

## Радиоастрономические исследования

## Radio Astronomy Investigations

### *Исследования с высоким угловым разрешением уникальной радиогалактики RC J0311+0507*

### *High angular resolution study of the unique radio galaxy RC J0311+0507*

Эта радиогалактика, попавшая в первый глубокий обзор на РАТАН-600 в 1980г, оказалась объектом с самым мощным радиоизлучением в ранней Вселенной (Отчет САО РАН 2007-2008, с. 109). Радиоисточник связан с гигантской эллиптической галактикой, возникновение которых в старых эволюционных схемах объясняется слиянием большого числа малых галактик.

This radio galaxy from the first RATAN-600 deep survey of 1980 turned out to be an object with the most powerful radio emission in the early Universe (see SAO Report 2007-2008, p.109).

The radio source is related to a giant elliptic galaxy whose appearance is explained in old evolutionary schemes by the merge of many small galaxies.

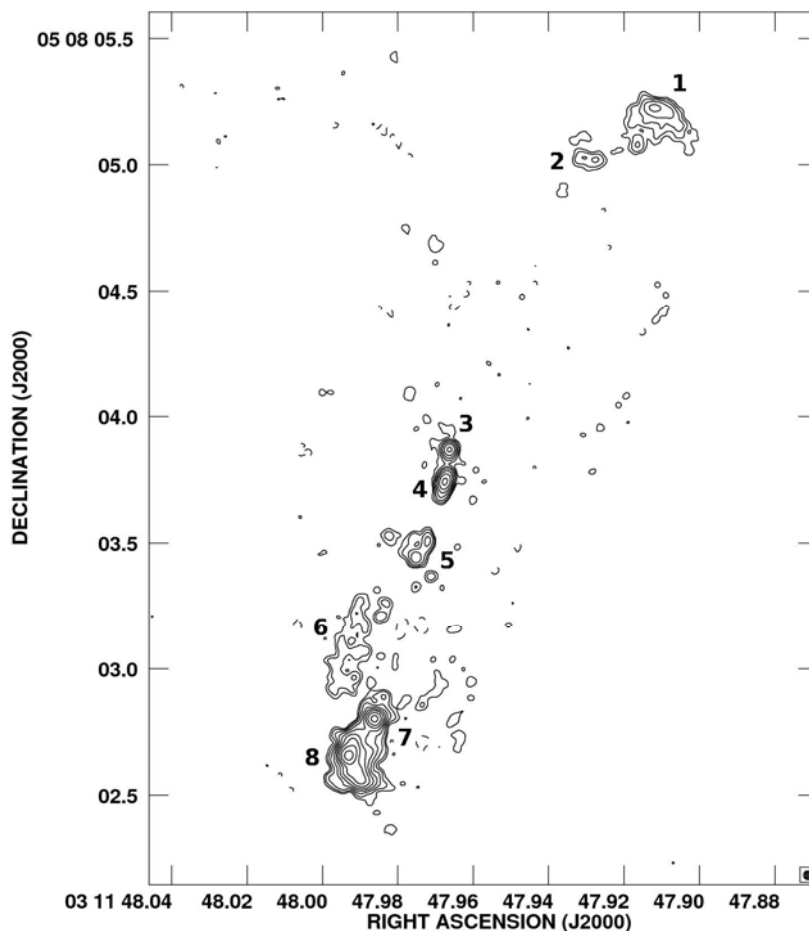


Рис. 69. 1.4 ГГц-карта радиогалактики RC J0311+0507 с разрешением 0.025".

Fig. 69. The 1.4 GHz map of the radio galaxy RC J0311+0507 with angular resolution 0.025".

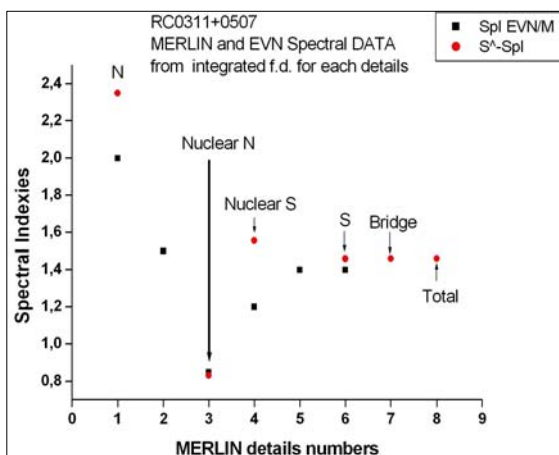
Радиоизлучение такой мощности требует наличия гигантской черной дыры с массой более  $10^9 M_{\odot}$ , быстрого ее вращения и достаточного темпа аккреции. Существование таких радиогалактик в ранней Вселенной связывают со столкновениями галактик с достаточно массивными черными

Radio emission of such power demands existence of a giant black hole of mass exceeding  $10^9 M_{\odot}$ , its fast rotation and a sufficient accretion rate.

It is thought that existence of such radio galaxies in the early Universe is related to collision of galaxies with sufficiently massive black holes causing fast rotation of

дырами, что вызывает быстрое вращение их ядер. Кроме этого, MERLIN/EVN-радиокарты дают указание на то, что RC J0311+0507 находится в скоплении с газом, движение сквозь которое деформирует радиоисточник (рис. 69).

Проведены наблюдения с высоким угловым разрешением с привлечением EVN (РСДБ сети нового поколения) для уточнения положения центральной черной дыры, измерения угловых размеров и радио спектров деталей объекта с целью определения их основных физических параметров. Новая карта с разрешением 0.025" выявила 8 деталей малого размера (рис. 70). Одна деталь вблизи центра радиогалактики имеет самый плоский радиоспектр из всех компонентов и ближе всего расположена к центру родительской галактики, координаты которой уточнены по 4 независимым наблюдениям на БТА. Остальные детали – горячие точки, с яркостной температурой более  $10^{10}K$ , но менее SSA-предела (Synchrotron Self Absorption). Природа их пока не ясна. Множественные горячие точки иногда наблюдаются в изображениях радиоисточников в связи с многократными выбросами из ядра, но крутые спектральные индексы далеких от ядра деталей противоречат стандартным теориям «HOT SPOTs». Укручение спектрального индекса на 1 для таких деталей обычно связывают с полным прекращением подпитки их ядром.



their nuclei.

Besides, the MERLIN/EVN radio maps hint that RC J0311+0507 is in a cluster with gas deforming the radio source that moves through it (Fig.69).

High angular resolution observations with involvement of EVN (the new-generation VLBI net) were carried out to specify location of the central black hole, to measure angular size and radio spectra of object details for the purpose of determination of their main physical parameters.

The new map of resolution 0.025" revealed 8 details of small size (Fig. 70). One detail near the radio galaxy center has the flattest spectrum of all components and it is the nearest to the host galaxy center whose coordinates are specified from 4 independent BTA observations.

Other details are hot spots with the brightness temperature more than  $10^{10}K$ , but less than the SSA limit (Synchrotron Self Absorption). Their nature is still unclear. Multiple hot spots are sometimes observed in radio source images in connection with repeated jets from nucleus, but steep spectral indexes of details that are far from the nucleus contradict to standard theories of «HOT SPOTs».

The steepening of the spectral index by 1 for such details is usually thought to be related with the full termination of their feed by the nucleus.

Рис. 70. Спектры деталей радиогалактики RC J0311+0507.

Fig. 70. Spectra of the RC J0311+0507 radio galaxy details.

Для определения возраста звездного населения и оценки времени роста гигантской черной дыры требуется многоцветная фотометрия в ИК-области, а также исследования с высоким разрешением на более коротких волнах для уточнения свойств ядерного источника. При полученном на БТА красном смещении  $Z = 4.515$  и стандартном возрасте звездного населения в мощных радиоисточниках (0.5-2 млрд. лет) момент активного звездообразования для этой родительской галактики может быть на красных смещениях больших, чем для QSO и даже GRB.

Ю.Н. Парижский, О.П. Желенкова, А.И. Копылов, Н.С. Соболева, А.В. Темирова, О.В. Верходанов, П. Томассоном, Т. Макслоу и Р. Безик (JBO, Великобритания).

Determination of the stellar population age and estimation of development time of the giant black hole demand multi-color infra-red photometry and the high resolution study at shorter wavelengths to determine properties of the nucleus source.

With the redshift  $Z = 4.515$  obtained with BTA and the standard age of the stellar population in powerful radio sources (0.5-2 billions yrs) the moment of active star forming for this host galaxy can be at red shifts exceeding that of QSOs and even GRBs.

Yu.N. Parijskij, O.P. Zhelenkova, A.I. Kopylov, N.S. Soboleva, A.V. Temirova, O.V. Verkhodanov, P. Thomasson, T. Muxlow and R. Beswick (JBO, Great Britain).

### **Глубокие обзоры полосы неба на склонении источника SS433 на волне 7.6 см в период 1980–1999 гг.**

Двумя независимыми методами осуществлена обработка данных обзоров, проводившихся на РАТАН-600 на  $\lambda 7.6$  см в 1988–1999 гг. на склонении источника SS433, и проведена повторная обработка данных обзора «Холод» (1980–1981 гг.). В результате получен RCR-каталог (RATAN COLD REFINED), в котором представлены прямые восхождения и плотности потоков объектов, отождествленных с объектами NVSS-каталога, в диапазоне прямых восхождений  $7^h \leq R.A. < 17^h$ .

Построены спектры источников и определены их спектральные индексы на частотах 3.94 и 0.5 ГГц. Для построения спектров привлекались все известные каталоги, доступные с помощью ресурсов CATS, Vizier и NED, а также оценки плотностей потоков, полученные по картам VLSS и GB6 обзоров. Из 550 объектов RCR-каталога для 245 имеются данные о плотностях потоков только на двух частотах: 3.94 ГГц (RCR) и 1.4 ГГц (NVSS).

В основном это источники с плотностями потоков меньше 30 мЯн. Около 65% из них имеют плоский или инверсионный спектр ( $\alpha > -0.5$ ). Проведен анализ надежности полученных результатов по всему списку объектов. Построены гистограммы распределения спектральных индексов и плотностей потоков источников. Основной вывод состоит в том, что объектов, не попавших в дециметровые каталоги в этом интервале прямых восхождений на уровне 10–15 мЯн, не обнаружено.

*Н.С. Соболева, Е.К. Майорова, О.П. Желенкова, А.В. Темирова, Н.Н. Бурсов.*

### **Оптическое отождествление каталога RCR**

С использованием карт радиообзоров FIRST и NVSS проведено массовое оптическое отождествление каталога RCR (550 источников). Для радиоисточников, у которых не обнаруживался оптический кандидат в каталогах GSC, SDSS, UKIDSS, дополнительно при оптическом отождествлении анализировались изображения обзоров SDSS, LAS UKIDSS, POSS-II, 2MASS в разных фильтрах и суммы изображений SDSS (в фильтрах g, r, i), UKIDSS (в фильтрах J, H, K), POSS-II (Red, IR). Тем самым мы постарались при оптическом отождествлении максимально использовать все имеющиеся данные.

Область каталога RCR в интервале прямых восхождений  $7^h \leq RA \leq 17^h$  частично пересекается с обзорами SDSS, LAS UKIDSS и FIRST. Для разных участков неба доля отождествлений по POSS-II + NVSS и SDSS + NVSS, SDSS + FIRST, UKIDSS + FIRST составила («+» - 34%, «?» - 23%, «ef» - 43%) и (50%, 25%, 25%), (79%, 8%, 13%) и (86%, 8%, 6%) соответственно, где «+» - отождествление, «?» - возможный кандидат,

### **Deep surveys of the celestial band at declination of the source SS433 at a wavelength of 7.6 cm in the period 1980–1999**

Data of RATAN-600 surveys carried out at  $\lambda 7.6$  cm at declination of the source SS433 in 1988–1999 were processed by two independent methods.

Besides, data of the survey «Cold» (1980–1981) were also reprocessed. It resulted in the RCR (RATAN COLD REFINED) catalog which presents right ascensions and flux densities of objects identified with objects of the NVSS catalog in the range of right ascensions  $7^h \leq R.A. < 17^h$ .

Spectra of sources were built and their spectral indexes at the wavelengths 3.94 and 0.5 GHz were determined. The spectra were built with involvement of all known accessible catalogs with the help of resources of CATS, Vizier and NED, and flux density estimations obtained by maps of the VLSS and GB6 surveys.

For 245 of 550 objects of the RCR catalog the flux density data are available only at two frequencies of 3.94 GHz (RCR) and 1.4 GHz (NVSS).

These are basically sources with flux density less than 30 mJy. About 65% of them have flat or inverted spectra ( $\alpha > -0.5$ ). The reliability of obtained results was analyzed for the whole list of objects. Histograms of distribution of spectral indexes and flux densities of sources were built. The main conclusion is that no objects missing in the decimeter catalogs in this range of right ascensions at the level 10–15 mJy were detected.

*N.S. Soboleva, E.K. Majorova, O.P. Zhelenkova, A.V. Temirova, N.N. Bursov*

### **Optical identification of the RCR catalog**

Massive optical identification of 550 sources from the RCR catalog was fulfilled with maps of the radio surveys FIRST and NVSS.

In optical identification of radio sources with no optical candidate in the catalogs GSC, SDSS, UKIDSS, the images of the surveys SDSS, LAS UKIDSS, POSS-II, 2MASS in different filters and sums of images of SDSS (in filters G, R, I), UKIDSS (in filters J, H, K), POSS-II (Red, IR) were analyzed additionally.

Thereby, in optical identification we tried to use all available data as much as possible.

The area of the RCR catalog in the range of right ascensions  $7^h \leq RA \leq 17^h$  partially crosses the surveys SDSS, LAS UKIDSS and FIRST. For different areas of the sky the portion of identifications by POSS-II + NVSS and SDSS + NVSS, SDSS + FIRST, UKIDSS + FIRST was («+» - 34%, «?» - 23%, «ef» - 43%) and (50%, 25%, 25%), (79%, 8%, 13%) and (86%, 8%, 6%) respectively, where «+» means identification, «?» means a possible candidate,

«ef» - пустое поле. При принятии решения об отождествлении радиоисточника использовалась информационная система ObjectSky, в которую была помещена вся собранная о RCR-источниках информация. Применялись программные средства и ресурсы виртуальной обсерватории, без помощи которых отождествление невозможно было бы провести.

*О.П. Желенкова, Н.С. Соболева, Е.К. Майорова, А.В. Темирова.*

### **Исследование спектральных характеристик и переменности радиоисточников вблизи северного полюса Мира**

Продолжены исследования радиоисточника с плоскими спектрами из полной по плотности потока выборки ( $S_{1.4\text{GHz}} \geq 200$  мЯн) вблизи Северного Полюса мира (Отчет САО РАН 2007-2008, с.115). Результаты наблюдений выявили 15 объектов, обнаруживающих быструю переменность на масштабах суток. Амплитуда переменности не превышает 10%, и для большинства источников амплитуда переменности растет с ростом частоты, хотя у части объектов она практически не меняется.

Из 15 исследованных источников 11 были впервые обнаружены нами как быстропеременные одновременно на трех-четырех частотах. Исследование их многочастотных мгновенных спектров показали, что переменность радиоизлучения на масштабах суток присуща объектам различных спектральных классов.

Исследована долговременная переменность объектов на интервале 8-11 лет. В выборке преобладают источники, спектральная плотность потока которых описывается степенным законом и убывает с частотой. Исследования выявили 46% источников с переменностью плотности потока радиоизлучения от 30% и выше (по уровню  $5\sigma$ ) на 3-4 частотах (21.7, 11.2, 7.7 и 4.8 ГГц). Обнаружено, что средний индекс переменности для объектов растет слабо как с частотой (уровень – 0.3-0.5 в диапазоне частот 4.8-21.7 ГГц), так и со спектральным индексом.

*М.Г. Мингалиев, Ю.В. Сотникова, Н.С. Кардашев и М.Г. Ларионов (АКЦ ФИАН). АЖ, 86, 531 (2009).*

### **Наблюдение быстрой переменности объекта типа BL Lac J2022+76**

На частотах 4.8, 7.7 и 11.2 ГГц для источника типа BL Lac J2022+76 впервые обнаружены вариации радиоизлучения на масштабе суток. Кривые изменения плотностей потоков демонстрируют совпадение по времени максимумов на трех частотах (рис. 71, слева). Коэффициент корреляции между кривыми на 11.2 и 7.7 ГГц - 0.7, а между 7.7 и 4.8 ГГц - 0.6. Амплитуда переменности растет с уменьшением частоты и составляет 3.1%, 4.6% и 4.6% на частотах 11.2, 7.7 и 4.8 ГГц, соответственно.

«ef» is an empty field. When deciding about identification of a radio source, we used the information system ObjectSky in which all gathered information on RCR sources was put.

Software and resources of the virtual observatory were applied. Without them the identification would be impossible.

*O.P. Zhelenkova, N.S. Soboleva, E.K. Majorova, A.V. Temirova.*

### **Study of spectral characteristics and variability of radio sources near the northern celestial pole**

The study of radio sources with flat spectra from the flux-density-full sample ( $S_{1.4\text{GHz}} \geq 200$  mJy) near the northern celestial pole was continued (see SAO Report 2007-2008, p.115).

Results of observations revealed 15 objects showing fast variability on a scale of days. The variability amplitude does not exceed 10%, and for the most sources it increases with frequency, though for a part of objects it does not vary practically.

We discovered that 11 of 15 sources under investigation vary fast at three-four frequencies simultaneously. The study of their multi-frequency instant spectra showed that the variability of radio emission on a scale of days is inherent to objects of different spectral classes.

The long-term variability on the interval of 8-11 years was studied. The sources with the spectral flux density described by the power law and decreasing with frequency prevail in the sample.

The study revealed 46% of sources with the flux density variability of radio emission exceeding 30% (at the level  $5\sigma$ ) at 3-4 frequencies (21.7, 11.2, 7.7 and 4.8 GHz). It was discovered that the average variability index of objects increases weakly both with frequency (the level 0.3-0.5 in the frequency range 4.8-21.7 GHz) and with spectral index.

*M.G. Mingaliev, Yu.V. Sotnikova, N.S. Kardashev and M.G. Larionov (ASC LPhIRAS). Astr.Rep., 86, 531 (2009).*

### **Observation of fast variability of the BL Lac type object J2022+76**

Variations of radio emission on a scale of days were first discovered for the BL Lac type source J2022+76 at the frequencies 4.8, 7.7 and 11.2 GHz. Flux density curves show coincidence of maxima in time at three frequencies (Fig. 71, left). The coefficient of correlation between the curves at 11.2 and 7.7 GHz is 0.7, and that between curves at 7.7 and 4.8 GHz is 0.6. The variability amplitude increasing with the frequency decrease is equal to 3.1%, 4.6% and 4.6% at the frequencies 11.2, 7.7 and 4.8 GHz respectively.

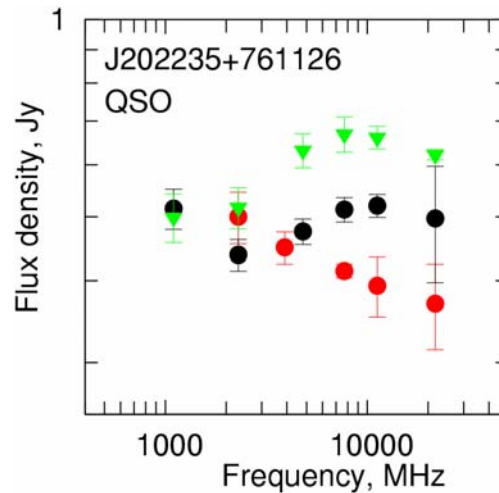
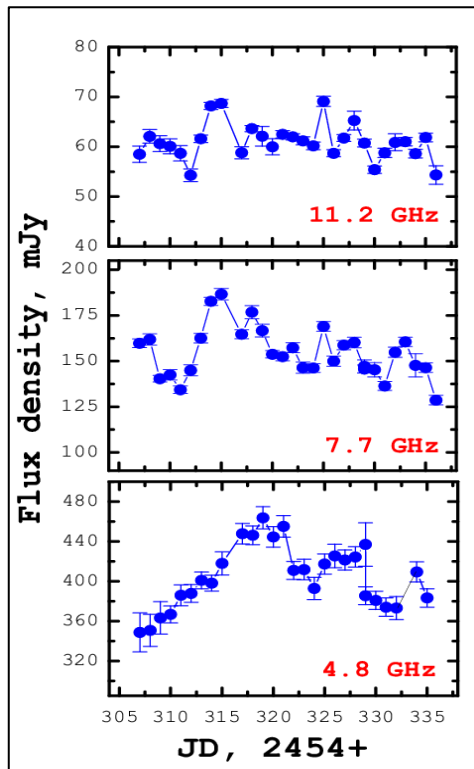


Рис. 71. Кривые блеска плотностей потоков объекта J2022+77 (слева); мгновенные радиоспектры (РАТАН-600) с 1999-2007 гг. (справа).

Fig. 71. Flux density curves of J2022+77 (left); RATAN-600 instant radio spectra in 1999-2007 (right).

На рисунке 71 (справа) представлены одновременные радиоспектры источника J2022+76 по данным 1999-2007 гг. Два из них разделяются в рамках двухкомпонентной модели на протяженную компоненту со степенной функцией и компактную с квадратичной. Увеличение амплитуды переменности с уменьшением частоты и малые угловые размеры источника допускают интерпретацию переменности как рассеяние излучения на межзвездной среде. В этом случае амплитуда переменности должна иметь максимум вблизи 5 ГГц, что подтверждается нашими данными, так максимальный индекс переменности наблюдается на частоте 4.8 ГГц и составляет 4.6%. Интерпретировать переменность источника J2022+76 гравитационным линзированием сложно из-за отсутствия измеренного красного смещения исследуемого источника и объекта, находящегося близко к лучу зрения. Угловое расстояние между J2022+76 и геометрическим центром близкого объекта  $\sim 7''$ , что, в принципе, не исключает действие этого эффекта, в том случае, если этот источник ближе к наблюдателю, чем J2022+76.

*М.Г. Мингалиев, Ю.В. Сотникова, Н.С. Кардашев и М.Г. Ларионов (АКЦ ФИАН).*

### **Исследование радиоисточников с характерным интервалом переменности меньше месяца**

У одиннадцати источников из полной по плотности потока выборки радиоисточников с плоскими спектрами (68 объектов;  $Decl = 04^\circ \pm 06^\circ$ ) обнаружена переменность с характерными

Instant radio spectra of J2022+76 obtained from data of 1999-2007 are shown in Fig. 71 (left).

Two of them are separated within the framework of the two-component model into an extended component with a power-law function and a compact one with the square-law function. The increase of variability amplitude with the decrease of frequency and a small angular size of the source permit us interpreting the variability as the radiation scattering in interstellar medium. In that case the variability amplitude is to have maximum near 5 GHz, which is confirmed by our data. The maximum variability index is observed at the frequency 4.8 GHz and is equal to 4.6%.

It is difficult to interpret variability of the source J2022+76 by gravitational lensing because of the absence of a measured red shift of the source under investigation and an object near the line of sight.

The angular distance between J2022+76 and the geometric center of the nearby object is  $\sim 7''$ , which does not exclude this effect in principle in the case if this object is closer to an observer than J2022+76.

*M.G. Mingaliev, Yu.V. Sotnikova, N.S. Kardashev and M.G. Larionov (ASC FIAN).*

### **The study of radio sources with a characteristic range of variability less than one month**

Variability with the characteristic time  $\tau_{\text{acf}}$  from 3 to 30 days was discovered for eleven sources of flux-density-full sample of radio sources with flat spectra (68 objects;  $Decl = 04^\circ \pm 06^\circ$ ).

временами  $\tau_{acf}$  от 3 до 30 дней. С 1984 г. проведено шесть сетов наблюдений длительностью от 53 до 103 дней на 6 частотах в диапазоне от 0.97 до 21.7 ГГц. На основе анализа кривых блеска, структурных и автокорреляционных функций определены характерные времена переменности. По виду автокорреляционной функции (ACF) можно определить не только  $\tau_{acf}$ , но и характер переменности. По характеру переменности источники разделяются на четыре группы:

- 1) периодический процесс. ACF на протяжении всего сета наблюдений хорошо аппроксимируются одной гармоникой, характерное время переменности является полупериодом этой гармоники (рис. 72а);
- 2) квазипериодический процесс. Из вида ACF следует, что процесс носит циклический характер, но период цикла значительно меняется (рис. 72б). Это более распространенный тип недельной переменности;
- 3) сумма двух циклических процессов с разными амплитудами и характерными временами. На структурной функции, как правило, хорошо видны оба процесса (рис. 72г);
- 4) случайные процессы. Это могут быть одиночные или ансамбли хаотично расположенных импульсов, что дает в ACF один значимый минимум. В этом случае аппроксимация проводится на временах несколько превышающих визуальный минимум функции. Величина  $\tau_{acf}$  дает характерное время одиночного импульса или среднее время ансамбля импульсов (рис. 72д).

В большинстве случаев имеющихся параметров переменности достаточно для разделения внутренней и внешней переменности. Главным аргументом в пользу того или другого вида переменности является вид спектра, а также частоты, на которых этот спектр сформирован.

Падающий спектр на низких частотах однозначно свидетельствует в пользу внешнего происхождения переменности, а падающий спектр на высоких частотах при отсутствии обнаруженной переменности на низких частотах, скорее всего, указывает на внутреннюю причину переменности. Плоские спектры переменной компоненты тоже относятся к внешней переменности и являются следствием увеличения степени компактности мерцающего источника с ростом частоты.

Большое значение индекса модуляции на высоких галактических широтах указывает на внутреннюю причину недельной переменности независимо от вида спектра. Характерные времена переменности сами по себе не могут служить аргументом в пользу той или другой гипотезы.

Необходимым условием существования недельной переменности является наличие у объекта сильной долговременной вспыщенной переменности. Однако нет непосредственной связи между фактом существования недельной переменности и фазой долговременной активности. В одних источниках может быть корреляция между

Since 1984 six sets of observation of duration from 53 to 103 days were fulfilled at 6 frequencies in the range from 0.97 to 21.7 GHz.

Variability time scales were determined from analysis of light curves of structural and autocorrelation functions. From the autocorrelation function (ACF) it is possible to determine not only  $\tau_{acf}$ , but also the type of variability.

The sources are divided into four groups according to their variability types:

- 1) a periodic process. ACF is well approximated by one harmonic during the whole observational set; the variability time scale is a half-period of this harmonic (Fig. 72a);
- 2) a quasi-periodic process. From the ACF shape it follows that the process is cyclical, but the cycle period varies considerably (Fig. 72b). This is the prevailing type of the week-scale variability;
- 3) a sum of two cyclical processes with different amplitudes and characteristic times. As a rule, both processes are seen well in the structural function (Fig. 72c);
- 4) random processes. These can be single or ensembles of chaotic pulses, which gives one significant minimum in ACF. In that case the approximation is made at time scales slightly exceeding the visual minimum of the function. The value  $\tau_{acf}$  gives the typical time of a single pulse or the average time of an ensemble of pulses (Fig. 72d).

In most cases the available parameters of variability are enough to divide the internal and external variability. The main argument in favor of one or another type of variability is the spectrum shape and frequencies at which this spectrum is formed.

The spectrum falling at low frequencies unambiguously attests in favor of an external origin of variability, and the spectrum falling at high frequencies with absence of a detected variability at low frequencies most probably points to an internal cause of variability.

Flat spectra of a variable component also refer to the external variability and they are a consequence of increase of the compactness rate of a flaring source as frequency increases.

A large value of the modulation index at high galactic latitudes suggests an internal cause of the week-scale variability irrespective of the spectrum shape.

Typical variability scales themselves cannot be an argument in favor of one or another hypothesis.

A necessary condition of the week-scale variability is the strong long-term flare variability of an object. However, there is no direct relation between the fact of the week-scale variability and the phase of long-term activity.

In some sources there can be a correlation between the

существованием недельной переменности и фазой долговременной активности, в других такая корреляция отсутствует.

week-scale variability and the phase of long-term activity; in other sources such a correlation is absent.

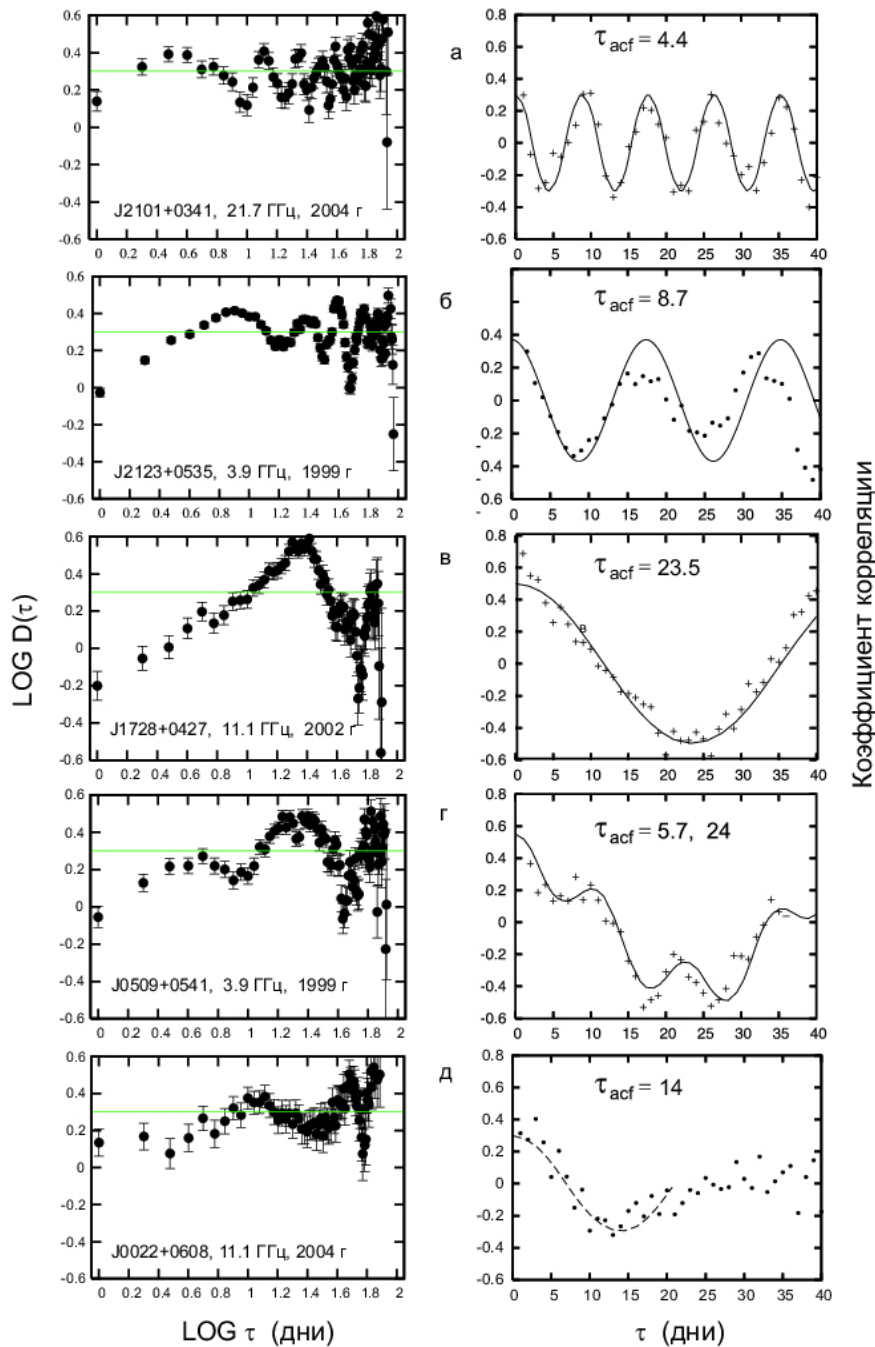


Рис. 72. Примеры структурных (слева) и автокорреляционных (справа) функций для некоторых объектов. Сплошные кривые – аппроксимации АСФ, по которой получены указанные на рисунках характерные времена.

Fig. 72. Examples of structural (left) and autocorrelation (right) functions for some objects. Solid lines are approximations of ACF, from which the typical times shown in the Figure were obtained.

Феномен недельной переменности представляет большой интерес для понимания природы источников космического радиоизлучения, и эти исследования будут продолжены.

М.Г. Мингалиев, А.Г. Горшков и В.К. Конникова, (ГАИШ МГУ).

The phenomenon of the week-scale variability is of the utmost interest for understanding the nature of sources of space radio emission, and this study will be continued.

M.G. Mingaliev, A.G. Gorshkov and V.K. Konnikova (SAI MSU).

**Мониторинг ярких источников для миссии PLANCK WG6**

**Bright sources monitoring during PLANCK Mission WG6**

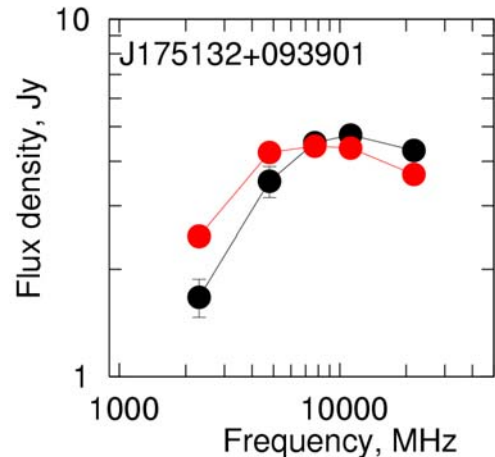
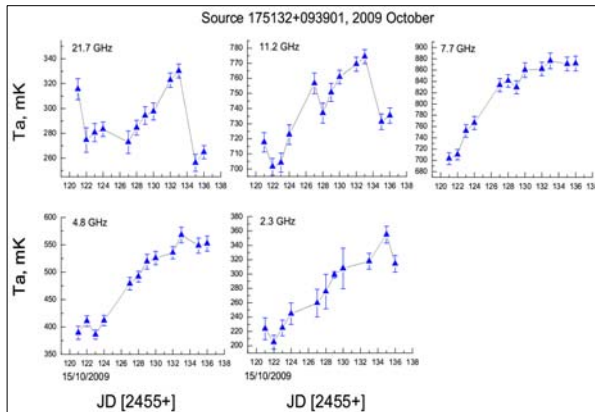


Рис. 73. Слева - кривые блеска квазара 1751+09 (октябрь 2009); справа - суммарный радиоспектр (октябрь, ноябрь 2009).

Fig. 73. Left: light curves of the quasar 1751+09 (October 2009). Right: the sum radio spectrum (October-November 2009).

Проведен мониторинг ста ярких радиисточников с целью наземного сопровождения наблюдений Planck. Получены ежедневные значения плотностей потоков радиисточников на частотах 21.7, 11.2, 7.7, 4.8 и 2.3 ГГц, а также суммарные многочастотные радиоспектры для 2-4 эпох. На рисунке 73 приведены кривые блеска в антенных температурах для квазара 1751+09 (слева) и мгновенные радиоспектры в диапазоне частот 2-22 ГГц (справа).  
 М.Г. Мингалиев, Ю.В. Сотникова, А.К. Эрkenov.

The monitoring of 100 bright radio sources was fulfilled with the purpose of the ground-based tracking of Plank observations. Daily values of flux density of radio sources at the frequencies 21.7, 11.2, 7.7, 4.8 and 2.3 GHz and sum multi-frequency radio spectra for 2-4 epochs were obtained. The figure 73 shows the quasar 1751+09 light curves in antenna temperature (left) and instant radio spectra in the frequency range 2-22 GHz (right).  
 M.G. Mingaliev, Yu.V. Sotnikova, A.K. Erkenov.

**Дрейф максимумов радиовспышек рентгеновской двойной системы LSI+61°303 по фазе орбитального периода**

**Drifting of the maxima of radio flares from X-ray binary LSI+61°303 through phase of the orbital period**

Проведен 130-дневный мониторинг известной рентгеновской двойной системы, оптической звезды, гамма-источника высоких энергий и микрокварзара LSI+61°303 (GT0236+61). Проводились ежедневные наблюдения одновременно на 4 частотах (2.1, 4.8, 7.7 и 11 ГГц). Зарегистрировано шесть вспышек. Построены детальные кривые блеска источника для шести циклов (рис. 74). Максимумы вспышек наблюдались в фазе  $\theta_1 = 0.70 \pm 0.05$  орбитального периода  $P_1$  (26.5<sup>d</sup>). Отметим, что наблюдения проводились вблизи фазы  $\theta_2 = 0.0$  сверхорбитального периода  $P_2$  (1667<sup>d</sup>).  
 Мы сравнили наши кривые радиоблеска GT0236+61 с данными, полученным в 1995 г. (США, GBI) в той же фазе  $P_2$ , и обнаружили, что в последнем случае максимумы блеска наблюдались вблизи фазы  $\theta_1 = 0.60$ . Известно, что фаза максимумов радиоблеска источника для периода  $P_1$  меняется в пределах  $\theta_1 = 0.4-0.8$ , и это связано с фазой периода  $P_2$ . Обнаруженный нами сдвиг фазы максимумов для одной и той же фазы  $P_2$  вероятно

The 130-day monitoring program of the well-known X-ray binary, the VHE gamma-ray source, emission star and microquasar LSI+61°303 (GT0236+61) has been carried out. Daily observations were made at 2.1, 4.8, 7.7 and 11 GHz simultaneously. We detected six flares. Thus the detailed light curves were measured during six orbits (Fig. 74). Flare maxima were at the phase  $\theta_1 = 0.70 \pm 0.05$  of the orbital cycle  $P_1$  (26.5<sup>d</sup>). These measurements were made near the phase  $\theta_2 = 0.0$  of the super-orbital period  $P_2$  (1667<sup>d</sup>).  
 We compared light curves of GT0236+61 with radio data of 1995 (USA, GBI) during the same superorbital phase ( $\theta_2 = 0$ ) and detected that the former light curves maxima occurred near phase  $\theta_1 = 0.60$ . It is well known that phases of the maxima of radio flux from the source varied from phase  $\theta_1 = 0.4$  to phase  $\theta_1 = 0.8$  during the change of the  $P_2$  phase. Therefore, this noticed shift of the maxima phase is probably related either with instability of the super-



связан с нестабильностью сверхорбитального периода или с его неточным определением. В последнем случае сверхорбитальный период должен быть меньше ( $P_2 \sim 1600^d$ ).

orbital period or with its inaccurate determination. In the latter case the value of super-orbital period must be smaller, i.e.  $P_2 \sim 1600^d$ .

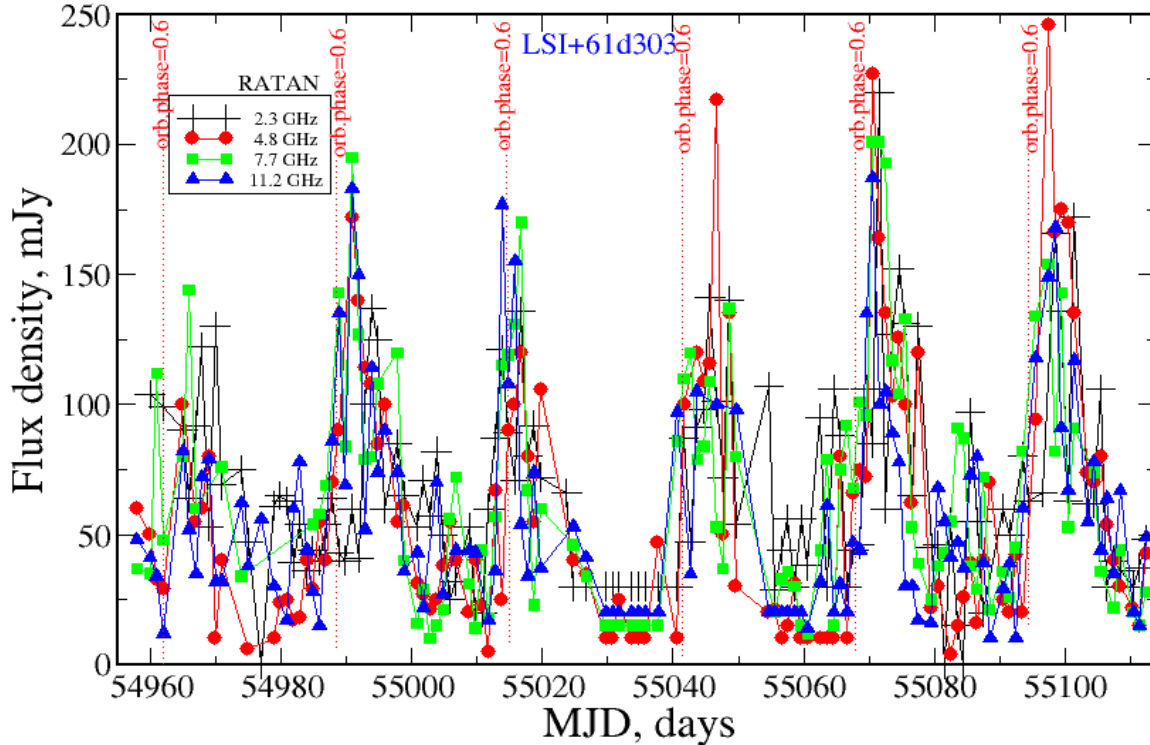


Рис. 74. Кривые блеска микроквара LSI+61°303 в мае-октябре 2009 г. на четырех частотах.

Fig. 74. Light curves of the microquasar LSI+61°303 in May-October 2009 at four frequencies.

Вероятнее всего причиной модуляции свойств синхротронного излучения является прецессия струйных выбросов. Рентгеновское и радиоизлучение возникает в результате синхротронного механизма, а гамма-излучение сверхвысоких энергий возникает в процессе обратного комптоновского рассеяния звездных фотонов на релятивистских электронах в струях. Однако природа сверхорбитального периода пока не ясна.

S.A. Trushkin, N. Nizhelskij, N. Bursov.

### Мониторинг Cygnus X-3

Продолжено исследование микроквара Cyg X-3 (Отчет САО РАН 2007-2008, с. 118). В течение двух активных периодов вспышечной переменности этой рентгеновой двойной с релятивистскими струйными выбросами были обнаружены (спутник AGILE) четыре вспышки транзитного гамма-излучения в диапазоне выше 100 МэВ (рис. 75). В двух из четырех гамма-вспышках зарегистрировано мощное ускорение электронов и протонов за 1-2 дня до радиовспышки. Энергия этих нетепловых частиц была в тысячу раз больше по сравнению с энергией в более спокойном состоянии. Обнаружение гамма-лучей высоких

The long-time precession of the jets could be reason of the synchrotron radiation modulation. We know that X-ray and radio emission originate from synchrotron mechanism, but VHE (Very High Energy) gamma-emission formed in Inverse Compton scattering of the stellar photons on the relativistic electrons in jets. Meanwhile the nature of the super-orbital period itself became unclear.

S.A. Trushkin, N. Nizhelskij, N. Bursov.

### The monitoring of Cygnus X-3

The investigation of the microquasar Cygnus X-3 was continued (see SAO RAS Annual Report 2007-2008, p. 118). During two active periods of the flaring variability of this exceptional X-ray binary with relativistic jets four flares of transient gamma-ray emission with energies more than 100 MeV (Fig. 75) were detected (the satellite AGILE). In two of four gamma-ray flares the powerful acceleration of electrons and protons was recorded 1-2 days before a radio flare.

Energy of these nonthermal particles was a thousand times higher than that in the quiescent state. The detection of high-energy gamma-ray emission in the

энергий в галактическом источнике является критической точкой в понимании физической картины микрокварзаров и систем с черными дырами в целом.

Galactic source is a critical point in the understanding of the physical picture of microquasars and binary systems with black holes in general.

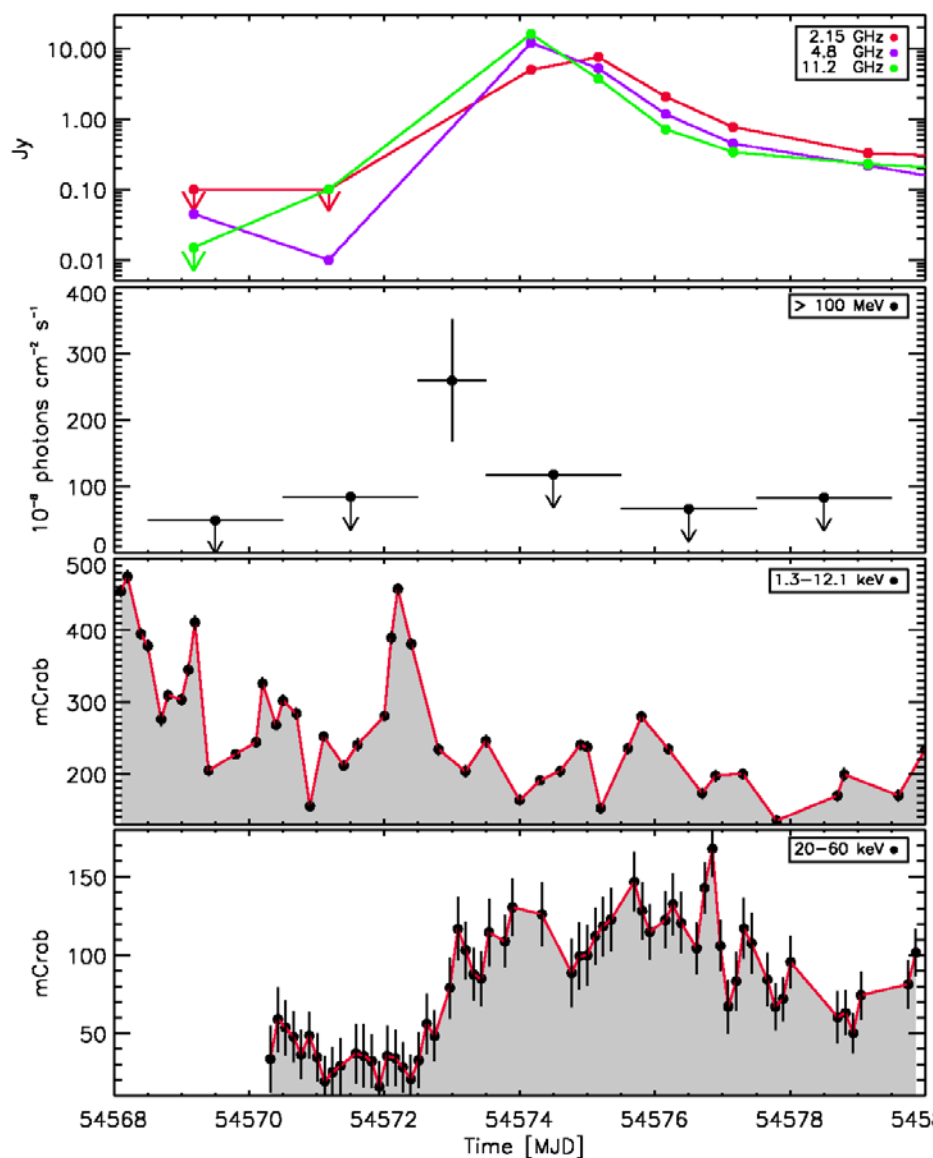


Рис. 75. Обнаружение гамма-излучения от микрокварзара Cyg X-3 перед мощной радиовспышкой в апреле 2008 г.

Fig. 75. Discovery of gamma-ray emission from the micro-quasar Cyg X-3 before a powerful radio flare in April 2008.

М. Тавани, А. Булгарелли, Дж. Пьяно, С. Сабатини, Е. Стриани, Е. Эвангелиста, А. Тройс, Г. Пули, С. Трушкин, Н. Нижельский и др. *Nature*, **462**, 620 (2009).

M. Tavani, A. Bulgarelli, G. Piano, S. Sabatini, E. Striani, Y. Evangelista, A. Trois, G. Pooley, S. Trushkin, N. Nizhelskij et al., *Nature*, **462**, 620 (2009).

**Возможная природа остатка сверхновой G 65.3+5.7 и его связь с окружающим нейтральным водородом**

**Possible Nature of the Supernova G 65.3+5.7 Remnant and its Relation to Ambient Neutral Hydrogen**

Продолжены исследования остатков сверхновых (Отчет САО РАН 2007-2008, с. 117).

Investigations of supernovae remnants were continued (see SAO RAS Annual Report 2007-2008,

G 65.2+5.7 имеет самый большой угловой размер среди остатков оболочечного типа. По наблюдениям нейтрального водорода на волне 21 см около G 65.2+5.7 обнаружена расширяющаяся оболочка HI, оставшаяся после старого взрыва сверхновой с энергией порядка  $10^{51}$  эрг и возрастом 440 тысяч лет, совпадающая по координатам с радио и оптическим остатком (рис. 76).

p. 117). G 65.2+5.7 has the largest angular size among shell type remnants. From observations of neutral hydrogen at a wavelength of 21 cm, near G 65.2+5.7 an expanding HI envelope was discovered that remained from an old explosion of the supernova with energy about  $10^{51}$  ergs and age 440 thousand years. Its coordinates coincide with optical and radio remnants (Fig. 76).

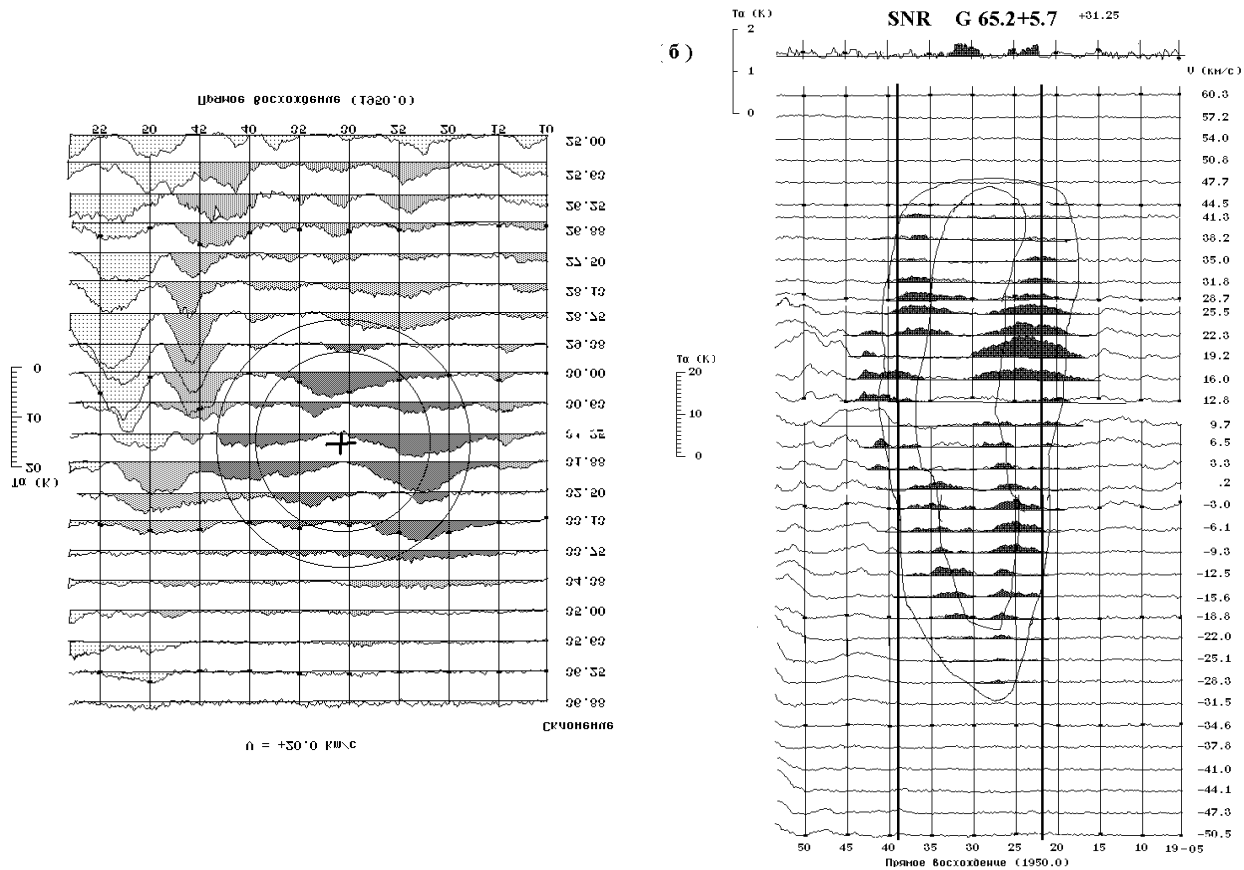


Рис. 76. Слева - излучение HI в координатах  $(\alpha-\delta)$  на лучевой скорости  $+20$  км/с по записям, полученным на РАТАН-600. Крестиком и тонкими окружностями схематически обозначен остаток сверхновой в непрерывном спектре на волне 21 см по боннским данным. Темной заливкой отмечены детали линии излучения HI, которые могут быть связаны с остатком сверхновой. Справа - излучение HI в координатах  $(\alpha-V)$  на склонении  $+31.25^\circ$  (верхняя кривая - запись остатка в непрерывном спектре). Жирными линиями обозначен угловой размер остатка в непрерывном спектре, тонкими линиями - предполагаемая нами оболочка HI.

Fig. 76. Left: HI emission in  $(\alpha-\delta)$  coordinates at a radial velocity of  $+20$  km/s from RATAN-600 drift curves. The cross and thin circumferences schematically show the Supernova remnant shell as revealed by the Bonn data. The dark shading marks the HI emission features that may be associated with the super nova remnant. Right - HI emission in  $(\alpha-V)$  coordinates at a declination of  $+31.25^\circ$  (the upper curve represents the drift curve of the remnant in continuum). The thick lines denote the angular size of the remnant in continuum, thin lines - the presumed HI shell.

Поскольку в этой же области наблюдается рентгеновское излучение от гораздо более молодого остатка сверхновой (27 тыс. лет), а оболочки, обнаруженные по небулярным линиям, имеют возраст, по-видимому, промежуточный, высказано предположение, что здесь произошло несколько последовательных взрывов сверхновых.

И.В. Госачинский.

Since X-ray emission from a much younger (27 thousand years) supernova remnant is observed in the same region, and the age of envelopes detected from nebular lines is probably intermediate, we assumed that here several consecutive supernova explosions occurred.

I.V. Gosachinskii.

### Каталог радиогалактик с известными красными смещениями

Подготовлена выборка радиогалактик со спектроскопическим красным смещением  $z > 0.35$  по данным NED, SDSS, CATS для использования в различных статистических тестах. Исходный список из 3364 объектов был очищен от радиогалактик с фотометрическими красными смещениями и квазаров.

Получившийся каталог содержит 2442 объекта со спектроскопическими красными смещениями, фотометрическими величинами и плотностями потоков, угловыми радиусами и спектральными индексами в диапазоне частот от 325 МГц до 30 ГГц.

### The catalog of radio galaxies with known red shifts

A sample of radio galaxies with spectroscopic red shifts  $z > 0.35$  was selected from the NED, SDSS, CATS databases for the use in different statistical tests. The initial list of 3364 objects was cleared from galaxies with photometric red shifts and quasars.

The resulting catalog contains 2442 objects with spectroscopic red shifts, photometric values and flux densities, angular sizes and spectral indexes in the frequency range from 325 MHz to 30 GHz.

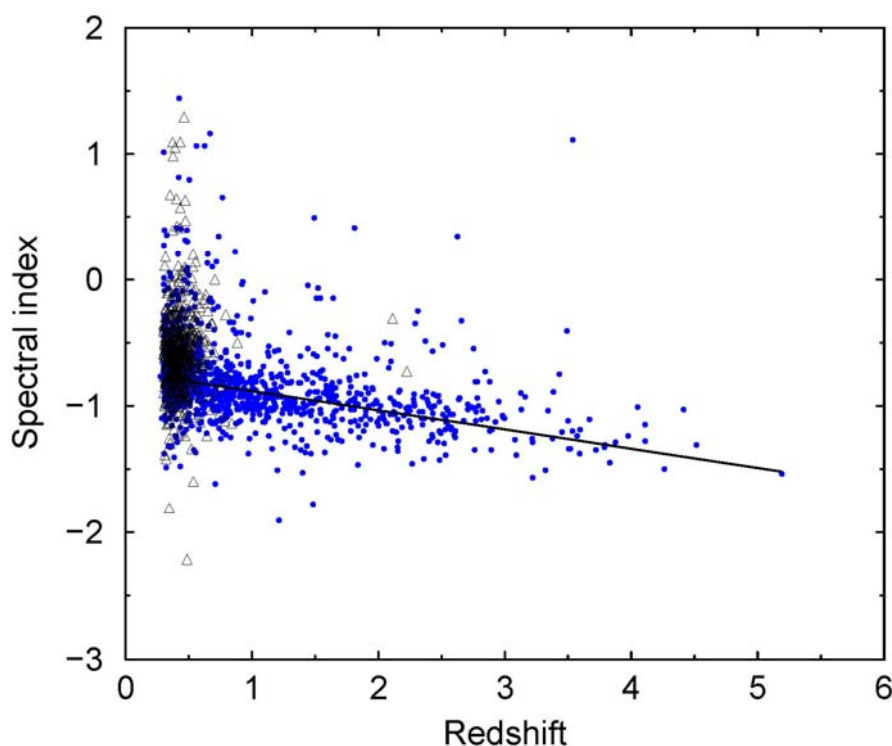


Рис. 77. Диаграмма «спектральный индекс-красное смещение». Спектральные индексы вычислялись на частоте 1400 МГц. Треугольниками показаны данные SDSS. Кружками - объекты всех остальных каталогов. Регрессионная зависимость проведена по медианным значениям спектральных индексов внутри бинов с шагом  $\Delta z = 0.5$ .

Fig. 77. The diagram «spectral index – red shift». Spectral indexes were calculated at the frequency 1400 MHz. The triangles denote SDSS data. The circles are for objects of all other catalogs. The regression is drawn by medians of spectral indexes inside bins with the step  $\Delta z = 0.5$ .

По медианным величинам подвыборки радиогалактик определена устойчивая зависимость спектрального индекса от красного смещения (рис. 77). Она имеет заметный тренд в сторону понижения спектрального индекса с ростом  $z$  ( $\alpha = a+bz$ , где  $a = -0.73 \pm 0.02$ ,  $b = -0.15 \pm 0.01$ ). Ее можно объяснить двумя селекционными эффектами, хотя и не исключены физические причины:

1) радиогалактик взяты из списков, источники в которые отбирались по крутому спектру. Учсть

From medians of subsamples of radio galaxies a stable relation between spectral index and red shift was determined (Fig. 77). It is a noticeable trend of the spectral index decrease as  $z$  increases ( $\alpha = a+bz$ , where  $a = -0.73 \pm 0.02$ ,  $b = -0.15 \pm 0.01$ ). It can be explained by two selection effects, though the following physical reasons are possible:

1) radio galaxies were selected from lists which were compiled from sources with steep spectra. This effect

этот эффект можно только по полным выборкам радиогалактик с известным красным смещением;

2) для самых мощных радиоисточники на больших  $z$  вклад в радиоизлучение дают горячие пятна, имеющие крутые спектры. Чем дальше радиоисточник, тем вероятнее, что он будет более мощным по сравнению с окружающими и имеющим крутой радиоспектр. Проверить этот факт можно, сравнивая разные по светимости выборки галактик.

Аналитический вид регрессии можно использовать для предварительного отбора объектов на заданных  $z$ , оценки расстояний до радиогалактик, а также при изучении функции светимости.

*М.Л. Хабибуллина, О.В. Верходанов, Астрофиз. бюлл., 64, 123 (2009); Астрофиз. бюлл., 64, 276 (2009); Астрофиз. бюлл., 64, 357 (2009).*

### Картографирование корреляций фоновых излучений на сфере

Метод картографирования корреляций на полной сфере (Отчет САО РАН 2007-2008, с.126), позволяющий проверять качество восстанавливаемых карт, апробирован на данных WMAP и обзора NVSS.

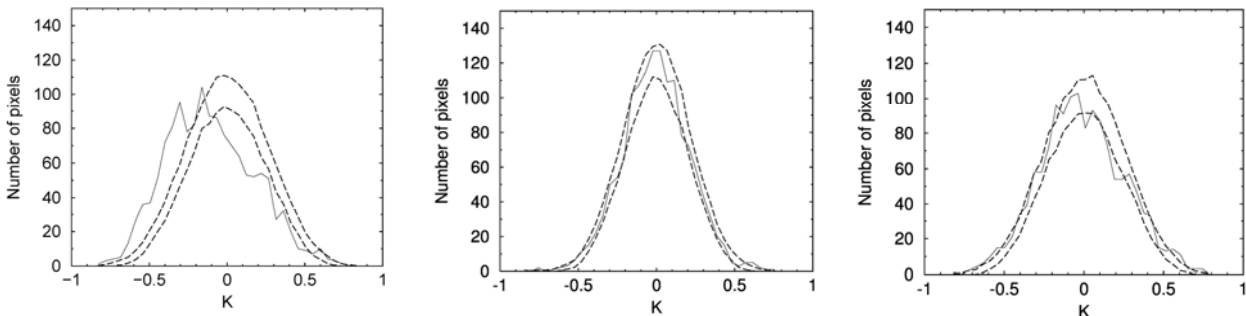


Рис. 78. Распределения величин корреляционных индексов в пикселях корреляционных карт ILC-данных и галактических фонов: излучения пыли, свободно-свободного и синхротронного излучений (слева направо), для окна  $324'$ . Допустимые границы уровня корреляций (разброс  $1\sigma$ ), построенные по данным моделирования, показаны пунктирными линиями.

Fig. 78. Distributions of correlation indexes in pixels of correlation maps of ILC data and galactic backgrounds: emission of dust, free-free and synchrotron emission (from left to right) for the window  $324'$ . Permissible limits of the correlation level (a dispersion of  $1\sigma$ ) built from modeling data are shown by the dotted lines.

Для построенных карт корреляций по данным WMAP5 (карты ILC и фоновых излучений: синхротронного, свободно-свободного и пыли) на масштабах  $162'$ ,  $324'$  и  $540'$  обнаружен сдвиг в распределении значений пикселей для пыли и синхротронного излучения, указывающий на возможную переоценку их вклада при разделении компонент ILC (рис.78). Обнаруженное смещение в корреляционных данных пылевой компоненты может быть обусловлено более сложной ее моделью.

*О.В. Верходанов, М.Л. Хабибуллина, Е.Л. Майорова, Астрофиз. бюлл., 64, 263 (2009).*

can be taken into account only in full samples of radio galaxies with known red shifts;

2) in the most powerful radio sources at large  $z$  the hot spots having steep spectra contribute to radio emission. The farther a radio source is the higher is the probability that it is more powerful in comparison to surrounding ones and it has a steep radio spectrum. This fact can be tested by comparing samples of galaxies differing in luminosity.

The analytical type of regression can be used for preliminary selection of objects at a given  $z$ , estimation of distance to radio galaxies and when studying the luminosity function.

*M.L. Khabibullina, O.V. Verkhodanov, Astrophys. Bull., 64, 123 (2009); Astrophys. Bull., 64, 276 (2009); Astrophys. Bull. 64, 357 (2009).*

### Mapping of background emission correlations on a sphere

The method of correlation mapping on a complete sphere (SAO RAS Report, 2007-2008, p.126) allowing us checking quality of restored maps was tested for the WMAP data and NVSS survey.

For correlation maps built for the WMAP5 data (the maps of ILC and background emissions: synchrotron, free-free and dust) on the scales  $162'$ ,  $324'$  and  $540'$  a shift in distribution of pixel values for dust and synchrotron emission was discovered, which indicates to a possible reevaluation of their contribution when separating ILC components (Fig. 78).

The discovered shift of the dust component correlation data can be caused by its more complicated model.

*O.V. Verkhodanov, M.L. Khabibullina, E.K. Majorova, Astrophys. Bull., 64, 263 (2009).*

### **Отождествление источников декаметрового диапазона каталога УТР**

Продолжено отождествление радиоисточников каталога УТР. Для исследования использовалась последняя выборка каталога источников в области склонений  $30^\circ < \delta < 40^\circ$ . Для кросс-идентификации источников с каталогами базы данных CATS использовался бокс ошибок  $40 \times 40'$ . Проведена процедура деблендирования по радиоспектру источников. Построены и аппроксимированы стандартными аналитическими зависимостями спектры 875 источников, 221 объект из которых имеют линейный спектр и спектральный индекс  $\alpha < -1.0$ . Каталог объектов помещен в базу данных CATS.

*О.В. Верходанов, Н.В. Верходанова, Х. Андернах. Астрофиз. бюлл., 64, 72 (2009).*

### **Программный пакет для расчета поляризации СМВ**

Проведен анализ точности и применимости пакета GLESP-pol, являющего расширением пакета GLESP 2.0, предназначенного для анализа СМВ на основе пикселизации неба по методу Гаусса-Лежандра (GLESP). GLESP-pol включает в себя расчет поляризации на сфере. Согласно численным расчетам алгоритм позволяет вычислять карты поляризации по гармоническим коэффициентам и обратно с точностью  $\sim 10^{-8}$ . Для сравнения метода в аналогичных расчетах был применен пакет HEALPix 2.11. Оказалось, что единственная итерация в HEALPix 2.11 может привести к значительной ошибке при разложении на гармоники и должна применяться с осторожностью. Пакет GLESP-pol протестирован и открыт для всеобщего использования по адресу <http://www.glesp.nbi.dk>.

*А.Г. Дорошкевич (АКЦ ФИАН), О.В. Верходанов, П.Д. Насельский и Дж. Ким (NBI), Д.И. Новиков (Imperial Colledge; АКЦ ФИАН), В.И. Турчанинов (ИПМ), Л.-Ю. Чейнг (Instit. Astron. and Astrophys., Academia Sinica, Taipei), М. Хансен (NBI).*

### **Исследования Солнца в радиодиапазоне**

#### **Сопоставление высотной структуры магнитных полей в активной области с модельными реконструкциям фотосферного магнитного поля**

Методами многоволновой радиоастрономии измерены высотные распределения магнитных полей над пятнами, которые сопоставлены с данными космических обсерваторий (SOHO/MDI и TRACE).

### **Identification of sources of the decametric range of the UTR catalog**

The identification of radio sources from the UTR catalog was continued. In the study the latest version of a sample from the catalog sources in the declination range  $30^\circ < \delta < 40^\circ$  was used. The cross-identification of sources with catalogs of the CATS database was made with the error box  $40 \times 40'$ . The procedure of deblending in radio spectra of sources was fulfilled. Spectra of 875 sources were built and approximated by standard analytical relations.

221 objects of them have linear spectra and a spectral index of  $\alpha < -1.0$ . The catalog of objects was put to the CATS database.

*O.V. Verkhodanov, N.V. Verkhodanova, H. Andernach, Astrophys. Bull., 64, 72 (2009).*

### **A software package for computation of cosmic microwave background polarizations**

The precision and applicability of the GLESP-pol package being an extension of the GLESP 2.0 package meant for analysis of CMB with pixelization of the sky by the Gauss-Legendre method (GLESP) was analyzed. GLESP-pol includes calculation of polarization on a sphere. According to numerical computations, the algorithm allows us computing polarization maps from harmonic coefficients and back to a precision of  $\sim 10^{-8}$ . As a comparison, the package HEALPix 2.11 was applied in analogous calculations.

It turned out that a single iteration in HEALPix 2.11 can lead to a considerable error in expansion of a harmonic and it should be applied with care.

The package GLESP-pol was tested and opened for general use at <http://www.glesp.nbi.dk>.

*A.G. Doroshkevich, O.V. Verkhodanov, P.D. Naselsky, J. Kim (NBI), D.I. Novikov (Imperial Colledge; АКЦ ФИАН), V.I. Turchaninov, I.D. Novikov ((АКЦ ФИАН; NBI), L.-Y. Chiang (Instit. Astron. and Astrophys., Academia Sinica, Taipei), M. Hansen (NBI).*

### **Study of the Sun in the radio range**

#### **Comparison of the height structure of magnetic fields in an active region with model reconstructions of the photospheres magnetic field**

Methods of multi-frequency radio astronomy were applied to measure height distributions of magnetic fields above spots and then they were compared to data of space observatories (SOHO/MDI and TRACE).

Магнитные поля напряженностью около 1000 Гаусс находятся на достаточно больших высотах в атмосфере Солнца (от 10 до 25 тыс.км), что подтверждает наблюдения магнитных петель по космическим данным в ультрафиолетовых линиях, указывающие на малую расходимость магнитных силовых трубок (рис. 79). Эти данные противоречат существующим общепринятым моделям магнитного поля. Для интерпретации данного результата необходимо использовать модели для сильно структурированного и скрученного вертикального магнитного поля над пятном.

Magnetic fields of intensity about 1000 Gauss are at rather large heights in the atmosphere of the Sun (from 10 to 25 thousand km) what is confirmed by space observations of magnetic loops in ultra-violet lines. This testifies a small divergence of magnetic field tubes (Fig. 79). These data contradict the available commonly accepted models of magnetic field. To interpret this result it is necessary to use models for a strongly structured and twisted vertical magnetic field above a spot.

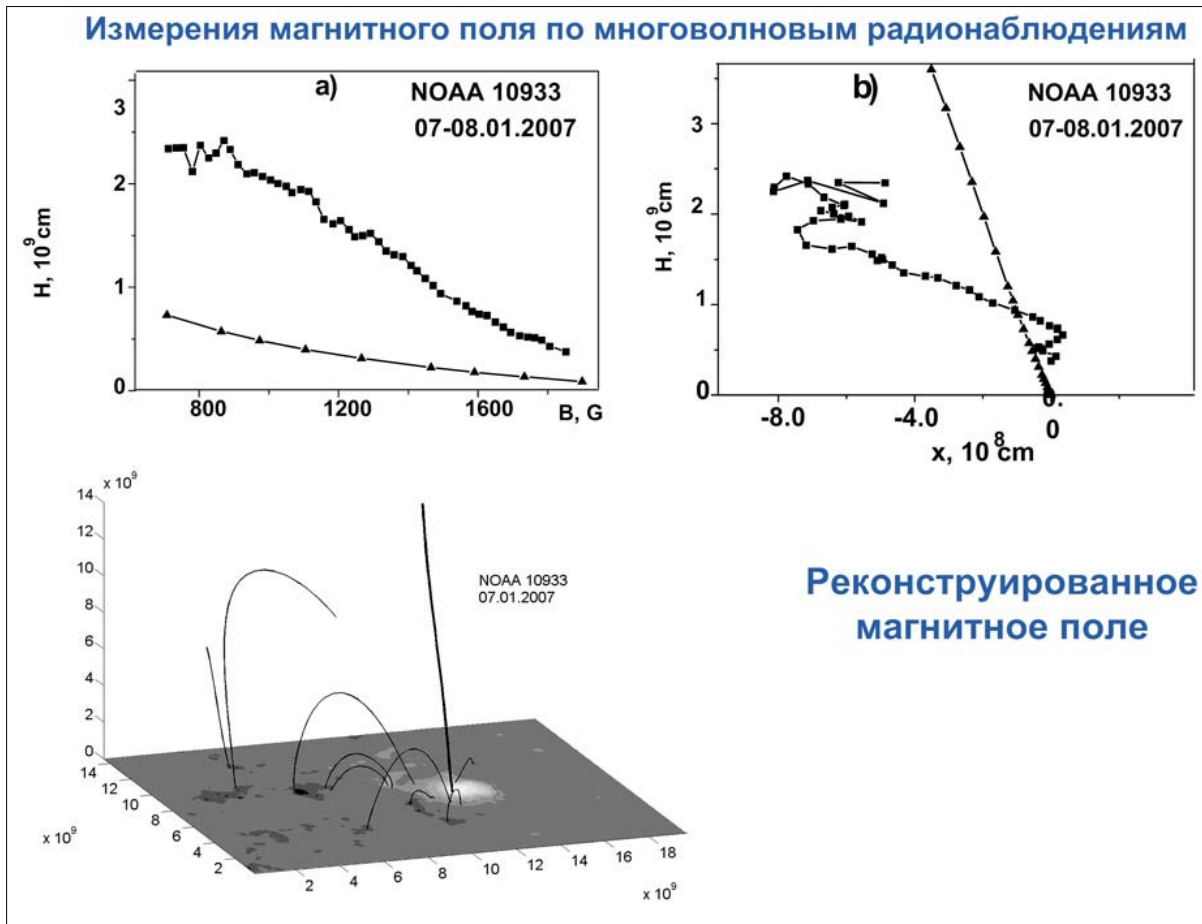


Рис. 79. Результаты высотных измерений магнитного поля в активной области методом многоволновой стереоскопии и сопоставление с реконструированным в корону магнитным полем фотосферы.

Fig. 79. Results of height measurements of magnetic field in an active region by the method of multi-frequency stereoscopy and its comparison with photospheric magnetic field reconstructed into corona

В.М. Богод, Л.В. Яснов (СПбГУ). *Астрофиз. бюлл.*, **64**, 333 (2009).

V.M. Bogod, L.V. Yasnov (StPSU). *Astroph. Bull.*, **64**, 333 (2009).

### **О природе радиоизлучения вспышечно-активных областей на Солнце**

### **On nature of radio emission of flaring active regions on the Sun**

Получены новые данные о радиоизлучении вспышечно-активных областей на Солнце. Исследовались различные проявления инверсий знака круговой поляризации солнечного радиоизлучения в микроволновом диапазоне волн.

New data on radio emission of flaring active regions on the Sun were obtained. Different manifestations of the sign inversion of the circular polarization of solar radio emission in the microwave range were studied.

Это явление проявляется в излучении вспышечно-продуктивных активных областей (ВПАО) на различных стадиях развития, начиная с их предвспышечной стадии и, вероятно, отражает глубинные процессы в них.

Рассмотрены несколько механизмов, которые могли бы приводить к двойной инверсии знака поляризации по частотному спектру и к эффекту провала в спектре. Подробно изучены следующие механизмы: линейное взаимодействие волн в области квази-поперечного магнитного поля; распространение радиоволн через область с нулевым магнитным полем; распространение радиоволн через вышележащие токовые слои;

This phenomenon appears in emission of flare-producing active regions (VPAR) at different stages of development beginning with their pre-flare stage and, probably, it reflects underground processes in them.

We considered several mechanisms that could lead to the double inversion of polarization sign in the frequency spectra and to the effect of spectrum dip. The following mechanisms were studied in detail: the linear interaction of waves in the region of quasi-transverse magnetic field; radio wave propagation through the region with the zero magnetic field; radio wave propagation through overlying current sheets;

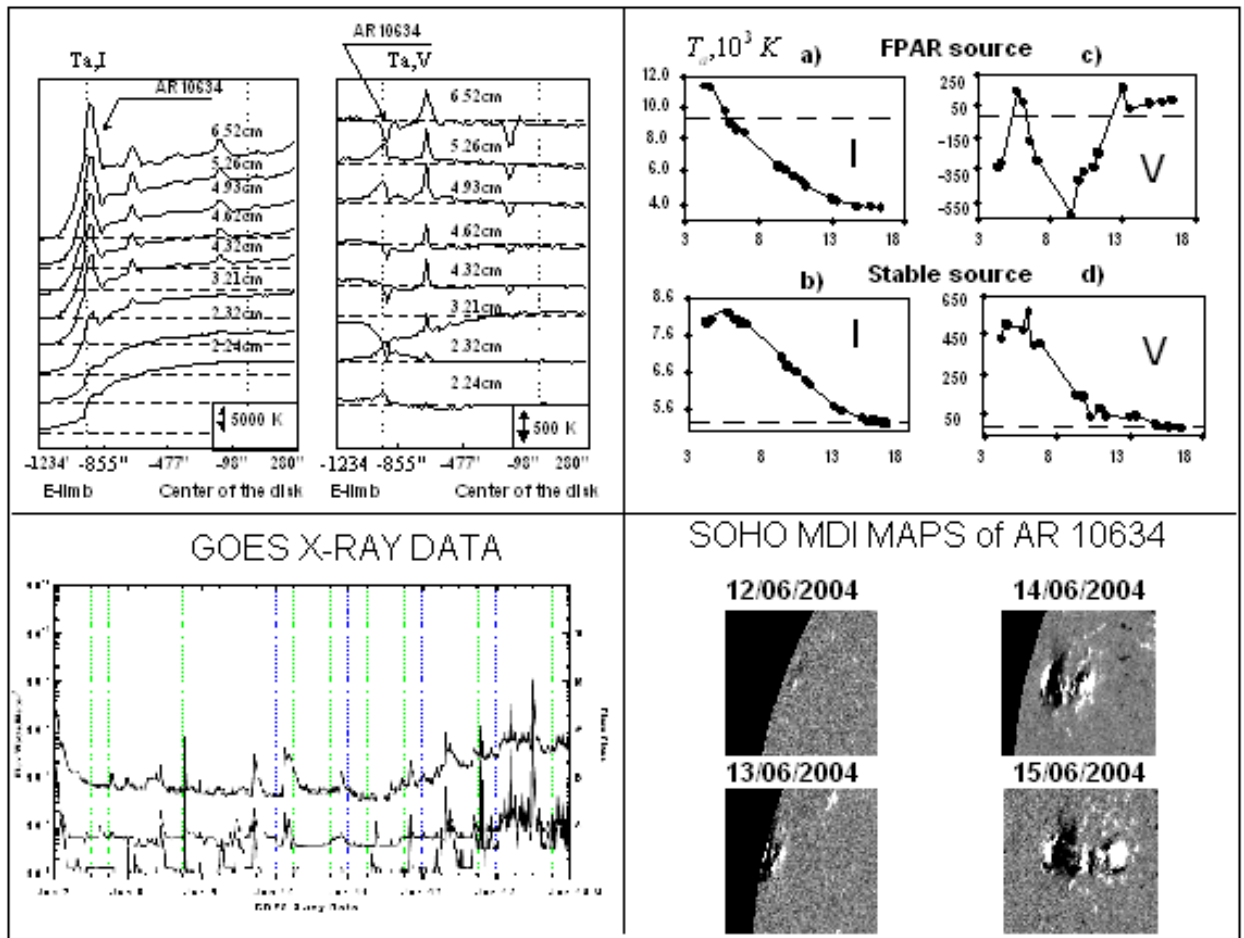


Рис. 80. Спектр поляризованного излучения вспышечно-продуктивной активной области (с провалом).

Fig. 80. The spectrum of polarized emission of a flare-producing active region (with a dip).

рассеяние радиоволн при прохождении через волокна и магнитные дыры, в которых направление магнитного поля меняет знак по направлению к наблюдателю. Сделаны оценки вероятности предложенных механизмов.

radio wave scattering in crossing filaments and magnetic holes in which the magnetic field direction changes sign towards an observer.

Probabilities of the suggested mechanisms were estimated.

В. Богод, Л. Яснов. Солнечная физика, 255, 253 (2009).

V. Bogod, L. Yasnov. Solar Physics, 255, 253 (2009).