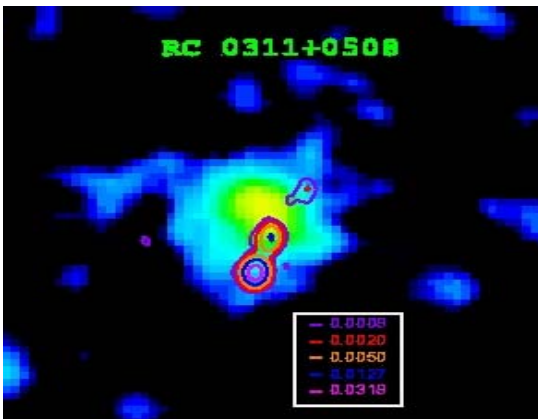


## РАДИОАСТРОНОМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### ПРОЕКТ «БОЛЬШОЕ ТРИО»

Продолжалась работа по селекции кандидатов в далекие мощные радиогалактики по материалам первого глубокого обзора неба на РАТАН-600 (RC каталог). Первичной основой селекции являются крутой радиоспектр (РАТАН-600) и морфология радио объекта (VLA). Далее привлекались данные многоцветной фотометрии по наблюдениям на БТА и завершалось исследование прямой спектроскопией родительской галактики. Чем полнее данные оптических измерений, тем более далекие объекты удавалось выделить в исследованной полосе неба (~100 кв. град). В 2005 г. достигнут новый рекорд – обнаружена мощная радиогалактика RC0311+0507 на красном смещении  $z = 4.515$  (рис. 63).



## RADIO ASTRONOMY INVESTIGATIONS

### THE “BIG TRIO” PROJECT

Selection of candidates to distant powerful radio galaxies by materials of the RATAN-600 first deep survey of the sky (the catalogue RC) was continued. The selection is based first of all on a steep radio spectrum (RATAN-600) and morphology of a radio source (VLA). Then data of multi-band BTA photometry were involved, and the study ended with a direct spectroscopy of a host galaxy. The more complete are data of optical measurements, the more distant galaxy could be selected in a sky band under investigation (~100 square degrees). In 2005 a new record was achieved: the powerful galaxy RC0311+0507 at the red shift  $z = 4.515$  was discovered (Fig. 63).

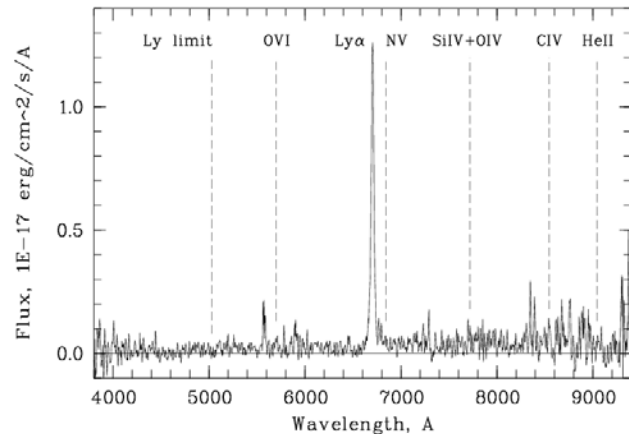


Рис. 63. Слева: Изображение RC0311+0507 в фильтре R (БТА) с наложенными радиоизофотами (VLA). Справа: Оптический спектр родительской галактики RC0311+0507 с мощной и узкой эмиссионной линией. Единственный не противоречащий всем накопленным данным по радиогалактикам вариант отождествления – Ly- $\alpha$ , смещенная на  $z=4.515$ .

Fig. 63. Left: The R image of RC0311+0507 (BTA) superimposed with radio isophotes (VLA). Right: Optical spectrum of a host galaxy of RC0311+0507 with a powerful and narrow emission line. The only variant of identification that does not contradict to all accumulated data of radio galaxies is Ly- $\alpha$  shifted to  $z=4.515$ .

В свое время предполагалось, что мощные радиогалактики формируются медленно, и требуется несколько млрд. лет для достижения светимости, близкой к светимости классической мощной радиогалактики типа Лебедь-А. В начале 80-х годов предполагалось даже, что на красных смещениях более 2 их не должно быть. Обнаружение же объектов на порядок более мощных, чем Лебедь-А, всего через 0.5 млрд. лет после эпохи вторичной ионизации ( $z = 7$ ) явилось неожиданностью. По современным представлениям такая мощность свидетельствует о наличии гигантской черной дыры в центре родительской галактики с массой  $\sim 10^9 M_{\odot}$ ,

Once it was assumed that powerful radio galaxies are formed slowly, and the achieving of luminosity close to the luminosity of the classic powerful radio galaxy Cygnus A takes several billion years. In the beginning of the eighties it was even assumed that such galaxies must not exist at red shifts greater than 2. Discovery of objects an order more powerful than Cygnus A only at 0.5 billion years after the epoch of the secondary ionization ( $z = 7$ ) was quite unexpected. According to current concepts, such power indicates that there is a giant black hole of mass  $\sim 10^9 M_{\odot}$  in center of the host galaxy, but its fast growth is difficult to explain. There are versions that a black hole is formed first, and then

и столь быстрый рост ее трудно объяснить. Обсуждаются версии формирования сначала черной дыры, а потом уже галактики.

Начатый в 2004 г. многочастотный радио обзор неба вблизи местного зенита уже сейчас позволил по радио спектрам выделить популяцию объектов с очень крутыми спектрами, часть из которых может быть объектами первого поколения с массивными черными дырами. Появление новых глубоких каталогов всего неба позволит провести предварительную селекцию кандидатов в первое поколение с учетом идеологии, проверенной на RC каталоге.

Ю.Н. Парижский, А.И. Копылов, О.В. Верходанов, Н.С. Соболева, А.В. Темирова

the host galaxy.

A multi-frequency radio survey of the sky near the local zenith that was started in 2005 has already permitted to select by radio spectra a population of objects with very steep spectra a part of which can be objects of the first generation with massive black holes. New deep catalogues of the whole sky will allow us performing a preliminary selection of candidates to the first generation taking into account an ideology tested by the catalog RC.

Yu.N. Parijskij, A.I. Kopylov, O.V. Verkhodanov, N.S. Soboleva, A.V. Temirova

**НОВЫЙ ГЛУБОКИЙ ОБЗОР НЕБА НА РАТАН-600 (RZF, RATAN-600 ZENITH FIELD)**

В 2004-2005 гг. были расширены возможности многочастотного комплекса РАТАН-600 (Обл.1), и наблюдения проводились в 37 частотных каналах от 1 до 50 см.

Впервые удалось получить сведения о мелкомасштабной анизотропии фонового синхротронного излучения Галактики с чувствительностью и разрешением на порядок более высоким, чем ранее, и на более высоких частотах. Найдены ограничения на эксперименты по интенсивности и поляризации СМВ и эксперименты следующего поколения по поиску реликтовых грав. волн, роли звезд поколения III и др.

**A NEW DEEP SURVEY OF THE SKY WITH RATAN-600 (RZF, RATAN-600 ZENITH FIELD)**

In 2004-2005 capabilities of a multi-frequency complex RATAN-600 were extended (Cabin 1), and observations were carried out in 37 frequency channels from 1 to 50 cm.

Information on small-scale anisotropy of background synchrotron radiation of the Galaxy has been first gained with sensitivity and resolution that are an order higher than before, and at higher frequencies. We found restrictions of experiments on intensity and polarization of CMB and next-generation experiments on search of relic gravitational waves, role of stars of the third generation, etc.

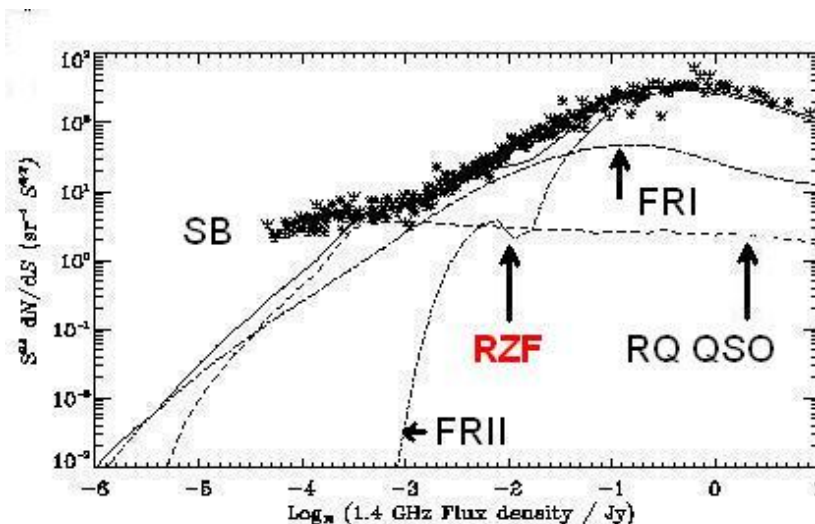


Рис. 64. Современные экспериментальные данные о статистике радиоисточников и модельные оценки вклада популяций их на различных уровнях плотностей потока. Вертикальными линиями показаны пределы двух глубоких обзоров на РАТАН-600 (COLD и RZF). Наблюдения подтвердили резкое падение процента FR II объектов (точечная кривая). Роль других популяций уточняется.

Fig. 64. Modern data on statistics of radio sources and model estimations of contribution of their populations at different flux density levels. Vertical lines indicate limits of two deep RATAN-600 surveys (COLD and RZF). Observations confirmed a sharp fall of percentage of FR II sources (the dotted line). The role of other populations is being refined.

Одновременно были опубликованы предварительные данные о популяции дискретных источников в см диапазоне волн с плотностью потока близкой к пороговой для NVSS (несколько мЯн на волне 21см). В центральной полосе обзора ( $\pm 2'$ ) удалось обнаружить около 600 источников. Объектов радио неба, не попавших ни в один каталог, оказалось около 10%. Эти объекты будут исследоваться более детально. Для остальных источников проведен популяционный анализ. Показано, что выборка FR II объектов представлена значительно слабее, чем в каталогах с более высокими предельными потоками. Это не противоречит моделям последних лет (рис. 64).

Preliminary data about a population of discrete sources in the centimeter wavelength range with flux densities close to a NVSS threshold (several mJy at a wavelength of 21 cm) were published simultaneously. We managed to discover about 600 sources in the central survey band ( $\pm 2'$ ). About 10% of sources of radio sky turned out to be out of all catalogues. These objects will be studied in more detail. The population analysis was performed for the rest of sources. It was shown that the sample of FR II objects is presented much less than in catalogues with higher limit fluxes. It does not contradict to models of recent years (Fig. 64).

Ниже приводится статистика отождествлений RZF объектов с FIRST объектами  
Below is given statistics of identification of the RZF objects with the FIRST objects:

1.	Пустые поля	Empty fields	5%
2.	Квази-точечные радиоисточники (LAS < сек. Дуги)	Quasi-stellar radio sources (LAS < 6 arcsec.)	65%
3.	Двойные радиогалактики (и квазары)	Binary radio galaxies (and quasars)	13%
4.	Тройные объекты	Triple objects	2%
5.	Сложные	Complex objects	9%
6.	Следы ветра в скоплениях	Remnants of wind in clusters	3%
7.	Пекулярные объекты	Peculiar objects	3%

Шум слабых радиоисточников удалось выделить на 3.9 см. Даже на волне 2.7 см этот шум виден – он создается неотожествленными радиоисточниками с поверхностной плотностью, равной числу диаграмм направленности на 1 стерадиан.

We managed to select a noise of weak radio sources at 3.9 cm. This noise is seen even at a wavelength of 2.7 cm – it is formed by unidentified radio sources with a surface density equal to a number of beams per 1 steradian.

Предельные возможности такого подхода зависят не только от чувствительности радиометров, но от углового разрешения радиотелескопа и полного времени эксперимента. Угловое разрешение РАТАН-600 можно повысить, как это делается в системах апертурного синтеза. Опыт показал, что даже оптимальная обработка одномерных данных позволяет почти на порядок уменьшить эффективный телесный угол диаграммы направленности РАТАН-600 и соответственно снизить уровень шума фоновых радиоисточников.

Limit possibilities of such approach depend not only on radiometers sensitivity but also on angular resolution of a radio telescope and total time of experiment. The angular resolution of RATAN-600 can be made higher as it is made in aperture synthesis systems. Experiment shows that even an optimal processing of one-dimensional data permits reducing an effective solid angle of the RATAN-600 beam almost by one order and, respectively, reducing noise level of background radio sources.

К 2004 г. достигнутая глубина обзора на склонении 3С84 ( $0h < RA < 24h$ ) оказалась достаточной и приблизилась к порогу, определяемому шумом фоновых излучений и фоновых радиоисточников. Шум радиометра уже сегодня снижен до уровня, ниже GB6 и WMAP эксперимента.

By 2004 the achieved survey depth at the declination of 3C84 ( $0h < RA < 24h$ ) turned out to be sufficient and approached a threshold determined by the noise of background radiations and background radio sources. Today the noise of radiometer is already reduced to zero, what is lower than in the GB6 and WMAP experiments.

Столь низкий порог позволил пересмотреть роль синхротронного излучения Галактики в исследовании интенсивности и поляризации реликтового фона в текущих и в планируемых крупных экспериментах. Так, в отличие от многих зарубежных оценок, основанных на далекой экстраполяции по частотам и угловым размерам синхротронного шума Галактики, показано малая роль его даже на волнах короткого см диапазона. Для центральных же волн эксперимента ПЛАНК-2007 он пренебрежимо мал (рис. 65).

Such a low threshold allowed revising the role of synchrotron radiation of the Galaxy in the study of intensity and polarization of the relic background in current and planned big experiments. So, unlike many foreign estimations based on a far extrapolation in frequency and angular size of synchrotron noise of the Galaxy, its small role was shown even at waves of short cm range. And it is negligible for central waves of the experiment PLANK-2007 (Fig. 65).

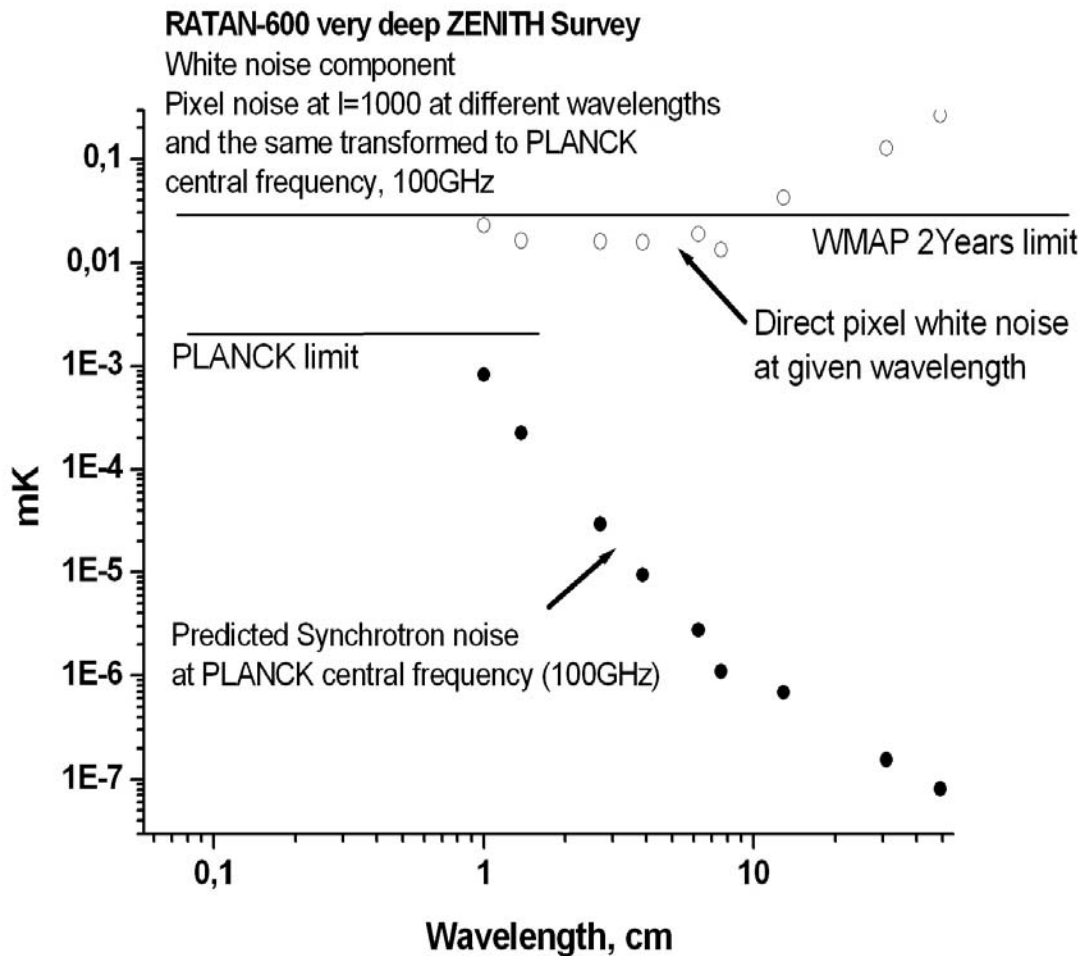


Рис. 65. Оценка синхротронного шума Галактики на частотах СМВ экспериментов (точки) по данным RZF обзора (кружочки). Вариант  $l=1000$  – основной масштаб поляризации Сахаровских осцилляций. Самое жесткое ограничение ожидается по данным RATAN-600 в дм диапазоне.

Fig. 65. Estimation of synchrotron noise of the galaxy at frequencies of CMB experiments (dots) by RZF-survey data (circles). A variant  $l = 1000$  is a basic scale of polarization of Sakharov oscillations. The most rigid limitation is expected by RATAN-600 data in the cm wavelength range

В 2004-2005 гг. проводилось пробное накопление данных о поляризации неба на волне 1 см на всех угловых масштабах вплоть до разрешения RATAN-600 (6") для оценки вклада "Сахаровских осцилляций", Томсоновского рассеяния в эпоху вторичной ионизации и для проверки роли генерируемых альфвеновскими волнами синхротрона в период рекомбинации и в период активного формирования гравитационно-связанных объектов во Вселенной.

Поэтому, в соответствии с проектом "Генетический код Вселенной", было решено на порядок расширить ширину обзора по склонению. В 2004-2005 гг. накопление данных происходило в полосе около  $2^\circ$ , которая охватывает площадку около 500 кв. град. Дополнительно в этой полосе идет накопление данных о поляризации неба на волне 1 см с помощью 6-волноводного варианта

In 2004-2005 we carried out a trial accumulation of data on polarization of the sky at a wavelength of 1 cm at all angular scales up to the RATAN-600 resolution (6") to estimate contribution of the Sakharov oscillations, of the Thomsonian scattering in the epoch of the secondary ionization, and to test a role of synchrotron generated by the Alfvén waves in the period of recombination and in the period of active formation of gravitationally-related objects in the Universe.

That is why in accordance with the project "Cosmological Gene", it was decided to extend the survey declination width by one order. In 2004-2005 the data accumulation was made in the band of about  $2^\circ$  covering an area of about 500 square degrees. In addition to this band, the data on the sky polarization are accumulated at a wave of 2 cm by means of a 6-waveguide variant of an array radiometer. First results

матричного радиометра. Первые результаты выявили значительный поляризованный шум неба на малых мультиполях, интерпретация которого пока неоднозначна (рис. 66).

revealed a considerable polarized noise at small multipoles. Its interpretation is still ambiguous (Fig. 66).

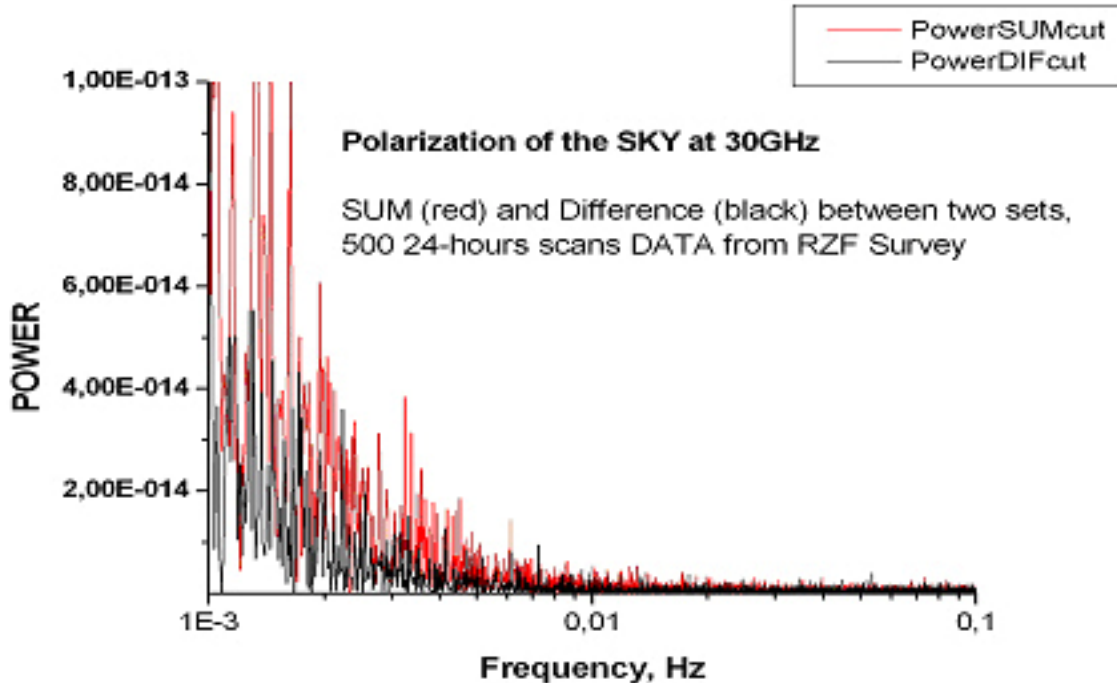


Рис 66. Спектральный состав поляризации фонового излучения неба на волне 1 см. “Красный” шум – полусумма двух независимых массивов, “Черный” шум – полуразность двух массивов. Поляризация “Сахаровских осцилляций” максимальна на пространственных частотах около 0.003 Гц.

Fig. 66. Spectral composition of polarization of the background sky radiation at a wavelength of 1 cm. The “red” noise is a half-sum of two independent arrays. The “black” noise is a half-difference of two arrays. Polarization of Sakharov oscillations is maximal at spatial frequencies of about 0.003 Hz

Дальнейшее накопление всех многочастных данных RZF обзора позволяют уточнить вклад многих мешающих фоновых излучений. Некоторые новые возможности возникают в связи с заменой основного источника информации по синхротрону Галактики (карты Хаслама) на данные РАТАН-600 с набором волн от 50 до нескольких см, на порядок с более высоким разрешением и чувствительностью. Это позволяет перейти от «энергетических» шаблонов к «амплитудно-фазовым» с нужным для СМВ разрешением.

Ю.Н. Парийский, Н.Н. Бурсов, Е.К. Майорова,  
Т.А. Семенова, А.И. Копылов, Н.С. Соболева,  
А.В. Темирова, О.В. Верходанов, А.Б. Берлин,  
Н.А. Нижельский, М.Г. Мингалиев

The further accumulation of all multi-frequency data of the RZF survey allows refining contribution of many interfering background radiations. Some new possibilities arise in view of the replace of a basic source of information on synchrotron of the Galaxy (the Haslam maps) by RATAN-600 data with a set of wavelengths from 50 cm to several centimeters with resolution and sensitivity of one order higher. It allows switching from “energetic” models to “amplitude-phase” ones with a resolution necessary for CMB.

Yu.N. Parijskij, N.N. Bursov, E.K. Mayorova,  
T.A. Semenova, A.I. Kopylov, N.S. Soboleva,  
A.V. Temirova, O.V. Verkhodanov, A.B. Berlin,  
N.A. Nizhel'skij, M.G. Mingaliev

## О ВОЗМОЖНОСТИ РАННЕЙ РЕГИСТРАЦИИ ВЫБРОСОВ СОЛНЕЧНЫХ КОРОНАЛЬНЫХ МАСС НА РАДИОВОЛНАХ

Корональные выбросы масс (КВМ) на расстояниях 5-10 радиусов Солнца наблюдаются на космической обсерватории SOHO с помощью внеатомных коронографов LASCO.

## A POSSIBILITY OF EARLY REGISTRATION OF SOLAR CORONAL MASS EJECTIONS IN RADIO WAVES

Coronal mass ejections (CMEs) at distances of 5-10 radii of the Sun are observed at the space observatory SOHO with the Lyot coronagraphs LASCO. Multiwave observations with the radio telescope RATAN-600



Многоволновые наблюдения на радиотелескопе РАТАН-600 позволяют регистрировать явления, связанные с зарождением КВМ, непосредственно на диске Солнца, и, тем самым, определять параметры плазменной среды, что может быть использовано для прогнозирования таких событий.

Приведен пример наблюдений мощной активности Солнца в ноябре 2004 г., которая сопровождалась рядом крупных протонных вспышек и КВМ. На РАТАН-600 проводились многоволновые наблюдения этих событий в диапазоне 1.83 – 15 см с анализом интенсивности и круговой поляризации излучения.

allow registering phenomena related to the origin of CME directly on disk of the Sun and thereby determining parameters of plasma medium what can be used for prediction of such events.

We give an example of observations of a powerful activity of the Sun in November 2004 which was accompanied by a number of big proton flares and CMEs. Multiwave observations of these events were carried out with RATAN-600 in the range 1.83 – 15 cm with analysis of intensity and circular polarization.

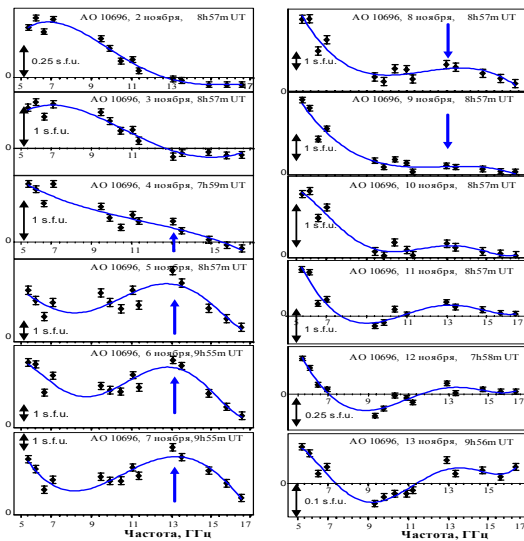


Рис. 67. Динамика спектра полного потока поляризованного излучения АО 10696 со 2 по 13 ноября 2004 г. по данным на РАТАН-600. В течение 4-7 ноября заметен рост спектра на высоких частотах (11-16 ГГц), показанный стрелкой вверх. 8 и 9 ноября отмечено резкое уменьшение потока излучения, которое связано с эффектом потемнения (см. также рис. 68).

Fig.67. Spectrum dynamics of the total flux of polarized radiation of the active region 10696 from 2 to 13 November 2004 by RATAN-600 data. During November 4-7 the spectrum rise at high frequencies (11-16 GHz) is visible (marked by an up-arrow). On November 8 and 9 a sharp decrease of radiation flux is noted which is related to the darkening effect (see also Fig. 68).

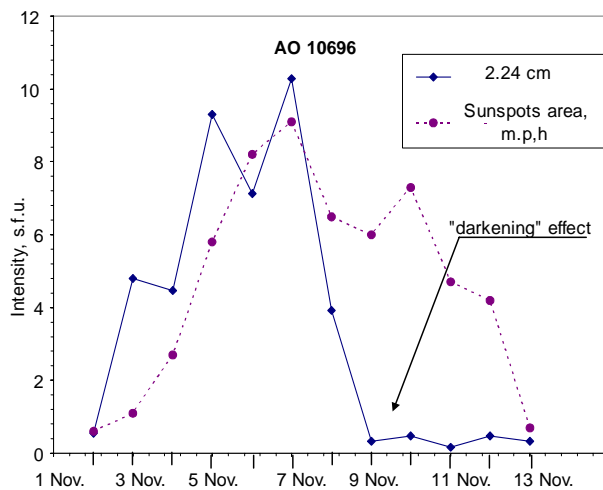


Рис.68. Изменение полного потока интенсивности радиоизлучения на волне 2.24 см за весь период наблюдений и занимаемой пятнами в данной активной области площадью. Видно, что после 7 ноября поток радиоизлучения стал падать значительно резче, чем суммарная площадь пятен. Этот эффект интерпретируется как эффект потемнения в активной области АО 10696 перед вспышкой M 2.5, происшедшей 10 ноября 2004 г., и связан с КВМ.

Fig. 68. Change in the total intensity flux at the wave 2.24 cm during the whole period of observations and in the area occupied by spots in this active region. It is seen that after November 7 the radio emission flux falls much sharper than the sum area of spots. This effect is interpreted as the darkening in the active region 10696 before the flare M 2.5 that occurred on November 10, 2004, and that is related to the CME.

Весь этот период определялся активностью одной вспышечно-продуктивной активной области АО 10696, которая произвела 11 вспышек уровня M и 2 вспышки уровня X в рентгеновском диапазоне. На рис. 67 представлены спектры потока излучения этой области в поляризованном излучении. Данные, приведенные на рис. 67 и 68, интерпретируются как внезапное исчезновение поляризованного потока после вспышки 7 ноября. Сопоставление с данными Space Weather Highlight (КВМ со скоростью

All that period was determined by activity of one flare-productive active region 10696 which produced 11 flares of level M and 2 flares of level X in X-ray. Fig. 67 shows flux spectra of this region in polarized radiation. Data given in Fig. 67 and 68 are interpreted as a sudden disappearance of polarized flux after the flare of November 7. Comparison with the data by Space Weather Highlight (CME at a velocity of 1800 km/s on November 8) confirms a possibility to register the coronal mass ejections by microwave measurements of

1800 км/с 8 ноября) подтверждает возможность регистрации выбросов корональных масс с помощью микроволновых измерений поляризованного излучения.

*В.М. Богод, В.С. Котельников*

#### **МЕТОД ОЦЕНКИ СООТНОШЕНИЯ МЕЖДУ ГОРЯЧЕЙ И ХОЛОДНОЙ КОРОНАЛЬНОЙ ПЛАЗМОЙ В СОЛНЕЧНЫХ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЯХ ПО ДАННЫМ РАДИО И РЕНТГЕНОВСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ**

Исследование корональной плазмы над мощными солнечными активными областями (АО) показало, что расхождения между оценками физических параметров активной плазмы, обычно встречающиеся при сопоставлении наблюдений в радио диапазоне и мягком рентгене, можно сгладить, если ввести предположение о неоднородности короны. Предложен метод оценки соотношения между горячей и холодной материей в короне над АО. Определены яркостная температура и мера эмиссии на момент максимума всплесков и периоды между всплесками. Согласовать полученные в рентгеновском и радио диапазонах данные на момент максимума всплеска, а также межвспышечные интервалы, удается в предположении о сосуществовании горячего (~7 МК) и холодного (~2 МК) вещества в короне над АО. Из сопоставления мер эмиссии доля горячей материи составляет < 30%. Тем не менее, плотность этого вещества для мощной АО в ~ 6 раз превышает плотность фоновой холодной плазмы. Подчеркивается преимущество наблюдений в радио диапазоне, которые не дублируют рентгеновские, а дают необходимые дополнительные сведения о физических условиях в активной короне Солнца.

*А.Н. Коржавин, Н.Г. Петерова совместно с Т.П. Борисевич (ГАО РАН)*

#### **О ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИКАХ ЧАСТОТНЫХ ИНВЕРСИЙ ПОЛЯРИЗОВАННОГО РАДИОИЗЛУЧЕНИЯ ВСПЫШЕЧНЫХ ОБЛАСТЕЙ**

Многоволновые наблюдения поляризованного излучения вспышечно-продуктивных активных областей показали ранее (Богод, Тохчукова, 2003) наличие неоднократных инверсий круговой поляризации по частотному диапазону. С целью подтверждения данного результата и изучения временных характеристик этих эффектов было проведено сопоставление данных наблюдений на крупных инструментах RATAN-600, SSRT (Иркутск) и NoRH (Нобейяма, Япония). Сравнение показало, что сложные спектрально-поляризационные свойства излучения вспышечно-продуктивных активных областей (прост

polarized radiation.

*V.M. Bogod, V.S. Kotel'nikov*

#### **METHOD OF ESTIMATION OF RELATION BETWEEN HOT AND COLD CORONAL PLASMA IN ACTIVE SOLAR REGIONS BY DATA OF RADIO AND X-RAY OBSERVATIONS**

The study of coronal plasma above powerful active solar regions showed that a discrepancy between estimations of physical parameters of active plasma which are usual when radio and soft X-ray observations are compared can be smoothed if corona is supposed to be non-uniform. A method of estimation of relation between hot and cold matter in corona above active regions is proposed. Brightness temperature and a measure of emission at the moment of flare maximum and in periods between flares were determined. It is possible to adjust data obtained in radio and X-ray at the moment of the flare maximum and in intervals between flares if supposition is made that a hot (~ 7 MK) matter and a cold (~ 2 MK) matter co-exist in corona above the active region. From emission measure comparison it follows that a part of the hot matter is <30%. Nevertheless, for a powerful active region the density of this matter exceeds density of background cold plasma by ~ 6 times. Radio observations are preferable because they do not duplicate X-ray, but give necessary additional information about physical conditions in active corona of the Sun.

*A.N. Korzhavin, N.G. Peterova in collaboration with T.P. Borisevich (MAO RAS)*

#### **ABOUT TIME CHARACTERISTICS OF FREQUENCY INVERSIONS OF POLARIZED RADIO EMISSION OF FLARE REGIONS**

Multi-frequency observations of polarized radiation of flare-producing active regions had previously shown (Bogod, Tokhchukova, 2003) that there are reiterated inversions of circular polarization over the frequency range. To confirm this result and to study time characteristics of these effects the data of observations with large instruments RATAN-600, SSRT (Irkutsk) and NoRH (Nobeyama, Japan) were compared. The comparison showed that complicated spectral-polarization properties of flare-producing active regions (the increase of polarized flux at short centimeter wavelengths 1.8-5 cm and reiterated frequency-inversions of polarization obtained by RATAN-600

поляризованного потока излучения на коротких сантиметровых волнах 1.8–5 см и получаемые по данным РАТАН-600 неоднократные инверсии поляризации по частоте) дополняются частыми и хаотическими сменами знака поляризации во времени в двухмерном изображении на волне 5.2 см (по данным ССРТ) и на волне 1.76 см (по данным NoRH). Это указывает на непрерывные процессы накопления и предварительного разогрева магнитосферы во вспыхивающей активной области в широком диапазоне высот. Полученные данные противоречат современным вспыхивающим моделям, основанным на относительно стабильных, хотя и сложных, магнитных арочных структурах (рис. 69).

В.И. Гараимов, Т.И. Кальтман

data) are supplemented with frequent and chaotic changes of the polarization sign in time in the 2-dimensional image at the wavelength 5.2 cm (by SSRT data) and 1.76 cm (by NoRH data). This means continuous processes of accumulation and preliminary heating of magnetosphere in a flare-active region in a wide frequency range. The obtained data contradict to modern models of flares which are based on relatively stable magnetic arch structures, complicated as they are (Fig. 69).

V.I. Garaimov, T.I. Kaltman

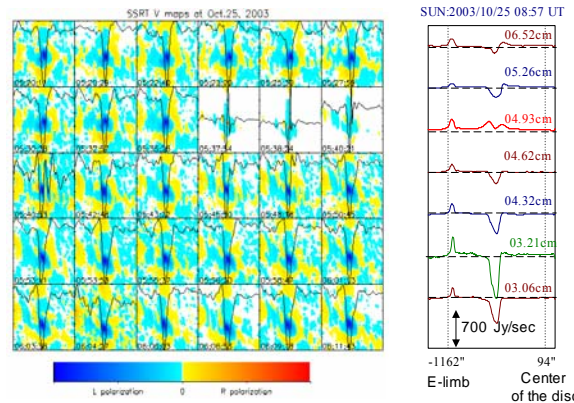


Рис. 69. Слева: свертка двухмерной карты поляризованного излучения по данным ССРТ на волне 5.2 см с одномерной диаграммой РАТАН-600 для активной области АО 10486 (сплошная линия) и ее наложение на исходную карту. Справа: полученный на РАТАН-600 одномерный скан АО 486 (в центре восточного полушария) на нескольких волнах см диапазона. Красным цветом показана инверсия поляризации в 8<sup>h</sup>57<sup>m</sup> на волне 4.93см. По данным ССРТ инверсия происходила с 5<sup>h</sup>37<sup>m</sup> по 5<sup>h</sup>40<sup>m</sup> UT на волне 5.2 см.

Fig. 69. Left: a convolution of the 2-D map of polarized radiation by SSRT data at the wavelength 5.2 cm with a one-dimensional RATAN-600 beam pattern for the active region 10486 (a solid line) and its superposition on the initial map. Right: A one-dimensional scan of the active region 486 (in center of the eastern hemisphere) obtained with RATAN-600 in several centimeter wavelengths. The red color shows the inversion of polarization at 8<sup>h</sup>57<sup>m</sup> at the wavelength 4.93 cm. From SSRT data, the inversion was happening from 5<sup>h</sup>37<sup>m</sup> to 5<sup>h</sup>40<sup>m</sup> UT at the wavelength 5.2 cm.

**СИНХРОННЫЕ УЯРЧЕНИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ АКТИВНЫХ ОБЛАСТЕЙ НА СОЛНЦЕ ПО ДАННЫМ СПЕКТРАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ НА РАТАН - 600**

**SYNCHRONOUS BRIGHTENINGS OF MICROWAVE RADIATION OF ACTIVE REGIONS IN THE SUN BY DATA OF SPECTRAL OBSERVATIONS WITH RATAN-600**

Проблема синхронных уярчений активных областей, находящихся в разных частях Солнца, связана с поиском и исследованием механизмов агентов переноса возмущений между ними. Для эффективного решения этой задачи необходимы крупные инструменты и широкодиапазонные радиоспектрографы, что и реализуется на РАТАН-600. Исследования были выполнены на Южном секторе радиотелескопа с Перископом в многоазимутальном режиме на волнах 1.92, 2.24, 2.74 и 3.21 см. Временной интервал между

A problem of synchronous brightenings of active regions which are in different parts of the Sun is related to the search and study of mechanisms of an agent transferring disturbances between them. An effective solution of this problem demands large instruments and wide-range radio spectrographs what is implemented in the RATAN-600. The investigations were fulfilled with the Southern sector of the radio telescope with a periscope in a multi-azimuthal mode at the wavelengths 1.92, 2.24, 2.74 and 3.21 cm. A time interval between subsequent scans of the Sun was 8 minutes. 16 records of the radio



последовательными сканами Солнца был равен 8 мин. На каждой волне было получено по 16 записей радиоизлучения Солнца. Высокая чувствительность системы радиотелескоп + радиометр по потоку, равная 0.005 с.е.п. (солнечных единиц потока), позволяет достоверно регистрировать даже незначительные, до десятых долей с.е.п., изменения потоков источников.

emission of the Sun were obtained at each wavelength. A high flux sensitivity of the system "the radio telescope + radiometer" which is equal to 0.005 s.u.f. (solar units of flux) allows to reliably register even insignificant (down to tenths of s.u.f.) changes of fluxes from sources.

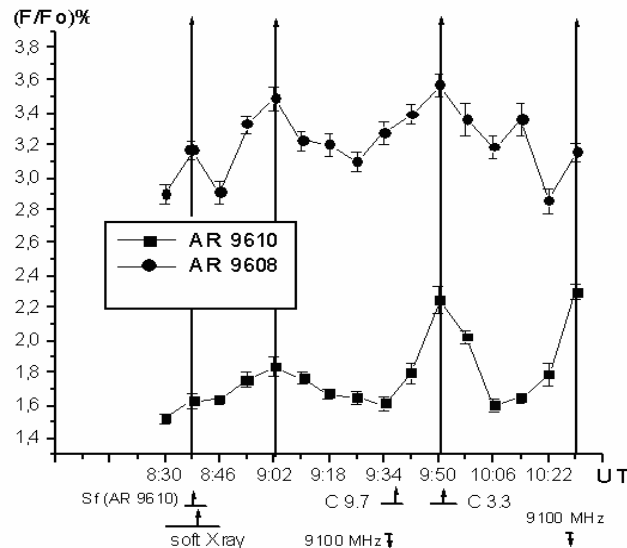


Рис. 70. Временные вариации относительных потоков источников, отождествлённых на фотосфере Солнца с активными областями AR 9610 и AR 9608, на  $\lambda = 2.24$  см и их связь с активными явлениями, наблюдаемыми в других диапазонах. Внизу приведены: стрелка вверх – временной интервал и момент максимума  $H\alpha$ - вспышки и повышения интенсивности излучения в мягком рентгене; стрелка вниз – то же на частоте 9100 МГц. Вертикальные прямые - стрелки проведены на моменты синхронных уярчений.

Figure 70. Time variations of relative fluxes from sources identified in the photosphere of the Sun with the active regions AR 9610 and AR 9608 at  $\lambda = 2.24$  cm and their relation to active phenomena observable in other wave ranges. Below: the up arrows represent the time interval and the moment when a  $H\alpha$  flare is maximum and a radiation intensity in soft X-ray increases; the down arrows represents the same at a frequency of 9100 MHz. Vertical lines are for arrows drawn for moments of the synchronous brightenings.

Получены оценки скорости возмущающего агента от  $V = 0.3 \cdot 10^3$  км/с до  $V \geq 10^4$  км/с. Такие скорости указывают на то, что триггерным механизмом синхронных уярчений источников солнечного радиоизлучения могут быть как волновые фронты, так и высокоэнергичные электроны, высвобождающиеся в процессе первичной вспышки.

Результаты исследования показали, что на более коротких волнах (1.92 и 2.24 см) преобладает действие высокоэнергичных электронов, вырвавшихся из места первичного всплеска и триггерным механизмом переместившихся в место вторичного уярчения по магнитным петлям, которые соединяют эти активные области (рис. 70). На более длинных волнах (2.74 и 3.21 см) вслед за ускоренными электронами распространяются волновые фронты, нижняя граница скорости которых  $V = (3 \div 7) \cdot 10^2$  км/с. Они усиливают синхронное уярчение, возникшее ранее под воздействием высокоэнергичных электронов.

О.А. Голубчина

It was obtained that the velocities of a disturbing agent are from  $V = 0.3 \cdot 10^3$  km/s to  $V \geq 10^4$  km/s. Such velocities suggest that trigger mechanisms of synchronous brightening of solar radio emission sources can be both wave fronts and high-energy electrons released during the process of a primary flare.

Results of the study showed that at shorter wavelengths (1.92 and 2.24 cm) the high-energy electrons escaping from a region of the primary flare prevail. (Fig. 70) At longer wavelengths (2.74 and 3.21 cm) the accelerated electrons are followed by wave fronts propagating with a velocity of at least  $V = (3-7) \cdot 10^2$  km/s. They intensify the brightening originated earlier from action of high-energy electrons.

O.A. Golubchina

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ОСТАТКА СВЕРХНОВОЙ HB3 С ОКРУЖАЮЩИМ МЕЖЗВЕЗДНЫМ ГАЗОМ**

**INTERACTION OF THE SUPERNOVA REMNANT HB3 WITH THE AMBIENT INTERSTELLAR GAS**

Хорошо известный оболочечный остаток сверхновой HB3 входит в богатую деталями область звездообразования вместе с туманностями W3, W4 и W5. Структура HI вокруг остатка сверхновой была исследована по пяти сечениям на волне 21 см, полученным на радиотелескопе РАТАН-600 с угловым разрешением 2' по одной координате, в диапазоне лучевых скоростей от -183 до +60 км/с в более широкой области неба и с более высокой чувствительностью, чем в предыдущих работах других авторов.

The well-known shell supernova remnant HB3 is a part of a feature-rich star-forming region together with the nebulae W3, W4 and W5. HI structure around this remnant was investigated using five RATAN-600 drift curves obtained at a wavelength of 21 cm with an angular resolution of 2' in one coordinate over the radial-velocity range -183 to +60 km/s in a wider region of the sky and with a higher sensitivity than in previous works of other authors.

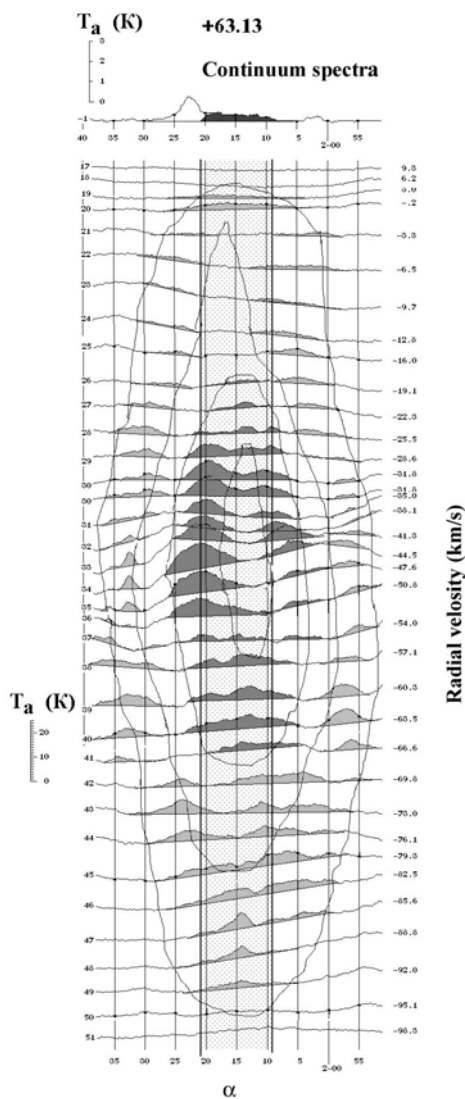


Рис. 71. Кривые прохождения на волне 21 см на склонении +63°08' через остаток сверхновой HB3. Штриховкой обозначены детали HI, которые могут быть связаны с остатком. Тонкими линиями детали объединены в кольцеобразные структуры.  
 Fig. 71. Drift curves at the wavelength 21cm at a declination of +63°08' across the Supernova Remnant HB3. Some HI details that may be connected with the remnant are marked by shading. The thin lines combine these details in probable ring-like structures.

Сечения были получены через 38' по склонению. Пример одного из сечений в координатах прямое восхождение – лучевая скорость приведен на рис. 71. Штриховкой обозначены детали кривых прохождения, которые могут быть связаны с остатком сверхновой, тонкими линиями эти детали объединены в возможные кольцевые структуры. Пространственно-кинематическое распределение деталей HI вокруг остатка отчетливо показывает

The drift curves were obtained through 38' in declination. An example of drift curves in one declination in the coordinates of right ascension – radial velocity is presented in Fig. 71. Some HI details that may be connected with supernova remnant are marked by shading. Thin lines combine of these details in probable ring-like structures. The spatial-kinematical distribution of HI features around the supernova remnant clearly shows two concentric expanding shells of gas

наличие двух концентрических расширяющихся оболочек газа, окружающих остаток и совпадающих с ним по всем трем координатам ( $\alpha$ ,  $\delta$ ,  $V$ ). Внешняя оболочка имеет радиус 133 пк, толщину 24 пк, и скорость расширения 48 км/с. Маса газа в ней  $\sim 2.3 \cdot 10^5 M_{\odot}$ . У внутренней оболочки эти параметры составляют соответственно: 78 пк, 36 пк, 24 км/с и  $\sim 0.9 \cdot 10^5 M_{\odot}$ .

Внутренняя оболочка непосредственно примыкает к остатку сверхновой. В предположении, что внешняя оболочка есть результат действия ветра звезды, а внутренняя возникла от ударной волны собственно остатка, оценки дают возраст внешней оболочки  $\sim 1.7 \cdot 10^6$  лет и мощность ветра  $\sim 1.5 \cdot 10^{38}$  эрг/с. Внутренняя оболочка имеет возраст  $\sim 10^6$  лет и соответствует полной энергии взрыва сверхновой  $\sim 10^{52}$  эрг. Таким образом, если принята нами простая интерпретация наблюдений справедлива, то здесь мы наблюдаем результат взрыва одной из наиболее массивных звезд в Галактике, и, кроме того, видны одновременно оболочки от звездного ветра и от взрыва сверхновой, что само по себе чрезвычайно редкий случай.

*И.В. Госачинский, З.А. Алферова, Г.Н. Ильин, Т.В. Монастырева*

that surround the remnant and coincide with it in all three coordinates ( $\alpha$ ,  $\delta$  and  $V$ ). The outer shell has a radius of 133 pc, a thickness of 24 pc and an expansion velocity of 48 km/s. The mass of the gas in it is  $\sim 2.3 \cdot 10^5 M_{\odot}$ . For the inner shell, these parameters are 78 pc, 36 pc, 24 km/s and  $\sim 0.9 \cdot 10^5 M_{\odot}$ , respectively.

The inner shell is immediately adjacent to the remnant. Assuming that the outer shell was produced by the stellar wind and the inner shell arose from the shock wave of the supernova remnant proper, we estimated the age of the outer shell  $\sim 1.7 \cdot 10^6$  yr, and the mechanical luminosity of the stellar wind  $\sim 1.5 \cdot 10^{38}$  erg/s. The inner shell has an age of  $\sim 10^6$  yr and corresponds to a total supernova explosion energy of  $\sim 10^{52}$  erg. Thus, if adopted simple interpretation of observational results is valid, so we observe here the result of explosion of the most massive star in the Galaxy, and besides we see simultaneously the shells from star wind and supernova explosion that is very scarce case.

*I.V. Gosachinskii, Z.A. Alferova, G.N. Il'in, T.V. Monastyreva*

## ОБНАРУЖЕНИЕ РЕЛЯТИВИСТСКИХ СТРУЙ В ЯДРАХ АКТИВНЫХ ГАЛАКТИК

В 2004-2005 годах продолжено исследование активных ядер галактик с яркими РСДБ компонентами и плоскими спектрами на РАТАН-600 в совместной программе с АКЦ ФИАН и NRAO, США. Периодический обзор мгновенных спектров около 600 объектов на 1-22 ГГц выполнен параллельно с однократным обзором для более глубокой выборки активных ядер.

Анализ типов и структуры мгновенных спектров подтвердил наше предположение, что почти все спектры могут быть представлены суммой двух спектральных компонентов: НЧ-компонента (падает в сторону более высоких частот) и ВЧ-компонента (имеет максимум в см-мм диапазоне). В рамках модели с продольным магнитным полем, ВЧ-компонент объяснен синхротронным радиоизлучением непрерывной компактной релятивистской струи, выходящей из магнитного полюса активного ядра, а НЧ-компонент – радиоизлучением оптически тонких протяженных периферийных областей объекта, в которые струей “накачиваются” частицы из ядра. Переменность объекта объясняется переменностью излучения релятивистской струи, вызванной, главным образом, переменностью полного потока релятивистских частиц, поступающего в струю из активного ядра (Kovalev, et al., 1999, A&AS, 139, 545; Ковалев, Ковалев, Нижельский, Жеканис, 2004, Труды ГАИШ, LXXV, 107).

## DETECTION OF RELATIVISTIC JETS IN ACTIVE GALACTIC NUCLEI

A study of active galactic nuclei with bright VLBI-compact components and flat radio spectra at the radio telescope RATAN-600 was continued in 2004-2005 in collaboration with Astro Space Center of Lebedev Physical Institute and NRAO, USA. Periodic survey of instantaneous spectra for about 600 objects at 1-22 GHz was performed in parallel to one-epoch measurements of a deeper sample of AGNs.

A performed analysis of types and structure of the measured instantaneous spectra has confirmed our previous assumption that almost all spectra could be modeled as a sum of two main spectral components: an LF-component (decreasing with frequency) and an HF-component (with a maximum in cm-mm band). In the framework of a model with longitudinal magnetic field, the HF-component is explained by synchrotron radiation of a continuous compact relativistic jet emerging from the nucleus, the LF-component - by radiation of optically thin extended peripheral structures which accumulate jet particles. Observed variability is dominated by variable emission of a compact jet (the HF-component) and is explained by variable flow of relativistic particles injected in the jet nozzle (Kovalev, et al., 1999, A&AS, 139, 545; Kovalev, Kovalev, Nizhelsky, Zhekanis, 2004, Trudy GAISH, LXXV, 107).

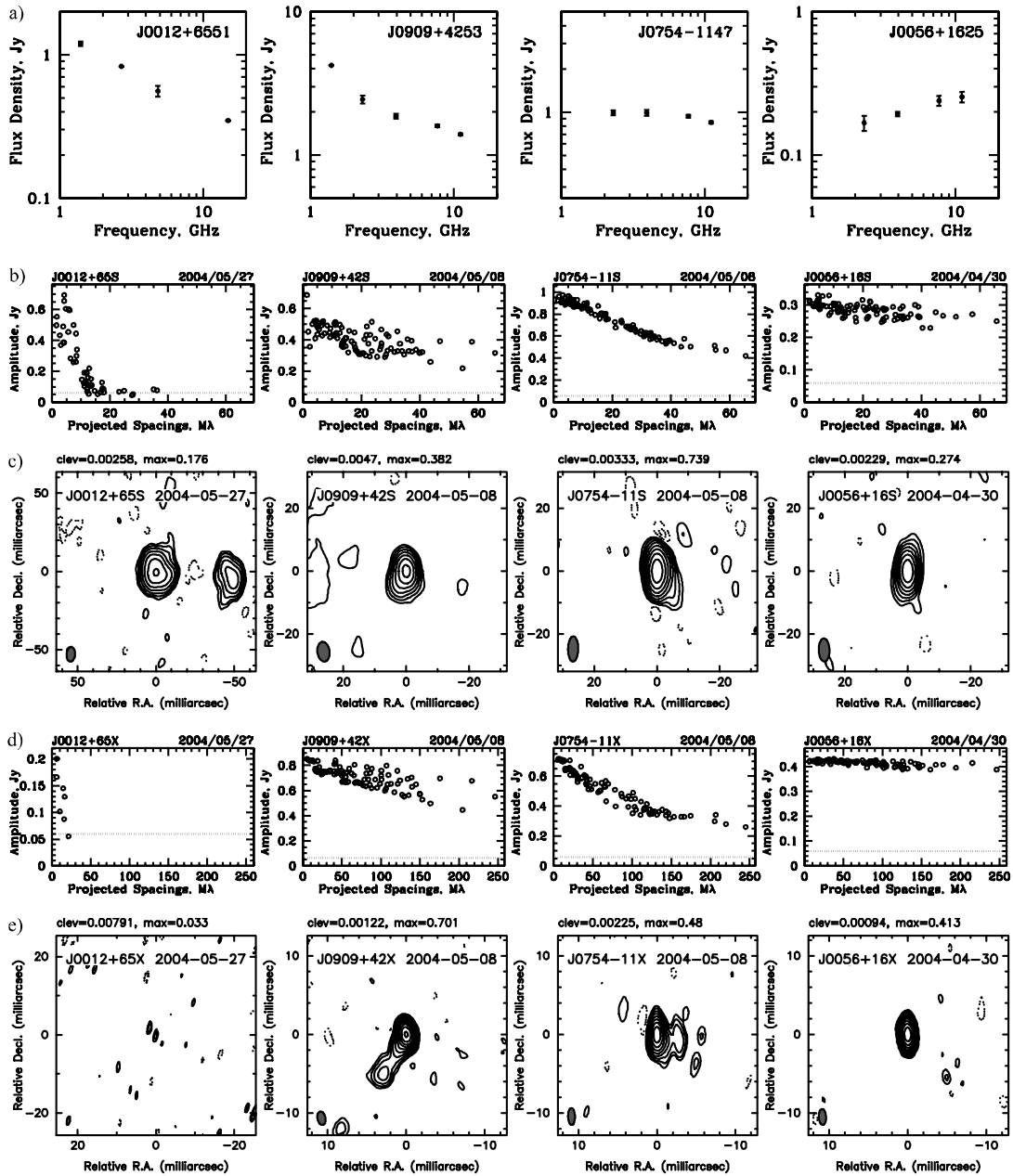


Рис. 72. Пример кооперативного поиска активных ядер галактик с яркими компактными компонентами по измерениям на РАТАН-600 и VLBA NRAO: (a) широкодиапазонные радиоспектры (РАТАН-600 и база данных CATS САО РАН); (b,d) коррелированный поток в зависимости от длины проекции базы интерферометра (система VLBA NRAO на 2.3 и 8.6 ГГц); (c,e) миллисекундная угловая структура (система VLBA NRAO на 2.3 и 8.6 ГГц). Проверяется связь высокочастотного компонента спектра (a) с излучением РСДБ компактной структуры (b-e). Вклад излучения компактного компонента увеличивается от левого источника к правому. С 2004 года найдено более 1000 новых компактных объектов, резко возросла эффективность поиска за счет новой методики отбора кандидатов по РАТАН спектрам. Рисунок из статьи Petrov, Kovalev, Fomalont, & Gordon, 2004, AJ, 129, 1163.

Fig. 72. An example of RATAN-600 SAO RAS / VLBA NRAO cooperative search of active galactic nuclei with bright VLBI compact components: (a) broad-band radio spectra (RATAN-600; a few additional points are taken from the CATS database); (b,d) correlated flux density vs. projected spacings (VLBA NRAO, 2.3 and 8.6 GHz); (c,e) millisecond structure (VLBA NRAO, 2.3 and 8.6 GHz). A predicted connection between high-frequency spectral component (a) and VLBI compact emission (b-e) is under analysis. A contribution of a compact component emission increases in sources presented from the left to the right. More than 1000 new VLBI compact objects were found since 2004. The new method of candidates selection developed on the basis of RATAN spectra has significantly improved efficiency of the search. The figure is taken from Petrov, Kovalev, Fomalont, & Gordon, 2004, AJ, 129, 1163.

Из анализа РАТАН-спектров сделан вывод о причинах "особенности" выборки WMAP (источников с сильным коротковолновым радиоизлучением): в выборку селективно попали источники с более доминированным излучением компактной струи и с большей переменностью, чем, в среднем, у компактных активных ядер галактик родительской популяции. В два раза поправлена оценка уровня потока, до которого полна эта выборка (Kovalev, Kovalev, Nizhelsky, 2005, Baltic Astron., 14, 389).

Прямое сравнение интегральных измерений РАТАН-600 спектров и VLBA изображений нескольких сот сильных объектов (Kovalev et al., 2005, AJ, 130, 2473; Пушкарев, Ковалев, и др., 2004, АЖ, 81, 988) подтвердило интерпретацию ВЧ-компонента спектра излучением внутренней области струи на парсековых масштабах. В рамках проекта поиска компактных источников на VLBA (Petrov, Kovalev, et al., 2005, AJ, 129, 1163; 2006, AJ, 131, 1872) доказана справедливость и эффективность предложенного метода спектрально-модельного поиска, предсказания и исследования релятивистских струй на основе широкодиапазонных РАТАН-600 радиоспектров для оценки коррелированного потока РСДБ компактных структур в активных ядрах (см. рис. 72).

На базе совместных проектов РАТАН-600 и VLBA сформирован и используется каталог перспективных источников для наблюдений с наземно-космическим интерферометром РадиоАстрон.

*Н.А. Нижельский, Г.В. Жеканис совместно с Ю.Ю. Ковалевым (NRAO, США и АКЦ ФИАН) и Ю.А. Ковалевым (АКЦ ФИАН)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЛНОЙ ПО ПЛОТНОСТИ ПОТОКА ВЫБОРКИ РАДИОИСТОЧНИКОВ В ОБЛАСТИ СКЛОНЕНИЙ 74–75°

На РАТАН-600 нами исследуются три полных по плотности потока выборки радиоисточников. Первая выборка (139 радиоисточников) наблюдается с 1984 г., вторая (153 источника) – с 2000 г. В результате изучения этих выборок обнаружены источники со значительной переменностью как долговременной, так и на масштабах от нескольких дней до нескольких месяцев, получены характеристики этой переменности. Получены и исследованы мгновенные спектры всех источников в диапазоне частот 0.97–21.7 ГГц. Третья, наиболее глубокая, выборка сделана из каталога MGB (Decl = 74°–75°; RA = 00<sup>h</sup>–24<sup>h</sup>; минимальная плотность потока  $S_{4.85} \geq 100$  мЯн). Ниже приведены результаты исследований этой выборки.

Для всех источников с нормальными спектрами получены плотности потоков в диапазоне частот 2.3–11.1 ГГц, для трети источников – на 0.97 и 21.7 ГГц. Спектры 72% источников аппроксимируются прямой во всем диапазоне

From an analysis of RATAN spectra on a possible peculiarity of WMAP sample (sources with strong short wave length radio emission) the following was concluded: WMAP has selected, in general, with higher dominance of compact jet emission and stronger variability; it is just a tail of a general population of extragalactic radio sources. A flux density completeness limit is estimated to be two times higher than the original value (Kovalev, Kovalev, Nizhelsky, 2005, Baltic Astron., 14, 389).

A direct comparison of RATAN-600 total flux density spectra and VLBA images for several hundreds bright extragalactic objects (Kovalev et al., 2005, AJ, 130, 2473; Pushkarev, Kovalev, et al., 2004, ARep, 48, 900) has confirmed the interpretation of the HF spectral component by emission of an inner jet region at parsec scales. A goodness and efficiency of our proposed method of a spectral-model search, prediction and investigation of relativistic jets on the basis of broadband RATAN spectra is successfully proven in the framework of a big VLBA survey of compact extragalactic sources (Petrov, Kovalev, et al., 2005, AJ, 129, 1163; 2006, AJ, 131, 1872); estimations of correlated flux density of VLBI compact features in AGNs appeared to be valid. (Fig. 72).

A catalogue of best candidates for a study with the space-ground interferometer RadioAstron is formed on the basis of RATAN-600 / VLBA collaboration; it is already used for pre-launch tests, planing and simulations.

*N.A. Nizhelsky, G.V. Zhekanis, in collaboration with Y.Y. Kovalev (NRAO, USA and ASC LPI) and Yu.A. Kovalev (ASC LPI)*

## STUDY OF A FLUX-DENSITY COMPLETE SAMPLE OF RADIO SOURCES WITHIN DECLINATION 74–75°

We study three flux-density complete samples of radio sources with RATAN-600. The first sample (139 sources) is observed since 1984, the second one (153 sources) – from 2000. As a result of study of these samples, sources with significant variability both long-term and at scales from several days to several months were discovered, and parameters of this variability were obtained. Instantaneous spectra of all sources within the frequency range 0.97–21.7 GHz were obtained and investigated. The third (deepest) sample was chosen from the catalogue MGB (Decl = 74°–75°; RA = 00<sup>h</sup>–24<sup>h</sup>; minimum flux density  $S_{4.85} \geq 100$  mJy). Below are results of study of this sample.

For all sources with normal spectra, flux densities were obtained within the frequency range 2.3–11.1 GHz and for one third of sources at 0.97 and 21.7 GHz. Spectra of 72% of sources are approximated by a straight line within the whole frequency range, the



частот, спектры 22% источников имеют самопоглощение к низким частотам, спектры двух источников уплощаются к высоким частотам, что, по-видимому, вызывается излучением компактных компонент с частотами максимумов выше исследуемого диапазона.

Для всех источников с плоскими спектрами получены плотности потоков в диапазоне частот 2.3–21.7 ГГц, для 17 источников в диапазоне 0.97–21.7 ГГц. Спектры 10 источников разделены на протяженную и компактную компоненту. Протяженная компонента аппроксимировалась логарифмической прямой со спектральным индексом  $\bar{\alpha} = -0.5 \div -1.1$ , компактная – логарифмической параболой. Спектры 5 источников также удается разделить на две компоненты, если предположить, что протяженная компонента имеет спектральный индекс  $\bar{\alpha} = -0.2 \div -0.4$ . 11 источников имеют комплексные спектры, в которых присутствует больше одной компактной компоненты.

Проведено оптическое отождествление всех источников выборки, значительное количество которых было классифицировано ранее. 38% источников с нормальными спектрами отождествлены с галактиками до  $21^m$  с  $\bar{Z} = 0.3$ . Спектры трех объектов еще не получены. 67% источников с плоскими спектрами отождествляются с оптическими объектами, все классифицированы. 89% составляют квазары и объекты типа BL Lac. Для квазаров  $\bar{Z} = 1.30$ . В выборке плоских спектров 4 объекта отождествлены с галактиками, одна из них слабее  $21^m$ .

С уменьшением граничной плотности потока выборки падает число отождествлений до фиксированной звездной величины. При этом среди отождествленных объектов растет доля галактик, и этот рост вызван только источниками с нормальными спектрами.

В табл. 10 приводятся результаты сравнения характеристик исследуемой выборки с выборкой более сильных источников. Сравнение показывает, что:

- с уменьшением минимальной плотности потока выборки падает число объектов, отождествленных до  $21^m$ ; т.е. подтверждается, что более слабым радиоисточникам соответствует более слабое оптическое отождествление.
- для более слабой выборки среди классифицированных оптических объектов растет доля галактик, которая составляет 56% и 29% соответственно.
- такое увеличение доли галактик обусловлено источниками с нормальными спектрами (100% среди классифицированных оптических объектов); для источников с плоскими спектрами процентное содержание квазаров и галактик не меняется в обеих выборках.

spectra of 22% of sources have self-absorption towards low frequencies, spectra of two sources are flattened towards high frequencies what is supposedly caused by radiation of compact components with frequency maximums higher than the range under investigation.

For all sources with flat spectra the flux densities were obtained within the frequency range 2.3–21.7 GHz, and for 17 sources within the range 0.97–21.7 GHz. Spectra of 10 sources are divided into an extended and a compact components. The extended component was approximated by a line with the spectral index  $\bar{\alpha} = -0.5 \div -1.1$ , the compact one – by a logarithmic parabola. It is also possible to divide spectra of 5 sources into two components on the assumption that the spectral index of the extended component is  $\bar{\alpha} = -0.2 \div -0.4$ . 11 sources have complex spectra containing more than one compact component.

Optical identification was made for all sources of the sample. Many of them were classified earlier. 38% sources with normal spectra were identified with galaxies up to  $21^m$  with  $\bar{Z} = 0.3$ . Spectra of three sources are not obtained yet. 67% of sources with flat spectra are identified with optical objects. All are classified. 89% are quasars and objects of the type of BL Lac. For quasars  $\bar{Z} = 1.30$ . In the sample of flat spectra 4 objects are identified with galaxies. One of them is fainter than  $21^m$ .

The number of identification up to a fixed stellar magnitude falls as the limit flux density of the sample decreases. In this case a portion of galaxies among identified objects increases, and it is caused only by sources with normal spectra.

Table 10 gives results of comparison of characteristics of the sample under investigation to a sample of more powerful sources. The comparison shows that:

- the number of identified objects up to  $21^m$  falls as the minimum flux density of a sample decreases; i.e. it is confirmed that a fainter optical identification corresponds to a weaker radio source;
- for the weaker sample a portion of galaxies among classified optical objects increases, it is equal to 56% and 29% respectively;
- such an increase of portion of galaxies is due to sources with normal spectra (100% among classified optical objects); for objects with flat spectra the percentage of quasars and galaxies does not vary in both samples;

Таблица 10. Результаты сравнения характеристик двух выборок.  
Table 10. Characteristics of the two samples

Parameters	Sample with $S_{4.85} > 200$ mJy	Sample with $S_{4.85} > 100$ mJy
Declination	10°–12°30' (J2000)	74°–75° (J2000)
Number of sources in the sample	153	63
Objects identified	112 (73%)	31 (49%)
Objects classified	108 (71%)	28 (44%)
among them:		
Galaxies	34 (31%)	14 (50%)
Quasars and BL Lac objects	74 (69%)	14 (50%)
Redshift of the galaxies	$\bar{z} = 0.24, \sigma = 0.14$	$\bar{z} = 0.25, \sigma = 0.19$
Redshift of the quasars	$\bar{z} = 1.42, \sigma = 0.75$	$\bar{z} = 1.3, \sigma = 0.65$
Number of steep-spectrum sources	70	36
Objects identified	41 (59%)	14 (39%)
Objects classified	39 (56%)	11 (30%)
among them:		
Galaxies	24 (62%)	11 (100%)
Quasars	15 (38%)	none
Mean spectral index	$\bar{\alpha} = -0.82$	$\bar{\alpha} = -0.83$
Number of flat-spectrum sources	83	27
Objects identified	71 (86%)	18 (67%)
Objects classified	69 (83%)	17 (63%)
among them:		
Galaxies	10 (14%)	3 (18%)
Quasars and BL Lac objects	59 (86%)	14 (82%)

- $\bar{z} = 0.30$  для галактик, ассоциированных с радиоисточниками с нормальными спектрами, из выборки слабых источников, что вдвое больше, чем из более сильной выборки;
- для источников с нормальными спектрами из выборок слабых и более сильных источников  $\bar{\alpha} = -0.88$  и  $-0.81$  соответственно.

Таким образом, зависимость “звездная величина–плотность потока” обусловлена только радиоисточниками со степенными спектрами. Эти исследования подтверждают, что более далекие галактики имеют более крутой спектр в радиодиапазоне.

*М.Г. Мингалиев совместно с А.Г. Горшковым и В.К. Конниковой (ГАИШ, МГУ)*

### СПЕКТРАЛЬНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РАДИОИСТОЧНИКОВ ВБЛИЗИ NCP

На РАТАН-600 проведены исследования спектральных характеристик однородной выборки радиоисточников из каталога NVSS вблизи Северного полюса Мира (NCP). Цель работы – получение объектов с инвертированными спектрами вблизи частоты 22 ГГц для их включения в пилотную программу будущего РСДБ проекта РадиоАстрон. Находящиеся в области NCP источники представляют особый интерес для исследований, так как будут доступны для

- $\bar{z} = 0.30$  for galaxies associated with radio sources with normal spectra from the sample of weak sources what is twice that of the more powerful sample;
- for sources with normal spectra from the sample of weak and more powerful galaxies  $\bar{\alpha} = -0.88$  and  $-0.81$  respectively.

Thus, the “stellar magnitude – flux density” dependence is determined only by radio sources with power law spectra. This study confirms that more distant galaxies have steeper radio spectra.

*M.G. Mingaliev in collaboration with A.G. Gorshkov and V.K. Konnikova (SAI MSU)*

### SPECTRAL CHARACTERISTICS OF RADIO SOURCES NEAR THE NCP

The study of spectral characteristics of a uniform sample of radio sources near the North Celestial Pole (NCP) from the catalog NVSS was carried out. The aim of this work is to obtain objects with inverted spectra near the frequency 22 GHz to include them into a pilot program of a future VLBI project Radio-astron. The sources near NCP are of special interest for investigation since they will be accessible for observation with most radio telescopes during a long time. The only representative survey in this region of celestial sphere

наблюдения большинству радиотелескопов в течение длительного времени. Единственный представительный обзор в данной области небесной сферы выполнен на частоте 1.4 ГГц с использованием системы апертурного синтеза VLA. Поэтому спектральные характеристики слабых радиоисточников в этой перспективной для наблюдений области неба не известны.

Наблюдения проводились в двух сетах в течение 2005 года на Южном секторе РАТАН-600 на частотах 1.1, 2.3, 4.8, 7.7, 11.2 и 21.7 ГГц. Параметры выборки:  $00^{\text{h}} \leq \text{RA} \leq 24^{\text{h}}$ ,  $75^{\circ} \leq \text{Decl} \leq 88^{\circ}$ , плотность потока  $S_{\text{NVSS}} \geq 200$  мЯн (на 1.4 ГГц). Общее число объектов выборки – 504. Были получены значения плотностей потоков для 28.6% объектов на 21.7 ГГц и для большинства из исследуемой выборки на других частотах. На рис. 73 представлены гистограммы распределений спектральных индексов на 6 частотах. Определено распределение источников по типам спектров ( $S \sim \nu^{\alpha}$ ):

- 65% – с нормальным спектром ( $-1.1 < \alpha < -0.5$ ),
- 24% – с крутым спектром ( $\alpha < -1.1$ ),
- 7.3% – с плоским спектром ( $-0.5 < \alpha < 0$ ),
- 2.3% – с инвертированным спектром ( $\alpha > 0$ ),
- 1.4% – спектр с максимумом (в см диапазоне).

Источники с нормальными и крутыми спектрами составляют основную долю от всех объектов (89%). Доля объектов с плоскими и инвертированными спектрами – около 10%. Не наблюдается заметных различий в средних значениях  $\alpha$  на всех частотах кроме 1.1 ГГц, что возможно из-за некоторого уплощения спектра за счет самопоглощения на низких частотах. Объекты с максимумами в спектрах на см волнах имеют отрицательные  $\alpha$  вблизи частоты 22 ГГц и попадают в категорию либо источников с нормальными спектрами, либо с плоскими спектрами. Их доля незначительна (1.4%). Подобное спектральное поведение источников на частоте 1.4 ГГц находится в резком контрасте со спектральными характеристиками выборки объектов, полученных в “пилотном” поисковом обзоре, выполненном на частоте 20 ГГц также до уровня потока 100 мЯн.

Во-первых, на частоте 20 ГГц доля источников с инвертированными спектрами возрастает до 40%. Содержание радиоисточников с нормальными спектрами, которые составляют 65% выборки на 1.4 ГГц, составляет менее 30%. Следует учесть, что на высоких частотах потери за счет синхротронных потерь выше, и изломы в спектрах происходят чаще, чем даже в длинноволновом участке см диапазона длин волн. Из-за изломов в спектрах  $\alpha$  таких источников становятся систематически круче на высоких частотах в сравнении с их значениями на более низких частотах.

Незначительная часть источников с инвертированными спектрами (11 объектов, 2.2%) представляют особый интерес для космической программы “РадиоАстрон”. Два из них имеют поток  $>1$  Ян. Из наблюдательных данных поискового обзора на частоте 20 ГГц следует, что в зоне, равной

was fulfilled at the frequency 1.4 GHz with the use of the aperture synthesis system VLA. That is why spectral characteristics of weak radio sources in this region of the sky perspective for observations are not known.

Observations were carried out in two sets during 2005 with the RATAN-600 South sector at the frequencies 1.1, 2.3, 4.8, 7.7, 11.2 and 21.7 GHz. The sample parameters are as follows:  $00^{\text{h}} \leq \text{RA} \leq 24^{\text{h}}$ ,  $75^{\circ} \leq \text{Decl} \leq 88^{\circ}$ , the flux density of  $S_{\text{NVSS}} \geq 200$  mJy (at 1.4 GHz). The total number of objects in the sample is 504. We obtained flux densities for 28.6% of objects at 21.7 GHz and for most objects from the sample under investigation at other frequencies. Fig. 73 shows bar charts of distributions of spectral index at 6 frequencies. The distribution of sources with spectral types was determined ( $S \sim \nu^{\alpha}$ ):

- 65% – with normal spectra ( $-1.1 < \alpha < -0.5$ ),
- 24% – with steep spectra ( $\alpha < -1.1$ ),
- 7.3% – with flat spectra ( $-0.5 < \alpha < 0$ ),
- 2.3% – with inverted spectra ( $\alpha > 0$ ),
- 1.4% – spectrum with a maximum in the cm range.

The main part of all objects (89%) is sources with normal and steep spectra. The part of objects with flat and inverted spectra is about 10%. There are no noticeable differences in average values of  $\alpha$  at all frequencies except 1.1 GHz what is possible because of a flattening of spectrum due to self-absorption at low frequencies. Objects with a maximum in spectra at centimeter wavelengths have negative  $\alpha$  near the frequency 22 GHz and get either to the category of sources with normal spectra, or with flat spectra. Their portion is negligible (1.4%). Such a spectral behavior of sources at the frequency 1.4 GHz makes a violent contrast with spectral characteristics of sample objects obtained in a “pilot” search survey performed at the frequency 20 GHz with the flux density up to 100 mJy also.

First, at the frequency 20 GHz the part of sources with inverted spectra increases to 40%. Radio sources with normal spectra which constitute 65% of the 1.4 GHz sample is less than 30%. One should take into account that at high frequencies the loss due to synchrotron is higher, and breaks in spectra occur more often than even in the long-wave part of the centimeter wavelength range. Due to breaks in spectra,  $\alpha$  of such sources becomes systematically steeper at high frequencies in comparison with their values at lower frequencies.

An insignificant part of sources with inverted spectra (11 objects, 2.2%) are of special interest for the space program “Radio-astron”. Two of them have the flux  $>1$  Jy. From observational data of the 20 GHz search survey it follows that in the zone equal in size to our circumpolar sample there must be 2.6 sources with flux

по площади нашей приполярной выборки, должно быть 2.6 источника с потоками  $>1$  Ян и 15 объектов с потоками  $>200$  мЯн. В этих оценках использована полученная нами на основе анализа данных высокочастотных обзоров зависимость “доля объектов с инвертированными спектрами – поток”. Из нее следует, что на уровне 1 Ян доля источников с инвертированными спектрами составляет 50%. При снижении потока до 200 мЯн процентное содержание источников с инвертированными спектрами, выделенных на 20 ГГц, снижается до 35%.

Из сравнительных данных следует, что, изучая выборку до определенного уровня потока (100 мЯн) на низких частотах и измеряя ее спектральные характеристики до частоты 22 ГГц, мы недосчитываемся около 25% источников с инвертированными спектрами. Это может происходить из-за соответствующих спектральных характеристик части “подпороговых” источников с потоками менее 100 мЯн (растущие спектры) и появления высокочастотных компонент у другой части слабых источников.

В свою очередь, увеличение среднего спектрального индекса с увеличением частоты может компенсироваться возрастающей долей объектов с переломами спектров в коротковолновом участке см диапазона длин волн.

*М.Г. Мингалиев, Ю.В. Сотникова, Н.Н. Бурсов, совместно с Н.С. Кардашовым и М.Г. Ларионовым (АКЦ ФИАН)*

$>1$  Jy and 15 objects with flux  $>200$  mJy. In these estimates we used the correlation “a part of objects with inverted spectra – flux” obtained from analysis of data of high-frequency surveys. From this correlation it follows that at a level of 1 Jy the part of sources with inverted spectra is 50%. The percentage of sources with inverted spectra selected at 20 GHz falls to 35% as the flux reduces to 200 mJy.

From comparative data it follows that when studying a sample up to a definite flux level (100 mJy) at low frequencies and measuring its spectral characteristics up to the frequency 22 GHz we miss about 25% of sources with inverted spectra. It can be due to correspondent spectral characteristics of a part of “subthreshold” sources with flux less than 100 mJy (growing spectra) and due to appearance of high-frequency components in another part of weak sources.

In its turn, the increase of an average spectral index with the increase of frequency can be compensated by an increasing part of objects with breaks in spectra in a shortwave region of the centimeter wavelength range.

*M.G. Mingaliev, J.V. Sotnikova, N.N. Bursov in collaboration with N.S. Kardashov, M.G. Larionov (Astro Space Center, Lebedev Physical Institute of RAS)*

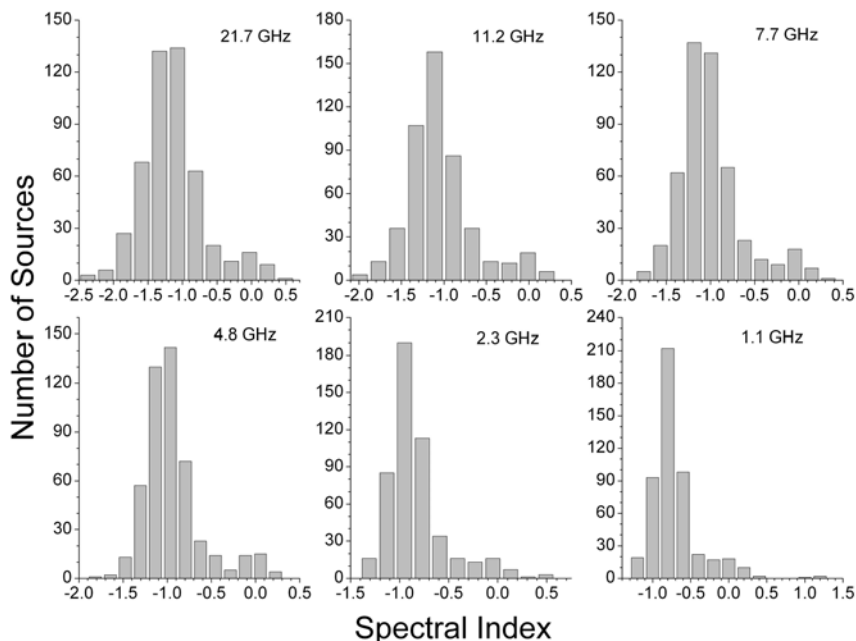


Рис. 73. Гистограммы распределения спектральных индексов

Fig. 73. Bar charts of distribution of spectral indexes.