, по осям ординат — мяские/с дуги. Стрелками, как правило, показано положение оптического объекта (иные случаи оговариваются в подписи под данным рисунком).

Внизу: сплошная линия — интегральный спектр источника; \boxtimes — наши измерения.

Описание отдельных источников

PKS 0002+12. Фомалонт [1] относит его к тройным источникам с размером внешних компонент $\leq 30 \times 40''$ с р. а. 104° и слабой протяженной центральной компонентой, размер которой близок к расстоянию между компонентами. На низких частотах 408,160 мГц источник представляет собой типичный двойной источник с размером $1'5 \times 0'6$ [2, 3]. Отношение

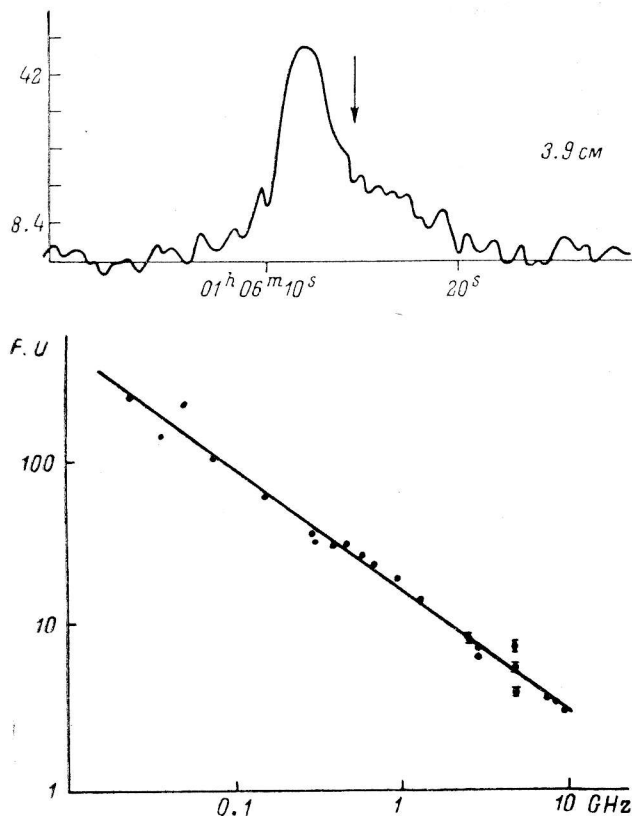


Рис. 2. ЗС 33.

интенсивностей близко к 1, интегральный спектр имеет особенности в низкочастотной части спектра (рис. 1). Источник отождествлен с галактикой 19^m с $\alpha_{1950.0} = 00^h 02^m 16^s$ и $\delta_{1950.0} = 12^\circ 31' 52''$, находящейся в богатом скоплении (отождествление неуверенное). Интегральный спектр был изучен только до волны 6 см, а минимальная волна, на которой имеются радиоизображения, — 21 см.

На рис. 1 приведены кривые прохождения на волнах 2.08, 3.9, 6.5 и 8.2 см, полученные с помощью РАТАН-600 в январе 1977 г. Объект слабый. Наиболее уверенные результаты получены на волне 8.2 см. Относительная интенсивность компонент близка к 1 на всех волнах. На волне 8.2 см четко видна перемычка между компонентами, которая труднее просматривается на 6 см и практически незаметна на волне 3.9 см. Возможно, наличие точечного источника на расстоянии 2.7 с к западу от упомянутого выше оптического объекта 19^m (N2) с плотностью потока около 60 мян на волнах 8.2, 6.5 и 3.9 см и W -компоненты на волне 8.2 см дает более сложную структуру. Размер компонент по нашим измерениям на сантиметровых волнах значительно больше, чем на 21 см [1], размер центрального источника у нас близок к размеру точечного, а на 21 см составляет несколько минут дуги. Спектры компонент в сантиметровых и дециметровых областях спектра

одинаковы (рис. 1). Можно было бы предположить, что аномальный интегральный спектр на низких частотах связан с более крутым спектром моста, соединяющего компоненты или, альтернативно, с наличием источников малого углового размера с крутым спектром во внешних компонентах (см. размер на сантиметрах и дециметрах). Однако нам представляется, что такие объяснения преждевременны. Следует подождать более качественных изображений на 21 см и уточнения интегрального спектра источника в длинноволновой области.

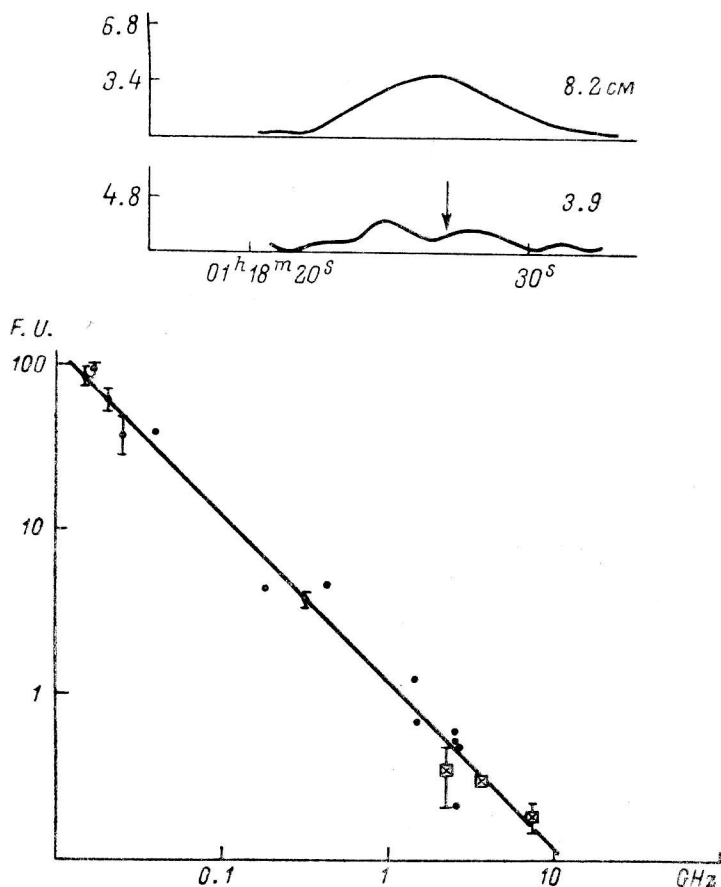


Рис. 3. 3C 39.

3C 33. Источник хорошо изучен на частотах от 160 до 5000 МГц. В последнее время этот источник представляет особый интерес в связи с сообщением об обнаружении оптического свечения в области южной компоненты, свидетельствующего о наличии газа с аномальным возбуждением; газ движется со скоростью 3800 км/с. Обнаружено также оптическое голубое свечение «моста» между южной компонентой и ядерным источником [4]. Оптические свойства галактики описаны Матьюсом, Морганом Шмидтом [5] ($m_{pg} = 15.6$, $z = 0.0600$). На месте этой галактики обнаружено 5 ГГц радиоизлучение с плотностью потока 24 мян [6]. Северная и южная компоненты радиогалактики содержат детали малого размера [6]. В последние годы показано [7], что предположение, высказанное ранее об аномальном спектре «моста» между компонентами, несправедливо.

Наши наблюдения 1975 г. на волне 3.9 см приведены на рис. 2. Отношение плотностей потоков компонент, по данным Харгрэйва и Мак-Эллива на частотах 408, 1400 и 5000 МГц [8], и по нашим измерениям на частоте 7700 МГц составляет 2.5 ± 0.3 . Отсюда следует, что спектральные индексы

компонент близки. Интегральный спектр источника прямой (рис. 2). Наши измерения не изменили последних представлений об источнике. К сожалению, источник имеет позиционный угол 19° , поэтому более полная информация об этом источнике может быть получена только после проведения двумерного синтеза радиоизображения.

ЗС 39. Источник малоизучен. Хазард [10] по затменным наблюдениям на 136 и 410 МГц относит его к двойным источникам с довольно близким расстоянием между компонентами по отношению к их размерам (около

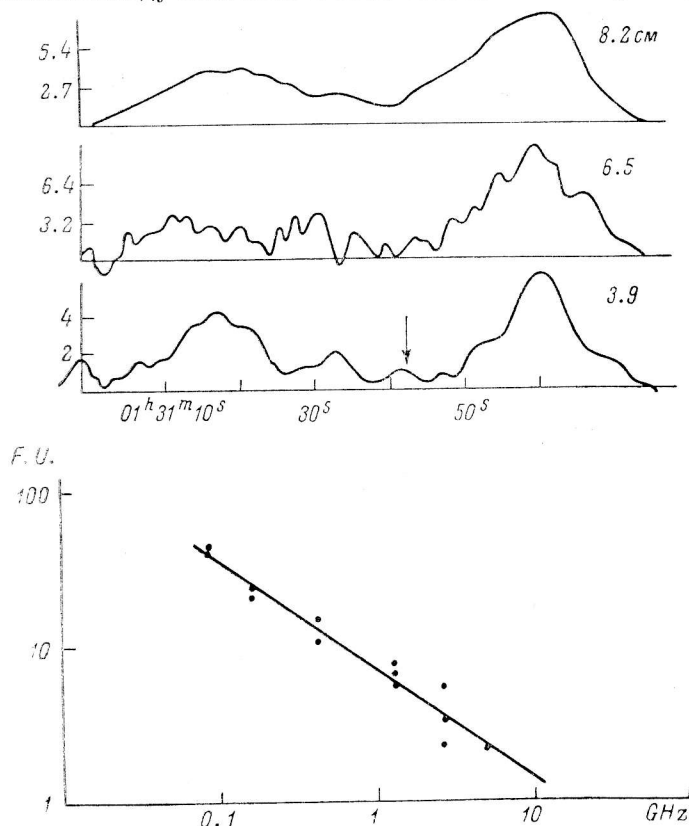


Рис. 4. PKS 0131-36.

10 : 1). Он же отмечает наличие слабого гало и частотную независимость изображений в этом диапазоне волн. Источник отождествлен с квазаром 18.5 зв. вел., красное смещение неизвестно. По наблюдениям мерцаний [11] не обнаружена структура меньше 1 с дуги. Интегральный спектр плохо изучен, но, по-видимому, он прямой (рис. 3).

Наши наблюдения представлены на рис. 3. Источник хорошо виден на волне 8.2 см. На волне 3.9 см он частично разрешается, хотя отношение плотностей потоков компонент определяется недостаточно уверенно из-за малого отношения сигнал/шум. Интегральные плотности потоков удовлетворительно согласуются с данными дециметрового и метрового диапазонов. Отношение плотностей потоков компонент на волне 3.9 см составляет 1.4 ± 0.5 , что в пределах ошибок совпадает с данными метрового диапазона. Размеры компонент, полученные по нашим наблюдениям, не противоречат данным по покрытиям: западная компонента больше восточной на волне 3.9 см, так же как на частоте 136 МГц.

PKS 0131-36. Источник относится к категории больших двойных источников. Вблизи центра тяжести обнаружен компактный источник, совпадающий с ядром NGC 612 (20 мян, длина волны 6 см, размер меньше

0'3) [12]. Оптические свойства этой галактики описаны в [12]. Интегральный спектр прямой. Особенностью поляризационных характеристик является малая деполаризация и мера вращения по всему источнику. Имеются изофоты источника на 1425 МГц [1, 12] и на 160 МГц [3]. Экерс и другие относят источник к объекту формы «S».

На рис. 4 представлены 3-частотные наблюдения, выполненные на РАТАН-600 в январе 1977 г. Как видно из этого рисунка, все кривые прохождения очень близки. Отчетливо выделяются *E*- и *W*-компоненты,

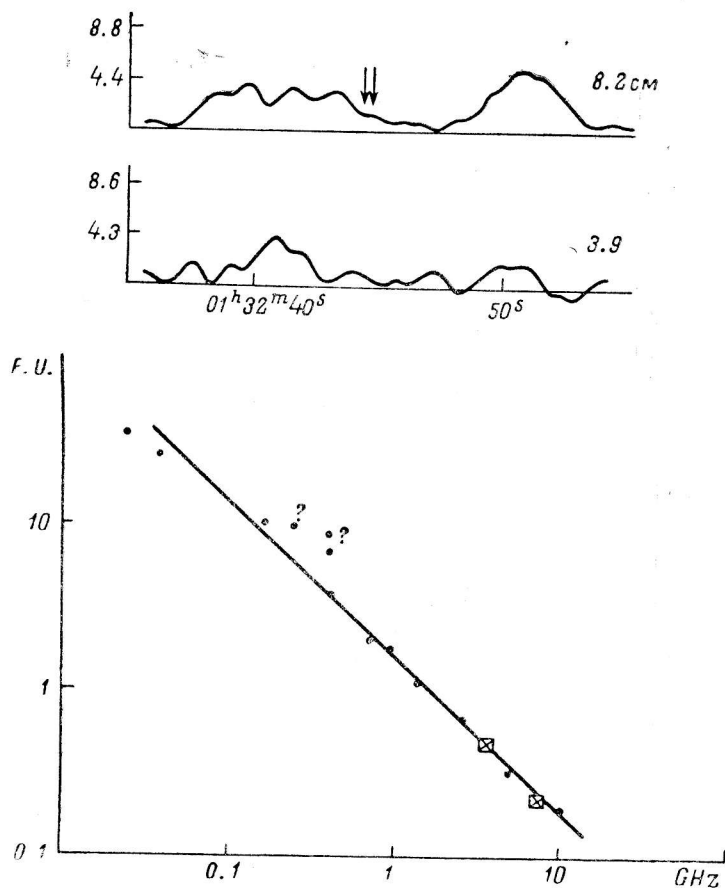


Рис. 5. 3C 46.

Стрелками показаны положения оптических объектов, предлагаемых для отождествления.

«перемычка», а также деталь в *W*-компоненте, расположенная на расстоянии 8 с к западу от NGC 612. Эта деталь заметна и на изофотах, полученных во Флерс на 21 см. Отсутствие ее на изофотах 160 МГц можно объяснить низким разрешением и редукицией наблюдений. На волне 3.9 см мы оцениваем плотность потока от компактной детали, отождествленной с NGC 612 в ≤ 0.027 ян, что не противоречит данным VLA, если не считать спектр этой компоненты оптически толстым в сантиметровом диапазоне волн. Сравнение сантиметровых (наших), дециметровых и метровых радиоизображений этого объекта показывает подобие их в широком диапазоне частот. Спектральный индекс стрип-интегрированного излучения постоянен по источнику с точностью до 0.01—0.03. Это свойство источника, а также морфология его очень напоминает объект 3C 353, хотя линейный размер объектов отличается в несколько раз. В этом источнике, так же как в 3C 353, возможно наличие слабого хвоста за западной компонентой. Отметим также малую светимость ядерного источника по сравнению

с общей энергией частиц и поля в основных компонентах. Если следовать Милею [13] и предполагать наличие подкачки компактным коллимированным пучком, то факт постоянства спектрального индекса по источнику требует специального объяснения.

ЗС 46. Источник типичный двойной. Радиоизображение имеется на частотах 408 и 1407 МГц [14]. Источник отождествлен неуверенно, вблизи центра излучения имеется два кандидата: красная галактика 19.5 зв. вел. и слегка диффузный объект 18 зв. вел. Спектр прямой, хотя в дециметровой области данные противоречивы (рис. 5).

Наши измерения на волне 8.2 см приведены на рис. 5. Интегральная плотность потока на этой волне 0.4 ян, на волне 3.9 см — около 0.2 ян. Структура источника определена неуверенно, отношение плотностей потоков компонент близко к 1. Размеры и расстояние между компонентами не противоречат данным Кембриджа [14]. На месте оптических объектов радиоизлучение отсутствует с точностью 50 мян на волне 3.9 см и меньше 30 мян на волне 8.2 см.

ЗС 47. Источник относится к двойным радиоисточникам с неравными компонентами. Недавно обнаружен ядерный источник, совпадающий с оптически переменным квазаром (18 зв. вел., $z=0.425$) [15]. Плотность потока компактного источника около 80—60 мян в сантиметровом диапазоне, в метровом диапазоне он не обнаружен. На 1.67 ГГц обнаружена деталь малого размера ($<0.5''$) [16] с плотностью потока 0.17 ± 0.07 ян, положение которого неизвестно. Если считать, что она совпадает с центральным источником, то спектр компактной детали либо переменный, либо состоит из суммы плоского и крутого спектров.

Результаты наших наблюдений приведены на рис. 6. Источник частично разрешен на волне 3.9 см и совсем не разрешается на волнах 8.2 и 13 см. Он зарегистрирован на волне 2.08 см, однако отделить излучение западной компоненты от центрального источника трудно из-за недостаточной чувствительности приемной аппаратуры. Но все же ясно, что доминирует излучение от западной компоненты. Модельное разделение источника на компоненты на волне 3.9 см позволило уточнить спектры компонент. Спектры всех компонент приведены на рис. 6, где видно, что спектральные индексы компонент западной и восточной близки, в отличие от оценок Берча [17].

ЗС 66. Радиоисточник состоит из двух основных компонент *A* и *B*. Анализ радиоизображений, полученных на многих частотах — от 10.7 ГГц до 408 МГц, — показал, что компоненты не связаны физически. Компонента *A* — точечная, совпадает с центром скопления галактик с $z \approx 0.37$ (по широкополосной фотометрии) [18]. Некоторые радиоастрономы предполагают связь с квазаром. Это объект типа VL Лас. Спектр прямой (рис. 7), но не очень хорошо изучен, возможно, переменный. Другая компонента (*B*) представляет из себя отдельный источник со сложной структурой. Имеется точечный источник, отождествленный с галактикой типа ED2 с $z=0.021$. У оптической галактики обнаружен выброс, выбросы есть и в радиодиапазоне: один, контрастный, — к востоку, другой, более аморфный, — к западу. Оба выброса переходят в протяженные структуры со сложной формой. Наибольшая протяженность источника зарегистрирована на частоте 408 МГц и составляет около 8 мин дуги. Некоторые авторы [19] отмечают уменьшение размеров источника с увеличением частоты наблюдения и более крутой спектральный индекс в периферии источника. Интегральный спектр компоненты *B* прямой (приведен на рис. 7).

Наши наблюдения проведены на двух углах места, в соответствии со склонением компонент *A* и *B*. Плотности потоков компоненты *A*, полученные по нашим измерениям, нанесены на спектр этого источника. Наши данные удовлетворительно ложатся на прямой спектр со спектральным индексом 0.55. Хотя и не исключено, что источник имеет более сложный спектр.

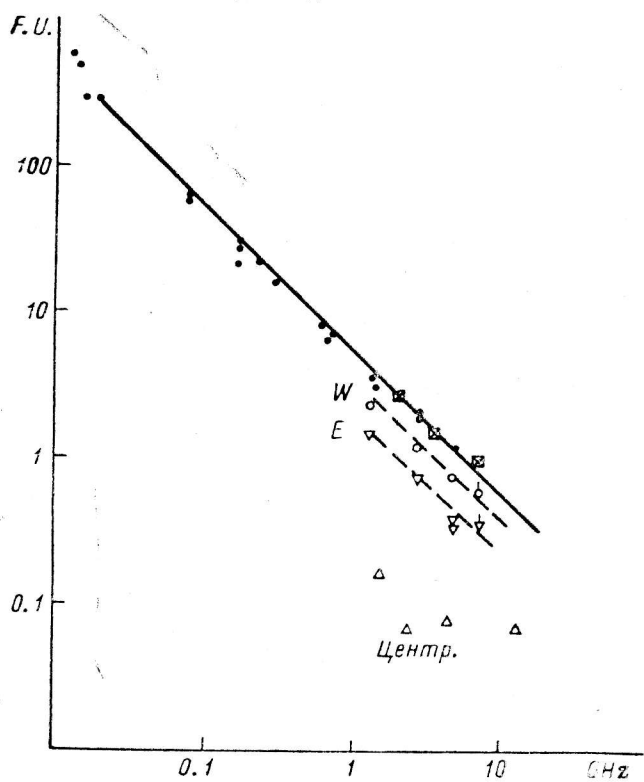
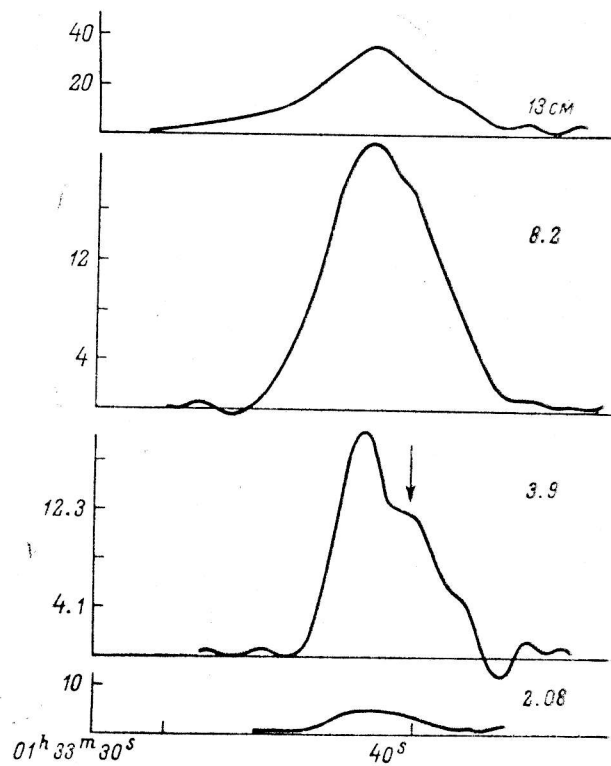


Рис. 6. ЗС 47.

Штриховая линия — спектры E- и W-компонент; Δ — значения плотностей потока центральной компоненты.

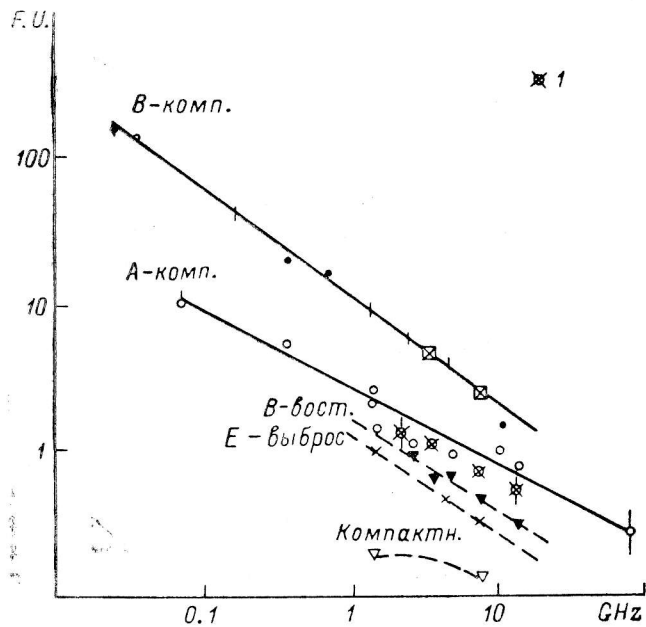
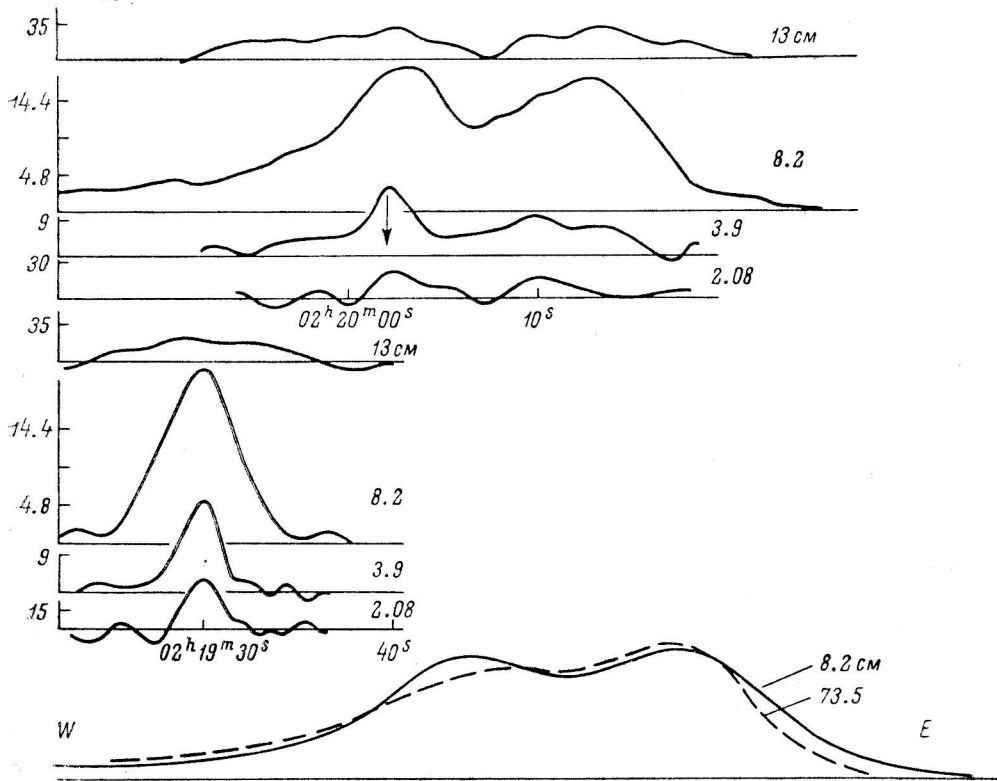


Рис. 7. ЗС 66В и ЗС 66А.

⊠, 1 — наши измерения. Штриховая линия внизу — спектры деталей источника ЗС 66В: восточной компоненты, восточного выброса, компактного объекта [16, 22]. В середине — сравнение кривых прохождения на волне 8.2 см (сплошная линия), сглаженной диаграммой направленности Кембриджского телескопа на волне 73.5 см, с одномерным распределением радиояркости на волне 73.5 см [14] — штриховая линия.

Мы выделили точечный источник, совпадающий с ED2-галактикой с плотностью потока 0.27, 0.38 и ~ 0.5 ян на волнах 2.08, 3.9 и 8.2 см соответственно. Была сделана попытка определить отдельно плотность потока от западного и восточного выброса, включая протяженную структуру. Отношение плотностей потоков этих компонент $P_W/P_E \approx 0.5 \pm 0.1$ на волнах 3.9 и 8.2 см и мало отличается от этого отношения на волне 21 см [20]. Полный размер источника на волне 3.9 см составляет около $10'$, что значительно больше размеров радиоизображений на синтетических картах на волнах 21.6 и 2.8 см [21, 19], но совпадает с максимальными размерами на волне 75 см [14]. Это говорит о постоянстве спектрального индекса по источнику (после исключения точечной детали).

Этот вывод подтверждается сравнением наших одномерных изображений, сглаженных диаграммой направленности, близкой к диаграмме направленности Кембриджского одномильного телескопа на волне 75 см [14], с одномерными изображениями на этой волне (рис. 7, нижняя кривая). Как видно из этого рисунка, изображения подобны, за исключением области точечного источника, спектральный индекс которого примерно на 0.2 меньше спектрального индекса источника в целом. Возможно, это связано с наличием в «точечном» источнике компактной компоненты (сверхдальняя интерферометрия [22], Кембридж [21]). Мы попытались учесть в спектре «точечного» источника эту компактную деталь по данным Келлермана [22] и Бентли и др. [16] (3.75 и 18 см). В результате мы нашли спектр E -выброса, четко видимого в Кембридже на 5-км телескопе вблизи ядра ED2-галактики. Этот спектр (рис. 7) оказался очень близким к интегральному спектру 3С 66В. Таким образом, за исключением компактной детали, спектральный индекс оказался постоянным по источнику как в областях, расположенных на расстоянии нескольких секунд дуги, так и в областях, удаленных на сотни секунд дуги от ядра. На волне 3.9 см можно проследить две детали в E -выбросе, наблюдавшиеся в Кембридже на частоте 408 МГц. Интегральная плотность потока всей компоненты B нанесена на рис. 7. Значения плотностей потока, полученные нами в сантиметровом диапазоне, несколько выше, чем по данным Кембриджа. Это связано, по-видимому, с малой чувствительностью Кембриджского телескопа к протяженным деталям.

3С 75. Источник с низким разрешением выглядит как двойной, но восточная компонента имеет более сложную структуру. Оптическое отождествление неуверенное. Малтби, Мэтьюс, Моффет [23] отождествили радиоисточник с близкой парой галактик в единой оболочке 14.8 зв. вел., $z=0.023$. Эта пара расположена в скоплении. Оптический объект не находится на прямой, соединяющей компоненты радиоисточника. Радиоизображения Фомалонта [1] (21 см) и Сли [3] (160 МГц) противоречат друг другу: одно из них является зеркальным отображением другого относительно склонения $5^{\circ}50'5''$. Интегральный спектр прямой (рис. 8).

Наши наблюдения приведены также на рис. 8. Интегральные плотности потоков на частотах 2300, 3650, 7700 и 14420 МГц нанесены на рис. 8. Источник был разбит нами на три компоненты (следуя Фомалонту), получено отношение плотностей потоков $3 : 1.85 : 1$ на волнах 3.9 и 8.2 см. На волне 21 см [1] это отношение составляет $3.1 : 1.6 : 1$. На рис. 8 приведены также одномерные кривые прохождения на частотах 3650 МГц (наши измерения) и 160 МГц. Различие интенсивностей компонент не превосходит 7%, что соответствует постоянству спектрального индекса по источнику с точностью 0.05 во всем диапазоне длин волн — от метров до сантиметров. Размеры по прямому восхождению (наши измерения) на волне 3.9 и 8.2 см равны: 65 и $74''$ для западной, центральной и восточной компонент соответственно, что находится в хорошем согласии с измерениями Фомалонта [1] ($60, 50, 70''$ на волне 21 см). На месте близкой пары галактик не обнаружен точечный радиоисточник с плотностью потока >40 мян. К сожалению, наши одномерные изображения не позволили

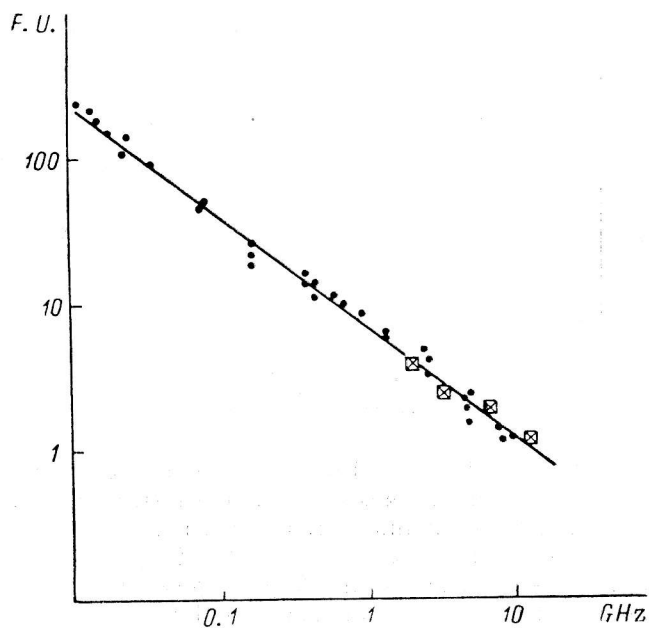
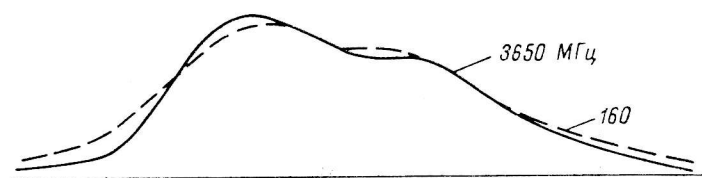
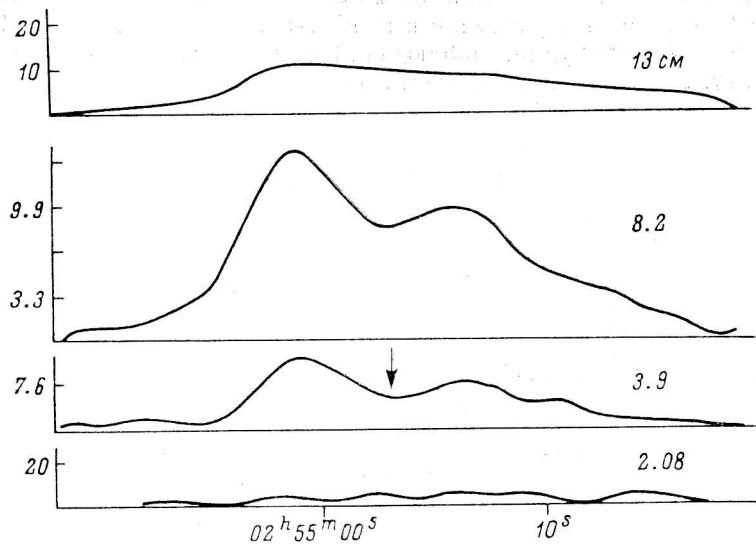


Рис. 8. ЗС 75.

В середине — сравнение кривой прохождения на частоте 3650 МГц, сглаженной диаграммой в 1'.9, и одномерного распределения радиояркости на частоте 160 МГц [3].

определить, какое радиоизображение, Фомалонта или Сли, ближе к действительности, так как все одномерные изображения совпадают. В любом случае мы считаем, что различие в изображениях Фомалонта и Сли связано с ошибками в редукции наблюдений и не отражает реального различия в структуре на разных частотах.

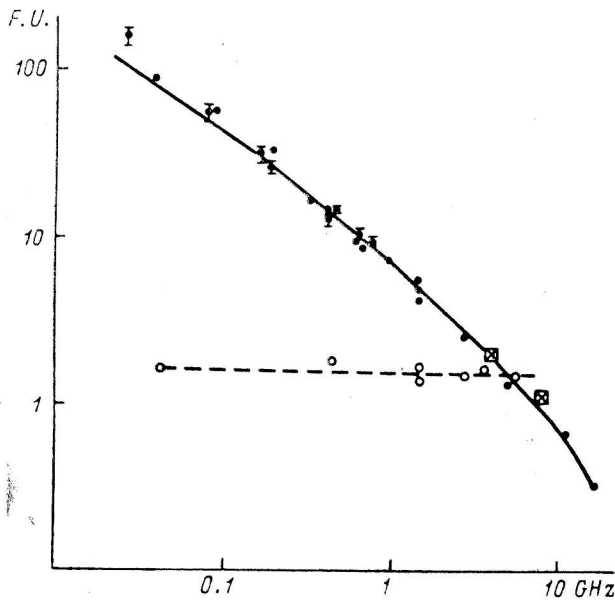
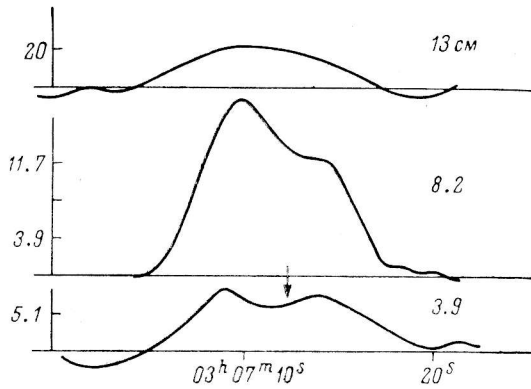


Рис. 9. 3C 79.

Штриховая линия — отношение плотностей потоков компонент.

3C 79. Объект типичный двойной с отношением компонент больше 1.5. На внешних краях компонент имеются горячие пятна. На частоте 5 ГГц обнаружен центральный источник с плотностью потока 12 ± 5 мян [24], плотность потока его на частотах 2695 и 15375 МГц меньше 10 мян [17], на частоте 1.67 ГГц — меньше 0.1 ян (с размером $0''.4$) [16]. Сравнение результатов покрытий в метровом диапазоне [6] с Кембриджскими картами указывает на более крутой спектральный индекс моста (перемычки). Источник отождествлен с галактикой 18.4 зв. вел. с красным смещением $z=0.2561$, с сильными эмиссионными линиями; галактика, возможно, находится в скоплении [25]. Интегральный спектр источника четко не прямой, а искривленный с завалом на высоких частотах (рис. 9).

Наши наблюдения приведены на рис. 9. Источник частично разрешается на волне 8.2 см. На волне 3.9 см источник разрешается, но пара-

метры компонент оценены менее уверенно. Излучение регистрируется во всем интервале между горячими пятнами. Отношение интенсивностей компонент источника в зависимости от длины волны приведено также на рис. 9. Галкис, Хазард и Брэй [25] утверждают, что наблюдаемое по покрытиям распределение радиояркости на 430 и 41.7 МГц различно на этих

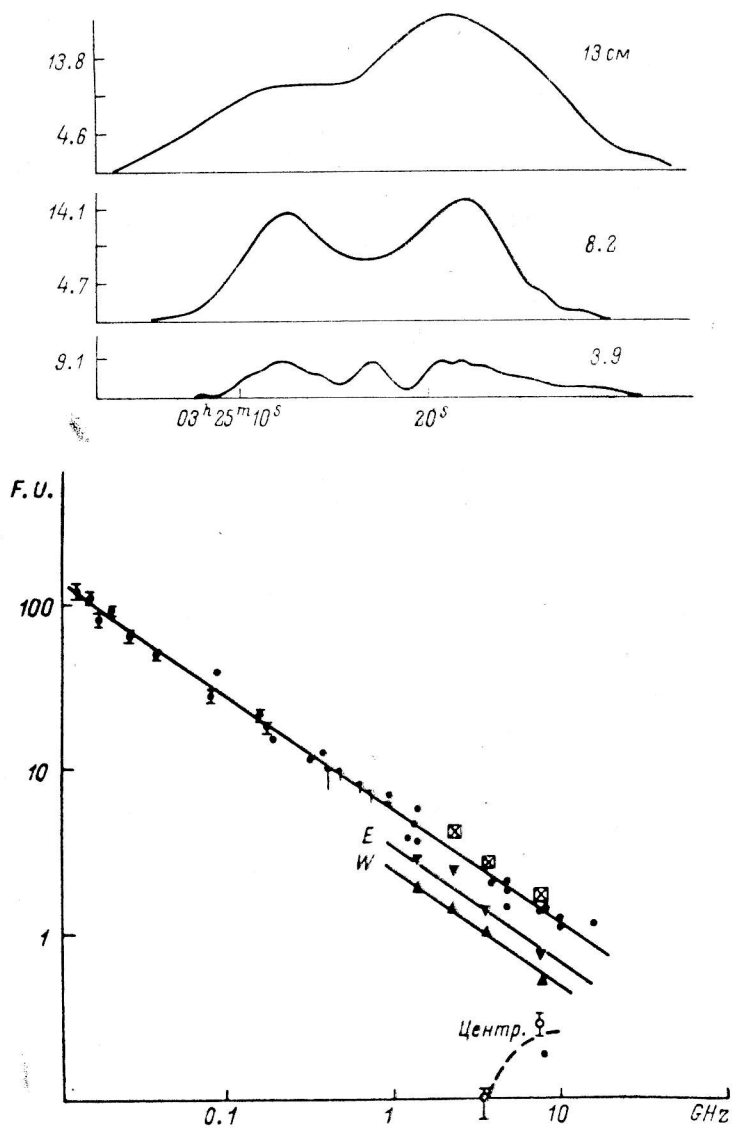


Рис. 10. ЗС 88.
E, W — спектры отдельных компонент.

частотах. Однако отношения плотностей потоков основных компонент близки: 1.8 на частоте 430 МГц и 1.6 на 4.7 МГц (одинаковы с точностью $\pm 6\%$). Сглаженное распределение радиояркости на частотах 1.4, 0.43 и 0.327 ГГц диаграммой направленности в $53''$ (такая же, как на волне 8.2 см) показало хорошее согласие с нашими наблюдениями на волне 8.2 см. Отметим, что наши наблюдения на волнах 8.2 и 3.9 см не подтверждают вывода Гопал-Кришны и Сварупа [7] о более крутом спектре «моста». Постоянство отношений интенсивностей компонент и искривленный спектр компонент позволяет оценить скорость разлета [9]. Она оказалась значительно

меньше скорости света. Отметим отсутствие точечного источника на волне 2.08 см с плотностью потока больше 0.1 ян.

ЗС 88. По наблюдениям с низким разрешением выглядит типичным двойным источником с отношением плотностей потоков компонент примерно 1.5. Наблюдения на интерферометре со сверхдлинными базами [26] показывают наличие точечного источника с плотностью потока 0.2 ян на волне 3.7 см. На частоте 430 МГц [27] точечный источник не обнаружен. Размеры внешних компонент около 1 мин дуги, а расстояние между ними около 2.5 мин дуги. Источник отождествлен с галактикой $M=15$ зв. вел. с $z=0.0302$, расположенной между компонентами. Интегральный спектр в диапазоне 10—10 000 МГц прямой (рис. 10).

Наши наблюдения представлены также на рис. 10. Источник хорошо разрешается на три компонента на волне 3.9 см и на две компоненты на волнах 8.2 и 13 см. По нашим данным, размер западной компоненты несколько меньше, чем восточной: 0.75 и 1.2 мин дуги соответственно. Центральный источник является точечным с плотностью потока 0.3 на волне 3.9 см. Оценка плотности потока точечного источника на волне 8.2 см дала значение около 0.1 ян. Отношение плотностей потоков компонент $P_E/P_W = 1.48$ на волне 3.9 см и около 1.4 на волне 8.2 см. На волне 13 см это отношение определено менее уверенно и составляет 1.7 ± 0.3 . Спектры компонент нанесены на рис. 10. Как видно из этого рисунка, спектральные индексы внешних компонент близки, а спектр центральной компоненты показывает эффект самопоглощения с максимумом интенсивности вблизи 4 см. Отметим также различный характер распределения радиояркости в западной и восточной компонентах: западная компонента, возможно, имеет уярчение к внешнему краю, в то время как в восточной компоненте наблюдается более резкий внутренний край и плавное спадание яркости к внешним частям источника.

Печь А. Один из сильных радиоисточников южного неба, обнаруженных в первых обзорах неба, двойной, с необычайно большим отношением размера компонент к расстоянию между ними (1 : 1.7). Радиоисточник отождествлен с яркой галактикой 10 зв. вел. NGC 1316 [30]. Исследован на нескольких частотах короче 5 ГГц с низким разрешением. Камерон [28] отмечает двойную структуру каждой компоненты и наличие слабого источника с размером меньше 0.7 вблизи № GC 1316 с плотностью потока ~ 0.5 ян на частоте 408 МГц.

Наши наблюдения на волнах 2.08, 3.9, 6.5, 8.2 и 13 см в целом согласуются с данными Камерона (рис. 11). Значения интегрального потока хорошо согласуются с экстраполированным значением по длинноволновым измерениям. Отношение плотностей потоков компонент составляет 1.8 ± 0.1 на всех волнах сантиметрового диапазона. Это следует сравнить со значением 1.85 ± 0.1 в коротком дециметровом диапазоне (среднее по 10, 13 и 21 см) (по данным [29]) и со значением 1.85 ± 1 на волне 75 см [28]. Таким образом, относительная интенсивность компонент с точностью до 5% постоянна от 2 до 75 см, что свидетельствует о равенстве спектральных индексов излучения их с точностью до ~ 0.01 . На волне 8.2 см достаточно уверенно регистрируется точечный источник, совпадающий с № GC 1316 по прямому восхождению, с плотностью потока ~ 0.13 ян. Оценка плотности потока на волнах 2.08, 3.9, 6.5 и 13 см дает значения ~ 40 мян, 70 мян, 0.1 ян и 0.2 ян соответственно. Обнаруженный Камероном на волне 75 см источник смещен к востоку от № GC 1316, однако, если считать, что это тот же источник, что и наш, спектр его оказывается близким к стандартному нетепловому со спектральным индексом около 0.7. Его плотность потока составляет всего $< 0.2\%$ от интегрального потока излучения. На наших кривых прохождения четко виден «мост» (на всех частотах), соединяющий компоненты и имеющий тот же спектральный индекс, что и компоненты.

PKS 0349-27. Источник изучен с умеренным разрешением с помощью интерферометров как в метровом диапазоне волн (80, 160, 408 МГц) [2, 3],

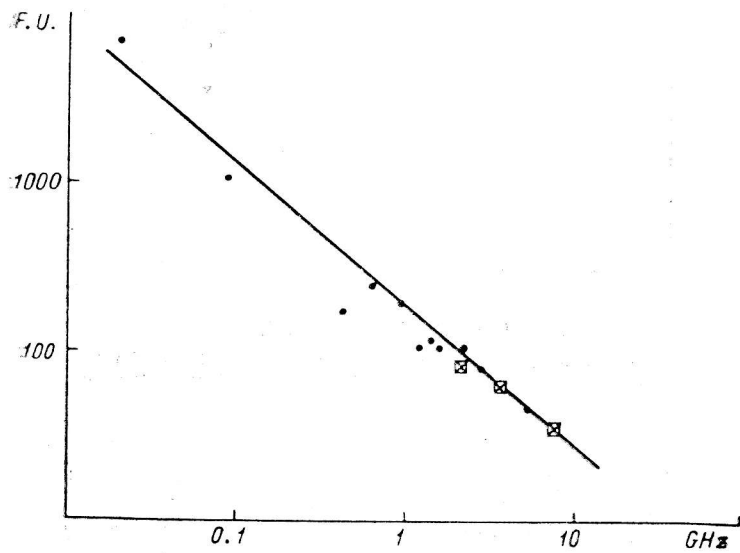
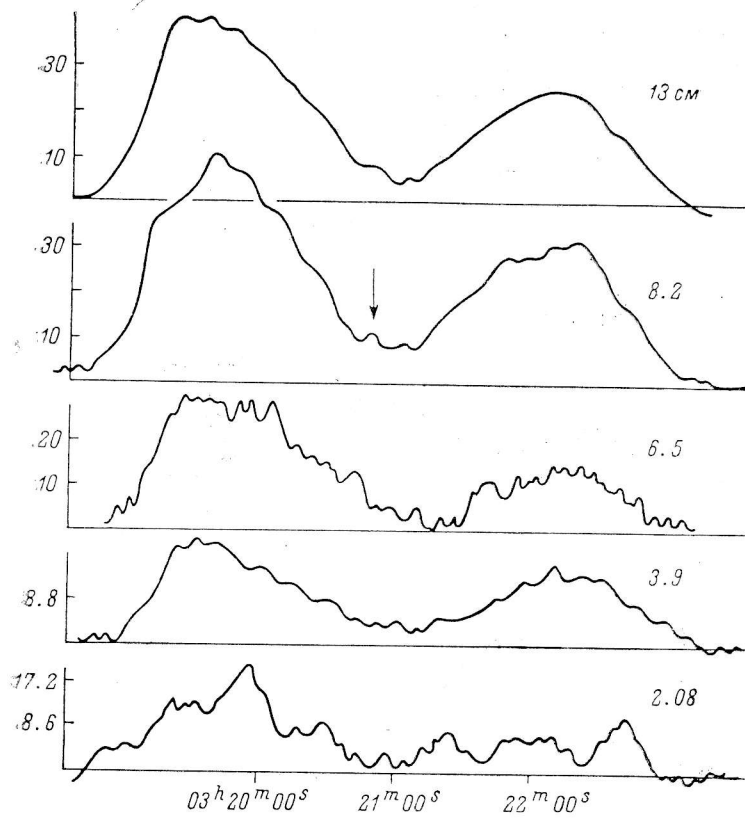


Рис. 11. Печь А.

Стрелкой отмечено положение оптической галактики NGC 1316.

так и на 21 см [1]. На более высоких частотах хороших радиоизображений нет. Наблюдения на 5 ГГц [31] сделаны с недостаточным разрешением. Этот источник относится к двойным источникам с отношением компонент около 2. На частоте 408 МГц [2] на расстоянии более 1.5 мин дуги к востоку обнаружен точечный источник, который, по-видимому, не связан с этим

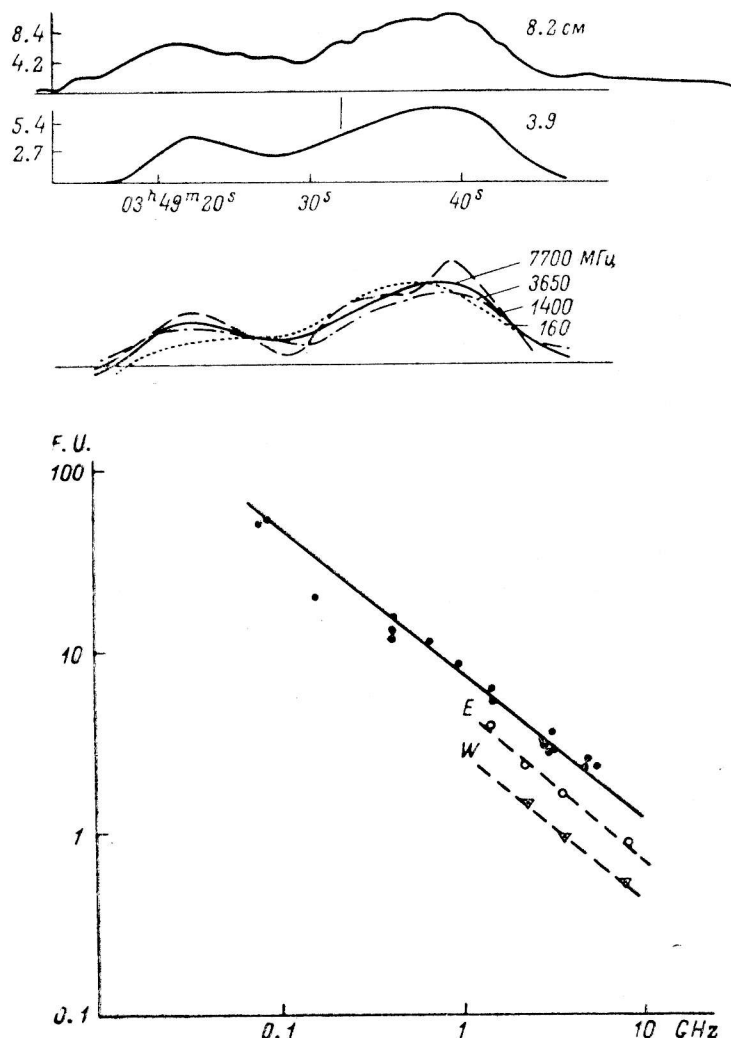


Рис. 12. PKS 0349-27.

В середине — сравнение одномерных кривых на частотах 7700, 3650, 1400 и 160 МГц (однаковое разрешение). E, W — спектры восточной и западной компонент.

двойным источником. Двойной радиисточник отождествлен с E-галактикой 16.8 зв. вел., $z=0.066$; у этой галактики в оптическом диапазоне наблюдается выброс с эмиссионными линиями и более протяженный выброс с позиционным углом около 50° (позиционный угол главной оси радиисточника составляет 56°). Спектр прямой. В работе [31] утверждается, что имеется сильное различие спектров компонент.

Наши измерения приведены на рис. 12 (3.9 и 8.2 см). На рис. 12 (нижние кривые) приведены одномерные изображения, полученные на частоте 7700 МГц (сглажено диаграммой в $1'$), 3650 МГц (сглажено диаграммой в $1'$), 1400 МГц (сглажено диаграммой в $1'$) и 160 МГц (разрешение $1'9$). Из этого рисунка видно, что различие кривых находится в пределах по-

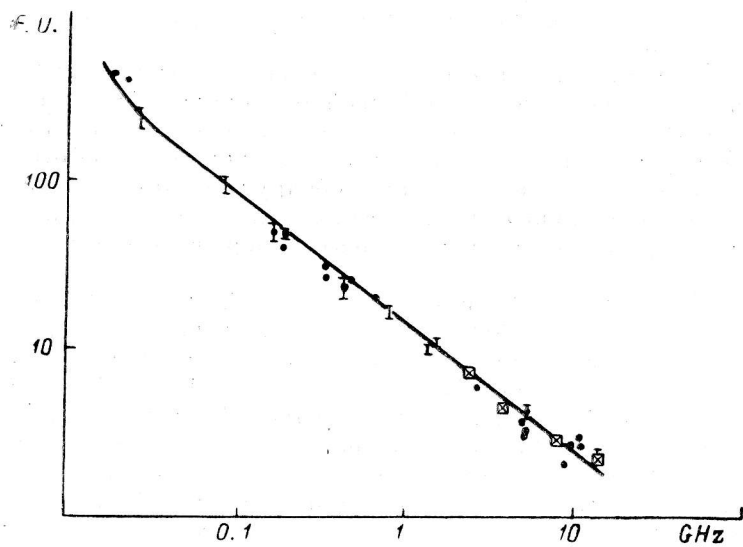
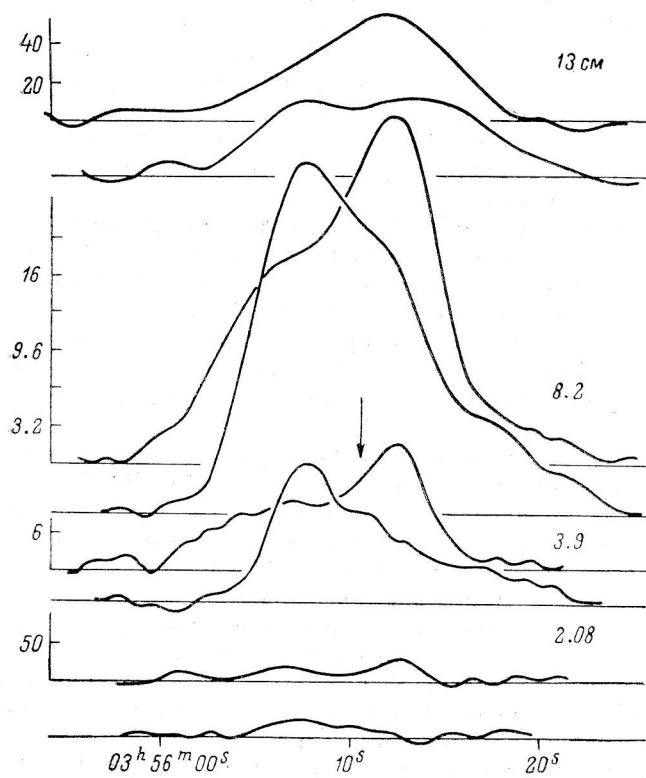


Рис. 13. ЗС 98.

Верхние кривые на каждой волне соответствуют склонению $\delta_{1960.0} = 10^{\circ}19'27''$, нижние — склонению $10^{\circ}15'18''$.

грешности измерений. Отметим, что среднеквадратичное отклонение спектрального индекса по источнику составит 0.01—0.02 в этом интервале частот. Источник слабый на сантиметровых волнах, и излучение от перебычки между компонентами определяется неуверенно. Точечный источник (3.9 см), видимый между компонентами (основными), не совпадает с оптической галактикой, и нельзя утверждать, что он реальный (плотность потока в нем ≤ 0.15 ян). По-видимому, восточная компонента имеет довольно резкий внешний край. Других сколько-нибудь уверенных деталей в компонентах не обнаружено.

ЗС 98. Источник двойной. Изображение, полученное в Кембридже на частотах 5 и 2.7 ГГц, показывает наличие классической структуры с горячими пятнами на внешних краях источника и мостом [32]. Источник отождествлен с галактикой типа ED3 с $z=0.0306$. Исследована поляризация радиоисточника, которая, по некоторым данным, достигает 30% в компонентах на сантиметровых волнах [49]. Интегральный спектр прямой с возможным увеличением спектрального индекса в декаметровом диапазоне см. на рис. 13.

Наши наблюдения проведены на двух углах места, соответствующих склонениям горячих пятен в компонентах (рис. 13). Изображение на каждом сечении зашумлено лепестковой структурой от другой компоненты, проходящей вне оси через диаграмму направленности. Чистка не производилась. Оцененные интегральные плотности потоков на волнах 2.08, 3.9, 6.5, 8.2 и 13 см нанесены на рисунок. Без проведения чистки относительная интенсивность компонент определяется неуверенно: 1.3 ± 0.2 для отношения P_E/P_W на всех наших волнах. Это отношение составляет 1.2 на 21 см [4] и около 1.5 на частоте 160 МГц [3]. Наблюдатели в Кембридже приводят значение около 3 на волне 6 и 11 см. Мы считаем, что их данные относятся к горячим пятнам. Постоянное отношение плотностей потоков компонент при наблюдениях с умеренным разрешением от 14 до 0.16 ГГц и данные Кембриджа с высоким разрешением свидетельствуют о том, что спектральный индекс горячих пятен мало отличается от спектрального индекса всего источника в целом.

ЗС 105. Источник, вероятнее всего, является гигантом [33]. Внешне он выглядит, как несимметричный двойной. Раньше был отождествлен с галактикой 18.5 зв. вел. с $z=0.089$, расположенной не в центре тяжести радиоизлучения в отличие от других источников. На изофотах Вестерборка [33] на месте этой галактики обнаружен компактный объект, к западу от этого источника на 6-см изофотах видна узкая деталь дугообразной формы. Сильная восточная компонента содержит яркий источник размером 2—3''.

Наши наблюдения проводились на волнах 2.08, 3.9, 8.2 и 13 см на северном секторе РАТАН-600 в июле 1978 г. на двух высотах, соответствующих склонениям двух компонент этого источника [1] (рис. 14). Координаты деталей радиоизображения на волне 6 см [33] показаны на рисунке стрелками. Из этих рисунков следует: 1) на волне 2.08 см четко виден яркий источник малого размера ($\leq 2-3''$) с плотностью потока около 1 ян. Излучение от компактного центрального источника меньше, чем 0.11 ян; 2) на волне 3.9 см кроме яркой восточной детали размером около 2'' (чуть западнее) имеется деталь, совпадающая с деталью, обнаруженной в Вестерборке на 8 см (см. стрелки) и Фомалентом на 21 см [4]. Отметим, что слабый лепесток с востока от яркой восточной детали является абберационным лепестком (вынос из фокуса при многочастотных наблюдениях). Суммарный поток от восточной детали и ближайшей к ней западной составляет 1.48 ян. Плотность потока центральной компактной компоненты ≤ 0.045 ян. После сглаживания диаграммы направленности на волне 3.9 см для уменьшения шумов четко заметно излучение от всей области от компоненты E до западной границы источника, которая простирается несколько дальше, чем на изофотах, полученных в Вестерборке.

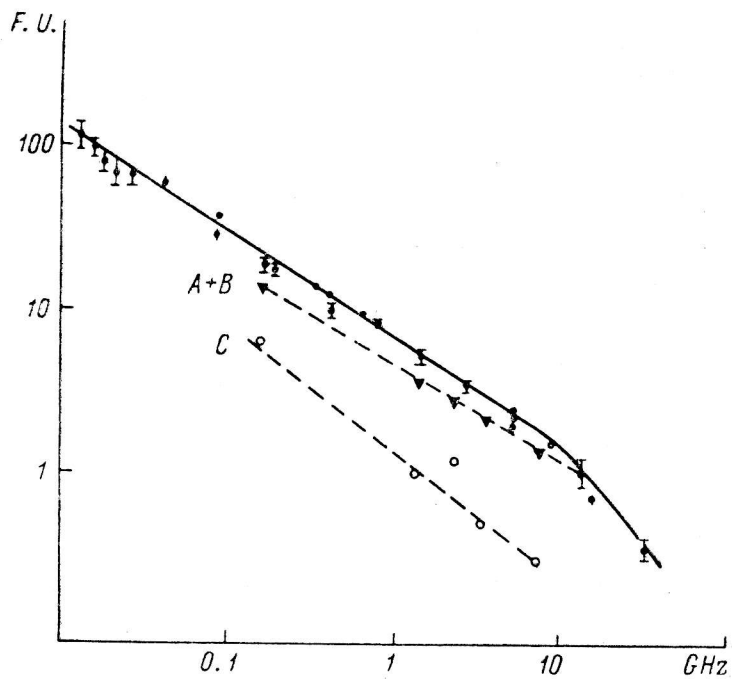
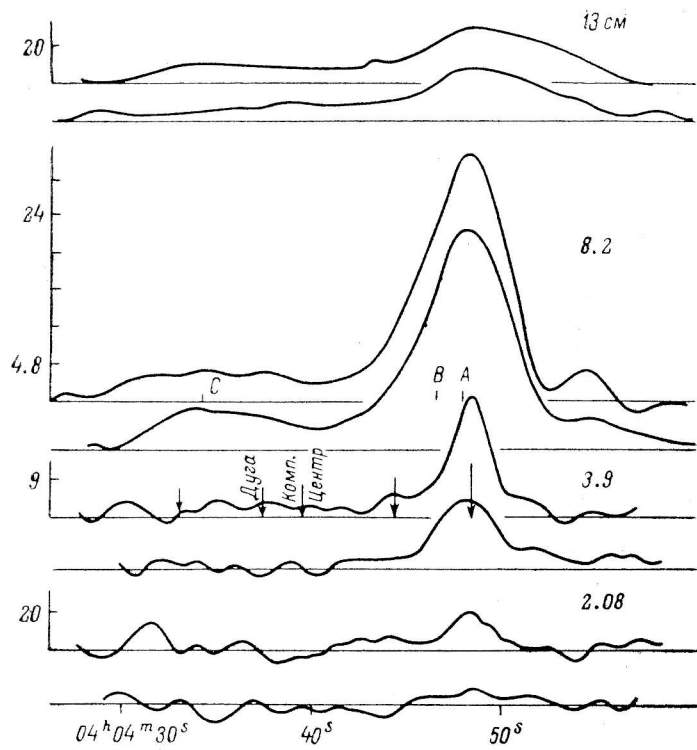


Рис. 14. 3С 105.

Верхние кривые на каждой волне соответствуют склонению $\delta_{1950.0} = 03^{\circ}32'53''$, нижние — склонению $03^{\circ}35'33''$. Стрелками показаны положения деталей Вестерборского радиовизуирования на волне 6 см [33], буквами А, В, С — положения координат по Фомалонту [1] на волне 21 см. Внизу штриховые линии характеризуют спектры компонент А+В и С.

3) непрерывное свечение всей области наблюдается также на волне 8.2 см. Компактная деталь незаметна. Плотность потоков компонент нанесена на спектр. Деталь справа от E -компоненты является абберационным лепестком; 4) на 13 см форма источника близка к форме на волне 8 см.

Интегральный спектр источника, а также спектры выделенных компонент приведены на рис. 14, там же нанесены плотности потоков на волне 21 см [1] и 160 МГц [3]. Спектральные индексы деталей: восточной — 0.57, западной — 0.72, интегральный спектральный индекс 0.65. С учетом наблюдений на метровых волнах получается достаточно четкое различие спектральных индексов для западной и восточной компонент. Отметим, что различия на волнах 3.9 и 8.2 см в распределении радиояркости не получилось. Верхний предел плотности потока для компактной компоненты, полученной по нашим измерениям на волне 3.9 см, не противоречит стандартному тепловому спектру этой детали. Однако оценки плотности потока на 2.08 и 3.9 см и сравнение с плотностью потока на 6 см показывают, что если источник реальный, то он оптически тонкий. Итак, основное различие с изофотами Вестерборка в том, что не виден точечный источник, имеется радиоизлучение от всей области между деталями E и W , по-видимому, отсутствует излучение дугообразной детали, обнаруженной в Вестерборке. Мы считаем это результатом переинтерпретации и трудностью «чистки» источников с низким склонением в Вестерборке.

Сравнение наших кривых прохождения с изображением обычных двойных радиогалактик позволяет предположить, что ЗС 105 скорее является источником типа «голова—хвост» (малый угловой размер «головы», несколько более крутой спектральный индекс «хвоста» и сильное различие в их угловых размерах). Источник напоминает NGC 1265. Целесообразно продолжить поиски оптических объектов, с которыми можно отождествить E -компоненту.

ЗС 109. На сантиметровых волнах типичный тройной источник с близкими значениями потоков компонент. Интегральный спектр с учетом наблюдений на декаметровых волнах указывает на аномалию в декаметровой области — увеличение спектрального индекса до ~ 2.7 . Точечная деталь совпадает с N -галактикой $m_v \approx 15.7$ зв. вел., $z=0.3056$, имеет плоский спектр от 11 до 5 см. В метровом диапазоне от 53 до 308 МГц Харрис [34] по мерцаниям (Арэсibo) обнаружил компактный источник, местоположение которого неизвестно. Спектр этого источника (рис. 15) удовлетворительно согласуется со спектром восточной компоненты. Эта компонента плохо разрешается на 5 ГГц с помощью Кембриджского телескопа ($8'' \times 2''3$).

Наши измерения представлены также на рис. 15. Разрешающая способность недостаточна для четкого выделения всех компонент на волне 3.9, 8.2 и 13 см. Однако на волне 2.08 см, по-видимому, заметен центральный источник с плотностью потока 0.2—0.3 ян. Если бы источник имел чисто двойную структуру, без центрального источника, то он полностью разрешился бы на волне 3.9 см. Результаты подбора параметров модели нанесены на спектр (рис. 15). На волне 3.9 в эпоху наших измерений (1.79) плотность потока центрального источника мало отличалась от значения на близкой волне 6 см [32] и близка к значению, полученному со сверхдлинной базой в 1975 г. (0.5 ян, база $20 \cdot 10^6$ длин волн; 0.3 ян с базой $100 \cdot 10^6$ длин волн) [22]. Плотность потока этого источника остается на достаточно постоянном высоком уровне в течение последних 7 лет. Относительная интенсивность внешних компонент несколько уменьшается к высоким частотам, однако необходимы более качественные измерения на коротких сантиметровых волнах для подтверждения этого эффекта. На 13 и 8.2 см заметна слабая протяженная область с восточной стороны источника. Плотность потока этой детали не противоречит экстраполированному значению плотности потока низкочастотного избытка (рис. 15). В этом случае крутой спектральный индекс можно было бы

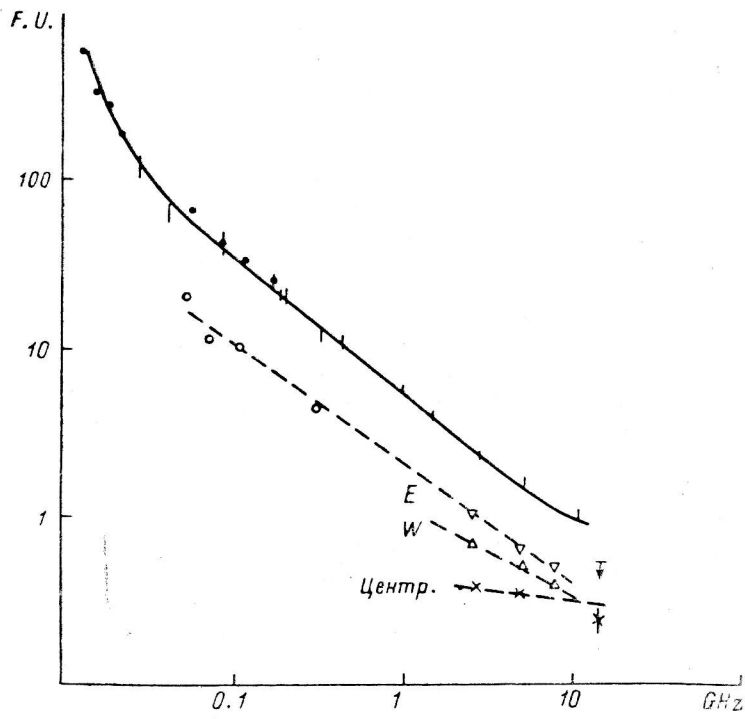
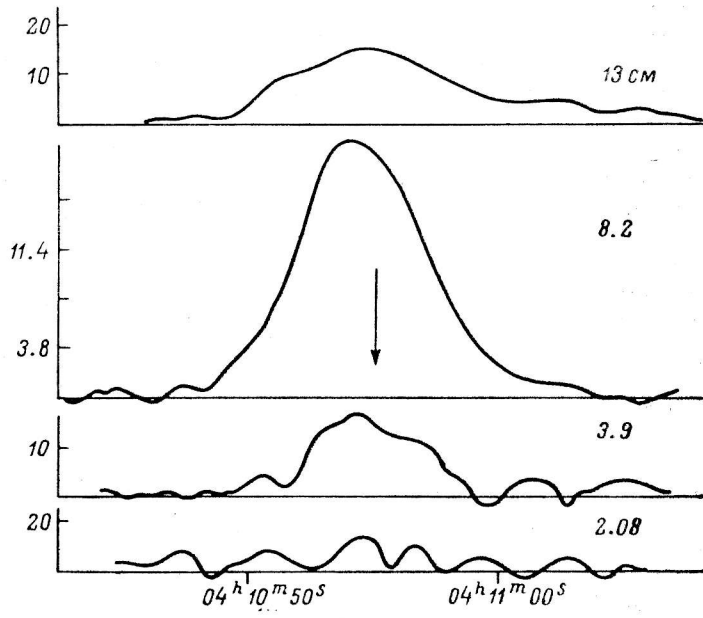


Рис. 15. 3C 109.

E, W — спектры отдельных компонент.

объяснить большим возрастом этой детали и отсутствием подкачки. Однако мы считаем количественные оценки преждевременными до подтверждения как крутого низкочастотного спектра, так и наличия детали. Отметим, что координата центра тяжести источника на 178 МГц (каталог ЗСР) $04^{\text{h}}10^{\text{m}}55^{\text{s}} \pm 3^{\text{s}}$ близка к центральному источнику. Этот факт противоречит нашей интерпретации крутизны низкочастотного спектра.

ЗС 111. Тройной радиоисточник с яркой центральной компонентой. В 1975 г. был самым ярким внегалактическим объектом неба на миллиметровых волнах. По данным сверхдальней интерферометрии [5] центральный источник имеет сложную структуру с выбросом вдоль главной оси источника в направлении северо-восточной компоненты. В 1975 г. источник отождествлен с галактикой 18 зв. вел., имеющей спектр, как у Сейфертовской галактики [36] I типа, $z=0.0485$. Интегральный спектр (рис. 10) показывает избыток излучения на сантиметровых волнах, явно связанный с центральным ядерным источником. По данным Уилса [37], центральный ядерный источник имеет как компоненту с реабсорбцией, так и оптически тонкие детали размером менее $0.3''$ со спектром, близким к обычному степенному.

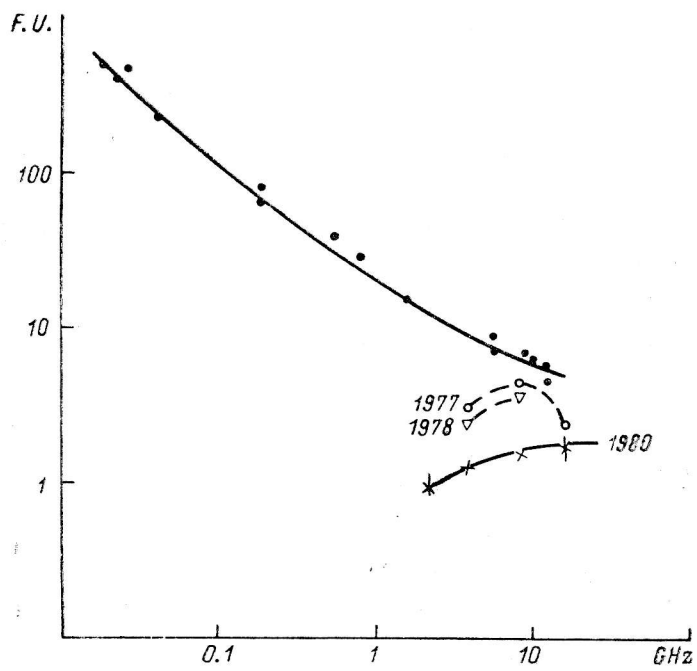
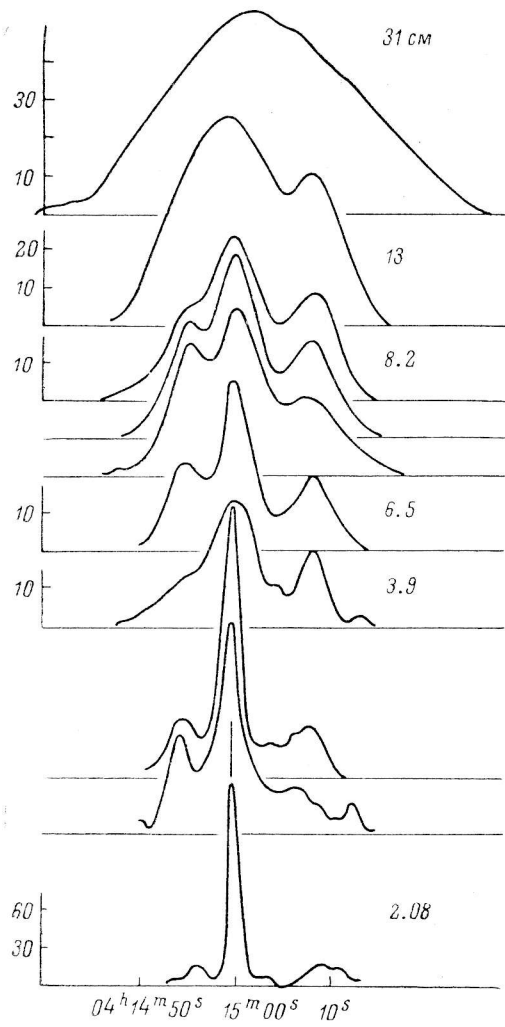
Наши наблюдения были проведены в январе 1977 г., январе 1978 г. и январе 1980 г. на северном секторе радиотелескопа РАТАН-600, а также в азимутах $30, 60, 90^\circ$ (последние измерения проводились Минченко и Наугольной для построения двумерного изображения) на частотах от 22 до 1 ГГц (всего 6 частот, причем в разные эпохи набор частот несколько отличался). Результаты наблюдений в январе 1980 г. приведены на рис. 16. Отношение интенсивностей близко к 1, в то время как спектр ядерного источника инверсионный и форма его зависит от эпохи наблюдений. Сильная деформация спектра (уплощение) и падение мощности излучения центрального источника отмечаются за последние два года. Для уточнения природы этого явления необходимы дальнейшие наблюдения этого источника с большим разрешением.

PKS 0800-09. Источник двойной с близким отношением плотностей потоков компонент. Интегральный спектр прямой (рис. 17). Уверенного оптического отождествления нет, так как источник находится в скоплении. Имеются радиоизображения на частотах 80, 408 и 5000 МГц с умеренным разрешением в несколько минут дуги [31, 2]. В компонентах зарегистрирована поляризация 6 и 7% на волне 6 см. Уолл и Кол предполагают ощутимую частотную зависимость распределения радиояркости на основании сравнения своих наблюдений с низким разрешением (4 мин дуги) с наблюдениями на 80 МГц (возможно, искажение ионосферой) с близким разрешением. Различие в структуре отмечает также Экерс [38] по данным интерферометрических измерений на частотах 468 и 1403 МГц. Скилицы и Мак-Адам [2] предполагают наличие перемычки (моста) между основными компонентами.

Наши наблюдения приведены также на рис. 17. Стрелками помечены координаты предложенных Болтоном (№ 1) и Скилицы—Мак-Адамом (№ 2) оптических объектов, отождествленных с радиоисточником. На рисунке видно, что имеется излучение между компонентами и каждая из компонент, по-видимому, имеет сложную структуру. Распределение радиояркости в компонентах говорит о более резких внешних краях и о медленном спаде интенсивности к центру источников. Интегральный поток на 3.9 и 8.2 см удовлетворительно согласуется с экстраполиро-

Рис. 16. ЗС 111.

На волне 8.2 см $\delta_{1950.0} = 37^{\circ}55'14.2, 37^{\circ}54'20.5$ и $37^{\circ}53'34''.9$ сверху вниз соответственно; 6.5 см — склонение $37^{\circ}54'20''.5$; 3.9 см — склонения $37^{\circ}55'14.2, 37^{\circ}54'20.5$ и $37^{\circ}53'34''.9$ сверху вниз соответственно; 2.08 см — склонение $37^{\circ}54'20''.5$. Справа внизу показаны также спектры точечного источника на эпохи 1977, 1978 и 1980 гг.



ванным значением. Отношение интенсивностей компонент на волнах 3.9 и 8.2 см и 31 см составляет 1.09 ± 0.06 , что находится в хорошем согласии с отношением в дециметровом диапазоне (ср. 1.06 ± 0.06). Сглаженная кривая прохождения на волне 8.2 см диаграммой в 3 мин дуги совпадает с одномерной кривой прохождения на частоте 408 МГц (с тем же разрешением), что подтверждает независимость распределения радиояркости от частоты по всему источнику, включая перемижку. Мы предполагаем, что измерения Экерса объясняются наличием крутых внешних краев источника (повышенное излучение на высоких гармониках). Размеры

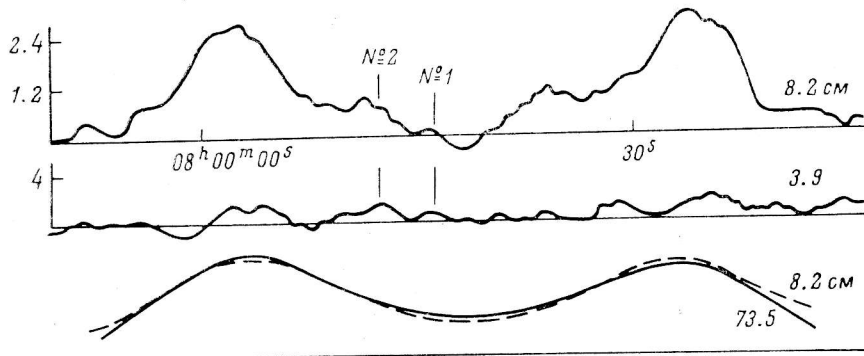
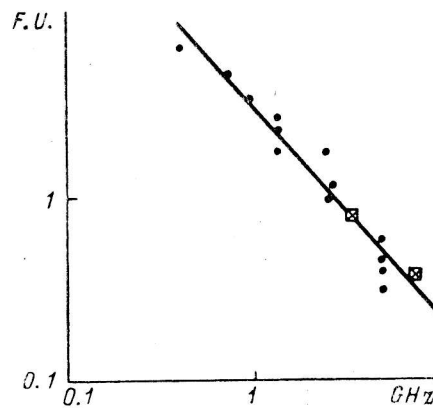


Рис. 17. PKS 0800-09.

Стрелками отмечены положения оптических объектов Болтона (№ 1) и Скилицы—Мак-Адама (№ 2) [2]. Ниже — сравнение одномерных изображений на волнах 8.2 и 73.5 см [3] (разрешение примерно $1''.9$).



компонент согласуются с данными Скилицы—Мак-Адама на 408 МГц (2.5—2.7 мин дуги). Вблизи оптического объекта, предлагаемого Скилицы—Мак-Адамом в качестве кандидата для отождествления с радиогалактикой, можно выделить деталь малого размера (существенно меньше минуты дуги), плотность потока которой около 20 мян. Вблизи объекта, предложенного Болтоном, излучение меньше 10 мян.

3С 218 (Гидра А). Этот источник имеет структуру типа «ядро—гало». Он отождествлен с сD-галактикой 16 зв. вел. Интегральный спектр прямой (рис. 18). Поляризация радиоизлучения отсутствует с точностью до долей процента.

Наши измерения проводились на трех длинах волн — 2.08, 3.9 и 6.5 см. С учетом диаграммы направленности размеры ядра источника на этих волнах совпадают и составляют по уровню половинной мощности 21—23'', что близко к размеру ядра на 21 см [1]. Что касается гало, то, согласно [1], оно составляет около 200'' и имеет плотность потока 12 мян на волне 21 см. На наших кривых прохождения (рис. 18) такого гало незаметно. Либо оно имеет большие размеры, либо поток гало спадает круто в сторону коротких волн.

ЗС 219. Двойная радиогалактика, отождествленная с сD1 галактикой 17 зв. вел. с $z=0.1745$, с выбросом под позиционным углом 120° (ортогонально оси, соединяющей компоненты). Радиоизображение детально исследовано на волнах от 3.75 до 75 см [39, 17, 32, 40, 41]. Хвосты компонент, по данным [39] Кембриджа, имеют значительно более крутой спектр, чем «головы». Наблюдательные данные по структуре источника противоречивы: наблюдения на одних и тех же частотах дают разный характер хвостов. Источник имеет сильную (до 30%) поляризацию в «мосте» [41]. Обнаружен центральный источник с плотностью потока ~ 44 мян и выброс из ядра вдоль оси источника.

Наши наблюдения приведены на рис. 19. Были получены одномерные изображения на двух склонениях, соответствующих основным компонентам источника. Интегральная плотность потока на волнах 2.08, 3.9, 8.2 и 13 см (рис. 19) удовлетворительно согласуется с опубликованными данными. Низкое значение плотности потока на волне 2.08 см связано с низкой чувствительностью к протяженным деталям объекта. На волне 3.9 см, по-видимому, регистрируется как слабый «мост» между основными компонентами, так и точечная деталь в центре с плотностью потока около 50 ± 20 мян. На волне 2.08 плотность потока от этой детали не более 70 мян. Существование «моста» на волне 3.9 см говорит о том, что его спектр не может быть очень крутым, хотя количественные оценки спектрального индекса «моста» сделать трудно. Отношение компонент (по плотности потока) составляет, по нашим данным, $\sim 0.91 \pm 0.07$ на волнах сантиметрового диапазона. Это значение следует сравнить с дециметровыми данными (0.99 ± 0.08). Таким образом, среднее отношение плотностей потоков компонент во всем диапазоне от 2 до 75 см составляет 0.95 ± 0.04 , что говорит о близости спектральных индексов радиоизлучения компонент.

ЗС 225. Источник состоит из двух неравных компонент, сильно разнесенных по склонению. Размеры компонент малы (одна меньше $3''$, другая меньше $6 \times 3''$ [32]). Каждая из компонент содержит точечный источник с размером 0.2—0.5 с дуги, плотность потока которых достигает 40—50% от интегрального потока компоненты [42]. Оптического отождествления

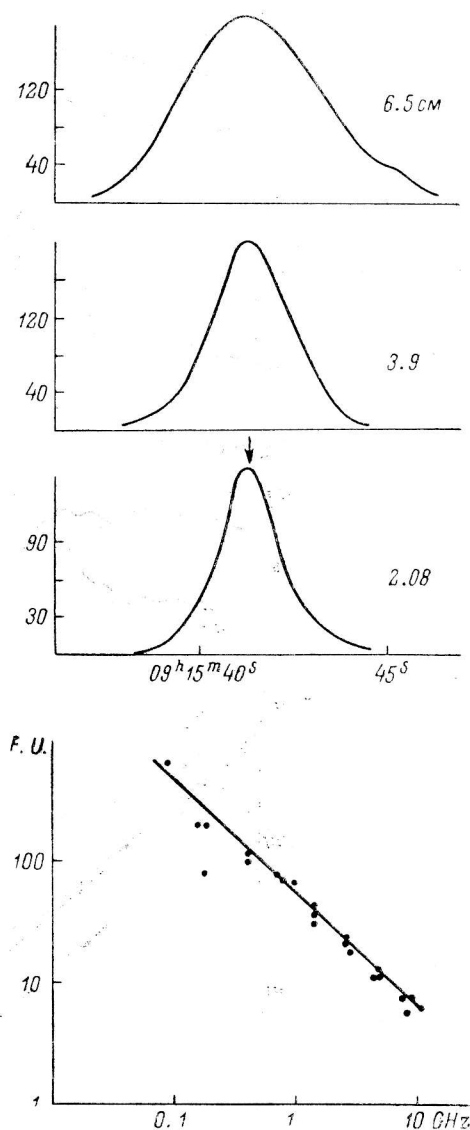


Рис. 18. ЗС 218 (Гидра А).

Стрелкой отмечено положение оптической галактики.

нет. В последние годы считается, что компоненты являются независимыми источниками, так как между ними нет никаких признаков «перемычки». Интегральный спектр близок к прямому, однако некоторые авторы,

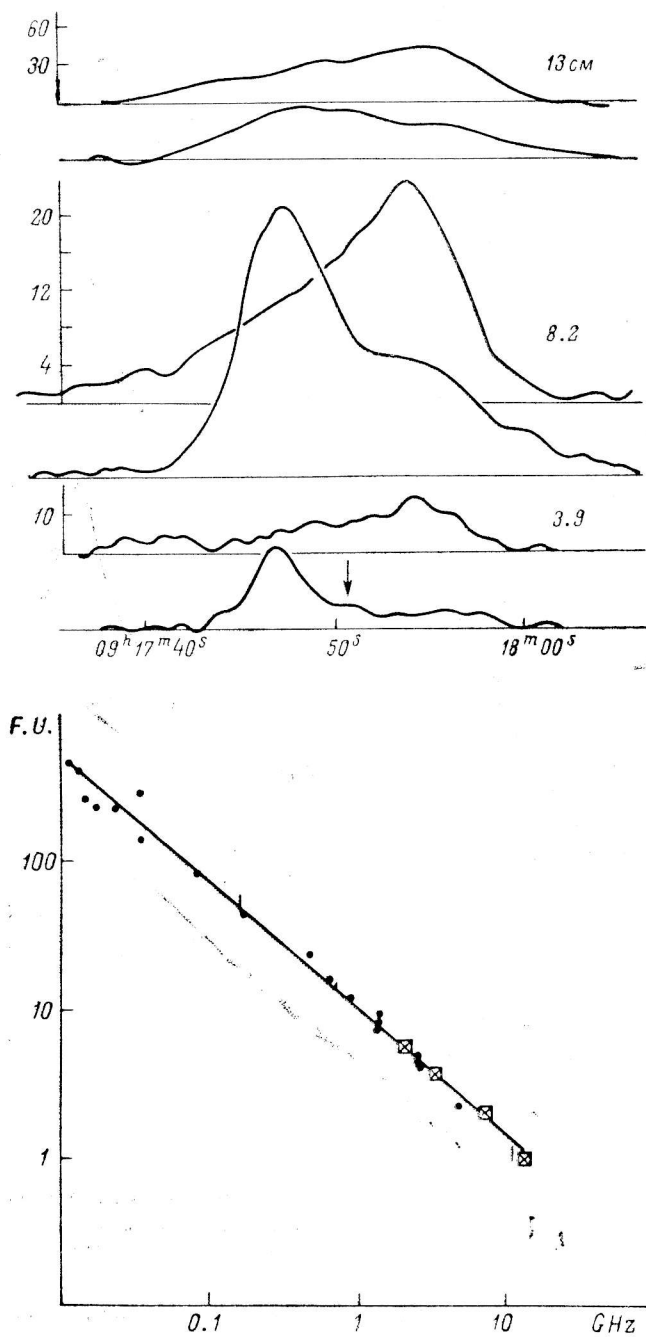


Рис. 19. 3C 219.

Верхние кривые на каждой волне соответствуют склонению $\delta_{1950.0} = 45^{\circ}52'42''.2$, нижние — $45^{\circ}50'45''$.

такие как Макдональд и др. [40], предполагают наличие в интегральном спектре излома в области частот 50 МГц. Эти авторы связывают его с частотой реабсорбции в северо-западной компоненте.

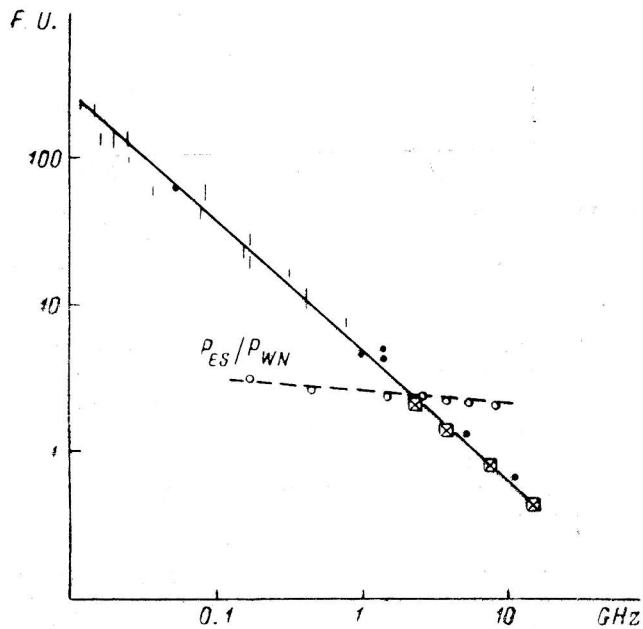
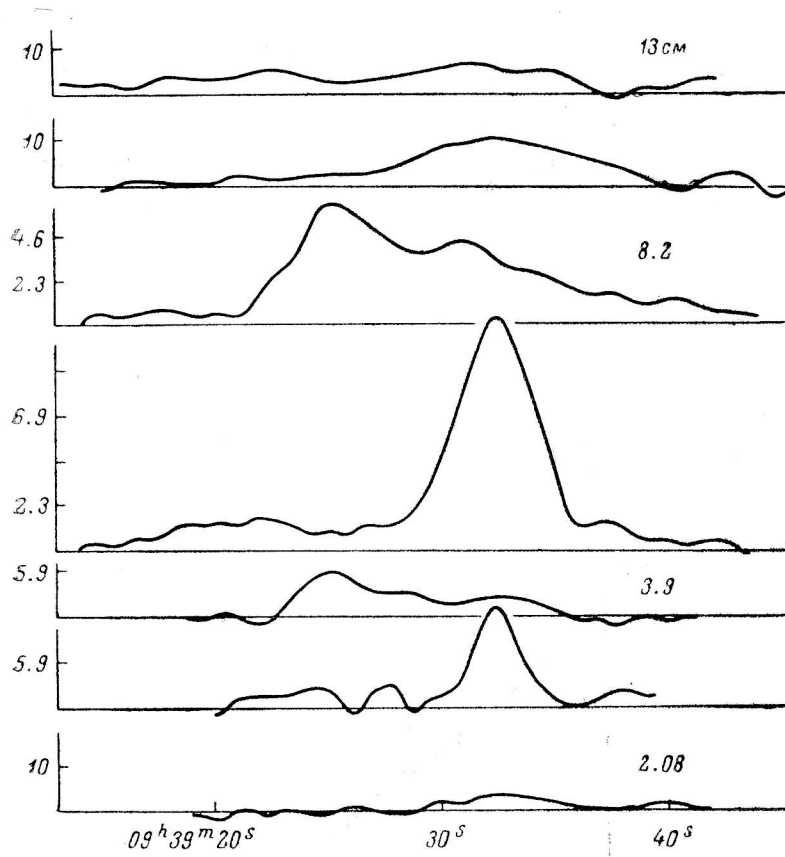


Рис. 20. 3С 225.

На волнах 13, 8.2 и 3.9 см верхние кривые соответствуют $\delta_{1955.5} = 4^{\circ}05'36''$, нижние — склонению $13^{\circ}59'35''$ для каждой длины волны, 2.08 см — склонению $13^{\circ}59'35''$. P_{ES}/P_{WN} — отношение плотностей потоков компонент юго-восточной к северо-западной.

При наблюдениях на радиотелескопе РАТАН-600 источник разрешается как по прямому восхождению, так и по склонению, поэтому было сделано два сечения источника, соответствующих склонению основных компонент источника. Диаграмма радиотелескопа РАТАН-600 имеет лепестковую структуру при внеосевых прохождении источника. Поэтому наши одномерные кривые прохождения (рис. 20) «за шумлены» лепестковой структурой от соседней компоненты. В этом цикле измерений мы не

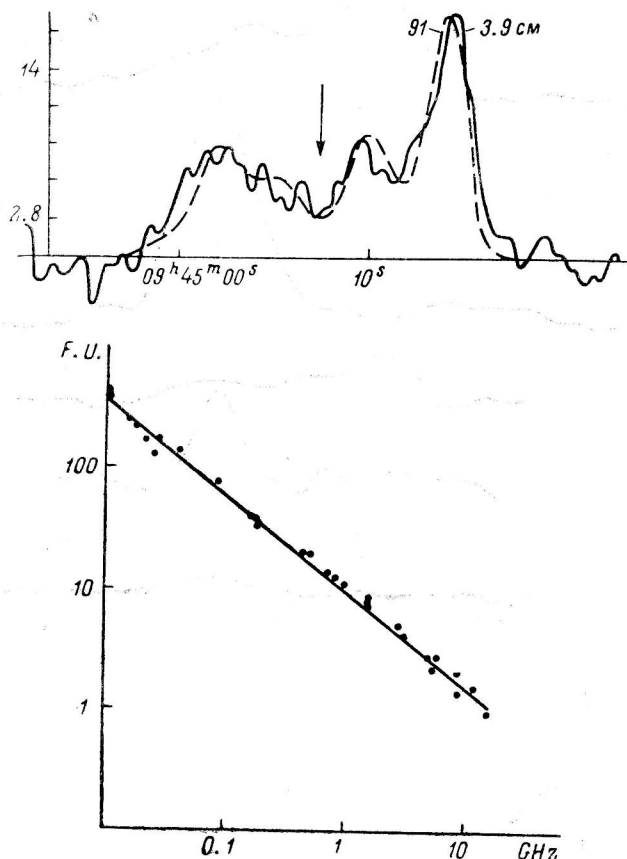


Рис. 21. Кривые прохождения ЗС 227 на волне 3.9 см и одномерное распределение радиояркости на волне 91 см.
По оси ординат — мянские/с дуги (для волны 3.9 см).

проводили «чистки» изображений, а ограничились оценкой плотностей потока компонент, предполагая их точечными для нашей диаграммы направленности. Интегральные плотности потока нанесены на рисунок. Зависимость отношения плотностей потоков компонент (восточной и западной) приведена на рис. 20 вместе со всеми опубликованными данными. Это отношение близко к 2 в коротком сантиметровом диапазоне и около 3 в метровом диапазоне, что соответствует разности спектральных индексов компонент 0.08 ± 0.01 (восточная компонента имеет более крутой спектральный индекс). Дисперсия спектральных индексов двойных радиогалактик составляет около 0.1, в то время как по нашим наблюдениям обычно для двойных радиогалактик различие спектральных индексов компонент много меньше 0.1. Это обстоятельство является дополнительным аргументом в пользу того, что компоненты физически не связаны и, следовательно, нужно искать оптически отождествляемый объект вблизи компонент *A* и *B* отдельно.

ЗС 227. Радиоисточник имеет сложную структуру: с низким разрешением он выглядит как двойной с неравными компонентами [1], с более высоким разрешением видна новая деталь между компонентами (ближе к восточной компоненте), западная компонента также имеет сложную структуру. По наблюдениям покрытий на 327 МГц [43] Йоши и Гопал-Кришна построили модель источника в метровом диапазоне волн. Эта модель, по мнению этих авторов, несколько отличается от модели Фомалонта на 21 см [1]: спектр яркой *E*-компоненты более крутой, чем у западной компоненты (спектральный индекс отличается на 0.2). Силстад — Вайлер [44] отмечают отличие спектра детали, расположенной вблизи центра источника, от спектров других компонент. Источник отождествлен с *N*-галактикой с $M=17.0$ зв. вел. и $z=0.085$. Имеются наблюдения на волне 0.36—3.5 мкм [45], которые дают плотность потока выше, чем величина, экстраполированная из радионаблюдений. Избыток излучения авторы этой работы связывают с активностью ядра *N*-галактики, хотя радиоизлучения на месте этой галактики не обнаружено. Интегральный спектр хорошо изучен — он прямой (рис. 21).

Наши наблюдения 1975 г. на волне 3.9 см приведены на рис. 21. На этом же рисунке нанесены одномерные распределения радиояркости на частоте 327 МГц [43] при позиционном угле 90° . Как видно из рисунка, согласие одномерных изображений на волнах 92 и 3.9 см прекрасное. Отсюда следует, что все указанные выше оценки разности спектральных индексов компонент ошибочны. Спектральный индекс по источнику меньше, чем на 0.015. Это относится ко всем компонентам источника. Мы попытались по разности одномерных изображений на частотах 327 и 7700 МГц обнаружить радиоизлучение от оптического объекта, предполагая, что он имеет более плоский спектр (учитывая данные на 0.36 мкм). На месте оптической галактики радиоизлучение на волне 3.9 см отсутствует с точностью 20 мян, т. е. составляет менее 1% от интегральной плотности потока на этой волне.

ЗС 234. Источник двойной с отношением компонент, близким к 2. По измерениям в Кембридже на частотах 2.7, 5 и 15 ГГц между основными компонентами обнаружен точечный источник, совпадающий с голубой *N*-галактикой 17.5 зв. вел., $z=0.1846$, лежащей на северном краю малой группы из 5 галактик [17]. Основные компоненты имеют четко выраженные горячие пятна, с которыми связана значительная часть радиоизлучения компонент. Интегральный спектр прямой (рис. 22).

Наши измерения приведены на рис. 22. Источник достаточно хорошо разделяется на волне 3.9 см, частично разрешается на волне 8.2 см, на волне 2.08 см данные неуверенные. Спектры компонент приведены на рис. 22 (по всем данным, включая наши измерения). Отношение плотностей компонент составляет в среднем 2.03 ± 0.1 . Различия в спектральных индексах компонент не обнаружено. Центральный источник достаточно уверенно регистрируется на волне 3.9 см с плотностью потока 0.09 ян. Мы считаем, что на волне 2.08 см этот источник также зарегистрирован, однако плотность его потока определена крайне неуверенно. Отметим, что спектр центральной детали плоский в диапазоне от 2 до 11 см (спектральный индекс равен 0).

ЗС 264. Радиоисточник имеет яркое ядро и несимметричное более слабое гало. По данным на различных частотах, собранных у Портовера [46], размеры источника меняются с частотой. Вблизи максимума радиоизлучения имеются две галактики 12.7 зв. вел. (*DE*-галактика NGC 3862, $z=0.0206$) и 14 зв. вел., имеющих общую оболочку и находящихся в скоплении Абея А 1367. На волнах 6.18 и 370 см обнаружен точечный источник размером $<1''$, в котором содержится от 10 до 25% интегрального потока, спектральный индекс этого источника 0.8—1.0. В области источника обнаружено свечение в рентгене. Интегральный спектр с изломом (рис. 23); он становится более крутым на низких частотах и по

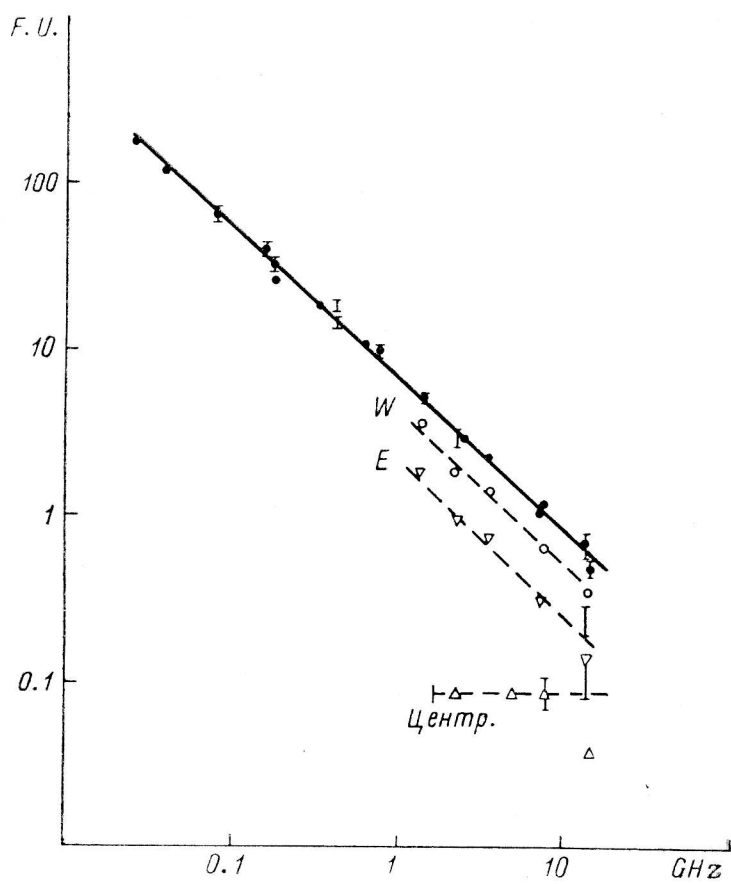
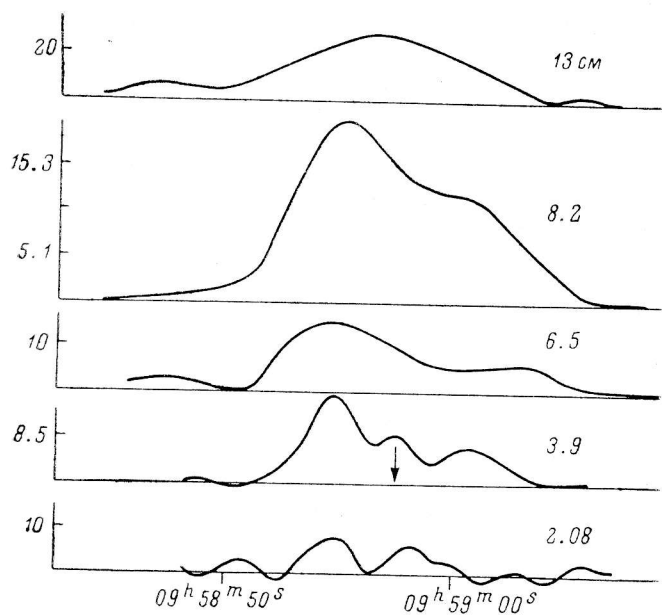


Рис. 22. ЗС 234.

W, E — спектры компонент.

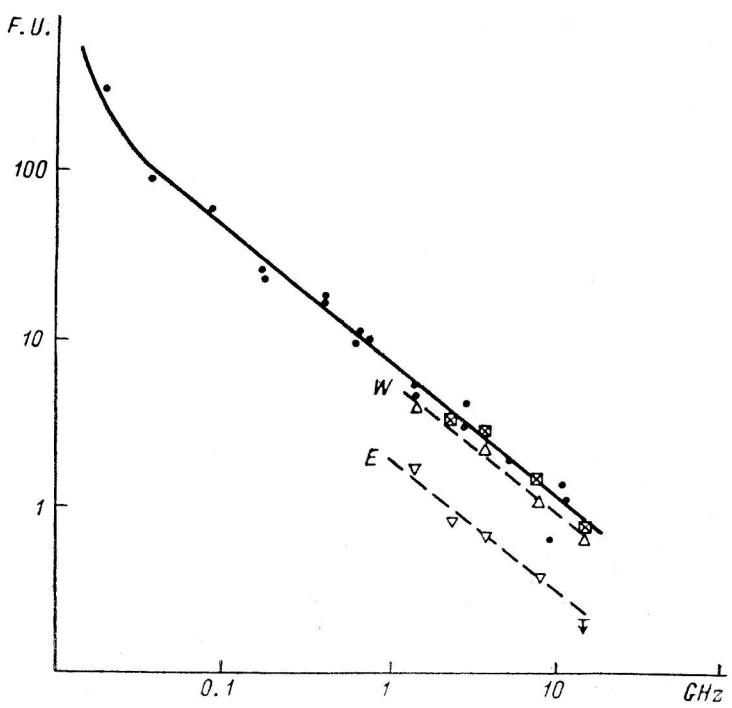
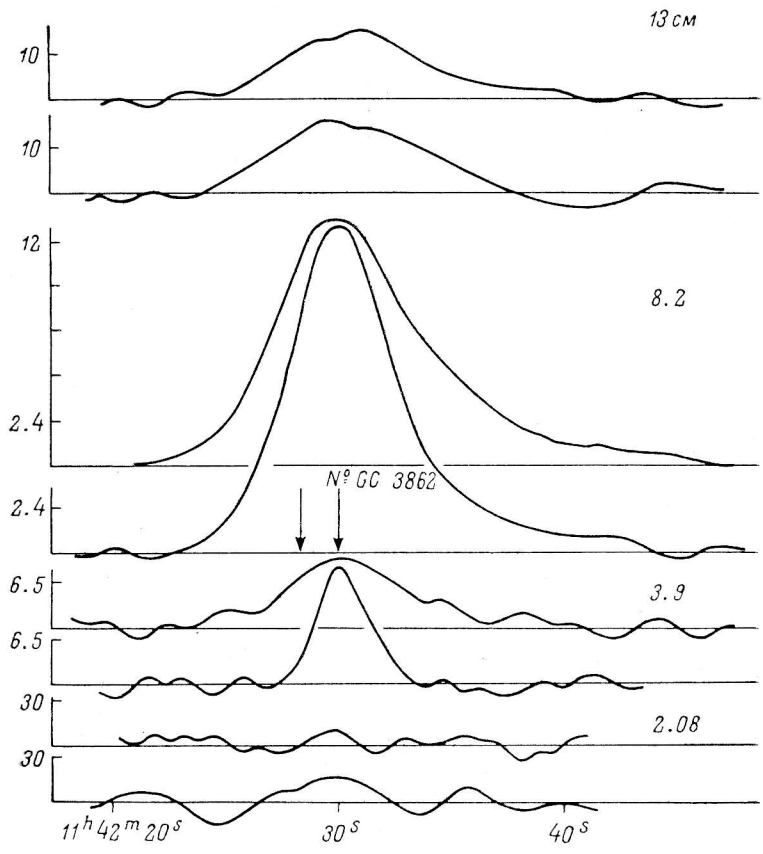


Рис. 23. 3C 264.

Верхние кривые соответствуют $\delta_{1950.0} = 19^{\circ}55'20''$, нижние — склонению $19^{\circ}53'23''$. Стрелками помечены положения оптических объектов: NGC 3862 и его компаньона. W, E — спектры западной и восточной компонент; \boxtimes , ∇ , \triangle — наши измерения.

некоторым данным [46] более плоским на сантиметровых волнах. Учитывая свечение в рентгене, Нортвер построил модель источника в рамках «bubble» модели.

Наши наблюдения проведены на двух углах места, так как источник вытянут по склонению (рис. 23). На наших кривых «гало» с трудом отделяется от основной яркой компоненты. Наши оценки интегральных плотностей потоков, а также плотностей потоков для яркого источника и «гало» приведены на рис. 23. Из этого рисунка следует, что спектральный индекс в пределах ошибок не отличается от спектрального индекса яркой компоненты. На всех волнах наблюдаемый эффективный гауссовый размер яркого источника ~ 0.5 мин дуги, а размер гало $\sim 1.7 \pm 0.2$ мин дуги. Таким образом, мы не обнаружили частотной зависимости размеров яркой детали во всем сантиметровом диапазоне волн. Нам кажется, что частотная зависимость размера источника на более длинных волнах требует подтверждения. Так как плотность потока яркого источника на волне 2.08 см хорошо согласуется с экстраполированным значением, мы считаем, что никакого уплощения спектра на высоких частотах в настоящее время не наблюдается. В то же время наши наблюдения не противоречат наличию точечного источника в яркой компоненте с плотностью потока 10—20% от интегрального потока.

ЗС 267. Источник двойной с отношением плотностей потоков компонент 1.7 на волне 21 см [41]. Расстояние между компонентами $37''$, размеры компонент $10 \times 40''$. В источнике имеется компактная деталь размером 0.2 , которая содержит около 30% общего потока на частоте 430 МГц. Оптическое отождествление неуверенное, Верон [47] предложил отождествление со слабым красным объектом 20 зв. вел., расположенным вблизи центра западной компоненты. Интегральный спектр имеет излом в районе 1 ГГц (рис. 24).

Наши наблюдения представлены на рис. 24. Источник не разрешается на волнах 8.2 и 13 см, и, по-видимому, слегка разрешается на волне 3.9 см. Интегральные плотности потоков нанесены на рис. 24. Оценки плотностей потоков компонент неуверенны: западная компонента имеет плотность потока 0.35 ± 0.07 , восточная — 0.1 ± 0.07 ян. Спектры компонент несколько различны и, хотя этот вывод нуждается в подтверждении, не исключено, что источник следует отнести к типу «голова—хвост».

ЗС 270. Известный двойной радиоисточник, отождествленный с галактикой типа E3 NGC 4261 в скоплении Дева, 11.7 зв. вел., $z=0.007$. Обнаружена сильная поляризация, доходящая до 50% в перемычке между компонентами. В радиодиапазоне имеется источник малых угловых размеров с плотностью потока 0.5 ян на волне 2 см [48], 0.3 ян на волне 2.8 см [19], 0.41 ян на волне 3.75 см [26] и менее 0.3 ян на волне 6 см [26]. Интегральный спектр (рис. 25) практически прямой с возможным укрупнением к коротким волнам.

Наши наблюдения представлены на рис. 25. Источник имеет близкую структуру на всех волнах. Точечный источник с сильно отличающимся спектром хорошо виден на волне 3.9 см, заметен на 2 см и едва просматривается на 8.2 см. Плотность потока точечного источника по нашим данным: 0.2, 0.23, < 0.084 и < 0.13 ян на волнах 2.08, 3.9, 8.2 и 13 см соответственно. Обращает на себя внимание завал спектра на волнах длиннее 3.9 см, что может быть связано как с реабсорбцией, так и с поглощением в ядре E3 галактики. Возможно, что изменение формы спектра центрального источника с эпохой (рис. 25) не является реальным, а отражает разнородность материала. Сравнение наших одномерных изображений с самыми низкочастотными (160 МГц) [3] показывает, что отношение плотностей потоков компонент сохраняется постоянным с точностью до 3% в диапазоне от 2 см до 2 м. Мы попытались найти вариации спектрального индекса по источнику по данным наблюдений на волнах 3.9

и 8.2 см. Оказалось, что спектральный индекс постоянен по источнику с точностью 0.02 (среднеквадратическое значение).

ЗС 278. Источник относится к двойным источникам с большим отношением плотностей потоков компонент [1], отождествлен с близкой парой галактик NGC 4782-4783, 13.2 и 13.6 зв. вел., окруженной общей оболочкой, $z=0.0143$. В спектре этих галактик наблюдаются эмиссионные линии. Эта пара галактик расположена примерно на 0.5 к югу от линии,

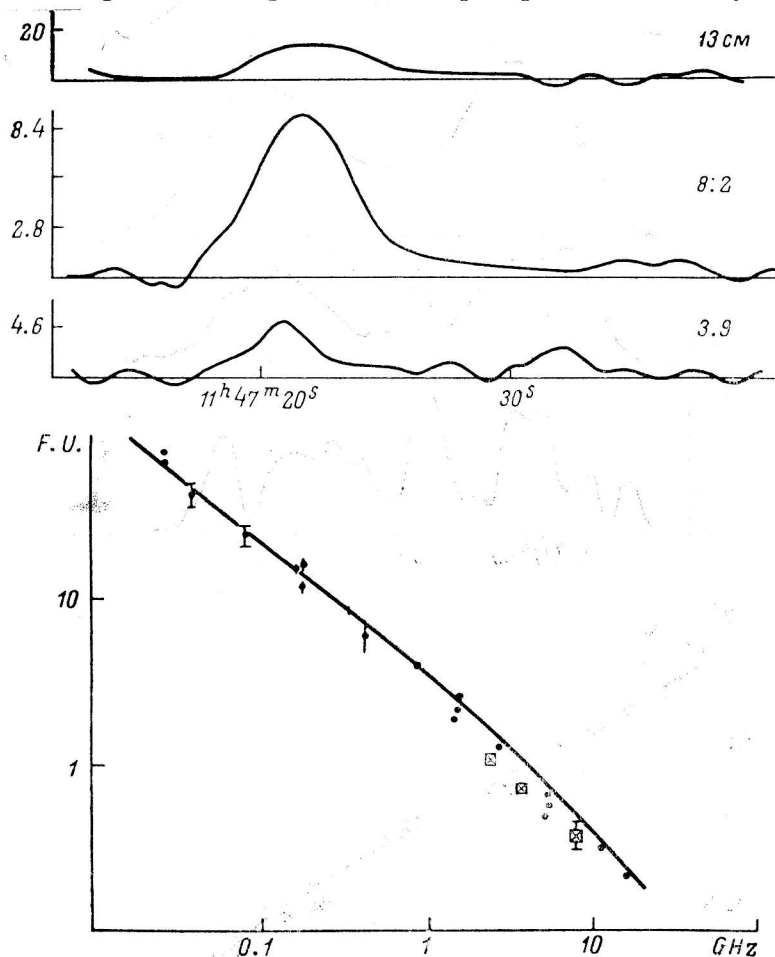


Рис. 24. ЗС 267.

соединяющей компоненты источника. Несмотря на наличие ионизированного газа в оболочке, деполяризация радиоизлучения не обнаружена [49]. Интегральный спектр слегка искривлен с небольшим уменьшением спектрального индекса в сторону низких частот (рис. 26).

Наши наблюдения представлены на рис. 26. Интегральные плотности потоков на волнах 3.9, 6.5 и 8.2 нанесены на рис. 26. Источник хорошо разрешен на волне 3.9 см и частично разрешен на волне 8.2 см. Отношение плотностей потоков компонент около 3. Размеры компонент по нашим данным составляют 42'' для западной и 70'' для восточной компонент в прекрасном согласии с наблюдениями Фомалонта [1]. Центральный источник нами не обнаружен, плотность его потока не превышает 30 мян (на месте оптической галактики).

Центавр А. Один из самых известных источников южного неба. Подробно изучен на дециметровых волнах в Австралии [50], отождествлен с NGC 5128 (ближайшая радиогалактика). Этот объект является одним

из первых объектов, исследованных с помощью радиотелескопа РАТАН-600 в сантиметровом диапазоне волн (2.08, 3.9 и 6.5 см) [51]. Спектр двойного ядерного источника приведен на рис. 27.

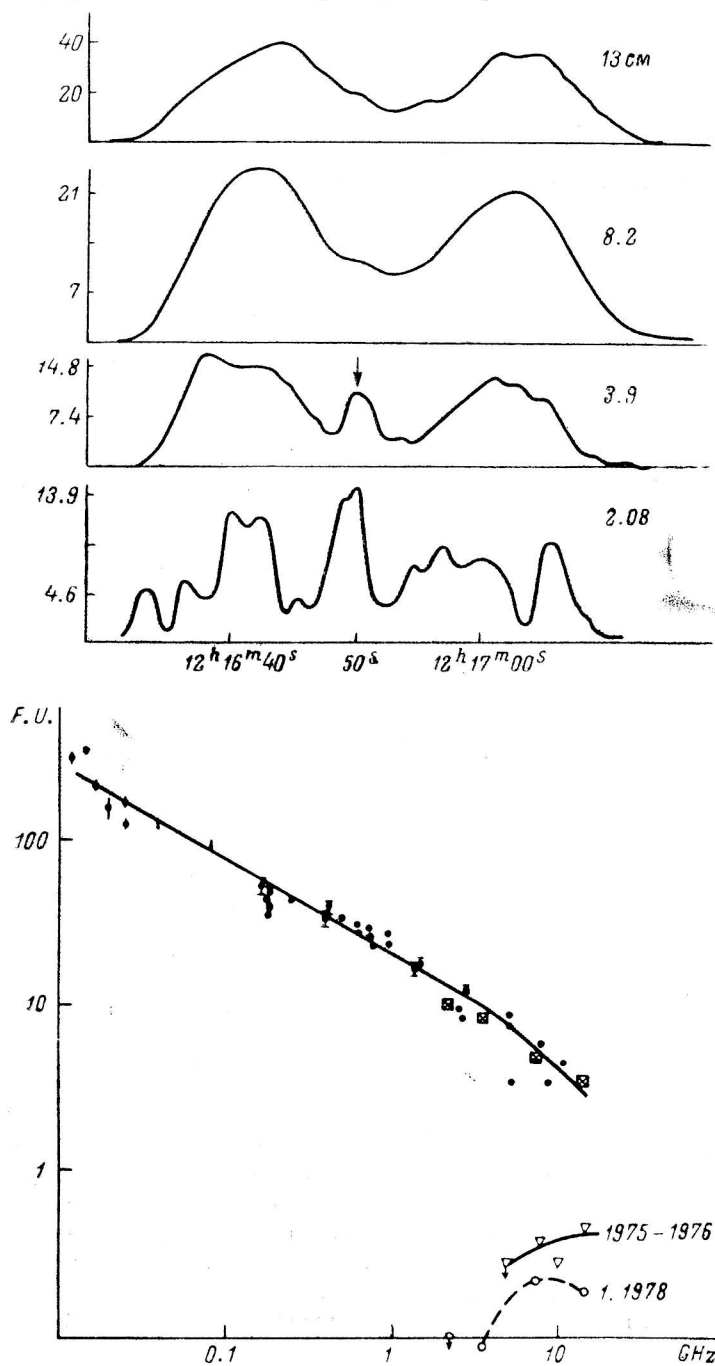


Рис. 25. 3C 270.

Стрелкой отмечено положение NGC 4261. Справа внизу — спектр центрального точечного источника на эпохи 1975—1976 гг. и 1.1978.

Первые наблюдения на радиотелескопе РАТАН-600 показали подобие одномерных радиоизображений на всех волнах, наличие «моста» между компонентами, по этим наблюдениям с привлечением других данных был

построен спектр ядерной точечной компоненты на эпоху 1975 г. Новые наши наблюдения проводились в январе 1980 г. на волнах 1.38, 2.08, 3.9, 8.2 и 31 см (рис. 27). Они подтвердили основные выводы прежних наблюдений. В этих измерениях удалось точнее оценить спектр «моста», который в пределах ошибок не отличается от спектра основных компонент двойного ядерного источника. На всех волнах от 31 см вплоть до 3.9 см зарегистрирована внешняя северная протяженная компонента источника, однако

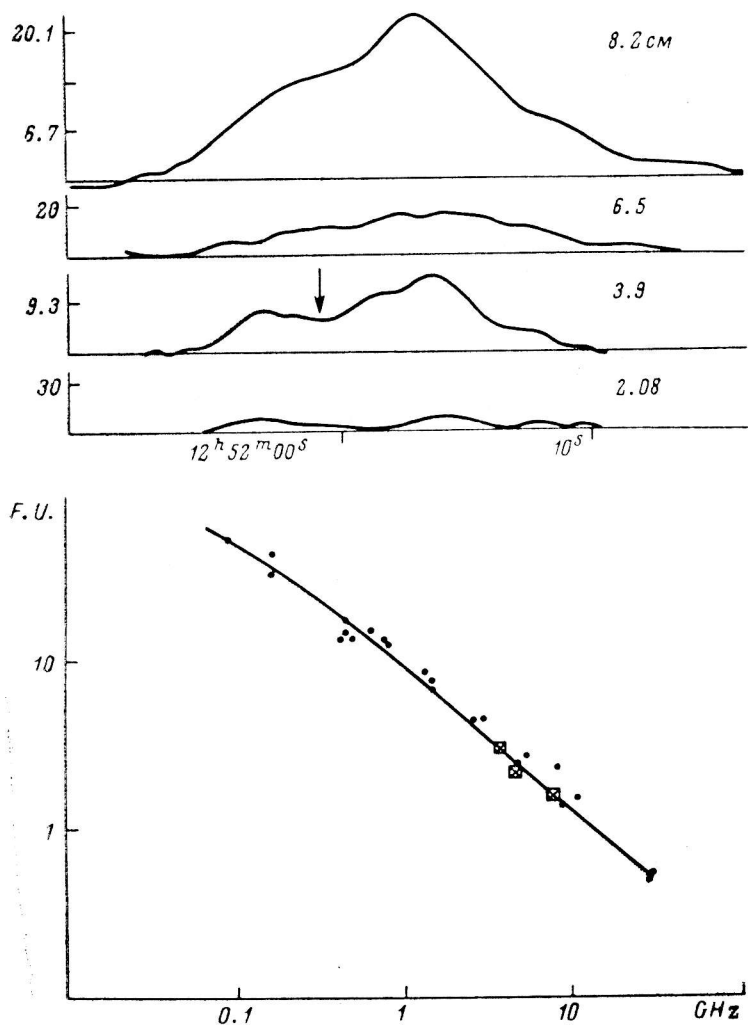


Рис. 26. 3C 278.

количественные оценки сделать трудно в связи с низкой высотой источника над горизонтом и большой протяженностью этой компоненты. Был построен мгновенный спектр ядерного точечного источника на эпоху 1.1980 (рис. 27), который близок к спектру 1975 г. Хотя специальные поляризационные измерения в этом цикле наблюдений не проводились, зарегистрировано изменение формы источника при наблюдении с различными плоскостями принимаемой поляризации.

PKS 1332-33. В ранних работах 1964—1970 гг. [52, 53] источник считался тройным с близкими плотностями потоков компонент. Отождествлен с IC 4296, 11.9 зв. вел., $z=0.0129$. При больших экспозициях изображение оптического объекта достигает $160''$ [54]. Госс и др. [54] обнаружили, что центральный источник двойной с разнесением компонент $2'$.

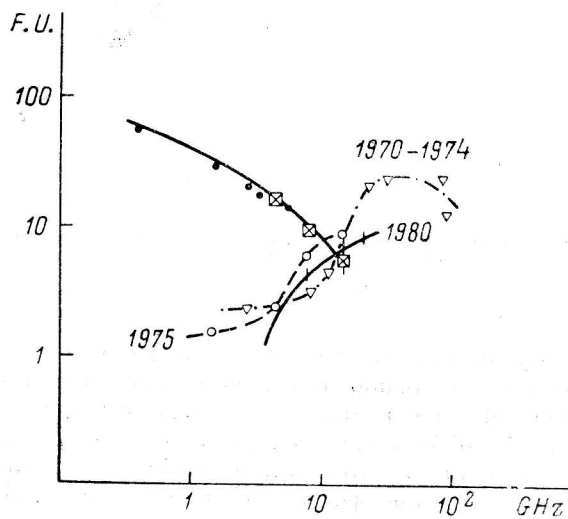
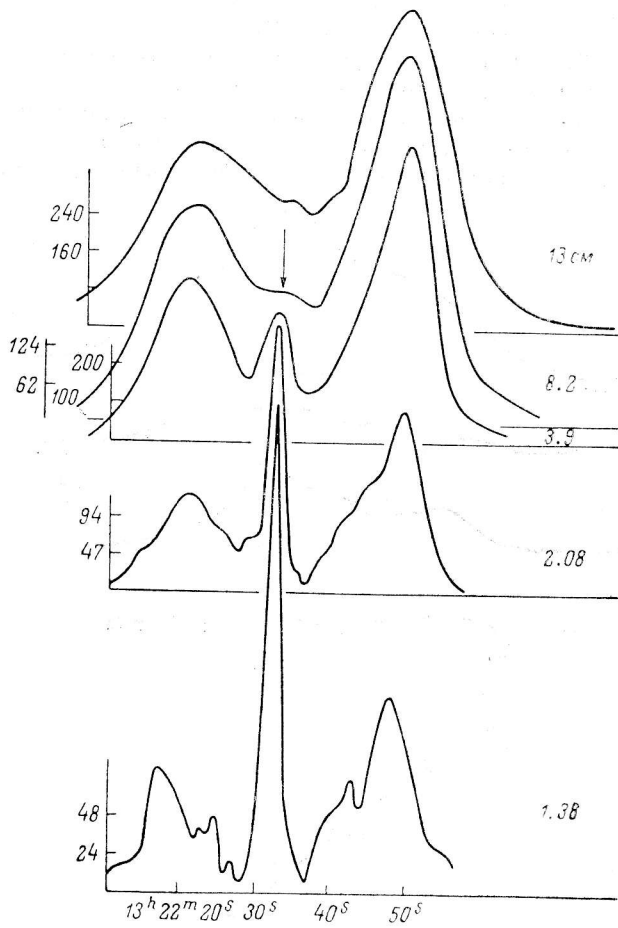


Рис. 27. Центавр А.

Стрелкой отмечено положение NGC 5128. Внизу помимо интегрального нанесены спектры точечного центрального источника на три эпохи наблюдений: 1975 г., 1970—1974 гг., 1980 г. — наши измерения плотности потока точечного источника на эпоху 1.1980.

Имеются радиоизображения источника на волнах 21 и 75 см с разрешением 0.9 и 2.8 мин дуги соответственно, которые показывают сильную деформацию юго-восточной компоненты; ее вытянутость перпендикулярна к большой оси источника. В работе Госса и других отмечается неразрешенность западной границы источника и точечный источник (по частному сообщению Скилицы) с плотностью потока 0.15 ян на волнах 11 и 3.75 см (интерферометр со сверхдлинными базами). Источник сильно поляризован, магнитное поле перпендикулярно к большой оси источника.

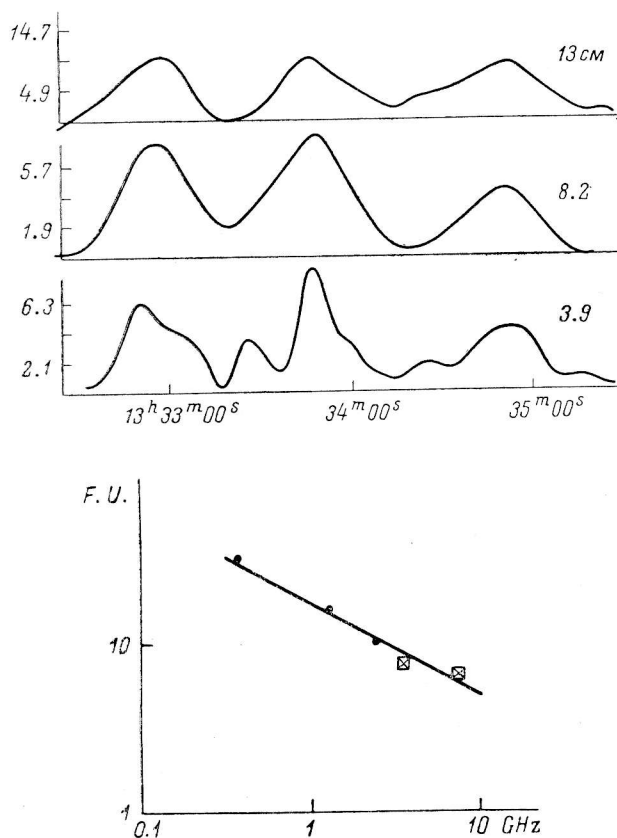


Рис. 28. PKS 1332-33.

Интегральный спектр плохо изучен (рис. 28), спектральный индекс 0.56.

Наши измерения проведены на трех длинах волн: 3.9, 8.2 и 13 см (рис. 28). Наилучшее отношение сигнал/шум на волне 8.2 см. С разрешением около 1 мин дуги на этой волне мы видим три компоненты источника, перемижку между ними, имеется также указание на двойственность центральной и восточной компонент источника. На волне 3.9 см (разрешение 32'') центральный источник четко разрешается на две компоненты неравной интенсивности (отношение плотностей потоков ~ 3). Однако расстояние между ними составляет около 4 мин дуги. Положение максимума восточной компоненты центрального источника хорошо согласуется с положением оптической галактики IC 4296. Однако на наших записях не проявляется двойственность этой восточной компоненты, отмеченная Госсом и др., несмотря на более высокое разрешение. Угловой размер этой компоненты составляет 2.4 мин дуги, что близко к размеру оптического объекта, полученному с большими экспозициями. Мы не заметили присутствия точечного объекта с плотностью потока больше, чем 0.05 ян.

На волне 3.9 см внешние компоненты разрешаются на субкомпоненты. С нашей разрешающей способностью западный край источника полностью разрешен в отличие от данных Госса и др. Кривые прохождения на всех волнах (3.9, 8.2 и 13 см) близки, что свидетельствует о близости спектрального индекса всех компонент. Отметим также, что сравнение наших плотностей потоков с плотностями потоков на 408 МГц говорит о том, что спектральные индексы компонент около 0.57 в диапазоне частот от 408 до 7700 МГц.

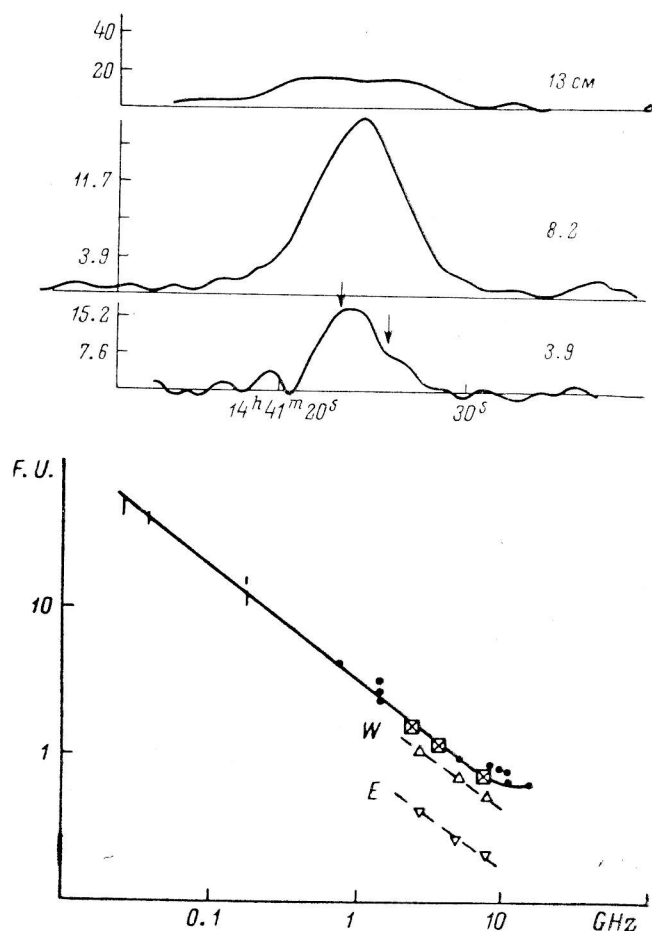


Рис. 29. 3C 303.

W и *E* — спектры компонент; \square , ∇ , \triangle — наши измерения.

3C 303. Радиоисточник состоит из двух компонент. Физическая связь между компонентами многократно обсуждалась в литературе [55]. Каждая компонента имеет яркое компактное ядро, восточная компонента содержит деталь, неразрешенную с помощью сверхдальной интерферометрии (5 ГГц [55]), совпадающей по положению с N-галактикой. Из восточной компоненты в обе стороны идут два выброса, один из которых приблизительно направлен в сторону западной компоненты. Это обстоятельство является обычно основным аргументом за физическую связь *E*- и *W*-компонент. Источник имеет очень разные поляризационные свойства компонент и, возможно, спектральные характеристики. Так, по данным Кембриджа [32], спектральные индексы компонент равны 0.7 и 0.8 соответственно. Кронберг [55] предположил, что каждая компонента свя-

зана со своим оптическим объектом с существенно разными свойствами и красным смещением 0.144 и 1.57, и, тем не менее, компоненты физически связаны.

Наши наблюдения представлены на рис. 29. Источник частично разрешается на волне 3.9 см. На этой волне отношение компонент 2.5 в хорошем согласии с данными Кембриджа.

Наши значения интегральных плотностей потоков на волнах 3.9, 8.2 и 13 см нанесены на спектр (рис. 29). Там же отложены плотности потоков от отдельных компонент вместе с данными Кембриджа. Мы не заметили сильного различия в спектральных индексах компонент. На волне 3.9 см значение интегральной плотности потока, полученное нами, практически не отличается от экстраполированного значения по более длинным волнам. По-видимому, инверсионный спектр, если он и существует, проявляется на более высоких частотах.

PKS 1449-13. Источник двойной с близким отношением плотностей потоков компонент. На расстоянии нескольких минут дуги к юго-востоку расположен третий источник, который обычно считается физически не связанным с двойной радиогалактикой. Радиогалактика отождествлена с Е-галактикой 17 зв. вел., расположенной между компонентами двойного источника. Самая высокая частота, на которой имеется радиоизображение, 21 см [1]. Интегральный спектр прямой от 1.4 до 80 МГц с возможным завалом на более высоких частотах. Отметим, что по наблюдениям 1971 г. на частоте 1425 МГц [1] восточная компонента вытянута поперек большой оси источника.

Наши наблюдения приведены на рис. 30. Источник уверенно разрешается на волнах 8.2 и 13 см, на этих волнах обнаружен также соседний (юго-западный) источник (объект *C* по терминологии [1]). На волне 3.9 см уверенно регистрируется только источник *C*. Полученные нами интегральные потоки на частотах наблюдения нанесены на рис. 30. Среднее отношение компонент двойного источника в диапазоне 8.2—190 см равно 1.3 ± 0.15 . Кривые прохождения на волне 8.2 см и одномерная кривая прохождения на волне 21 см (Фомалонт) близки, что говорит о малой частотной зависимости радиоизображения. Размеры компонент по прямому восхождению на волне 8.2 см: *E*-компонента — 1.7 мин дуги, западная — около 1 мин дуги. Отметим, что в [1] восточная компонента по прямому восхождению уже западной. Если считать, что размеры компонент по склонению на 21 см: западной — меньше 50'' и восточной — 70'' [1], то с учетом наших размеров по прямому восхождению особенность в форме источника (см. выше) исчезает — компоненты вытянуты вдоль прямой, соединяющей их. По нашим измерениям с учетом наблюдений [1] мы построили спектр близлежащего источника *C* (рис. 30). Его спектральный индекс 0.55 и на 0.34 отличается от спектрального индекса двойного источника. Это подтверждает предположение Фомалонта [1] об отсутствии физической связи между этими источниками.

PKS 1514-00. Фомалонт [1] классифицирует объект как тройной с ярким центральным источником, отождествленный с Е-галактикой 17 зв. вел. Относительная интенсивность внешних компонент близка к 1, а угловые размеры всех компонент составляют примерно 50''. Интегральный спектр источника (рис. 31) уплощается в сторону высоких частот.

Наши наблюдения приведены на волнах 1.38, 2.08, 3.9 и 8.2 см (рис. 31). Для сравнения с опубликованными изображениями мы провели стрип-интегрирование изофот на 21 см [1] и получили одномерные изображения, близкие к наблюдениям на волне 8.2 см всюду, за исключением центральной части источника. Центральный источник на волне 8.2 см значительно ярче, чем в [1], и имеет размеры много меньше. На волне 3.9 см отчетливо виден точечный центральный источник (размеры меньше 5'') и с трудом прослеживаются компоненты *A* и *C* (терминология [1]).

На волне 2.08 см виден только точечный источник (размеры меньше $3''$). Его можно заметить на волне 1.38 см. Спектр точечного источника нанесен на рис. 31. Источник имеет высокую частоту перегиба, выше 22 ГГц, и, по-видимому, уплощение интегрального спектра к высоким частотам происходит из-за вклада этого точечного источника. Мы выделили точечный источник из изображения Фомалонта и нанесли плотность его потока на рис. 31. Нам кажется, что модель Фомалонта неверна: так, интенсивность моста между компонентами должна быть выше. При этом центральный источник становится точечным и плотность его потока упадет.

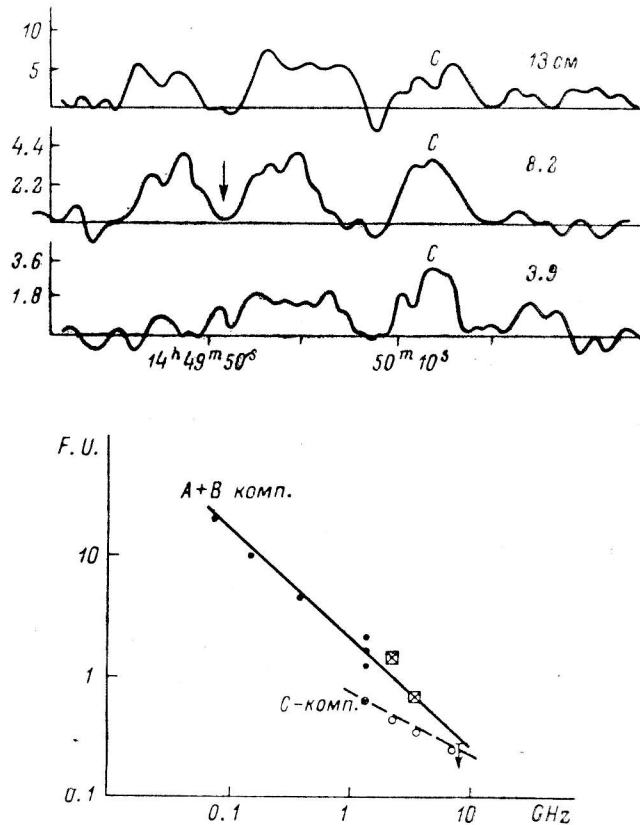


Рис. 30. PKS 1449-13.

Отмечен источник С (терминология [1]). А+В, С — интегральные спектры компонент; \otimes , \circ — наши измерения.

ЗС 321. Двойной источник с очень разными компонентами (отношение плотностей потоков 6 : 1). Оптическое отождествление неуверенное. Вблизи радиоисточника только объекты слабее 18.5 зв. вел. Радиоспектр прямой. Источник сильно поляризован в дециметровом диапазоне.

Наши измерения приведены на рис. 32. В связи с большим разнесением компонент по склонению мы проводили наблюдения на двух склонениях, соответствующих склонениям компонент. Без чистки изображения мы не смогли уверенно определить изображение этого объекта. Интегральные плотности потоков приведены на рис. 32. Восточная деталь доминирует на всех волнах и имеет малые угловые размеры (менее $0'.2$). Западная компонента значительно слабее восточной на всех наших волнах. Мы оценили отношение плотностей потоков компонент (P_E/P_W), которое оказалось равным 5.7, 5.8, 5.9 на волнах 3.9, 8.2 и 13 см соответственно. Это отношение лишь на немного отличается от отношения, опре-

деленного в дециметровом диапазоне волн (6.2 на волне 21 см [1]). Однако все измерения недостаточно надежны для выявления различия спектральных индексов компонент. Размер западной компоненты близок к 1/6, причем на внешней стороне ее, по-видимому, регистрируется горячее пятно. Наконец, отметим слабую (60 мян) деталь между компонентами,

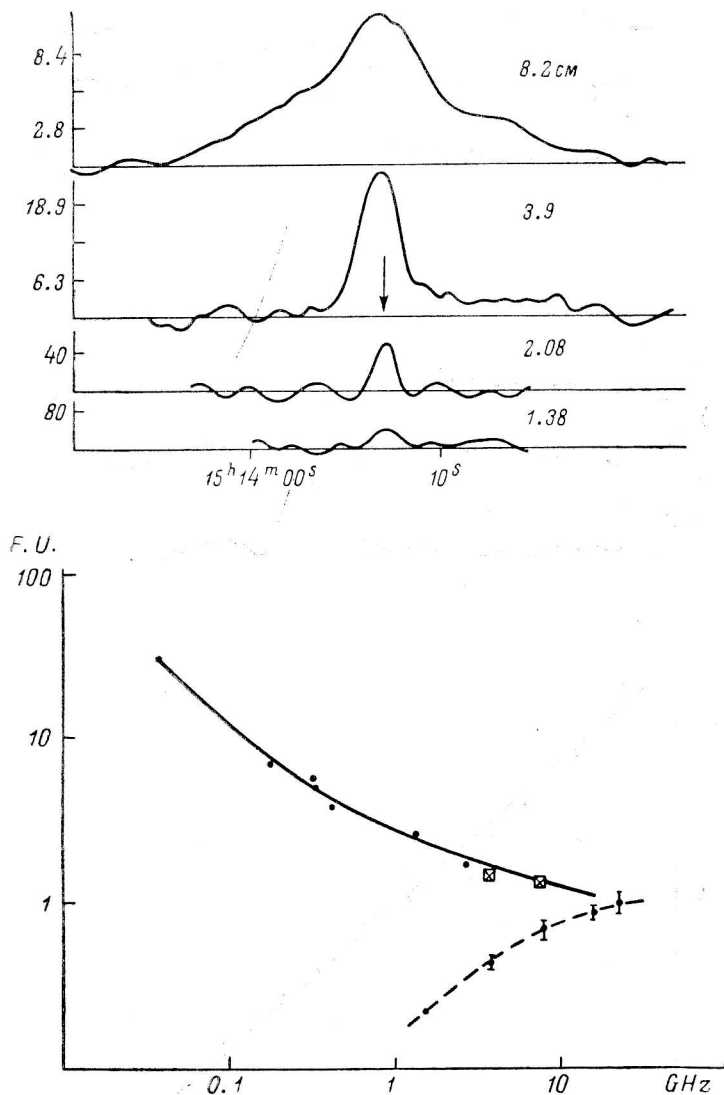


Рис. 31. PKS 1514-00.

Штриховая линия — спектр центральной точечной компоненты.

которая, впрочем, может быть лепестком от внеосевого изображения яркой детали. В целом наши радиоизображения на сантиметровых волнах близки к изображению на дециметровых волнах с умеренным разрешением [1], хотя размеры компонент у нас резко различны, а в [1] почти одинаковы.

ЗС 323.1. Источник двойной с неравными компонентами и ядерным источником, плотность потока которого составляет ~ 80 мян на частоте 5 ГГц [32]. Структура изучена в Кембридже на частотах 5 и 2.7 ГГц [32] с помощью 5-км телескопа. На частоте 1.67 ГГц [16] плотность потока от компоненты с размерами меньше 0.1 составляет < 0.15 ян. Радио-

источник отождествлен с квазаром, $M=16$ зв. вел., $z=0.264$. Интегральный спектр прямой (рис. 33).

Наши наблюдения приведены на рис. 33 (средние кривые, полученные по наблюдениям на двух углах места). Источник плохо разрешается на

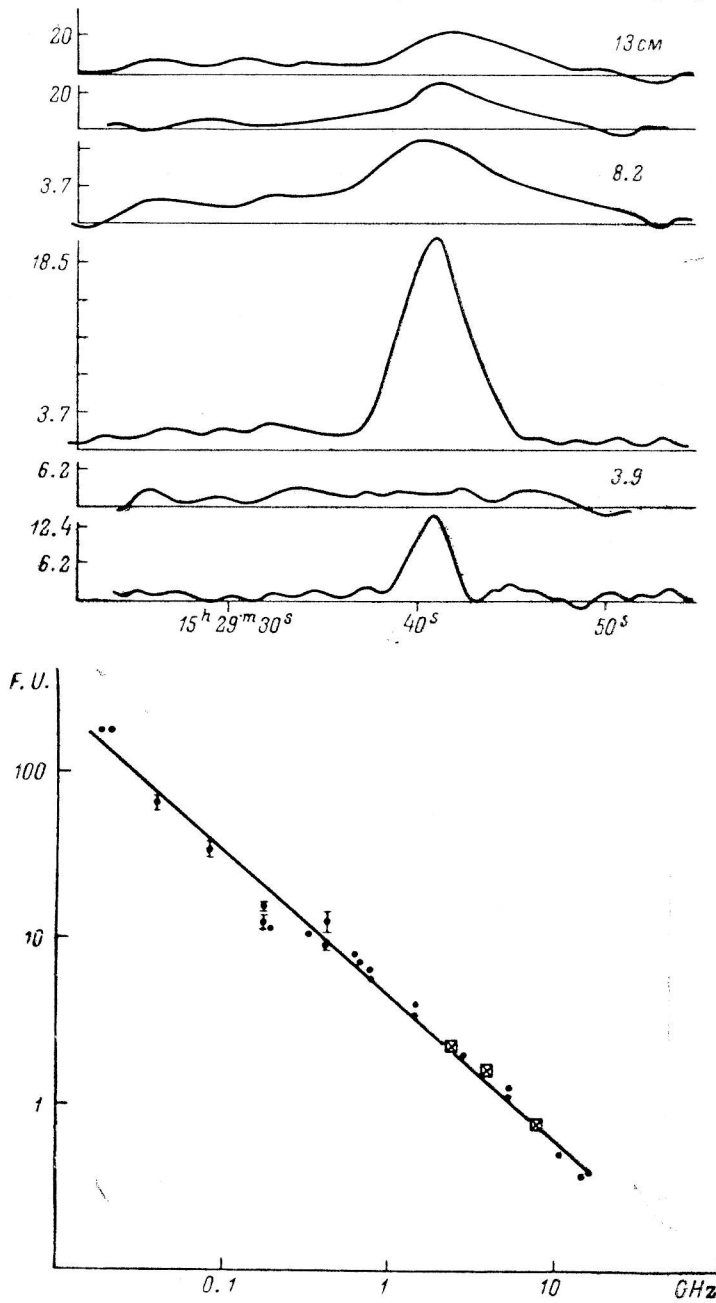


Рис. 32. 3C 321.

Верхние кривые соответствуют $\delta_{1950.0}=24^{\circ}14'45''$, нижние — склонению $24^{\circ}12'55''$ для каждой из волн.

волне 3.9 см (на волне 2.08 см чувствительность приемной аппаратуры недостаточна для обнаружения структуры). Интегральные плотности потоков на волнах 3.9, 8.2 и 13 см хорошо согласуются с интерполированными значениями (рис. 33). Предполагая, что расстояние между ком-

понентами соответствует данным Кембриджа [32] (1.8 с), оценим плотность потока компонент на волне 3.9 см: для западной компоненты она составляет ~ 0.15 , для восточной ~ 0.24 ян. Наблюдаемое распределение радиояркости на этой волне имеет несколько меньший провал между компонентами, чем можно было бы ожидать для источника, состоящего из двух точечных компонент. Если приписать это различие наличию то-

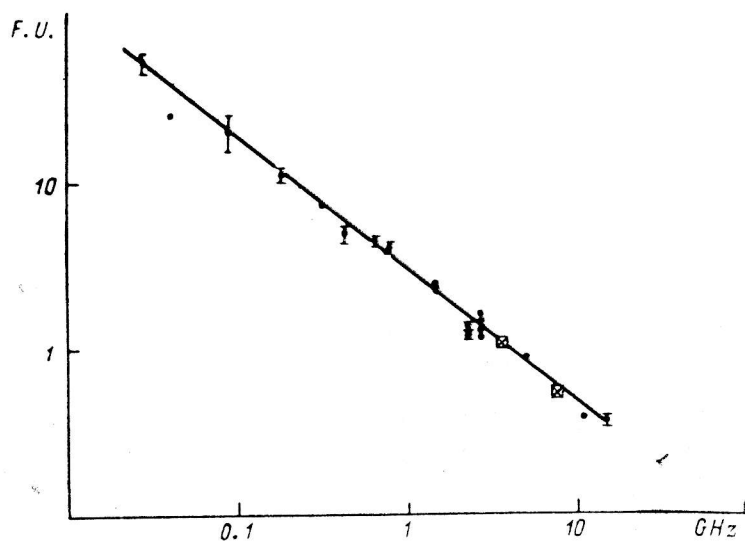
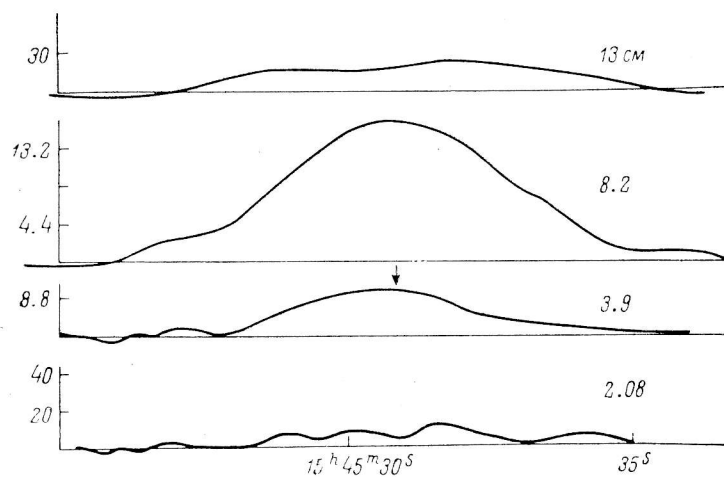


Рис. 33. 3C 323.1.

чечного источника между компонентами, то его плотность потока должна быть 60 ± 20 мян. Отношение плотностей потоков компонент на волне 3.9 см около 1.7 (ср. с 1.6 на волне 11 см и 1.9 на волне 6 см по данным [32]).

PKS 1556-21. Тройной источник, компоненты имеют близкие интенсивности на 21 см [1] (западная и центральная), восточная компонента много слабее. Источник плохо изучен, имеются только грубые изофоты на 1425, 408 и 160 МГц [1—3]. Надежного отождествления нет, вблизи центральной и западной компонент имеется несколько оптических объектов 17—20 зв. вел. Интегральный спектр прямой, хотя данных мало (рис. 34).

Наши наблюдения проведены на волнах 1.38, 2.08, 3.9 и 8.2 см. Однако уверенно источник зарегистрирован только на волне 8.2 см (рис. 34). Источник имеет на этой волне структуру, близкую к структуре, полученной в [1] на 21 см. Интегральная плотность потока на волне 8.2 см составляет 1.15 ян. Плотности потоков *A*, *B* и *C* (обозначения Фомалонта [1]) равны 0.46, 0.57 и 0.12 соответственно. Относительная интенсивность компонент *A* и *B* равна 1.23 в прекрасном согласии с Фомалонтом (1.2). Спектры всех трех компонент близки, хотя спектр *C* определяется менее уверенно (рис. 34). Это противоречит заключению Скилицы—Мак-Адама

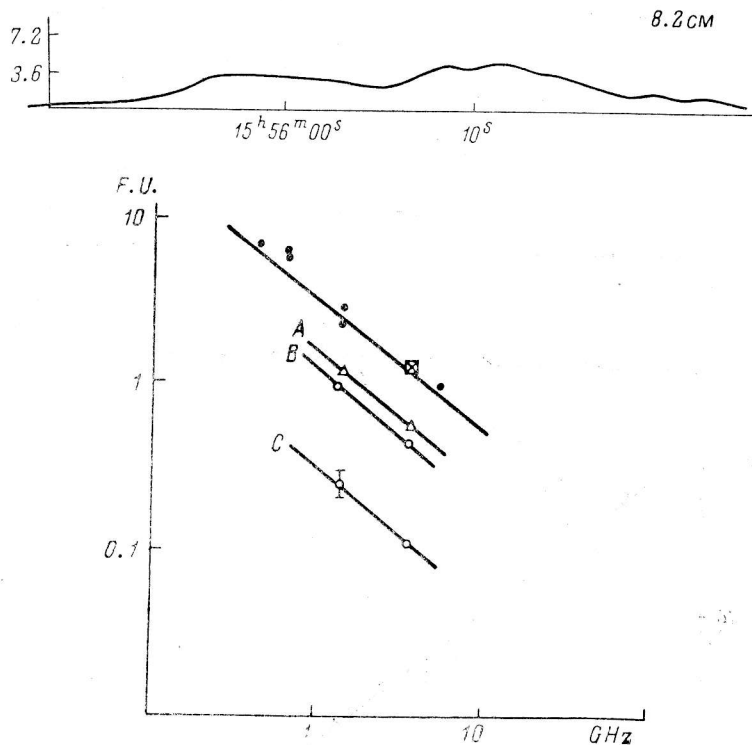


Рис. 34. PKS 1556-21.

Внизу — спектры компонент *A*, *B*, *C* (обозначения по [1]).

[2] о резком различии спектров *A* и *B*, однако согласуется с центром тяжести излучения на изофотах Сли [3] (160 МГц). Наблюдения на более коротких волнах были использованы для поиска точечных деталей в компонентах *A*, *B* и *C*. Точечных источников с плотностью потока выше 70 мян не обнаружено.

3С 327. Двойной источник с расстоянием между компонентами 3.5. Западная компонента имеет подструктуру. Источник отождествлен с галактикой 16.5 зв. вел., $z=0.1041$ [56]. Интегральный спектр прямой с небольшим завалом на декаметровых волнах (рис. 35).

Наша кривая прохождения на волне 3.9 см приведена на рис. 35. Штрихом нанесено распределение яркости на частоте 1425 МГц [1]. Вертикальной линией показано положение оптического объекта. Из этого рисунка следует: 1) распределения яркости на этих частотах близки; 2) спектральные индексы компонент одинаковы и составляют 0.85; 3) перемишка между компонентами отсутствует; 4) на волне 3.9 см выделяется ядерный источник с плотностью потока 0.125 ян, который, по-видимому, имеет завал спектра на частотах ниже 3000 МГц.

PKS 1602-09. Источник двойной с отношением интенсивностей, близким к 2. Распределения радиояркости на частотах 160, 408 и 1425 МГц [3,

2, 1] довольно близки. Оптические отождествления отсутствуют, хотя имеется три кандидата. В работе [1] отмечается наличие «моста».

Наши наблюдения являются первыми сантиметровыми изображениями. На рис. 36 видны основные компоненты источника. На волне 3.9, по-видимому, проявляется сложная структура восточной компоненты. По наблюдениям на волне 2.08 см можно утверждать, что в источнике

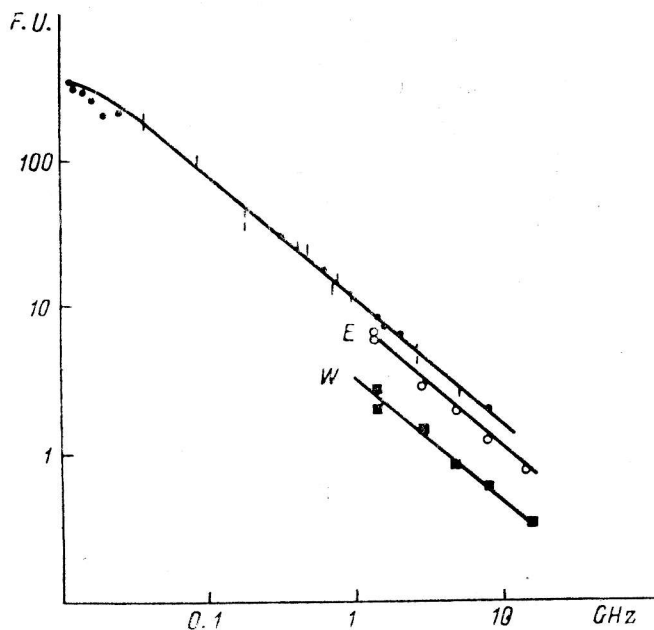
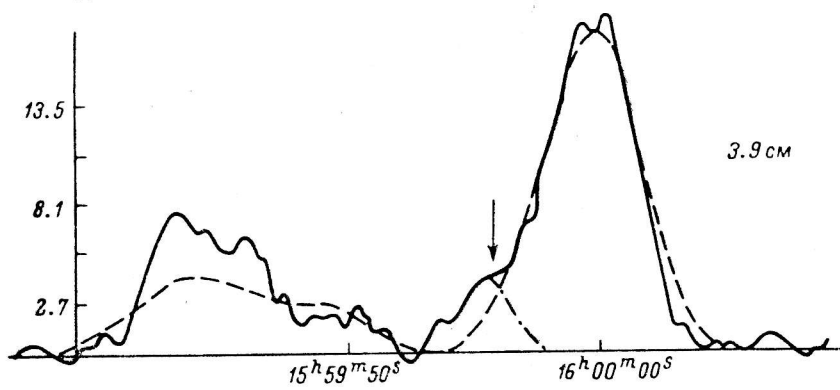


Рис. 35. 3C 327.

Штрих — одномерное распределение радиояркости на волне 21 см [1]; E и W — спектры компонент.

отсутствует оптически толстая деталь, ярче, чем 70 мян. Сравнение одномерных изображений на 160, 1425 МГц и всех трех наших частотах (2.3, 3.6 и 7.7 МГц) показывает совпадение этих изображений с высокой точностью. Это свидетельствует о малой вариации спектрального индекса по источнику (менее 0.02) в диапазоне от 2 м до 4 см. С учетом кривизны интегрального спектра (рис. 36) частотная независимость радиоизображений накладывает также ограничения на скорость разлета основных компонент источника (< 0.1 с).

3C 329. Источник относится к типичным двойным, с отношением компонент около 1.5. Имеется единственное радиоизображение на волне 21 см [1]. Интегральный спектр (рис. 37) с точностью до ошибок измерений прямой, хотя имеется большой разброс точек. Источник неуверенно

отождествлен с галактикой 18 зв. вел., лежащей довольно далеко от оси, соединяющей компоненты. Наши измерения представлены на рис. 37. Это первые измерения в сантиметровом диапазоне. Структура на сантиметро-

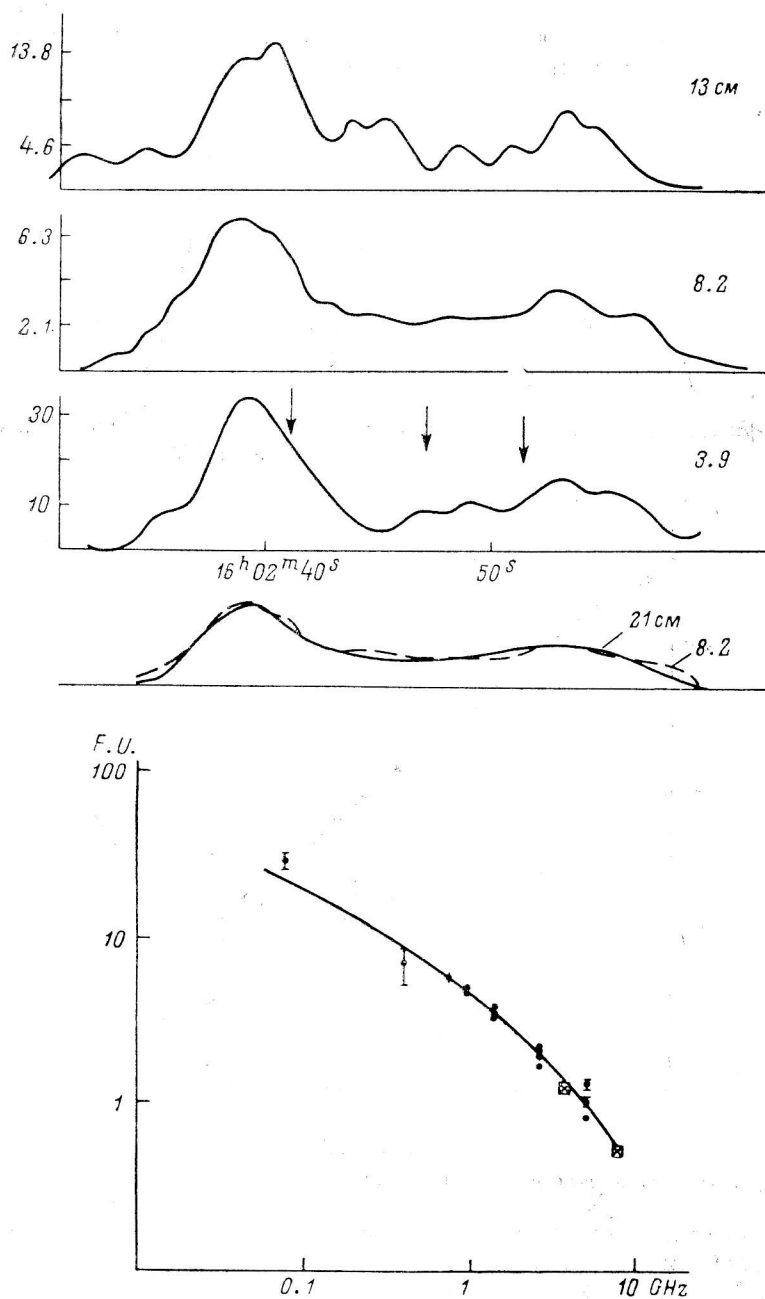


Рис. 36. PKS 1602-09.

Стрелками показаны положения близких оптических объектов. В середине — сравнение одномерных изображений на 21 см [1] (сплошная линия) и 8.2 см (штрих) с близким разрешением.

вых волнах в пределах погрешности согласуется с данными на 21 см. Источник четко разрешен на компоненты на волнах 3.9 и 2.08 см и частично разрешен на волнах 6.5 и 8.2 см. Интегральная плотность потока источника нанесена на рис. 37. Кривая прохождения на волне 3.9 см имеет глубокий провал между компонентами, что говорит об отсутствии ядерного цент-

рального источника с плотностью потока больше 20 мян (эпоха 1.1977). Размер более яркой западной компоненты 10—15", восточной — несколько больше (25—30"). Кривая прохождения на волнах 3.9 и 21 см, сглаженная диаграммой направленности на волне 8.2 см, в пределах ошибок совпадает с кривой прохождения на волне 8.2 см (рис. 37).

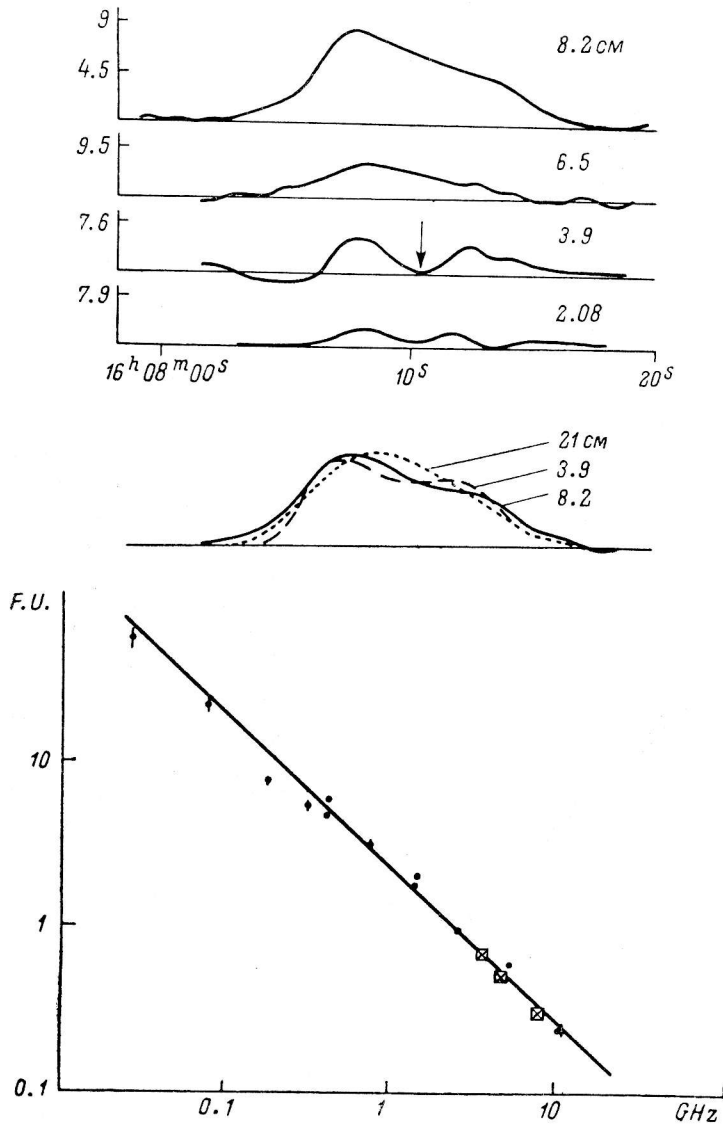


Рис. 37. ЗС 329.

В середине — сравнение одномерных кривых прохождения на волнах 3.9, 8.2, 21 см (разрешение соответствует разрешению на волне 8.2 см).

ЗС 348. Двойной радиисточник. Восточная компонента, согласно [57], содержит деталь малых угловых размеров ($< 5''$, но $> 2''$) с плотностью потока на частоте 2695 МГц 2.6 ян. Спектр прямой (рис. 38) (спектральный индекс 1.02). Источник отождествлен с сD-галактикой 19 зв. вел. Поляризованное излучение идет в основном из восточной компоненты, максимум поляризации расположен во внутренней ее части.

Наши кривые прохождения на волнах 2.08, 3.9 и 6.5 см приведены на рис. 38. Стрелкой показано положение оптического объекта. Из этих кривых видно, что распределение радиояркости близко на всех волнах.

Имеется слабая перемычка между компонентами. Излучение от ядерной детали отсутствует (≤ 0.01 ян, эпоха 7.1975), по крайней мере на волнах 3.9 и 6.5 см. Не наблюдается резких границ источника. Нужно отметить также отсутствие точечного источника в восточной компоненте, по крайней мере на волнах 2.08 и 3.9 см с точностью до 1% от плотности потока этой компоненты, в то время как на 11 см он составляет 23% [57].

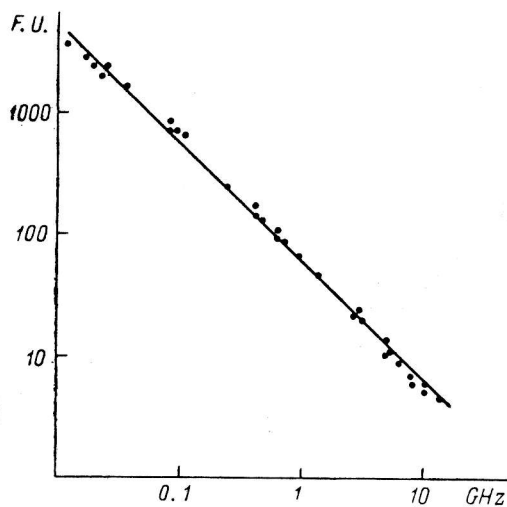
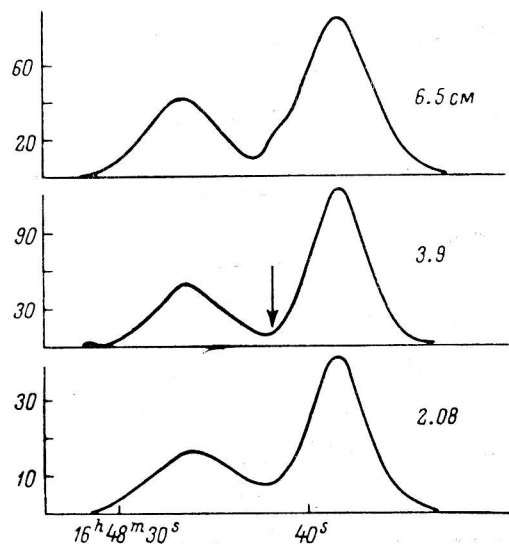


Рис. 38. 3С 348.

метрии [58]. Плотности потоков, полученные из этих измерений, приведены на рис. 39. Как следует из этого рисунка, значения плотностей потоков на частотах 74, 111 и 196 МГц хорошо ложатся на экстраполированный спектр точечного источника.

3С 382. Тройной источник отождествлен с галактикой типа D3, 14.5 зв. вел., $z=0.0586$, расположенной в бедном скоплении (118 членов) галактик ZW 1831.2+3154. Внешние компоненты имеют близкий спектральный индекс. Удивительной особенностью этого источника является форма и положение хвостов: хвост западной компоненты отклоняется от оси источника на 45° . Хвосты необычно широкие, а горячее пятно имеется только в восточной компоненте, причем оно расположено вблизи другого

3С 353. Первоначально источник считался двойным. Фомалонт [1] обнаружил намек на третью компоненту к западу от западной детали. Интегральный спектр прямой в диапазоне $10-10^4$ МГц (рис. 39). Поляризационная структура сложная. Источник отождествлен с α -галактикой 16.8 зв. вел., $z=0.0307$, расположенной в бедном скоплении галактик (112 членов) размером $40'$.

Наши наблюдения приведены на рис. 39. Положение оптической галактики отмечено стрелкой. На кривых четко выделяются три компоненты. Бросается в глаза точное подобие кривых на 2.08 и 3.9 см и отсутствие ядерного источника (верхняя граница плотности потока ≤ 0.01 ян, эпоха 7.1975) на всех волнах. Имеется перемычка между компонентами. Можно проследить также слабый фон с западной стороны источника (до 8 с после слабой западной компоненты), составляющий около 3% по температуре от слабой западной компоненты. Спектры трех компонент приведены на рис. 39. Спектральные индексы компонент близки. Самая западная деталь имеет малые угловые размеры. Источник малых угловых размеров был обнаружен на частотах 100 МГц с помощью сверхдальней интерферометрии [58].

члена скопления [59]. Центральный источник имеет плоский спектр, плотность потока около 0.2 ян на волнах от 3.8 до 21 см и угловой размер 1". В области этого источника имеется рентгеновский источник 4U 1825+33. Ядро оптической галактики активно, источник переменный на μm [45], большая ось галактики имеет Р. А. 90°. Интегральный спектр нам кажется прямым, хотя надо отметить неоднородность данных (рис. 40). Структура источника плохо объясняется в рамках известных моделей радиогалактик.

Наши наблюдения проводились на волнах 2.08, 3.9, 6.5, 8.2 и 13 см на трех углах места, соответствующих склонению трех компонент источника (рис. 40). Интегральный спектр на наших частотах удовлетворительно согласуется с опубликованными данными. Для определения частотной зависимости радиоизображений мы провели стрип-интегрирование наиболее полных опубликованных изофот на волне 6 см [59], полученных в Вестерборке (точный центральный источник был исключен), сгладили его диаграммами направленности РАТАН-600 на частотах наблюдений и вычли нормированное изображение из наблюдаемых кривых прохождения. Эти разности приведены на том же рис. 40 (справа). Из этого рисунка видно, что форма изображений на всех частотах наблюдений в пределах ошибок согласуется с данными Вестерборка на волне 6 см. Разность между изображениями соответствует вкладу точечного источника. Мы получили значения 0.2 ± 0.07 , 0.28 ± 0.08 , 0.3 ± 0.05 и 0.25 ± 0.07 ян для плотностей потоков этого источника на волнах 2.08, 3.9, 8.2. и 13 см соответственно на эпоху 1.1977. Это дает среднее значение плотности потока в сантиметровом диапазоне волн 0.25 ± 0.05 , что прекрасно согласуется с данными эпохи начала 70-х годов [60]. По-видимому, спектр точечного источника плоский от 2 до 21 см, возможно, с завалом на 430 МГц [27], а интенсивность мало меняется со временем.

ЗС 403. Источник двойной с близким отношением компонент. Радиоизображение с достаточным разрешением имеется только на волне 21 см [1]. Разрешение в 1.9 мин дуги на 160 МГц [3] недостаточно для разделения

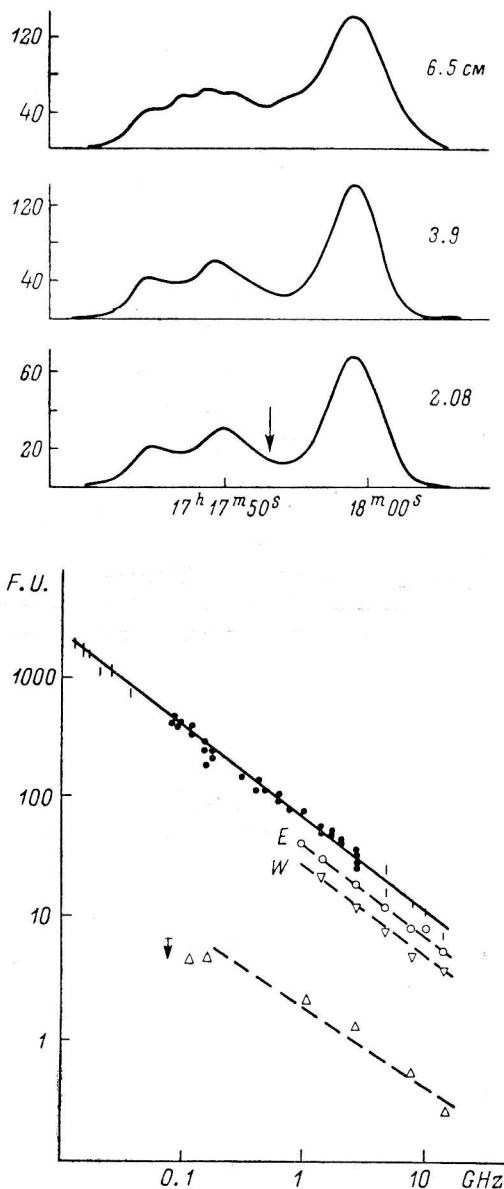


Рис. 39. ЗС 353.

E и *W* — спектры компонент, штриховая кривая — точечного западного источника.

источника на компоненты. Источник имеет сильную поляризацию и меру вращения до 40 рад/м², что затрудняет детальное сравнение распределения радиояркости на разных частотах. Источник отождествлен с галактикой

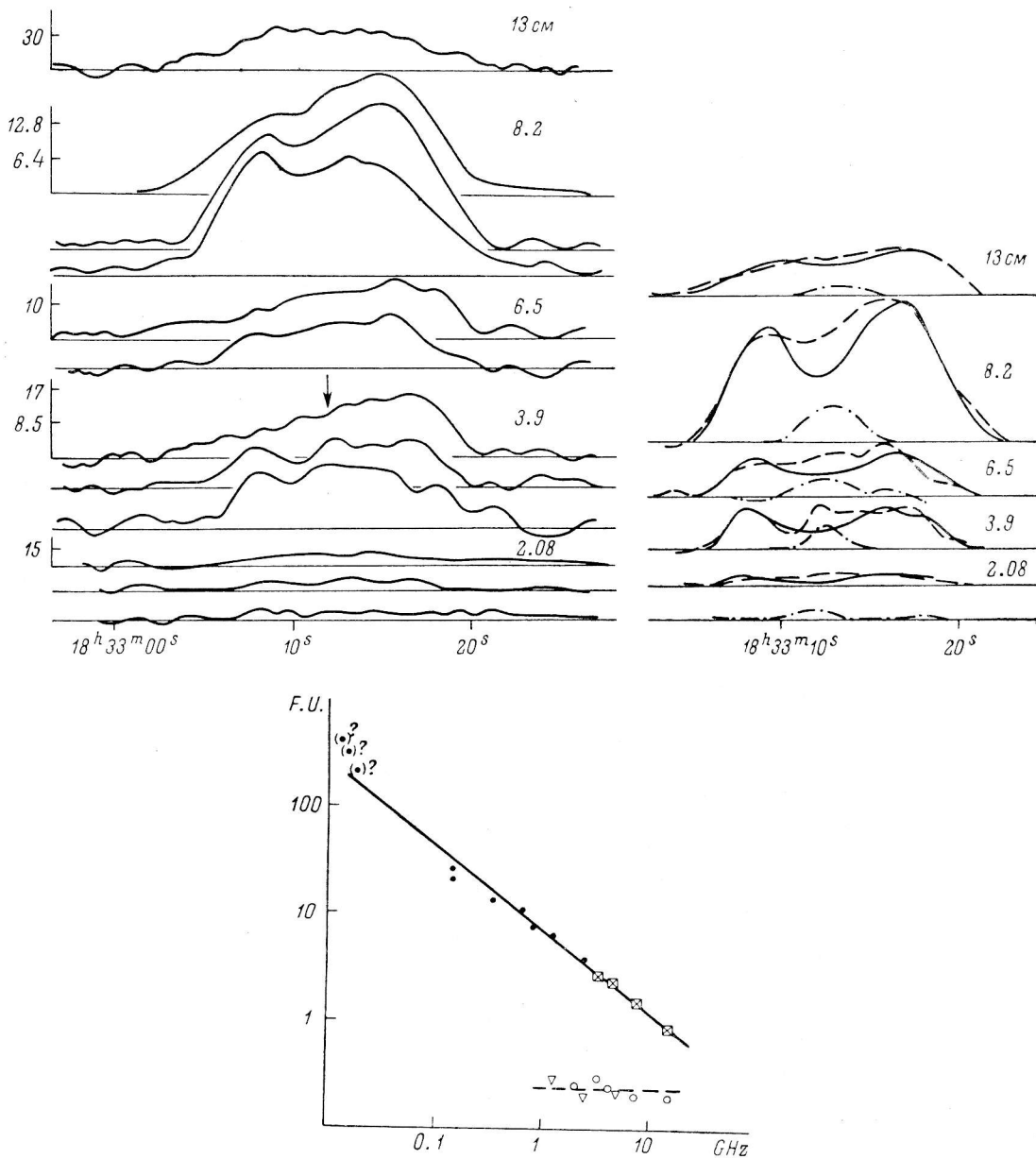


Рис. 40. 3C 382.

На волне 13 см — при $\delta_{1950.0} = 32^\circ 38' 30''$; 8.2 см — при $\delta_{1950.0}$ (сверху вниз) = $32^\circ 40' 01.9$, $32^\circ 39' 54$, $32^\circ 38' 30''$; 6.5 см — при склонениях $32^\circ 40' 01.9$ и $32^\circ 39' 54''$; 3.9 и 2.08 см — при склонениях $32^\circ 40' 01.9$, $32^\circ 39' 54$ и $32^\circ 38' 30''$. Штрих внизу — спектр точечного источника, \circ — наши измерения. Вверху справа: сплошные кривые — одномерные распределения радиояркости на волне 6 см [59] без точечного источника, штрих — наши наблюдения, штрихпунктир — выделенный точечный источник.

$M = 16.5$ зв. вел., $z = 0.059$. Интегральный спектр прямой (рис. 41). Наблюдения с большими базами $3.5 \cdot 10^6$ длины волны [27] на частоте 430 МГц и $(2 \div 8) \cdot 10^6$ длины волны на частотах 2.7, 5 и 1.4 ГГц [26] показали отсутствие точечного источника с плотностью потока > 0.13 и > 0.07 ян соответственно.

Наши наблюдения приведены на рис. 41. Отношение интенсивностей компонент одномерных кривых прохождения, сглаженных диаграммой направленности $58''$ (соответствующей диаграмме направленности на волне 8.2 см), близко к 1 на всех волнах (0.97, 1.11, 1.02, 1.11 и 1.08 на волнах 2.08, 3.9, 6.5, 8.2 и 21 см соответственно), что свидетельствует о малой зависимости радиоизображения от частоты в интервале от 2 до 21 см.

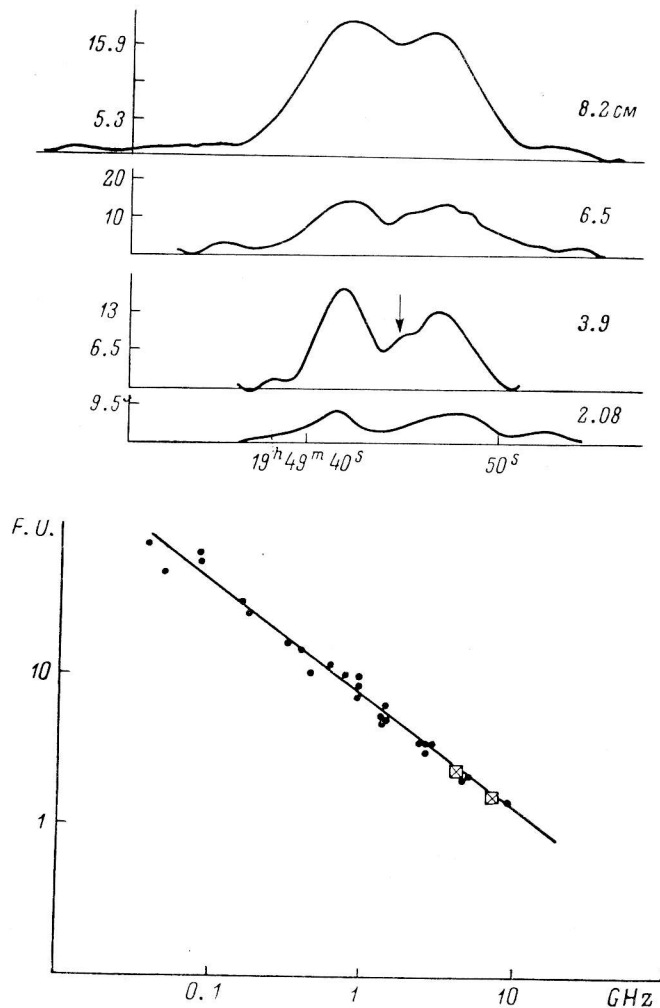


Рис. 41. 3C 403.

3C 405. Один из сильнейших объектов неба, играл в течение всей истории радиоастрономии удивительную роль в наших представлениях о природе внегалактических радиоисточников. В 1954 г. Дженнисон [61] обнаружил двойственность этого источника. В настоящее время источник изучен, пожалуй, лучше всех других радиогалактик. Это классический двойной источник. Наилучшее изображение в сантиметровом диапазоне получено Харгрэйвом и Райлом [62] с помощью 5-км Кембриджского радиотелескопа на волне 6 см с разрешением $\sim 2''$, а также на волне 2 см с разрешением ~ 0.65 [63]. Интегральный спектр изогнутый с укрупнением на сантиметровых волнах. Источник отождествлен с cD-галактикой, $z=0.056$, содержащей две яркие субкомпоненты разной яркости (или одна, разделенная пылевой полосой): одна в форме бумеранга [64] и вторая, излучающая, по-видимому, непрерывный звездный спектр. Обнаружен

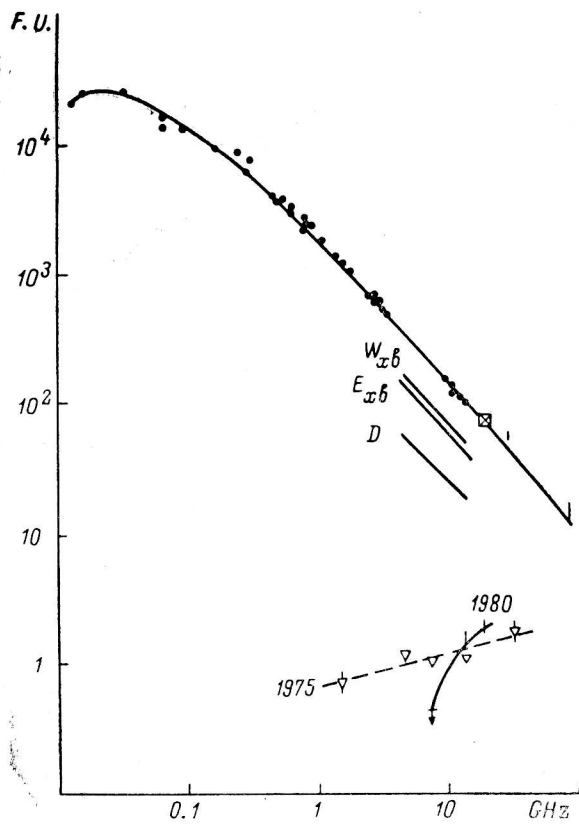
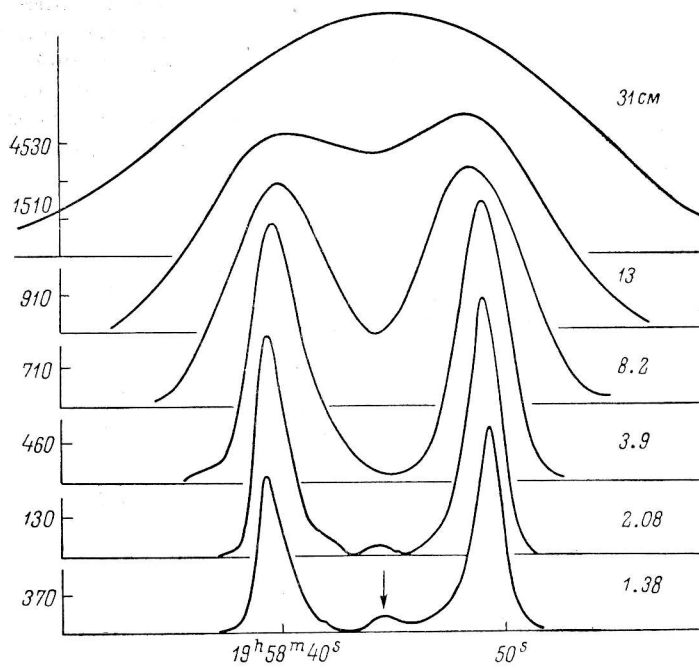


Рис. 42. 3C 405 (Лебедь А).

Внизу показаны также спектры некоторых деталей (западного «хвоста», восточного «хвоста» и детали D — терминология Кембриджа) и спектры точечного источника на эпохи 1975 и 1980 гг.

точечный ядерный источник, расположенный между двумя оптическими субкомпонентами, с плотностью потока ~ 1.1 на частотах 15.4 и 5 ГГц [62, 63]. Имеются горячие пятна по краям обеих основных компонент, которые, в свою очередь, имеют сложную структуру [65].

Наши наблюдения проведены на волнах 1.38, 2.08, 3.9, 8.2, 13 и 31 см на 15 углах места через $8''$ по склонению вокруг склонения ядерного источника. На кривых прохождения (рис. 42) мы выделили все детали,

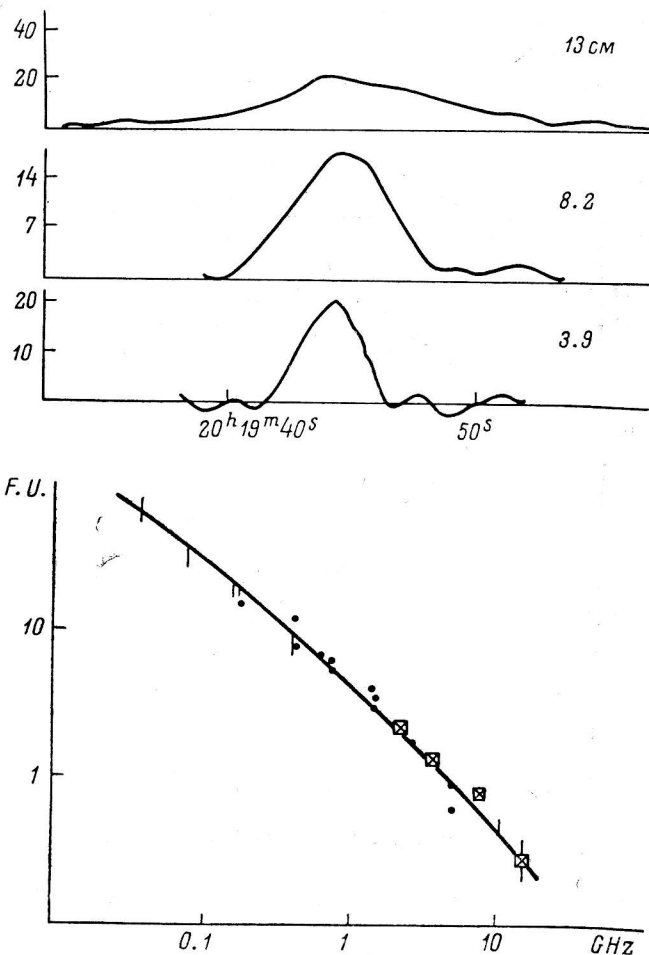


Рис. 43. 3C 411.

обнаруженные в Кембридже. Спектры некоторых из них нанесены на рис. 42. Из сравнения одномерных кривых прохождения, полученных стрип-интегрированием Кембриджских карт на 6 см и наших одномерных кривых прохождения на волне 1.38 с учетом принимаемой поляризации, получено, что среднеквадратические вариации спектрального индекса по источнику составляют 0.02 и могут быть объяснены различием методов построения изображения. Дополнительным аргументом за малые вариации спектрального индекса по источнику является равенство вклада излучения основных компонент на нашей кривой и стрип-интегрированной 6-см кривой [62]. Так, например, вклад компоненты $A+B$ (терминология Харгрэйва—Райла) 19 и 24%, от «западного хвоста I» — 37 и 34%, от «западного хвоста II» — 44 и 42% для длин волн 6 и 1.38 см соответственно. Отношение основных компонент по плотности потока на волне 1.38 см составляет 1.12; эта величина близка к отношению компонент на сантимет-

ровых, дециметровых и метровых волнах (от 1.12 до 1.2 в диапазоне от 127 до 86 000 МГц). Обнаружен «мост» между основными компонентами на волне 1.38 см. Из кривых на волнах 1.38 и 2.08 см был выделен ядерный точечный источник. Плотность потока от этого источника нанесена на рис. 42 (эпоха 1.1980). Оценка плотности потока на волне 3.9 см была получена вычитанием кривой прохождения на волне 1.38 см, сглаженной диаграммой направленности на волне 3.9 см (ядерный источник был исключен из кривой прохождения на волне 1.38 см), из наблюдаемой кривой на волне 3.9 см. Для сравнения на рис. 42 приведен также спектр ядерного источника на эпоху 1975 г., составленный по данным разных авторов.

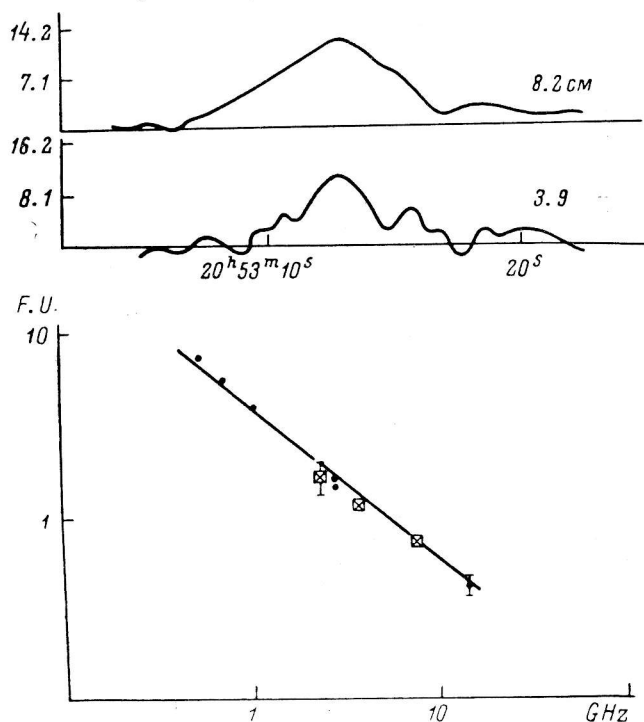


Рис. 44. PKS 2053-20.

ЗС 411. Источник относится к типичным двойным источникам, имеет горячие пятна по краям, «мост» между компонентами и центральный точечный источник, совпадающий по положению с галактикой $M=20$ зв. вел., $z=0.468$. Распределение радиояркости известно на частоте 5 ГГц с разрешением $2''$ [66]. Интегральный спектр, по-видимому, слегка искривлен (круче на высоких частотах) (рис. 43).

Наши наблюдения приведены на рис. 43. Разрешающая способность РАТАН-600 недостаточна для разделения компонент на волнах длиннее 2 см. Интегральные плотности потоков на рис. 43 удовлетворительно согласуются с опубликованными данными. Эффективный гауссовый размер источника, определенный по нашим наблюдениям на волнах 3.9 и 8.2 см, в 1.3 раза шире, чем полный размер источника по кембриджским изофотам. Это свидетельствует о том, что яркие пятна на краях компонент имеются и на волне 3.9 и 8.2 см. На волне 2 см чувствительность приемной аппаратуры недостаточна для выделения компонент источника, поэтому мы ограничились лишь грубой оценкой плотности потока излучения всего источника в целом.

PKS 2053-20. Радиоисточник мало изучен. По данным покрытий на частотах 410 и 1420 МГц источник двойной с близкими компонентами и по плотности потока, и по размерам [10]. Отождествлен с E-галактикой

17.5 зв. вел., красное смещение неизвестно. Галактика находится между компонентами. Расстояние между компонентами $28''$, размер $13 \times 7''$. Предполагается, что компоненты вытянуты вдоль большой оси (Р. А. 52°). По данным покрытий [10] 35% потока содержится в двух источниках малых угловых размеров ($\leq 2''$).

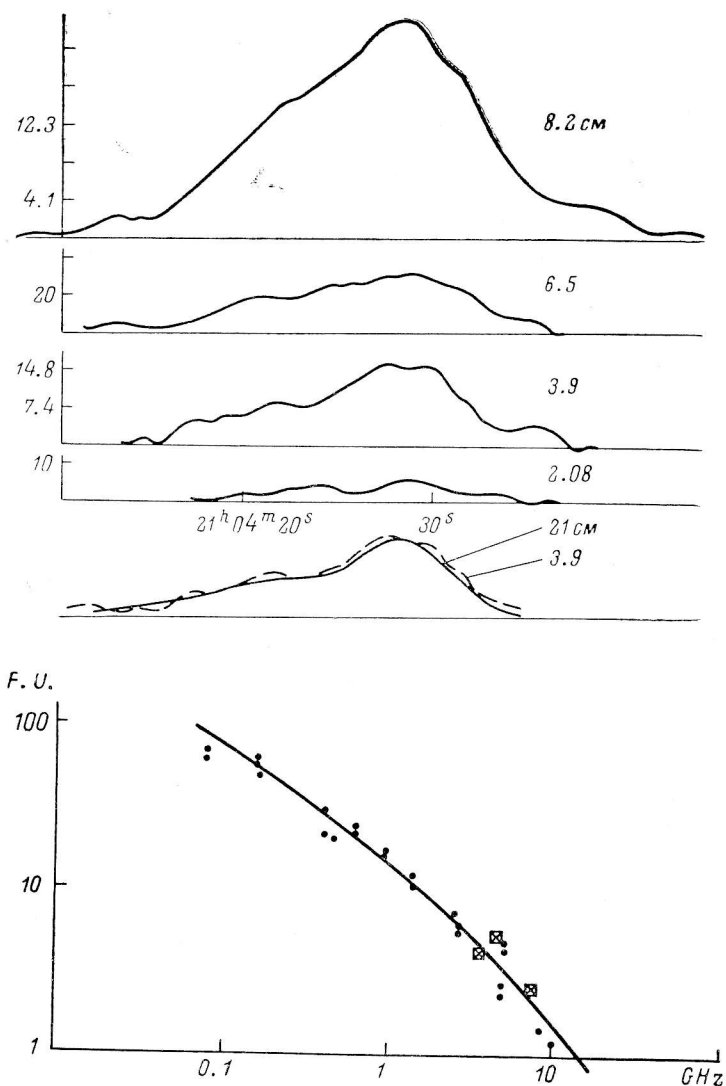


Рис. 45. PKS 2104-25.

В середине — сравнение одномерных изображений на волнах 3.9 и 21 см [1].

Наши измерения представлены на рис. 44. Разрешающей способности на всех волнах, длиннее 2 см, недостаточно для разделения источника на компоненты, однако эффективный гауссовый размер источника на волнах 3.9 и 8.2 см близок к ожидаемому по модели, полученной по покрытиям (см. выше), и по размерам компонент, и по расстоянию между ними, и по отношению плотностей потоков. Некоторая асимметрия кривых прохождения на волнах 3.9 и 8.2 см связана с абберациями на низком угле места при одномерных многочастотных наблюдениях. Плотности потока источника на частотах наблюдений нанесены на рис. 44 и подтверждают прямолинейность интегрального спектра. На волне 2.08 см из-за недостаточной чувствительности удалось получить только верхний предел плот-

ности потока источника. Однако отметим, что мы не видим точечных источников, обнаруженных Хазардом [10]. По-видимому, их спектральные индексы близки к спектральному индексу источника в целом.

PKS 2104-25. Радиоисточник по виду относится к нестандартным двойным источникам. Радиоизображение на волне 21 см [1] показывает вытянутую (южную) деталь эллиптической формы и более яркую (северную) компоненту меньшего размера, расположенную в направлении малой оси южного источника на расстоянии примерно 3 мин дуги. Структура источника на 160 МГц [3], полученная с разрешением 1.9 мин дуги, сильно отличается от изображения на 21 см: южная компонента на этих изофотах (на 160 МГц) имеет меньший угловой размер и сильно смещена к востоку. Кроме того, имеется вытянутость («язык») к западу низкой поверхностной яркости у северного источника. отождествление источника неуверенное. Обсуждаются два отождествления: галактика 16.8 зв. вел., $z=0.037$, расположенная между компонентами, и галактика 14 зв. вел. вблизи северной компоненты. Обе галактики не имеют эмиссионных линий. Интегральный спектр источника несколько искривлен с укрупнением спектрального индекса на высоких частотах (рис. 45).

Наши наблюдения представлены на рис. 45. Из-за малого позиционного угла большой оси источника компоненты его плохо разрешаются на наших одномерных изображениях, тем не менее одномерные кривые прохождения на волне 3.9 см совпадают в пределах ошибок с одномерными кривыми прохождения на волне 21 см (рис. 45). Кривые прохождения на волне 8.2 см, сглаженные диаграммой в 1.9 мин дуги, и одномерные изображения на 160 МГц (получены стрип-интегрированием изопот 160 МГц [3]) существенно различаются в западной части. Это различие можно было бы объяснить более крутым спектральным индексом (отличие на 0.1) западного «языка» северной компоненты. Однако такая интерпретация нам представляется несколько преждевременной, учитывая прекрасное согласие кривых на 3.9 и 21 см. По-видимому, необходимо получение более качественных изображений на низких частотах.

3C 452. Двойной радиоисточник, хорошо изучен в Кембридже и в других обсерваториях [67, 60, 19]. Имеется четко выраженная перемишка, точечный источник в центре и горячие пятна по краям компонент. Центральный источник имеет размеры меньше 0.5 с дуги и расположен в пределах 2 с дуги от галактики типа ED 16 зв. вел., $z=0.082$. По данным Берча [17], а также по данным [60], спектральный индекс источника меняется от центра к краям. Самый крутой спектральный индекс (до 1.9) вблизи ядерной компоненты, самый пологий на периферии. Источник малого размера в центре имеет спектральный индекс 0.1.

Наши наблюдения были проведены на волнах 2.08, 3.9, 6.5, 8.2 и 13 см (рис. 46). Интегральные плотности потоков на этих волнах хорошо ложатся на интегральный спектр (рис. 46). Мы попытались сопоставить наши наблюдения на волне 6.5 см с моделью, построенной в Кембридже, в которой предполагаются отмеченные выше значительные изменения спектрального индекса по источнику. Ожидаемое по этой модели одномерное распределение радиояркости на волне 6.5 см показано штрихом на рис. 46. Видно, что модель плохо согласуется с наблюдениями. Наоборот, одномерные изображения на волне 21 см [67] практически повторяют нашу кривую прохождения (см. нижние кривые рис. 46) и на волне 2.08 см. Среднеквадратические вариации спектрального индекса по источнику, таким образом, не должны превосходить 0.05. Относительные интенсивности компонент на всех наших волнах равны 1.07 ± 0.03 и практически совпадают с отношением плотностей потоков на волнах 21 см (1.08) и 75 см (1.075). Точечный источник в центре имеет плотность потока 0.12 ян на волне 3.9 см и около 0.1 на волне 2.08 см. На более длинных волнах его выделение менее уверенное и плотность потока его заключена в пределах 0.1 ± 0.2 ян.

3C 465. Источник выглядит двойным при наблюдениях с низким разрешением [1, 3], но компоненты и оптическая галактика не лежат на одной оси. Наблюдения в Кембридже [14, 40, 60] показали сложность структуры источника, состоящего по крайней мере из пяти компонент. Две централь-

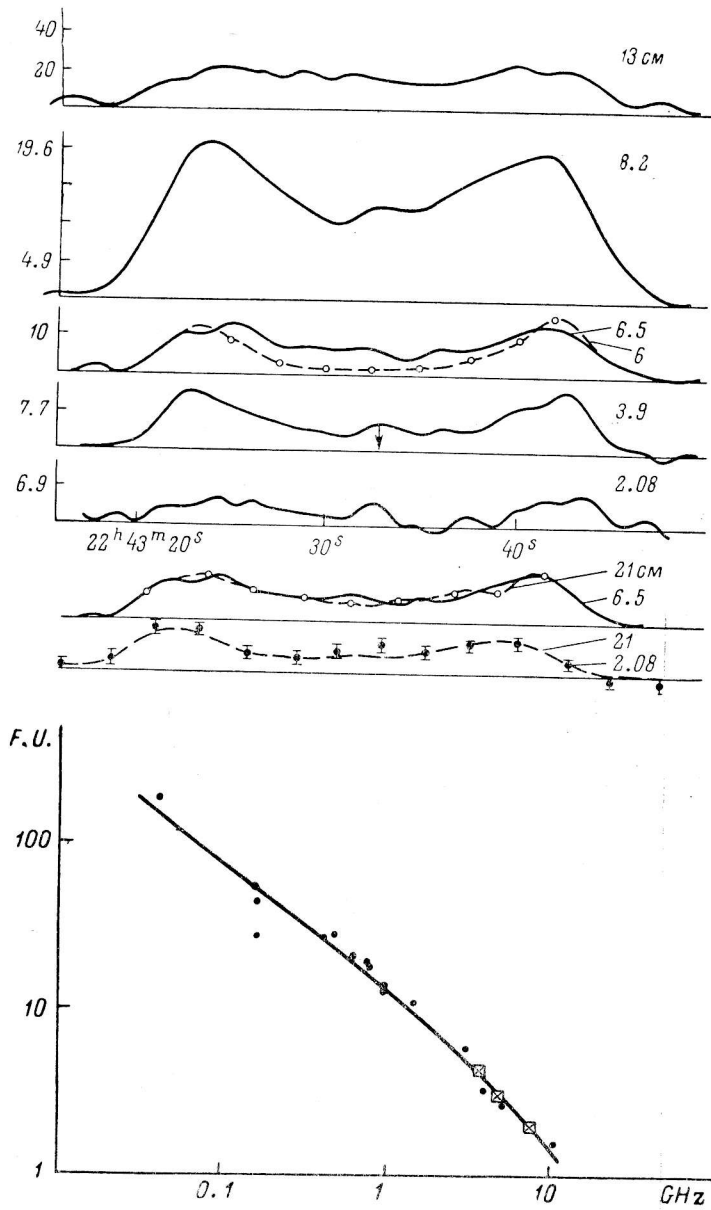


Рис. 46. 3C 452.

Штриховой линией показано одномерное распределение яркости Кембриджской модели с изменением спектрального индекса по источнику. В середине — сравнение одномерных изображений на волне 21 см [1] с нашими изображениями на волнах 6.5 и 2.08 см.

ные компоненты имеют малые угловые размеры, одна из компонент (компонента *C* по терминологии Кембриджа) совпадает с галактикой NGC 7720, 13.5 зв. вел., $z=0.0301$, и имеет спутника 15 зв. вел. в общей оболочке. Эта галактика показывает слабые эмиссионные линии в отличие от других членов скопления A 2634, к которому относятся эти две упомянутые галактики. По данным Кембриджа, компоненты имеют различный спектр:

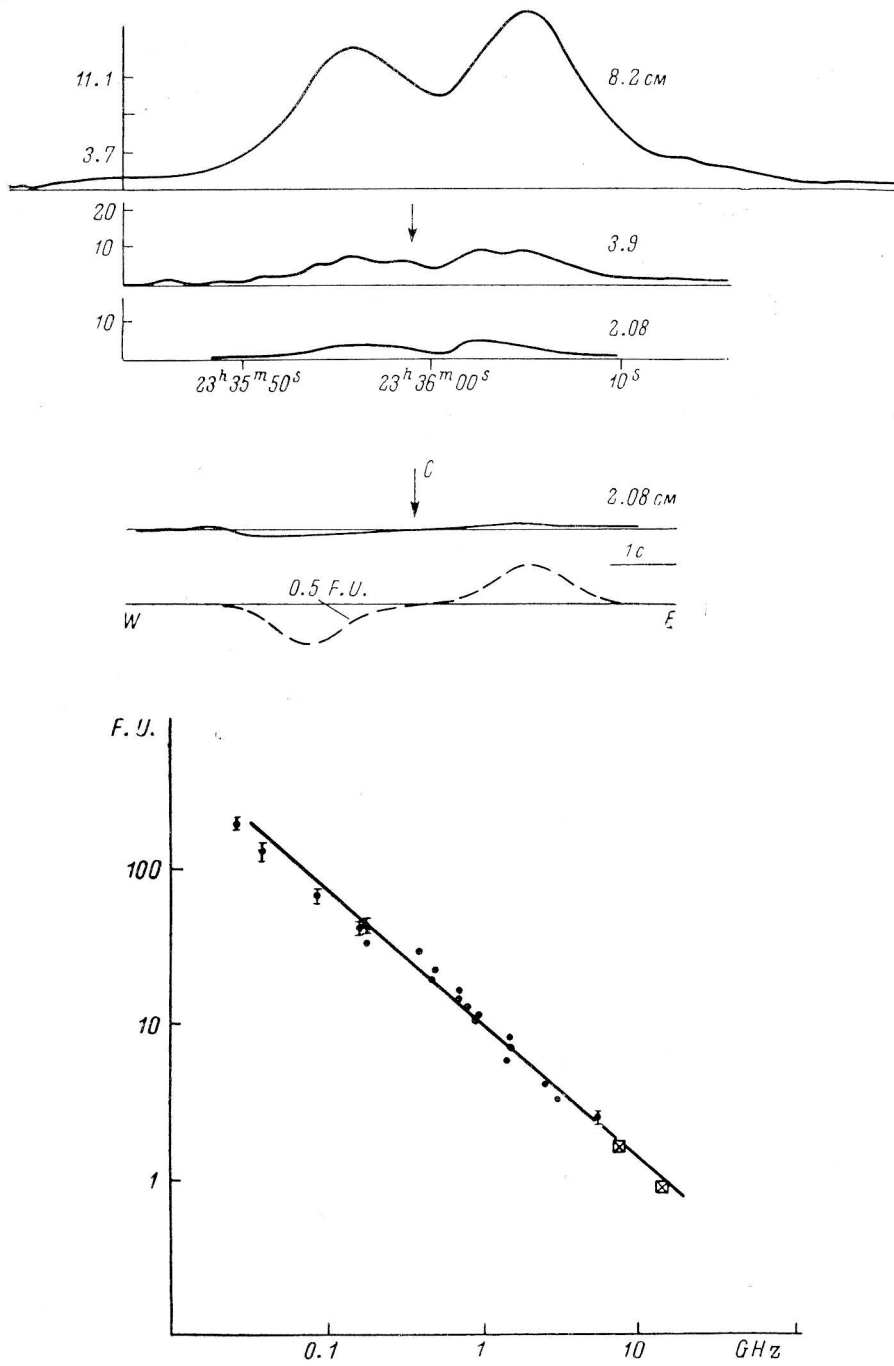


Рис. 47. 3С 465.

Стрелкой отмечено положение оптического объекта NGC 7720. В середине — кривые прохождения точечного источника *C* (терминология Кембриджа) в режиме близкого сканирования на волне 2,08 см (сплошная линия). Штрих — кривая прохождения опорного источника в режиме близкого сканирования с плотностью потока 0,5 ян.

внешние компоненты более крутой, до 1—1.3, а внутренние — 0.6; у компоненты *C* спектральный индекс равен 0. Интегральный спектральный индекс в пределах погрешности прямой (рис. 47). Обычная интерпретация наблюдаемой структуры — движение объекта в целом сквозь среду с плотностью $2 \cdot 10^{-4} \text{ см}^{-3}$ и $T=10^8 \text{ К}$.

Наши наблюдения были проведены на нескольких высотах, соответствующих склонениям компонент источника (всего 5 сечений) на волнах 1.38, 2.08, 3.9, 6.5, 8.2 и 13 см. Одномерные изображения, полученные с помощью радиотелескопа РАТАН-600 в сантиметровом диапазоне волн, близки к одномерным изображениям, полученным в [1] на волне 21 см; на наших кривых прохождения тоже видна протяженная слабая компонента на западном краю источника (компонента *A* по терминологии Кембриджа), но дополнительно к этому имеется слабое свечение к востоку от основного источника, чего нет на кривых Фомалонта. По-видимому, частично эта деталь связана с особенностью диаграммы направленности радиотелескопа, но, скорее всего, это реальное свечение, однако количественные оценки сделать трудно. Общая протяженность источника по прямому восхождению более 40 с времени, что превышает обычно принимаемые размеры. Основная видимая структура: компоненты *B* и *E* (терминология Кембриджа). Осредненные кривые прохождения по всем сечениям приведены на рис. 47. Как видно из этого рисунка, на частоте 7700 МГц заметны все компоненты, обнаруженные в Кембридже, а также дополнительная деталь — хвост к востоку от источника. Интегральные плотности потоков нанесены на рис. 47. Наши значения плотностей потоков прекрасно согласуются с интерполированными, в то время как данные по спектрам отдельных компонент отличаются от данных Кембриджа на 5 и 2.7 ГГц. В пределах погрешности измерений спектральные индексы компонент одинаковы от 408 до 7700 МГц для всех компонент, а для компонент *B* и *E* — от 408 до 14 420 МГц. Особенно сильное противоречие наблюдается по спектру компоненты *C*, совпадающей с NGC 7720. Ее плотность потока в 6 раз отличается от экстраполированного значения по данным Кембриджа.

На волнах 2.08 и 1.38 см были проведены дополнительные измерения в режиме близкого сканирования с целью более уверенного выделения точечного источника *C*. Результаты приведены на нижних кривых рис. 47. Обнаруженная нами плотность потока компоненты *C* около 60 мян на волне 2.08 см и менее 180 мян на волне 1.38 см согласуется с предположением о том, что спектральный индекс *C* не отличается от спектрального индекса всего источника в целом. Следует подчеркнуть, что мы не заметили никаких признаков укрупнения спектрального индекса внешних компонент, что часто используется в теоретических моделях. Так, например, контраст компоненты *A* (западная внешняя компонента) на 75 см и на волне 3.9 см близок. Отношение компонент *B+C* и *D+E* составляет 1.27 на волне 2.08 см и 1.28 на волне 8.2 см, т. е. суммарный спектральный индекс этих компонент тождествен в этом диапазоне волн.

Обсуждение результатов

Почти для всех 47 радиогалактик настоящего каталога удалось получить сведения о зависимости формы радиоисточников от длины волны. Для значительного процента радиогалактик частотная зависимость радиоизлучения определяется впервые или полученные радиоизображения являются самыми коротковолновыми. Мы считаем, что для радиогалактик, структура которых исследовалась на многих частотах, однородность нашего наблюдательного материала оказалась выше, так как все наблюдения от 1.38 до 30 см проводились на одном инструменте, а «одномерность» изображений приводит к простой интерпретации данных в части измене-

ния спектрального индекса источников вдоль большой оси. Поэтому можно считать, что частотная зависимость радиоизображений определялась в настоящей работе точнее, чем ранее, даже в случае хорошо изученных объектов.

Анализ данных, полученных по радиогалактикам нашего каталога, приводит к следующим выводам.

1. Почти все радиогалактики имеют частотно-независимые изображения. Исключение составляют ядерные источники и объекты, классификация которых как двойных радиогалактик сомнительна. Чем точнее проводятся измерения, тем меньшие вариации спектрального индекса наблюдаются по объему источника. Ограниченное разрешение позволяет сделать этот вывод уверенно в отношении осредненных по большим объемам областей радиоизлучения этих объектов. Однако наблюдения с высоким разрешением отдельных объектов (Лебедь А, Центавр А, Печь А и др.) показывают, что все морфологические структуры, видимые на лучших двумерных картах источников, имеют одинаковые спектральные индексы (включая «горячие пятна», «головы», «хвосты», «мосты» и т. д.). Все обсуждавшиеся ранее в литературе случаи, например ЗС 452, легко объясняются методическими ошибками. Наиболее аккуратные измерения (объекты ЗС 39, PKS 0134-36, Печь А, PKS 0349-27, PKS 0800-09, ЗС 219, ЗС 227, ЗС 270, Центавр А, PKS 1332-33, ЗС 303, PKS 1556-21, PKS 1602-09, ЗС 348, ЗС 353, ЗС 403, ЗС 405, PKS 2053-20) свидетельствуют о постоянстве спектрального индекса по источнику до 0.01—0.03. Такое высокое постоянство наблюдается как для объектов со стандартным спектром ($\alpha = -0.8$), так и для объектов с относительно плоским и крутым спектром ($\alpha = -0.5$ и -1.2). Верхний предел дисперсии спектральных индексов по источникам для данной подборки составляет ± 0.04 при дисперсии интегральных спектральных индексов ± 0.14 .

Отсюда можно заключить, что либо средние спектры источников формируются в «момент творения» источника, либо действуют мощные источники «in situ» ускорения электронов, находящиеся в равновесии с механизмами потерь. Наблюдающееся постоянство спектрального индекса находится в противоречии со многими обсуждающимися в литературе теориями о природе радиогалактик [62] и требует отдельного обсуждения.

Отметим также, что для источников с искривленным интегральным спектром (класс С) не наблюдается частотной зависимости отношения плотностей потоков компонент, что говорит о малой скорости разлета их и, следовательно, о большой шкале времени жизни этих радиоисточников (ближе к 10^8 , чем к 10^6 лет, см. подробнее [9]).

2. Более 30% всех радиогалактик имеют точечный ядерный источник, совпадающий с оптическим объектом. Мощность этих источников, как правило, составляет несколько процентов от мощности радиогалактик, однако существует класс «активных» ядер или активной фазы ядра, когда светимость объекта определяется ядерным источником (ЗС 111, Центавр А).

Спектры ядерных источников резко отличаются, как правило, от интегрального спектра радиогалактики. Из 14 ядерных источников 8 имеют плоский спектр в широком спектральном интеграле, иногда, по крайней мере, от 2 до 21 см, 4 имеют инверсионный спектр и 2 — спектр, не отличный от спектра радиогалактики. Ядра с аномально высокой светимостью обычно имеют инверсионный спектр типа спектра синхротронного самопоглощения, однако вариации формы таких спектров со временем не объясняются стандартной моделью расширения плотного релятивистского облака. Для некоторых источников (ЗС 111, Центавр А) нам удалось проследить за эволюцией спектра ядерных источников за период 3—5 лет и мы не обнаружили «стандартного» поведения их: оптически толстые детали не смещены в сторону низких частот.

Возможно, что все три класса ядерных источников отражают фазы эволюции в ядрах галактик.

Автор выражает благодарность сотрудникам САО А. Б. Берлину, В. Я. Гольневу, Н. М. Нижельскому, Е. Спангенбергу и др., усилиями которых не только поддерживается в рабочем состоянии, но и усовершенствуется штатная аппаратура РАТАН-600; Ю. К. Звереву, Г. А. Пинчуку, Ю. Н. Калихевичу, систематически проводившим юстировку радиотелескопа; группе дежурных наблюдателей — М. Г. Мингалиеву, М. Н. Наугольной, С. Юсуповой, С. А. Трушкину и др., оказавшим помощь при наблюдениях; А. Крупейченко за поддержание в хорошем состоянии службы времени; Ю. Н. Парийскому за постоянную поддержку и помощь в работе; Н. Е. Гольневой и Т. Б. Пятуниной, оказавшим помощь при первичной обработке материала.

Список литературы

1. Fomalont E. B. Two-dimensional structures of 76 extragalactic radio sources at 1425 MHz. — *Astrophys. J.*, 1971, 76, N 6.
2. Schilizzi R. T., McAdam W. B. Observations of extended sources at 408 MHz. The radio structures. — *Mem. of Roy. Astron. Soc.*, 1975, 79, 1.
3. Slee O. B. Culgoora-3. List of radio sources measurements. — *Austral. J. Phys. Suppl.*, 1977, N 43, 1.
4. Simkin S. M. Optical emission in the SW radio lobe of 3C 33. — *Astrophys. J.*, 1978, 222, L55.
5. Matthews T. A., Morgan W., Schmidt M. A discussion of galaxies identified with radio sources. — *Astrophys. J.*, 1964, 140, 35.
6. Mitton S. A high resolution 5 GHz map of 3C 33. — *Astrophys. Lett.*, 1970, 5, N 5, 207.
7. Gopal-Krishna, Swarup G. Spectra of compact and extended components of powerful extragalactic radio sources. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1977, 178, 265.
8. Hargrave P. J., McEllin M. Observations of 3C 33, 61.1, 379. 1 and 390.3 at 5 GHz with the 5 km radio telescope. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1975, 173, N 1, 37.
9. Парийский Ю. Н., Соболева Н. С. О скоростях разлета компонент радиогалактик. — *Письма в Астрон. ж.*, 1980, 6, № 2, 67.
10. Hazard C. The structure of the radio sources PKS 0118+03, PKS 2053-20 and PKS 2057-17. — *Astrophys. Lett.*, 1972, 11, 139.
11. Cohen M. H., Gundermann E. J., Hardebeck H. E., Sharp L. E. Interplanetary scintillations. II. Observations. — *Astrophys. J.*, 1967, 147, N 2, 449.
12. Ekers R. D., Goss W. M., Kotanyi C. G., Skellern D. NGC 612-a radio galaxy with a disk. — *Astron. and Astrophys.*, 1978, 69, L21.
13. Miley G. K. *Physics of Non-Thermal Radio Sources*. Ed. Setti Reidel, Dordrecht, 19.
14. Macdonald G. H., Neville A. C., Ryle M. Structure of the radio sources 3C 46, 66, 129 and 465. — *Nature*, 1966, 211, N 5055, 1241.
15. Mitton S. Energy production in four extragalactic radio sources. — *Astrophys. Lett.*, 1970, 6, 161.
16. Bentley M., Haves P., Spencer B. E., Stannard D. High resolution observations of extended radio sources at 1666 MHz. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1975, 173, N3, 93.
17. Burch S. F. Multifrequency studies of seven 3CR radio sources. I. The observations. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1979, 186, 293.
18. Butcher H. R., Oemler A., Tapia Jr. S., Tarenghi M. 3C 66 A: a BL Lacertae object in a distant, rich cluster galaxies. — *Astrophys. J.*, 1976, 209, N 1, p 2, L11.
19. Stull M. A., Price K. M., D'Addario L. R., Wernecke S. J., Graf W., Grebenkempe C. J. Study of the brightness and polarization structure of extragalactic radio sources. — *Astron. J.*, 1975, 80, N 8, 559.
20. Fomalont E. B. The East-West structure of radio sources at 1425 MHz. — *Astrophys. J. Suppl.*, 1968, 15, 138.
21. Northover K. J. E. The radio galaxy 3C 66. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1973, 165, 369.
22. Kellermann K. I., Clark B. G., Niell A. E., Shaffer D. B. Observations of compact radio nuclei in Cygnus A, Centaurus A and other extended radio sources. — *Astrophys. J.*, 1975, 197, L113.
23. Maltby P., Matthews T. A., Moffet A. T. Brightness distribution in discrete radio sources. IV. A discussion of 24 identified sources. — *Astrophys. J.*, 1963, 137, N 1, 153.
24. Riley M., Pooley G. G. Observations of 31 extragalactic radio sources with the Cambridge 5 km telescope at 5 GHz. — *Mem. Roy. Astron. Soc.*, 1975, 80, 105.

25. Gulkis S., Hazard C., Bray A. D. Lunar occultation studies of five weak radio sources of small angular size. — *Astrophys. Lett.*, 1968, 1, 105.
26. Schilizzi R. T. VLBI detection of compact central components in 17 extended radio sources. — *Astron. J.*, 1976, 81, N 11, 946.
27. Broderick J. J., Condon J. J. Compact components in a complete sample of extragalactic radio sources. — *Astrophys. J.*, 1975, 202, 596.
28. Cameron M. J. Pencil-beam observations of Fornax A, Virgo A and Centaurus A at 408 MHz. — *Proc. Astron. Soc. Austral.*, 1969, 1, N 5, 229.
29. Boischot A., Kazes I. Structure de la radiosource Fornax a associée a la galaxy NGC 1316. — *Annales d'Astrophys.*, 1965, 28, N 1, 75.
30. Bolton J. G., Ekers J. The identification of strong extragalactic radio sources in the declination range $0^{\circ} \div -20^{\circ}$. — *Austral. J. Phys.*, 1966, 19, N 4, 559.
31. Wall J. V., Cole D. J. Structure of some extragalactic sources at 5000 MHz. — *Austral. J. Phys.*, 1973, 26, 881.
32. Branson N. J. B. A., Elsmore B. E., Pooley G. G., Ryle M. Radio maps of 31 extragalactic sources at 2.7 and 5 GHz. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1972, 156, 377.
33. Wills A. G., Schilizzi R. T. The structure and identification of 3C 105. — *Astron. and Astrophys.*, 1979, 71, 253.
34. Harris D. E. The low-frequency spectra of compact components in extragalactic radio sources. — *Astron. J.*, 1974, 79, N 11, 1211.
35. Pauliny-Toth I. I. K., Preuss E., Witzel A., Kellermann K. I., Shaffer D. B. The structure of the radio nucleus of 3C 111. — *Astron. and Astrophys.*, 1976, 52, 471.
36. Longair M. S., Gunn J. E. An investigation of the optical fields of 35 3CR radio sources to faint limiting optical magnitudes. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1975, 170, N 1, 121.
37. Wills B. J. A strong millimeter wave component in the radio galaxy 3C 111. — *Astrophys. J.*, 1975, 202, N 2, L59.
38. Ekers R. D. Interferometric observations of the brightness distribution of southern radio sources. — *Austral. J. Phys. Suppl.*, 1969, 6, 1.
39. Turland B. D. 3C 219: a double radio source with a jet. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1975, 172, 181.
40. Macdonald G. H., Kenderdine S., Neville A. C. Observations of the structure of radio sources in the 3C catalogue. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1968, 138, 259.
41. De Jong D. S., Hogg D. E., Wilkes C. T. Polarization and total intensity maps of extragalactic radio sources at 3.7 and 11 centimeter. — *Astrophys. J.*, 1979, 228, 43.
42. Kapahi V. K., Joshi M. N., Gopal-Krishna. Fine structure of 3C 225. — *Astrophys. Lett.*, 1972, 11, 155.
43. Joshi M. N., Gopal-Krishna. Lunar occultation observations of twelve 3C sources at 327 MHz. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1977, 178, 717.
44. Seilstad G. A., Weiler K. W. Dual-frequency orthogonal strip distributions of linearly polarized and total radiation in eight extragalactic radio sources. — *Astron. J.*, 1971, 76, N 3, 211.
45. O'Dell S. L., Puschnell J. J., Stein W. A., Warner J. W., Ulrich M. N. The spectral-flux distribution (0.36–3.5 μm) of nonstellar light from the broad line radio galaxies 3C 227 and 3C 382. — *Astrophys. J.*, 1978, 219, N 3, 818.
46. Northover K. J. E. Observations of the radio galaxies 3C 264 and 3C 315. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1976, 177, 307.
47. Veron M. P., Veron P. A catalog of extragalactic radio source identifications. — *Astron. and Astrophys. Suppl.*, 1974, 18, 309.
48. Baker J. R., Green A. J., Landecker T. L. Brightness distributions across six strong radio galaxies at 15 GHz. — *Astron. and Astrophys.*, 1975, 44, 173.
49. Gardner F. F., Davies R. D. Polarization of radiosources. — *Austral. J. Phys.*, 1966, 19, N 3, 441.
50. Cooper B. F. C., Price R. M., Cole D. J. A study of decimetric emission and polarization of Centaurus A. — *Austral. J. Phys.*, 1965, 18, 589.
51. Берлин А. Б., Гольнев В. Я., Есепкина Н. А., Зверев Ю. К., Ипатов А. В., Кайдановский Н. Л., Корольков Д. В., Лавров А. П., Парийский Ю. Н., Соболева Н. С., Стоцкий А. А., Тимофеева Г. М., Шиврис О. Н. Центавр-А: наблюдения центральной области на см волнах с помощью РАТАН-600. — *Письма в Астрон. ж.*, 1975, 1, № 12, 3.
52. Gardner F. F., Davies R. D. Three-component radio source containing a well — aligned magnetic field. — *Nature*, 1964, 201, 144.
53. Gardner F. F., Davies R. D. The polarization of radio sources. II. Observations of extended radio sources. — *Austral. J. Phys.*, 1970, 23, 59.
54. Goss W. M., Wellington K., Christiansen W. N., Lockhart I. A., Watkinson A., Frater R. H., Little A. G. IC 4296: a double-double radio galaxy. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1977, 178, 525.

55. Kronberg P. 3C 303 : a source with unusual radio and optical properties. — *Astrophys. J.*, 1976, **203**, L47.
56. Wall J. V., Shimmins A. J., Merkelijn J. K. The Parkes 2700 MHz survey. — *Austral. J. Phys. Suppl.*, 1971, N 19, 1.
57. Hogg D. E., Macdonald G. H., Conway R. G., Wade C. M. Synthesis of brightness distribution in radio sources. — *Astron. J.*, 1969, **74**, N 10, 1206.
58. Clark T. A., Erickson W. C., Hutton L. K., Resch G. M., Vandenberg N. R., Broderick J. J., Knowles S. H., Joumans A. B. Meter-wavelength VLBI. II. Observations. — *Astron. J.*, 1975, **80**, 923.
59. Strom R. G., Willis A. G., Wilson A. S. Two-frequency high resolution observations of 3C 382 and 3C 386. — *Astron. and Astrophys.*, 1978, **68**, N 3, 367.
60. Riley J. M., Branson N. J. B. A. New observations of 3C 382, 3C 452 and 3C 465 at 2.7 and 5 GHz. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1973, **164**, 271.
61. Дженнисон Р. С. Радиоастрономия. Парижский симпозиум 1958 г. М., «Иностр. лит.», 1961, 302.
62. Hargrave P. J., Ryle M. Observations of Cygnus A with 5 km radio telescope. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1974, **166**, 305.
63. Hargrave P. J., Ryle M. Observations of Cygnus A at 15 GHz with 5 km radio telescope. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1976, **175**, 481.
64. Kronberg P., Bergh S., Button S. Radio and optical structure of Cygnus A. — *Astron. J.*, 1977, **82**, N 5, 315.
65. Miley G. K., Wade C. M. The fine structure of Cygnus A. — *Astrophys. Lett.*, 1971, **8**, 11.
66. Pooley G. G., Hendbest S. N. Observations of 48 extragalactic radio sources with the Cambridge 5 km telescope at 5 GHz. — *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 1974, **169**, 477.
67. Ryle M., Elsmore B., Neville A. C. High-resolution observations of the radio sources in Cygnus A. — *Nature*, 1965, **207**, N 5001, 1024.