

## Эволюция радиоизлучения остатка сверхновой Кассиопеи А по пятидесятилетним наблюдениям вблизи частот 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц

В. П. Бовкун, И. Н. Бубнов, И. Н. Жук, А. А. Коноваленко

*Радиоастрономический институт НАН Украины,  
ул. Краснознаменная, 4, г. Харьков, 61002, Украина,  
E-mail: akonov@ri.kharkov.ua, boobnov@mail.ru*

*Статья поступила в редакцию 12 февраля 2010 г.*

Приводятся результаты измерений отношений плотностей потоков радиоизлучения остатка сверхновой Cas A и радиогалактики Cyg A в интервале времени 1959.5 – 2009.4 гг. на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц. Даны краткие сведения об инструментах, на которых проводились измерения. Показано, что в декаметровом диапазоне волн наблюдаются сильные вариации плотности потока радиоизлучения Cas A. Определено среднее значение скорости падения плотности потока Cas A в 50-летнем интервале времени. В декаметровом диапазоне волн оно составляет  $(0.81 \pm 0.04) \%$  в год и в пределах ошибок измерений не зависит от частоты.

### 1. Введение

В 1948 г. английские радиоастрономы Райл и Смит [1] обнаружили в созвездии Кассиопеи необыкновенно яркий источник радиоизлучения, названный ими Кассиопеей А. В 1951 г. методом интерферометрии Смит существенно уточнил координаты этого источника, что позволило Бааде и Минковскому отождествить его с пекулярной туманностью – остатком вспышки сверхновой (ОСН) [2].

Молодой ОСН Кассиопея А (Cas A) является наиболее мощным источником космического радиоизлучения и часто используется наряду с другим мощным источником – радиогалактикой Лебедь А (Cyg A) – в качестве эталона при калибровке радиотелескопов. Особенно пристальное внимание этому источнику уделяется после того, как в 1960 г. И. С. Шкловский [2, 3] из физических соображений предсказал вековое уменьшение плотности потока излучения ОСН на стадии его адиабатического расширения и вскоре [4] это предсказание для Cas A было подтверждено экспе-

риментально. Согласно И. С. Шкловскому относительное уменьшение плотности потока  $\Delta S_\nu / S_\nu$  за год равно

$$\Delta S_\nu / S_\nu = -2(2\alpha + 1)/T,$$

где  $T$  – возраст источника в годах,  $\alpha$  – спектральный индекс,  $S_\nu$  – плотность потока в эпоху наблюдений  $t$ . Полагая  $\alpha \approx 0.8$ ,  $T \approx 330$ , получим для наблюдений 2009 г.  $\Delta S_\nu / S_\nu = 0.0158$ , т. е. 1.58 % в год. С учетом возможного торможения за счет межзвездной среды, реальное падение плотности потока Cas A должно быть меньше.

За истекшие 60 лет наблюдений радиоизлучения Cas A накоплен огромный объем экспериментальных данных как о вековых изменениях параметров радиоизлучения, так и об угловой структуре источника (см., например, работы [5-54] и цитируемую в них литературу). Итоги результатов наблюдений эволюции радиоизлучения ОСН на метровых, дециметровых, сантиметровых волнах приведены

в [14-25]. Показано, что действительно на этих волнах радиоизлучение Cas A испытывает вековое уменьшение потока радиоизлучения. Кроме векового уменьшения потока, были также обнаружены значительные вариации во времени как величин спектральных индексов [14, 16-18, 23], так и плотностей потоков. На дециметровых и сантиметровых волнах отмечены [16-18] изменения отношения потоков радиоизлучения Cas A и Cyg A с периодом около 6 лет. На метровых волнах обнаружены четыре гармоники в спектре вариаций плотности потока радиоизлучения Cas A [16]:  $(3.1 \pm 0.02)$ ;  $(5.1 \pm 0.3)$ ;  $(9.0 \pm 0.2)$  и  $(24 \pm 2)$  года. Было высказано предположение о наличии компактного объекта или периодической инъекции релятивистских электронов [23]. Показана нестационарность вековых изменений радиоизлучения ОСН. Отмечено аномальное повышение плотности потока на частоте 38 МГц в 1974.8 г. [22], а затем резкое падение в течение 1975.9–1977.2 гг.

Пространственная структура Cas A в широком диапазоне длин волн приведена в [30-54]. Показано, что на метровых, дециметровых, сантиметровых волнах крупномасштабная структура ОСН Cas A представляет собой оболочку диаметром  $\sim 4'$  и толщиной  $0.6'$ , которую наблюдатель воспринимает в виде плато и кольца. Такая крупномасштабная модель согласуется как с наблюдениями на декаметровых волнах [30], так и в рентгеновском диапазоне [45]. В диапазоне частот  $1407 \div 5000$  МГц [36] наблюдается большое число компактных деталей с угловыми размерами от 2 до  $20''$ , расположенных в основном вблизи края оболочки и движущихся со случайными скоростями, значения которых часто превышают 3000 км/с. В оптическом диапазоне тоже обнаружены компактные детали с размерами около  $2''$ : примерно 30 квазистационарных конденсаций, скорости которых меньше 500 км/с, и около 100 волокон, движущихся от центра источника со скоростями  $4000 \div 9000$  км/с и имеющих время жизни около 10 лет [49-54]. Отметим, что время жизни оптических волокон близко к периоду изменения плотности потока Cas A на частоте 38 МГц [23].

Целью настоящей работы является подведение итогов наблюдений за полувековой период в декаметровом диапазоне волн. Главное внимание уделено наблюдениям, проведенным в обсерватории им. С. Я. Брауде Радиоастрономического института НАН Украины.

## 2. Аппаратура и методика измерений

В связи с тем что приводимые в этой работе результаты многолетних наблюдений были в основном получены на инструментах радиоастрономической обсерватории, основанной полвека назад по инициативе и под непосредственным руководством С. Я. Брауде, представляется целесообразным кратко описать эти инструменты.

Характерной особенностью всех использованных инструментов была их широкополосность, позволяющая вести наблюдения на ряде частот декаметрового диапазона одновременно. Так как помехи в основном либо узкополосны, либо проходят по боковым лепесткам диаграммы направленности (ДН) радиотелескопа, то многочастотные наблюдения позволяют отфильтровать помехи.

С целью уменьшения ошибок, обусловленных погрешностями определения спектральной плотности шума сигнала калибровки и эффективной площади антенн радиотелескопа, наряду с абсолютными измерениями проводились и измерения плотности потока радиоизлучения Cas A в единицах потока опорного источника. Опорным источником был выбран Cyg A, зенитный угол которого в верхней кульминации при наблюдениях в Радиоастрономической обсерватории им. С. Я. Брауде близок к зенитному углу Cas A, что обеспечивает минимальное отличие эффективных площадей фазированных антенных решеток радиотелескопов в направлении на эти источники. На частотах  $12.6 \div 25$  МГц это отличие не превышает 5 %. Для уменьшения влияния систематических ошибок на возможные временные вариации наблюдаемых плотностей потоков радиоизлучения эксперименты и процедуры обработки в разных сериях измерений проводились по единой методике. В каждой серии наблю-

дений оценка отношения плотности потоков Cas A и Cyg A получена при усреднении результатов более 20 измерений.

Первый меридианный декаметровый радиотелескоп в обсерватории был введен в эксплуатацию в 1960 г. Антенная система этого инструмента [9, 10] представляла собой две широкополосные четырехрядные решетки, по шесть горизонтальных диапазонных вибраторов (диполей Надененко) в ряду, вытянутых вдоль направления восток – запад. Расстояние между решетками составляло 150 м. Полоса принимаемых сигналов в основном ограничивалась полосой пропускания симметрирующих и суммирующих устройств и позволяла наблюдать источники в диапазоне частот  $19.5 \div 31$  МГц.

Фазирование решеток осуществлялось путем включения между рядами соответствующих линий задержки, выполненных из кабеля РК-1. ДН антенных решеток, расположенных над землей, измерялась на рабочих частотах путем облета самолетом, на котором был установлен специальный передатчик, сигнал которого принимался одновременно антенной решеткой и эталонным полуволновым вибратором. Направление на самолет определялось теодолитом. Оказалось, что измеренные и расчетные ДН и эффективная площадь антенных решеток находились в хорошем согласии и в последующих разработках радиотелескопов облет антенных систем самолетами не проводился.

Выходы обеих антенн через суммо-разностное устройство подавались на вход модуляционного радиометра. Радиометры представляли собой супергетеродинные приемники с синхронным детектором на выходе. Регистрация сигнала производилась путем записи на бумажную ленту со скоростью протяжки 1 мм/мин самопишущими миллиамперметрами типа Н-370АМ. В отдельных случаях запись осуществлялась с помощью автоматического потенциометра ЭПП-09. Калибровка аппаратуры производилась с помощью перестраиваемого генератора стандартных шумов [55] и имитатора излучения Галактики. В качестве задающего генератора выступал ши-

рокополосный шумовой диод 2Д2С. После усиления и преобразования частоты на выходе генератора можно было реализовать узкополосный шум на любой частоте декаметрового диапазона с эффективной шумовой полосой 1.4 МГц. Температура шума контролировалась микроваттметром и измерителем интегральной полосы. Ослабление в калибровочных кабелях тщательно измерялось с помощью установки УКА-1 и контролировалось с помощью набора калиброванных аттенюаторов. С мая по сентябрь 1960 г. было проведено 160 сеансов наблюдений Cas A и Cyg A.

Проведенные измерения плотности потоков радиоизлучения дискретных источников Cas A и Cyg A подтвердили перспективность наземных наблюдений космических источников в декаметровом диапазоне волн, необходимость повышения разрешающей способности и чувствительности радиотелескопов, а также показали возможность расширения диапазона наблюдаемых частот в сторону низких частот.

В 1961 г. был сооружен и введен в эксплуатацию радиотелескоп [27], состоящий из двух антенных решеток, разнесенных на 332 м друг от друга вдоль направления восток – запад. Каждая решетка (рис. 1) состояла из 24 диапазонных горизонтальных вибраторов диаметром 1.2 м и длиной 7.8 м, расположенных на высоте 4.5 м над поверхностью земли. Как и предыдущий радиотелескоп, этот инструмент был меридианным телескопом, но позволял вести наблюдения на более низких частотах



**Рис. 1.** Фотография 24-элементной решетки для наблюдений в диапазоне частот  $12 \div 20$  МГц [27]

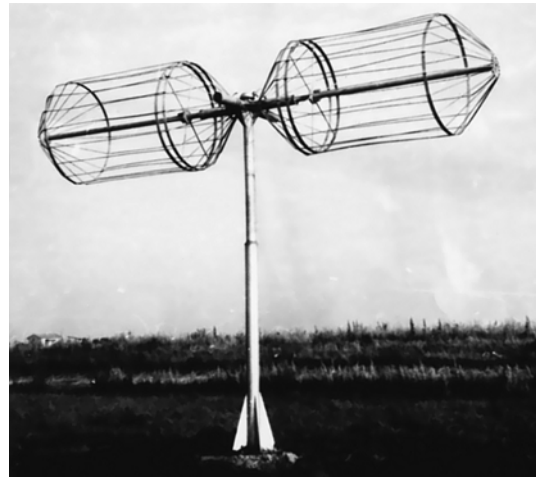
в диапазоне 12 ÷ 20 МГц. На нем были измерены плотности потоков четырех наиболее интенсивных дискретных источников космического излучения [27]: Cas A, Cyg A, Тельца А и Девы А.

Эффективная площадь антенны радиотелескопа определялась путем сравнения сигналов, принятых от Cas A на интерферометр, образованный двумя решетками, и на интерферометр, образованный двумя эталонными полуволновыми вибраторами. Наблюдения проводились в основном на трех фиксированных частотах: 12.6, 16.7 и 20 МГц. Регистрация принятых сигналов осуществлялась самописцами Н-370АМ.

Следующий радиотелескоп был сооружен в 1962 г. [11, 12, 56, 57]. Рабочий диапазон его частот составлял 20 ÷ 40 МГц. Антенная система состояла из двух четырехрядных решеток размером 16.5×176 м каждая, по 32 вытянутых вдоль направления восток – запад горизонтальных диапазонных вибраторов в ряду, (фотография восточной решетки представлена на рис. 2). Каждый вибратор (рис. 3) диаметром 1 м и длиной 4.75 м располагался на высоте 3 м над поверхностью земли. Антенные решетки были разнесены на 470 м вдоль направления восток – запад и расположены ортогонально друг другу, что обеспечивало высокую направленность инструмента в ортогональных плоскостях. Эталонирование антенн радиотелескопа проводилось путем



**Рис. 2.** Фотография восточной 128-элементной решетки для наблюдений в диапазоне частот 20 ÷ 40 МГц [28]



**Рис. 3.** Фотография вибратора 128-элементной решетки [28]

сравнения их параметров с параметрами эталонного интерферометра, состоящего из двух полуволновых вибраторов, при наблюдении [27] радиоизлучения дискретного источника Cas A. Радиотелескоп работал в модуляционном режиме. Регистрация сигналов космических источников осуществлялась с помощью самописцев Н-370 АМ.

Эталонирование плотности потока радиоизлучения Cas A с помощью эталонных полуволновых вибраторов [27] и одновременные наблюдения Cas A и Cyg A в течении 1962 – 1965 гг. [27] позволили надежно определить плотность потока Cyg A в декаметровом диапазоне волн. На частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц она равна  $(17000 \pm 4600)$ ,  $(25000 \pm 6500)$ ,  $(27000 \pm 5400)$ ,  $(30000 \pm 5700)$  и  $(29000 \pm 5000)$  Ян соответственно [27]. С этими данными согласуются современная аппроксимация спектра радиоизлучения Cyg A на метровых и декаметровых волнах, предложенная Е. Н. Виняйкиным [20],

$$S_{vCyg} = S_0 v^{-\alpha} \exp \left[ -0.342 (v_{\max} / v)^{2.1} \right],$$

где  $v$  – частота наблюдений, МГц;  $S_{vCyg}$  – плотность потока Cyg A, Ян;  $v_{\max} = 21.713$  МГц;  $S_0 = 3.835 \cdot 10^5$  Ян;  $\alpha = 0.718$ ; а также спектр

первичного эталона радиоизлучения Cyg А на частотах ниже 463.5 МГц в абсолютной шкале потоков [58],

$$\lg S_{\nu \text{Cyg}} = \lg S_{11} - \alpha \lg \nu - (\gamma/\nu)^\delta,$$

где  $\lg S_{11} = 5.580$ ,  $\delta = 2.167$ ,  $\alpha = 0.713$ ,  $\gamma = 8.652$  МГц.

Значительно более совершенным стал введенный в эксплуатацию в 1966 г. радиотелескоп УТР-1 [54, 60] состоящий из двух взаимоперпендикулярных антенных решеток, расположенных на местности в виде буквы Г. Одна из этих решеток – однорядная длиной 600 м – состояла из 80 диапазонных горизонтальных вибраторов Надененко с индуктивным шунтом, ориентированных вдоль направления восток – запад и расположенных вдоль меридиана. Вторая антенна (рис. 4), длиной 576 м, состояла из двух рядов коллинеарных вибраторов, по 64 вибратора в ряду, расположенных вдоль параллели. Управление ДН радиотелескопа как по склонению, так и по прямому восхождению проводилось дистанционно путем включения с помощью высокочастотных реле соответствующего набора линий задержки, выполненных из радиочастотного кабеля. С выходов системы фазирования каждой решетки принятые сигналы поступали на предварительные усилители высокой частоты (ПУВЧ). С выхода ПУВЧ сигналы через магистральные кабели и систему взаимного фазирования антенн поступали на широч-

кополосный фазовый модулятор дискретного типа. После модулятора сигналы обеих антенн складывались в гибридном сумматоре, с выхода которого они через гибридный разветвитель поступали на входы шести радиометров. Радиометры имели строго линейную характеристику по мощности. Это позволяло проводить градуировку измерительной радиоаппаратуры без имитации сигналов галактического фона. Обычно измерения велись одновременно на пяти частотах: 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц, а иногда и на 10 МГц. Результирующая ошибка измерений определялась систематической ( $\leq 13\%$ ) и среднеквадратичной случайными ошибками, причем, как правило, все измерения проводились до тех пор, пока значение случайной ошибки не становилось менее 5 %.

Десятилетний опыт эксплуатации декаметровых радиотелескопов позволил разработать и к 1970 г. построить крупнейший в мире декаметровый радиотелескоп УТР-2 [61-63], предназначенный для систематического обзора дискретных радиоисточников северной небесной полусферы и ряда других программ в диапазоне 10 ÷ 25 МГц. Радиотелескоп УТР-2 имеет Г-образную конфигурацию. Одна из его решеток размером 1860×53 м расположена вдоль меридиана. Она содержит 6 рядов горизонтальных вибраторов диаметром 1.8 м и длиной 8 м, по 240 вибраторов в каждом ряду. Вибраторы закреплены с помощью шунтов (металлических изоляторов) на вертикальных мачтах на высоте 3.5 м от земли. В центре каждого вибратора уста-

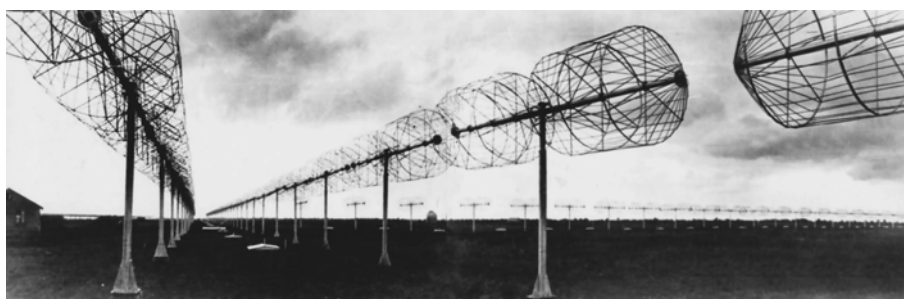


Рис. 4. Фотография плеча восток – запад антенны УТР-1 [29]

новлено широкополосное согласующее [64] и симметрирующее устройство.

Вторая антенная решетка (рис. 5) размером  $900 \times 39.3$  м расположена вдоль параллели. Она состоит из шести рядов таких же вибраторов как и вибраторы первой решетки, по 100 вибраторов в каждом ряду. Вибраторы обеих решеток вытянуты вдоль направления восток – запад. Расстояние между центрами соседних вибраторов вдоль меридиана равно 7.5 м, а вдоль параллели – 9 м. ДН УТР-2 в модуляционном режиме симметрична в обеих плоскостях и эквивалентна ДН (по полю) квадратной решетки с размерами  $1860 \times 1860$  м.

В 1970 г. радиотелескоп УТР-2 вступил в опытную эксплуатацию [63] и с 1972 г. на нем ведутся регулярные научные исследования. В отличие от предыдущих моделей радиотелескопов в УТР-2 предусмотрена цифровая регистрация принимаемых сигналов, что су-

щественно расширило возможности анализа и обработки принимаемых сигналов.

В 1986 г. на базе радиоастрономических отделов ИРЭ АН УССР был образован Радиоастрономический институт, в состав которого вошла и обсерватория.

Двадцатилетний опыт эксплуатации радиотелескопа УТР-2 на фиксированных частотах 10, 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц показал возможность реализации сплошной полосы частот и расширения рабочего диапазона частот как в сторону низких, так и в сторону высоких частот. Однако расширение полосы пропускания и реализация сплошной полосы в условиях возросшего уровня помех потребовали модернизации системы антенного усиления [65] радиотелескопа, в частности, пришлось отказаться от двухъярусной системы усиления с шестью фиксированными полосами и заменить ее четырехъярусной системой усиления с тре-



**Рис. 5.** Фотография западного плеча антенны радиотелескопа УТР-2

мя перекрывающимися полосами, что позволило оптимизировать распределение усиления вдоль антенных полей и существенно повысить динамический диапазон антенных усилителей.

Четырехъярусная структура системы антенного усиления УТР-2 из независимых блоков [65] позволила произвести поэтапную (начиная с 1989 г.) модернизацию радиотелескопа без остановки работы инструмента. В результате модернизации радиотелескопа УТР-2 динамический диапазон системы антенного усиления возрос в полосе частот 8 ÷ 30 МГц не менее чем на 13 дБ, а чувствительность возросла на 4 ÷ 6 дБ. Собственные шумы системы антенного усиления вплоть до частоты 30 МГц ниже, чем внешние шумы. На низких частотах (8 ÷ 10 МГц) динамический диапазон новой системы усиления составляет 107 дБ/мкВ, а на высоких частотах (10 ÷ 38 МГц) – не менее 90 дБ/мкВ по интермодуляции третьего порядка.

Для уменьшения погрешностей, связанных с неопределенностью параметров используемых инструментов и сезоном наблюдений, при исследовании эволюции радиоизлучения Cas A ее поток радиоизлучения измерялся в единицах потока Cyg A. Так как в каждой серии измерений плотность потока Cas A и Cyg A измерялась с погрешностью, то отношение их потоков  $r = S_{\text{Cas}}/S_{\text{Cyg}}$  в серии измерений распределено по логарифмически нормальному закону [66]. Поэтому среднее значение  $\langle r \rangle$  для измерений, проведенных с одинаковой точностью, определялось как

$$\langle r \rangle = \exp \left[ (1/N) \sum_{i=1}^N \ln r_i \right],$$

а его среднеквадратичная ошибка (СКО)  $\sigma$  из соотношения:

$$\sigma = \left[ (1/N)(N-1)^{-1} \sum_{i=1}^N (r_i - \langle r \rangle)^2 \right]^{1/2}.$$

При измерениях, проведенных с неодинаковой точностью, среднее значение  $\langle r \rangle$  равно:

$$\langle r \rangle = \exp \left[ (1/\sum W_i) \sum_{i=1}^N W_i \ln r_i \right],$$

где  $W_i$  – статистический вес  $i$ -го измерения. При этом СКО среднего значения оценивалась из соотношения

$$\sigma = \left[ (N-1)^{-1} (\sum W_i)^{-1} \sum W_i (r_i - \langle r \rangle)^2 \right]^{1/2},$$

а средняя эпоха наблюдений – из соотношения

$$\langle t \rangle = (1/\sum W_i) \sum W_i t_i.$$

Падение плотности потока Cas A оценивалось исходя из экспоненциальной аппроксимации:

$$r = c \exp(-pt), \quad (1)$$

где  $c$  – константа,  $p = -(1/r) dr/dt$  – скорость убывания плотности потока в год.

Среднее значение  $\langle p \rangle$  для  $N$  эпох наблюдений равно:

$$\langle p \rangle = \left( \sum_{i=1}^N W_i \right)^{-1} \sum_{i=1}^N W_i \left[ (\ln \langle r \rangle_i - \langle \ln r \rangle) / (\langle t \rangle - t_i) \right],$$

где  $\langle \ln r \rangle = (1/\sum W_i) \sum W_i \ln \langle r \rangle_i$ .

### 3. Результаты измерений

Результаты измерений отношения  $r$  плотностей потоков Cas A и Cyg A в период с 1959.5 по 2009.4 гг. на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц приведены в табл. 1, 2. Хотя в работах [7, 8] измерения проводились на частотах 16, 16.8, 22.2, 22.6, 26, 26.15 МГц и 5.8, 8.9, 12.2, 18.5, 25 МГц соответственно, тем не менее

**Таблица 1.** Отношение  $r$  плотностей потоков радиоизлучения  $C_{as} A$  и  $C_{\gamma} A$  по измерениям в эпоху 1959–1984 гг.

Эпоха наблюдений	Частота, МГц					Публикация
	25	20	16.7	14.7	12.6	
1959.5	1.86±0.08	1.91±0.10	1.92±0.10			[7]
1960.5	2.07±0.41	1.75±0.35				[9, 10]
1961±2	1.67±0.34	1.85±0.37	2.10±0.42	2.30±0.46	2.65±0.53	[8]
1961.8	1.64±0.11	1.61±0.08	1.96±0.14	1.83±0.13	2.27±0.30	[11, 12, 27]
1962.0	1.64±0.06	1.61±0.08	1.85±0.16			[26]
1962.6			1.85±0.10	1.75±0.09	2.22±0.19	[27]
1962.7	1.66±0.07	1.89±0.10	1.85±0.09	1.72±0.14	2.18±0.12	[27]
1962.9	2.0±0.10	1.72±0.09	2.12±0.11	1.80±0.14	2.74±0.15	[27]
1963.0	1.69±0.07	1.75±0.09				[26]
1964.1	1.67±0.08	1.61±0.10	1.96±0.12	2.0±0.16	2.25±0.14	[28]
1965.5	1.69±0.08	1.75±0.09				[27]
1966	1.72±0.12					[13]
1966.83	1.93±0.10	2.0±0.12	2.22±0.16	2.71±0.22	3.13±0.30	[13]
1966.89	1.98±0.10	2.13±0.13	2.24±0.16	2.96±0.24	3.43±0.34	[13]
1967.1	1.84±0.13	2.41±0.17	2.26±0.17	2.05±0.16	2.67±0.26	[29]
1967.4	1.83±0.10	2.04±0.12	1.74±0.12	2.05±0.16	2.14±0.21	[13]
1967.5	1.72±0.12					[13]
1967.75	1.53±0.08	1.57±0.09	1.48±0.10	1.58±0.13	2.19±0.22	[13]
1967.81	1.58±0.08	1.68±0.10	1.74±0.12	1.81±0.14	2.24±0.22	[13]
1967.86	1.89±0.09		1.87±0.13	2.05±0.16	2.73±0.27	[13]
1967.9	1.65±0.08	1.83±0.11	2.01±0.14	2.45±0.20	2.86±0.28	[13]
1967.94	1.95±0.10		2.33±0.16	2.37±0.19	2.81±0.28	[13]
1968.78	1.96±0.10	1.82±0.11	1.72±0.12	1.69±0.13	2.55±0.26	[13]
1968.82	1.96±0.10	2.14±0.13	2.01±0.14	2.07±0.16	2.49±0.25	[13]
1968.86	1.98±0.10	1.93±0.12	1.80±0.13	2.47±0.19	2.37±0.24	[13]
1968.90	2.23±0.11	1.64±0.10	1.79±0.13	2.09±0.17	2.68±0.27	[13]
1968.93	2.17±0.11	1.54±0.09	1.80±0.13	2.17±0.17	2.39±0.24	[13]
1968.98	2.11±0.11	1.75±0.10	2.01±0.14	2.15±0.17	2.63±0.26	[13]
1971.0	1.64±0.06	1.83±0.09	2.00±0.16			[26]
1974.5	1.76±0.09	1.93±0.10	2.00±0.14	1.92±0.14		[62, 63]
1977.2	1.83±0.19	1.79±0.18				[37-40]
1978.0	1.72±0.09	1.85±0.09	1.85±0.16			[26]
1980.0	1.66±0.08					[26]
1982.0		1.70±0.11				[26]
1984.0	1.65±0.08	1.78±0.09	2.12±0.17			[26]



**Таблица 2.** Отношение  $r$  плотностей потоков радиоизлучения Cas A и Cyg A по измерениям в эпоху 1985–2009.4 гг.

Эпоха наблюдений	Частота, МГц					Публикация
	25	20	16.7	14.7	12.6	
1985.0	1.64±0.06	1.76±0.09				[26]
1986.0	1.63±0.06	1.87±0.09	2.0±0.16			[26]
1987.0	1.63±0.04	1.73±0.06	2.22±0.16			[26]
2008	1.06±0.03					
2009.4	1.13±0.02	1.20±0.03	1.39±0.03	1.60±0.04	1.76±0.05	

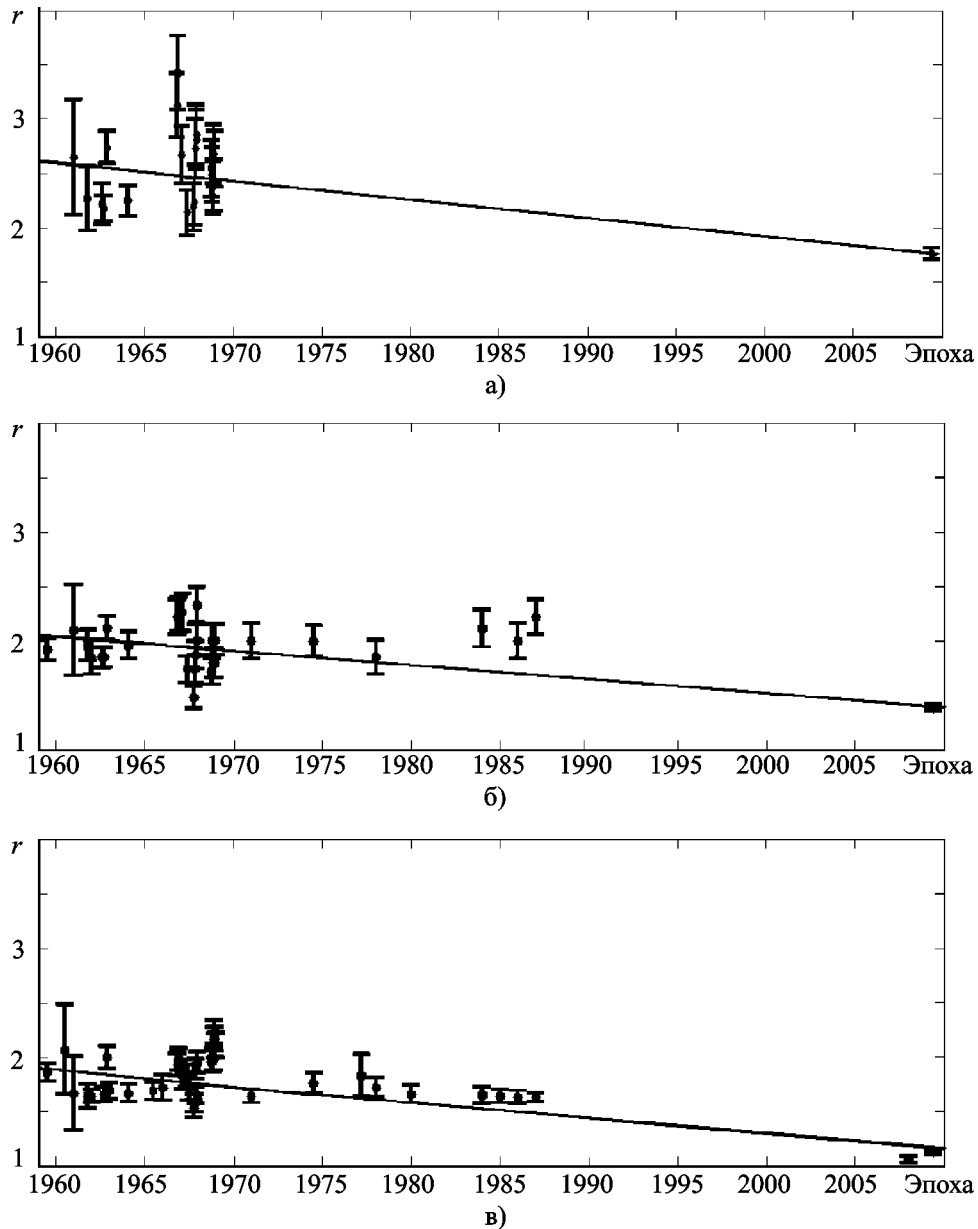
монотонный характер изменения данных от частоты позволил осуществить интерполяцию и оценить значение  $r$  на частотах, указанных в таблицах. В целях получения однородного экспериментального материала в табл. 1 и 2 после 1961 г. включены только измерения, полученные в Радиоастрономической обсерватории им. С. Я. Брауде. Исходя из априорной информации [16] о периодических изменениях отношения плотности потоков Cas A и Cyg A на низких частотах с квазипериодами от  $(3.1 \pm 0.02)$  до  $(24 \pm 2)$  года вся совокупность данных разбита на две таблицы. В табл. 1 представлены данные, полученные в интервале времени 24.5 года с 1959.5 г. до 1984 г. В табл. 2 приведены аналогичные данные в интервале времени 24.4 года с 1985 г. по 2009.4 г. Графики, иллюстрирующие скорость векового уменьшения плотности потока Cas A в интервале времени 1959.5 – 2009.4 гг. представлены на рис. 6, а, б, в для частот 12.6, 16.7 и 25 МГц соответственно.

Как видно из табл. 1 и рис. 6, отношения  $S_{\text{Cas}}/S_{\text{Cyg}}$  испытывают сильные флуктуации во времени, значительно превышающие точность измерений. Отношение максимальных значений  $r$  к минимальным составляет  $1.6 \pm 0.14$  и практически не зависит от частоты.

Из сопоставления средних значений  $\langle r \rangle$ , полученных по данным табл. 1 и 2 и приведенных в табл. 3, видно, что  $\langle r \rangle$  первой таблицы в среднем в  $1.32 \pm 0.1$  раз больше, чем  $\langle r \rangle$  второй таблицы, т. е. наблюдается заметное падение плотности потока Cas A во времени, причем это падение в пределах ошибок измерений не зависит от частоты.

В табл. 3 приведены значения средних параметров эволюции радиоизлучения Cas A на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц, полученные по данным табл. 1 и 2 в предположении экспоненциальной аппроксимации (1). В табл. 4 приведены значения средних параметров эволюции радиоизлучения Cas A, полученные из выборки, в которой использованы только те эпохи наблюдений, для которых в табл. 1 и 2 есть данные на всех пяти частотах. В табл. 3 и 4 на каждой частоте в первой строке приведены средние значения для интервала времени 1959.5 – 1984 гг., во второй – для интервала времени 1985 – 2009.4 гг., в третьей – данные для интервала времени 1959.5 – 2009.4 гг. В конце каждой таблицы приведены средние параметры для всех пяти частот. Из сопоставления данных табл. 3 и 4 следует, что  $\langle r \rangle$  и  $\langle p \rangle$  для обеих таблиц в пределах ошибок совпадают. Действительно, среднее значение векового уменьшения плотности потока Cas A по пяти частотам в интервале времени 1959.5 – 2009.4 гг. согласно данным табл. 3 равно  $(0.81 \pm 0.04) \%$  в год, а по данным табл. 4 –  $(0.9 \pm 0.1) \%$  в год. Следовательно, выборка из которой получены данные табл. 4 хотя и меньше выборки, из которой получены данные табл. 3, но достаточно представительна.

Сравнивая данные табл. 3 и табл. 4 с результатами измерений [16] на частотах  $\approx 80$  МГц ( $0.7 \div 0.8 \%$  в год) и 38 МГц ( $0.84 \%$  в год) за последние 50 лет, можно сделать вывод, что в метровом и дециметровом диапазонах волн средняя скорость падения плотности потока Cas A в пределах ошибок измерений не зависит от частоты.



**Рис. 6.** Зависимость отношения плотностей потоков радиоизлучения Cas A и Cyg A от эпохи наблюдений на частотах 12.6 МГц (а), 16.7 МГц (б) и 25 МГц (в)

#### 4. Заключение

В работе приведены результаты пятидесятилетних наблюдений радиоизлучения ОЧН Cas A на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц. Даны краткие сведения об инструментах, на которых проводились измерения.

Показано, что в декаметровом диапазоне волн наблюдаются сильные вариации плотности потока Cas A. Среднее значение скорости падения плотности потока Cas A в декаметровом диапазоне волн в 1959.5 – 2009.4 гг. составляет  $(0.81 \pm 0.04) \%$  в год и в пределах ошибок измерений не зависит от частоты.

**Таблица 3.** Значения средних параметров эволюции радиоизлучения Cas A на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц в эпоху 1959.5–2009.4 гг.

Частота, МГц	$\langle t \rangle$	$\langle r \rangle$	$100\langle p \rangle$
12.6	1965.84	2.50±0.05	0.80±0.16
	2009.4	1.76±0.05	0.80±0.23
	1979.67	2.24±0.06	0.80±0.13
14.7	1966.82	2.03±0.034	0.56±0.10
	2009.4	1.60±0.04	0.56±0.14
	1979.79	1.89±0.026	0.56±0.08
16.7	1966.85	1.92±0.025	0.67±0.08
	2006.21	1.47±0.03	0.68±0.14
	1978.69	1.77±0.02	0.68±0.07
20	1968.32	1.78±0.02	0.68±0.08
	1997.68	1.46±0.03	0.68±0.14
	1976.45	1.69±0.016	0.68±0.07
25	1967.97	1.79±0.016	1.0±0.1
	1999.58	1.30±0.015	1.0±0.12
	1979.93	1.59±0.011	1.0±0.07
12.6 ÷ 25	1967.09		0.73±0.04
	2007.96		0.83±0.07
	1978.86		0.81±0.04

**Таблица 4.** Значения средних параметров эволюции радиоизлучения Cas A на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 и 25 МГц в эпоху 1959.5–2009.4 гг.

Частота, МГц	$\langle t \rangle$	$\langle r \rangle$	$100\langle p \rangle$
12.6	1965.88	2.49±0.05	0.8±0.2
	2009.4	1.76±0.05	0.8±0.23
	1981.02	2.21±0.037	0.8±0.13
14.7	1966.63	2.06±0.04	0.6±0.11
	2009.4	1.60±0.04	0.6±0.15
	1982.29	1.88±0.028	0.6±0.09
16.7	1964.36	1.91±0.03	0.74±0.12
	2009.4	1.39±0.03	0.74±0.16
	1981.02	1.71±0.022	0.74±0.10
20	1966.57	1.81±0.03	0.96±0.14
	2009.4	1.20±0.03	0.96±0.24
	1976.98	1.64±0.02	0.96±0.12
25	1966.81	1.85±0.023	1.16±0.15
	2009.4	1.13±0.02	1.16±0.21
	1980.91	1.57±0.016	1.16±0.12
12.6 ÷ 25	1966.54		0.9±0.1
	2009.4		0.9±0.11
	1980.42		0.9±0.1

### Литература

- Ryle M. and Smith F. G. A new intense source of radio-frequency radiation in the constellation of Cassiopeia // Nature. – 1948. – Vol. 162. – P. 462-463.
- Шкловский И. С. Звезды: их рождение, жизнь и смерть. – М.: Наука, 1975. – 368 с.
- Шкловский И. С. О возможном вековом изменении потока и интенсивности радиоизлучения от некоторых дискретных источников // Астрон. ж. – 1960. – Т. 37, №2. – С. 256-264.
- Högbom J. A. and Shakeshaft J. R. Secular variations of the flux density of the radio source Cassiopeia A // Nature. – 1961. – Vol. 189, No. 4764. – P. 561-562.
- Hey J. S. and Hughes V. A. Intensities of discrete radio sources in Cygnus and Cassiopeia at 22.6 Mc/s // Nature. – 1954. – Vol. 173, No. 4409. – P. 819-820.
- Wells H. W. Flux measurements of Cassiopeia A and Cygnus A between 18.5 Mc and 107 Mc // Proc. IRE. – 1958. – Vol. 46, No. 1. – P. 205-208.
- Lovell A. C. B. and Wells H. W. The spectrum of the Cygnus (19N4A) and Cassiopeia (23N5A) radio sources below 30 Mc/s // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1960. – Vol. 121. – P. 111-114.

- Беликович В. В., Бенедиктов Е. А., Коробков Ю. С. О спектре дискретных источников космического радиоизлучения Кассиопея А и Лебедь А в декаметровом диапазоне волн // Астрон. ж. – 1967. – Т. 44, №5. – С. 981-983.
- Брауде С. Я., Мень А. В., Жук И. М., Бабенков К. А. Спектр дискретного джера радиовипромінювання Кассіопеї А на частотах нижче 30 МГц // Доповіді АН УРСР. – 1961. – №4. – С. 469-472.
- Брауде С. Я., Мень А. В., Жук И. Н., Бабенков К. А. Спектр радиоизлучения Кассиопеи А на частотах ниже 30 МГц // Астрон. ж. – 1962. – Т. 39, №1. – С. 163-165.
- Базелян Л. Л., Брауде С. Я., Брук Ю. М., Жук И. М., Мень А. В., Рябов Б. П., Содін Л. Г., Шарикін М. К. Випромінювання потоків дискретних джерел космічного радіовипромінювання на частотах нижче 40 МГц // Доповіді АН УРСР. – 1963. – №2. – С. 188-193.
- Базелян Л. Л., Брауде С. Я., Брук Ю. М., Жук И. Н., Мень А. В., Рябов Б. П., Содін Л. Г., Шарькин Н. К. Спектры радиоизлучения дискретных источников: Кассиопея А, Лебедь А, Телец А и Дева А на частотах

- тах 12.5 - 40 МГц // Известия вузов. Радиофизика. – 1963. – Т. 6, №5. – С. 897-903.
13. Braude S. Ya., Lebedeva O. M., Megn A. V., Ryabov B. P., and Zhouck I. N. The spectra of discrete radio sources at decametric wavelengths // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1969. – Vol. 143. – P. 289-317.
  14. Станкевич К. С., Иванов В. П., Столяров С. П. 50 лет радионаблюдений дискретного источника Кассиопея А // Письма в Астрон. ж. – 1999. – Т. 25, №8. – С. 584-590.
  15. Reichart D. E. and Stephens A. W. The fading of supernova remnant Cassiopeia A from 38 MHz to 16.5 GHz from 1949 to 1999 with new observations at 1405 MHz // Astrophys. J. – 2000. – Vol. 537. – P. 904-908.
  16. Helmboldt J. F., Kassim N. E. The evolution of Cas A at low radio frequencies // Astron. J. – 2009. – Vol. 138. – P. 838-844.
  17. Барабанов А. П., Иванов В. П., Станкевич К. С., Столяров С. П. Периодические изменения радиоизлучения и эволюция спектра остатка сверхновой Кассиопея А // Астрон. ж. – 1986. – Т. 63, №5. – С. 926-938.
  18. Иванов В. П., Станкевич К. С. Периодические изменения радиоизлучения и эволюция спектра остатка сверхновой Кассиопея А // Астрон. ж. – 1989. – Т. 66, №1. – С. 30-39.
  19. Виняйкин Е. Н. Эволюция спектра радиоизлучения Кассиопеи А по многолетним наблюдениям. Наблюдения на частотах 290 и 927 МГц // Астрон. ж. – 2007. – Т. 84, №2. – С. 105-114.
  20. Виняйкин Е. Н. Вековое уменьшение плотности потока радиоизлучения Кассиопеи А по многолетним наблюдениям. Наблюдения на частотах 38, 81.5 и 151.5 МГц // Астрон. ж. – 2006. – Т. 83, №2. – С. 168-176.
  21. Parker E. A. Precise measurements of the flux densities of the radio sources Cas A and Cyg A at metre wavelengths // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1968. – Vol. 138. – P. 407-422.
  22. Read P. L. Measurements of the flux density of Cas A and confirmation of an anomaly at 38 MHz // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1977. – Vol. 178. – P. 259-264.
  23. Walczowski L. T. and Smith K. L. A recurrence of the Cassiopeia A flux anomaly // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1985. – Vol. 212. – P. 27-31 p.
  24. Dickel J. R., Greisen E. W. The evolution of the radio emission from Cas A // Astron. Astrophys. – 1979. – Vol. 75. – P. 44-53.
  25. Hartman J. Antenna pattern measurements from the two-element interferometer // Long Wavelength Array Memo Series, 155. – 2009. – <[www.ece.vt.edu/swe/lwa/memo/lwa0155a.pdf](http://www.ece.vt.edu/swe/lwa/memo/lwa0155a.pdf)>
  26. Жук И. Н. Наблюдения декаметрового излучения Кассиопеи А в период с 1962 по 1987 гг. // Тез. докл. XIX Всесоюзной радиоастрономической конференции “Галактическая и внегалактическая радиоастрономия”. – Таллин (Эстония). – 1987. – С. 161-162.
  27. Жук И. Н. Исследования спектров дискретных источников 3С144, 3С274, 3С405, 3С461 в диапазоне 10–40 МГц. Дисс... канд. физ.-мат. наук. – Харьков, ХГУ: 1967. – 267 с.
  28. Базелян Л. Л. Исследования дискретных источников и солнечной короны в диапазоне 20–40 МГц: Дисс... канд. физ.-мат. наук. – Харьков, ХГУ: 1968. – 215 с.
  29. Рябов Б. П. Измерение плотностей потоков дискретных источников космического радиоизлучения в диапазоне 12.6–25 МГц и исследование их спектров: Дисс... канд. физ.-мат. наук. – М., ИКИ АН СССР: 1971. – 244 с.
  30. Бовкун В. П. Исследование структуры космических радиоисточников в декаметровом диапазоне волн: Дисс... канд. физ.-мат. наук. – М., ИКИ АН СССР: 1982. – 231 с.
  31. Jennison R. C. Spectral variations of the structure of the radio sources Cassiopeia A and Cygnus A // Nature. – 1965. – Vol. 207, No. 4998. – P. 740-741.
  32. Ryle M., Elsmore B., and Neville A. C. High-resolution observation of the radio sources in Cygnus and Cassiopeia // Nature. – 1965. – Vol. 205, No. 4978. – P. 1259-1262.
  33. Rosenberg I. A high resolution map of Cassiopeia A at 2.7 GHz // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1970. – Vol. 147. – P. 215-230.
  34. Hutton L. K., Clark T. A., Erickson W. C., Resch G. M., Vandenberg N. R., Knowles S. H., and Joumans A. B. Meter-wavelength VLBI. I. Cassiopeia A // Astron. J. – 1974. – Vol. 79. – P. 1248-1252.
  35. Hutton L. K., Clark T. A., and Cronyn W. M. High resolution observation of Cas A at 26.3 MHz // Bull. Am. Astron. Soc. – 1973. – Vol. 5. – P. 35.
  36. Bell A. R. Proper motions and temporal flux changes of compact features in Cassiopeia A at 5 GHz // Mon. Not. R. Astron. Soc. – 1977. – Vol. 179, No. 3. – P. 573-585.
  37. Bovkoon V. P. and Zhouck I. N. Scintillations of cosmic radio sources in the decametre waveband. II. Compact sources in supernova remnants of the Crab nebula and Cassiopeia A // Astrophys. Space Sci. – 1981. – Vol. 79. – P. 181-189.
  38. Бовкун В. П., Жук И. Н. Наблюдения мерцаний компактных источников в Крабовидной туманности и Кассиопеи А в декаметровом диапазоне радиоволн // Док. АН УССР. Серия А. – 1981. – №7. – С. 57-60.
  39. Бовкун В. П., Брауде С. Я., Мень А. В. Наблюдение компактного источника в Кассиопее А на частотах 20 и 25 МГц // Докл. АН СССР. – 1981. – Т. 259. – С. 811-813.
  40. Bovkoon V. P., Braude S. Ya., and Megn A. V. Observations of Cassiopeia A at 20 and 25 MHz with

- the URAN-1 interferometer // *Astrophys. Space Sci.* – 1982. – Vol. 81. – P. 221-230.
41. Woan G. and Duffett-Smith P. J. The structure of Cassiopeia A at metre wavelengths // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1990. – Vol. 243. – P. 87-96.
42. Megn A. V., Braude S. Ya., Rashkovsky S. L., Shepelev V. A., Sharykin N. K., Galanin V. V., Litvinenko O. A., Inyutin G. A., Khristenko A. D., and Podgorny G. S. An investigation of the Cassiopeia A radio image in the decametric wave range // *Astrophys. Space Sci.* – 1993. – Vol. 201. – P. 79-90.
43. Oya H. and Iizima M. Mapping of the Cassiopeia A radio sources in the decameter radio wavelength range by long-baseline interferometer. Development of a new direction finding method related to indentify the decameter radio wave pulse sources related to rotating super massive black holes // *Memories of Fukui University of Technology.* – 2003. – Vol. 33. – P. 351-358.
44. Oya H. and Iizima M. Mapping of the decameter radio sources of Cassiopeia A using 100 km range long-baseline interferometer: verification of a new method of phase calibration of interferometers // *Publ. Astron. Soc. Japan.* – 2003. – Vol. 55. – P. 527-534.
45. Fabian A. C., Willingale R., Pye J. P., Murray S. S., and Fabiano G. The X-ray structure and mass of the Cassiopeia A supernova remnant // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* – 1980. – Vol. 193. – P. 175-188.
46. Reed J. E., Hester J. J., Fabian A. C., and Winkler P. F. The three-dimensional structure of the Cassiopeia A supernova remnant. I. The spherical shell // *Astrophys. J.* – 1995. – Vol. 440, No. 2. – P. 1039-1044.
47. Fabian A. C. A Blast from the Past // *Nature.* – 2008. – Vol. 320, No. 5880. – P. 1167-1168.
48. Krause O., Birkmann S. M., Usuda T., Hattori T., Goto M., Rieke G. H., and Misselt K. A. The Cassiopeia A supernova was of Type IIb // *Nature.* – 2008. – Vol. – 320, No. 5880. – P. 1195-1197.
49. Chevalier R. A. Cassiopeia A, faint supernovae, and heavy-element ejection by supernovae // *Astrophys. J.* – 1976. – Vol. 208. – P. 826-828.
50. Kassim N. E., Perley R. A., Dwarakanath K. S., Erickson W. C. Evidence for thermal absorption inside Cassiopeia A // *Astrophys. J.* – 1995. – Vol. 455. – P. L59-L62.
51. Pavlov G. G., Zavlin V. E., Aschenbach B., Trümper J., and Sanwal D. The compact central object in Cassiopeia A: a neutron star with hot polar caps or a black hole? // *Astrophys. J.* – 1995. – Vol. 455. – P. L53-L56.
52. Umeda H., Nomoto K., Tsuruta S., and Mineshige S. Impacts of the detection of Cassiopeia A point source // *Astrophys. J.* – 2000. – Vol. 534. – P. L193-L196.
53. Murray S. S., Ransom S. M., and Juda M. Is the compact source at the center of Cassiopeia A pulsed? // *Astrophys. J.* – 2002. – Vol. 566. – P. 1039-1044.
54. Minkowski R. *Star and stellar systems.* – Chicago: University of Chicago Press, 1968.
55. Лановой В. Н., Мень А. В. Перестраиваемый генератор стандартных шумов // *Приборы и техника эксперимента.* – 1962. – №6. – С. 94-99.
56. Базелян Л. Л., Брук Ю. М., Жук И. Н., Мень А. В., Седин Л. Г., Шарыкин Н. К. Широкополосный радиоинтерферометр с электрическим управлением диаграммой направленности // *Известия вузов. Радиофизика.* – 1964. – Т. 7. – С. 215-224.
57. Базелян Л. Л. Брук Ю. М., Жук И. Н., Мень А. В., Шарыкин Н. К. Широкополосная высоконаправленная антенна дециметровых волн // *Электросвязь.* – 1964. – №5. – С. 14-21.
58. Иванов В. П., Станкевич К. С. Радиоастрономическая шкала потоков // *Известия вузов. Радиофизика.* – 1986. – Т. 29, №1. – С. 3-27.
59. Брук Ю. М., Гончаров Н. Ю., Жук И. Н., Инютин Г. А., Мень А. В., Седин Л. Г., Шарыкин Н. К. Экспериментальные исследования многоэлементных антенн – решеток радиотелескопа УТР-1 // *Известия вузов. Радиофизика.* – 1968. – Т. 11, №1. – С. 28-43.
60. Брук Ю. М., Гончаров Н. Ю., Мень А. В., Седин Л. Г., Шарыкин Н. К. Т-образный радиотелескоп диапазона 10–25 МГц с электрическим управлением лучом // *Известия вузов. Радиофизика.* – 1967. – Т. 10, №5. – С. 608-619.
61. Брауде С. Я., Мень А. В., Седин Л. Г. Радиотелескоп дециметрового диапазона волн УТР-2 // *Антенны.* – М: Связь. – 1978. – вып. 26. – С. 3-15.
62. Мень А. В., Седин Л. Г., Шарыкин Н. К., Брук Ю. М., Мельяновский П. А., Инютин Г. А., Гончаров Н. Ю. Принципы построения и характеристики антенн радиотелескопа УТР-2 // *Антенны.* – М: Связь. – 1978. – Вып. 26. – С. 15-57.
63. Braude S. Ya., Megn A. V., Ryabov B. P., Sharykin N. K., and Zhouck I. N. Decametric Survey of Discrete Sources in the Northern Sky. I. The UTR-2 Radio Telescope. Experimental Technique and Data Processing // *Astrophys. Space Sci.* – 1978. – Vol. 54. – P. 3-36.
64. Мень А. В., Мельяновский П. А. О согласовании излучателей с системой фазирования в широкополосных антенных решетках радиотелескопа УТР-2 // *Антенны.* – М: Связь. – 1978. – вып. 26. – С. 58-74.
65. Абрагин Э. П., Брук Ю. М., Захаренко В. В., Коноваленко А. А. Структура и параметры новой системы антенного усиления радиотелескопа УТР-2 // *Радиофизика и Радиоастрономия.* – 1997. – Т. 2, №1. – С. 95-102.
66. Braude S. Ya., Megn A. V., Ryabov B. P., Sharykin N. K., and Zhouck I. N. Decametric Survey of Discrete Sources in the Northern Sky. III. Low-Frequency Absolute Flux Scale of Discrete Radio Sources // *Astrophys. Space Sci.* – 1978. – Vol. 54. – P. 129-143.

**Еволюція радіовипромінювання  
залишка наднової Кассіопеї А  
за результатами п'ятидесятирічних  
спостережень поблизу частот 12.6,  
14.7, 16.7, 20 та 25 МГц**

**В. П. Бовкун, І. М. Бубнов,  
І. М. Жук, О. О. Коноваленко**

Наводяться результати вимірювань відношення густини потоків радіовипромінювання залишка наднової Cas A та радіогалактики Cyg A в часовому інтервалі 1959.5–2009.4 рр. на частотах 12.6, 14.7, 16.7, 20 та 25 МГц. Подані короткі відомості про радіотелескопи, на яких виконувались вимірювання. Показано, що в декаметровому діапазоні хвиль спостерігаються значні варіації густини потоку Cas A. Визначена середня швидкість зменшення густини потоку Cas A у 50-річному часовому інтервалі. В декаметровому діапазоні хвиль вона становить  $(0.81 \pm 0.04) \%$  щороку і в межах похибок вимірювань не залежить від частоти.

**Evolution of Radio Emission of Cassiopeia A  
Supernova Remnant by Fifty Year  
Observations near to Frequencies 12.6,  
14.7, 16.7, 20, and 25 MHz**

**V. P. Bovkoon, I. N. Bubnov,  
I. N. Zhouck, and A. A. Konovalenko**

The results of measurements in the ratios of flux densities of Cas A supernova remnant and Cyg A radio galaxy in the time interval 1959.5–2009.4 at frequencies 12.6, 14.7, 16.7, 20, and 25 MHz are shown. The radio telescopes used in these measurements are briefly mentioned. Strong variations in Cas A flux densities at decimeter wavelengths are shown to be observed. The average drop rate of Cas A flux density for a 50-year period has been determined. For the decimeters, it makes  $(0.81 \pm 0.04) \%$  a year, being frequency independent within the measuring errors.