

## Отчет по программе президиума РАН-21 «Нестационарные объекты во Вселенной»

### Проект 4.2. «Исследование магнитных полей CP –звезд в молодых рассеянных звездных скоплениях»

Научный руководитель д.ф.-м.н. И.И.Романюк

Ответственный исполнитель д.ф.-м.н. Глаголевский Ю.В.

1. Продолжены наблюдения на 6м телескопе с целью поиска новых магнитных звезд. Особое внимание было уделено массивным звездам с аномалиями химического состава атмосферы. Мы начали изучение магнитных полей звезд в ассоциациях Орион OB1 и в Скорпионе-Центавре. Ранее мы нашли 85 CP-звезд в ассоциации Орион OB1. Из них 23 - немагнитные Am-звезды и 62 потенциально магнитные Ap/Bp звезды. Среди них до начала наших исследований было найдено 22 магнитных CP-звезд. В течение 2013-2014 гг мы получили на 6м телескопе с зеемановским анализатором спектры всех 62 звезд с целью измерения их магнитных полей, лучевых скоростей и анализа химического состава. Мы обнаружили 11 новых магнитных звезд и подтвердили наличие магнитного поля у 21 ранее известной. Еще одна звезда нуждается в дополнительном изучении. Магнитные звезды имеют ярко выраженную тенденцию концентрироваться в центральной области ассоциации (в поясе Ориона), где сосредоточена большая часть из них. Не обнаружено значимых различий в величине поля магнитных B-звезд ассоциации и Bp звезд поля в целом, хотя заметна тенденция - поля звезд с усиленными линиями гелия (He-rich) больше, чем у звезд с ослабленными линиями гелия (He-wk).

2. Найдено сильное магнитное поле (продольный компонент которого превышает 5 кГс) у двойной химически пекулярной звезды с усиленными линиями кремния HD 34736. Как магнитная звезда была обнаружена нами в ходе выполнения полного магнитного обзора CP звезд в ассоциации Орион OB1. Найдены короткопериодические (с периодом порядка 1 суток) вариации магнитного поля и лучевой скорости звезды, указывающие на двойственность и быстрое вращение звезды. Найдены линии второго компонента и построена предварительная (оценочная) модель объекта. Магнитной звездой является главный компонент, вторичный компонент находится на относительно близком расстоянии (почти контактная двойная). Не исключено наличие третьего компонента. Эффективная температура главного компонента около 13500 К, а вторичного - 11500 К. Магнитный и спектральный мониторинг звезды продолжается.

3. Продолжается работа по созданию нового волоконного спектрографа для 6м телескопа. Ввиду отсутствия финансирования в 2014 году были выполнены только некоторые подготовительные работы, подготовлены заявки и объявлен тендер на небольшую сумму на закупку оборудования и расходных материалов. Была выполнена презентация проекта на двух международных конференциях, вышла из печати статья с описанием проекта.

4. В августе 2014 г в CAO РАН была проведена международная конференция "Physics and Evolution of Magnetic and Related Stars", в том числе, благодаря частичной поддержке из средств ПРАН. На ней были доложены результаты работ, выполненных по проектам, поддержанным ПРАН: результаты исследований магнитных полей в скоплениях разного возраста, исследования магнитных звезд в ассоциации Орион OB1, спектральному и фотометрическому исследования холодных магнитных звезд, у которых наблюдаются короткопериодические пульсации.

Труды конференции будут изданы в международном издательстве ASP Conference Series (San Francisco, USA) в 2015 году.

## ПУБЛИКАЦИИ

### 1) Работы, вышедшие из печати в 2014 г

1.1 Е.А. Семенко, И.И. Романюк, Д.О. Кудрявцев, И.А. Якунин, Об открытии сильного магнитного поля в двойной системе HD 34736, *Астрофизический Бюллетень*, 2014, т. 69, N.2, 203-210.

1.2 Г.Г.Валявин, В.Д.Бычков, М.В.Юшкин, Г.А.Галазутдинов, С.В.Драбек, В.С.Шергин, А.Н.Саркисян, Е.А.Семенко, Т.Е.Бурлакова, В.М.Кравченко, Д.О.Кудрявцев, А.М.Притыченко, П.Г.Крюков, С.Л.Семенов, Ф.А.Мусаев, С.Н.Фабрика, Эшельный спектрограф высокого спектрального разрешения с оптоволоконным входом для БТА. I. Оптическая схема, размещение, система контроля, *Астрофизический Бюллетень*, 2014, т. 69, N.2, 239-255.

1.3 В.Б.Пузин, И.С.Саванов, И.И.Романюк, Е.А.Семенко, Е.С.Дмитриенко, Исследование магнитного поля FK Com *Астрофизический Бюллетень*, 2014, т. 69, N.3, 341-344.

1.4 И.И. Романюк, Е.А. Семенко, Д.О. Кудрявцев, Результаты измерений магнитных полей звезд, выполненных на 6м телескопе. I. Наблюдения 2007 года *Астрофизический Бюллетень*, 2014, т. 69, N.4, 451-463.

### 2) Работы, сданные в печать в 2014 г

2.1 I.I. Romanyuk, E.A. Semenko, I.A. Yakunin, Magnetic stars in young clusters and associations "Physics and evolution of Magnetic and Related Stars", *Proced. of International Conference, Nizhny Arkhyz*, eds: Yu.Yu. Balega, D.O. Kudryavtsev and I.I. Romanyuk, ASP Conf series, 2015 (in preparation)

2.2 Eugene Semenko, Iosif Romanyuk, Dmitry Kudryavtsev, Ilya Yakunin, An enigma of star HD 34736, «Physics and evolution of Magnetic and Related Stars», *Proced. of International Conference, Nizhny Arkhyz*, eds: Yu.Yu. Balega, D.O. Kudryavtsev and I.I. Romanyuk, ASP Conf series, 2015 (in preparation)

2.3 Ilya Yakunin, Eugene Semenko, Iosif Romanyuk, Mikhail Sachkov, «Magnetic field measurements in the late B-type stars», *Proced. of International Conference, Nizhny Arkhyz*, eds: Yu.Yu. Balega, D.O. Kudryavtsev and I.I. Romanyuk, ASP Conf series, 2015 (in preparation)

2.4 Georgy Chountonov, «No detection of magnetic field rapid variations in gamma Equ», *Proced. of International Conference, Nizhny Arkhyz*, eds: Yu.Yu. Balega, D.O. Kudryavtsev and I.I. Romanyuk, ASP Conf series, 2015 (in preparation)

2.5 Santosh Joshi, Eugene Semenko, Anastasia Moiseeva et al., «The photometric and spectroscopic analysis of CP stars», *Proced. of International Conference, Nizhny Arkhyz*, eds: Yu.Yu. Balega, D.O. Kudryavtsev and I.I. Romanyuk, ASP Conf series, 2015 (in preparation)

2.6 Gennady Valyavin, Victor Bychkov, Maxim Yushkin et al., «High-resolution fiber-fed echelle spectrograph of the 6m telescope», *Proced. of International Conference, Nizhny Arkhyz*, eds: Yu.Yu. Balega, D.O. Kudryavtsev and I.I. Romanyuk, ASP Conf series, 2015 (in preparation)

## ДОКЛАДЫ на конференциях

1. Международная конференция "Physic and Evolution of Magnetic and Related Stars" Нижний Архыз, 27-31 августа 2014

Приглашенные доклады:

1.1. I.I. Romanyuk, E.A. Semenko, I.A. Yakunin, Magnetic stars in young clusters and associations

1.2. G.G. Valyavin et al., White dwarfs magnetic fields : brief historical review and new results

Устные доклады:

1.3. Eugene Semenko, Iosif Romanyuk, Dmitry Kudryavtsev, Ilya Yakunin, An enigma of star HD 34736

1.4. Ilya Yakunin, Eugene Semenko, Iosif Romanyuk, Mikhail Sachkov, Magnetic field measurements in the late B-type stars

1.5. Gennady Valyavin , Victor Bychkov, Maxim Yushkin et al., High-resolution fiber-fed echelle spectrograph of the 6m telescope

Стендовые доклады:

1.6. Georgy Chountonov, No detection of magnetic field rapid variations in gamma Equ.

1.7. Santosh Joshi, Eugene Semenko, Anastasia Moiseeva et al The photometric and spectroscopic analysis of CP stars

2. Симпозиум MAC 307 "New Windows on Massive Stars: astroseismology, interferometry and spectropolarimetry", Швейцария, Женева 23-27 июня 2014

2.1. I.I. Romanyuk, I.A. Yakunin Magnetic CP stars in Orion OB1 association

## **Проект 7.2. «Исследование ядер галактик на различных масштабах методами панорамной спектроскопии»**

Научный руководитель д.ф.-м.н. В.Л.Афанасьев

Ответственный исполнитель к.ф.-м.н. С.Н.Додонов

1. В 2014 году продолжена работа по созданию полной выборки QSO в поле 0940+50. Применяв цветовой критерий отбора в инфракрасном диапазоне к полученным нами данным поля 0940+50, мы создали выборку квазаров 1 типа. Всего выборка содержит более 200 объектов, из которых около половины имеют фотометрические  $Z > 2.2$ . Спектральные наблюдения на 6-м телескопе 22 объектов выборки выявило 12 новых QSO, 4 объекта типа BL Lac, 1 белый карлик, 2 звезды спектрального класса K, три объекта не удалось идентифицировать. Завершается работа по модернизации 1-м телескопа Шмидта Бюраканской обсерватории. Для выполнения проекта CAO РАН приобретен и нами исследован CCD-детектор 4k x 4k ( $9 \mu\text{m pixel} = 0.871 \text{ arcsec}$ ) Arpgee ALTA-16M (производитель Arpgee (USA)) с жидкостным охлаждением. Получены следующие параметры системы : темновой ток  $< 0.01 \text{ e/s}$  (для температуры CCD  $-30^\circ\text{C}$ ), квантовая эффективность 60% в пике (на 3500 Å  $\sim 25\%$ ), RON  $\sim 11.1 \text{ e}$ . Приобретаются наборы широкополосных (SDSS) и среднеполосных фильтров (FWHM  $\sim 250 \text{ Å}$ ), предназначенные для этой работы.

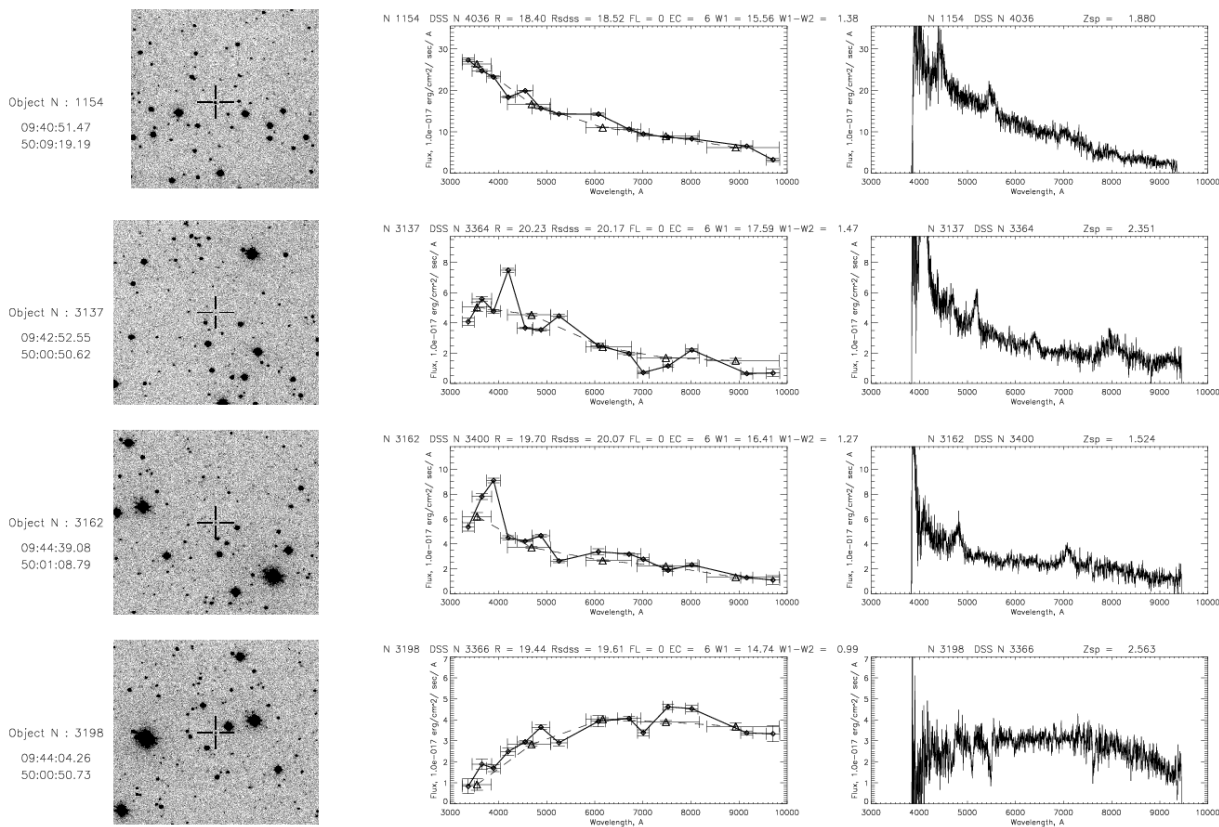


Рисунок 1. Примеры выделения квазаров в поле 0940+50.

2. На 6-м телескопе САО РАН выполнены наблюдения выборки галактик, рядом с которыми на расстояниях от ядра более 10 кпк обнаружены облака ионизованного газа. С помощью сканирующего сканирующего интерферометра Фабри-Перо детально изучена кинематика газа в линии [OIII]. Показано, что движения газа в основном согласуются с кривой вращения галактик, т.е. он приобретен извне в результате приливного взаимодействия, а не выброшен из ядра. С учетом имеющихся изображений, полученных для этих же галактик на космическом телескопе им. Хаббла, а также данных длиннощелевой спектроскопии, наблюдаемая картина согласуется с предположением об ионизации газа в приливных структурах активным ядром, светимость которого затем уменьшилась на шкале около 50 000 лет.

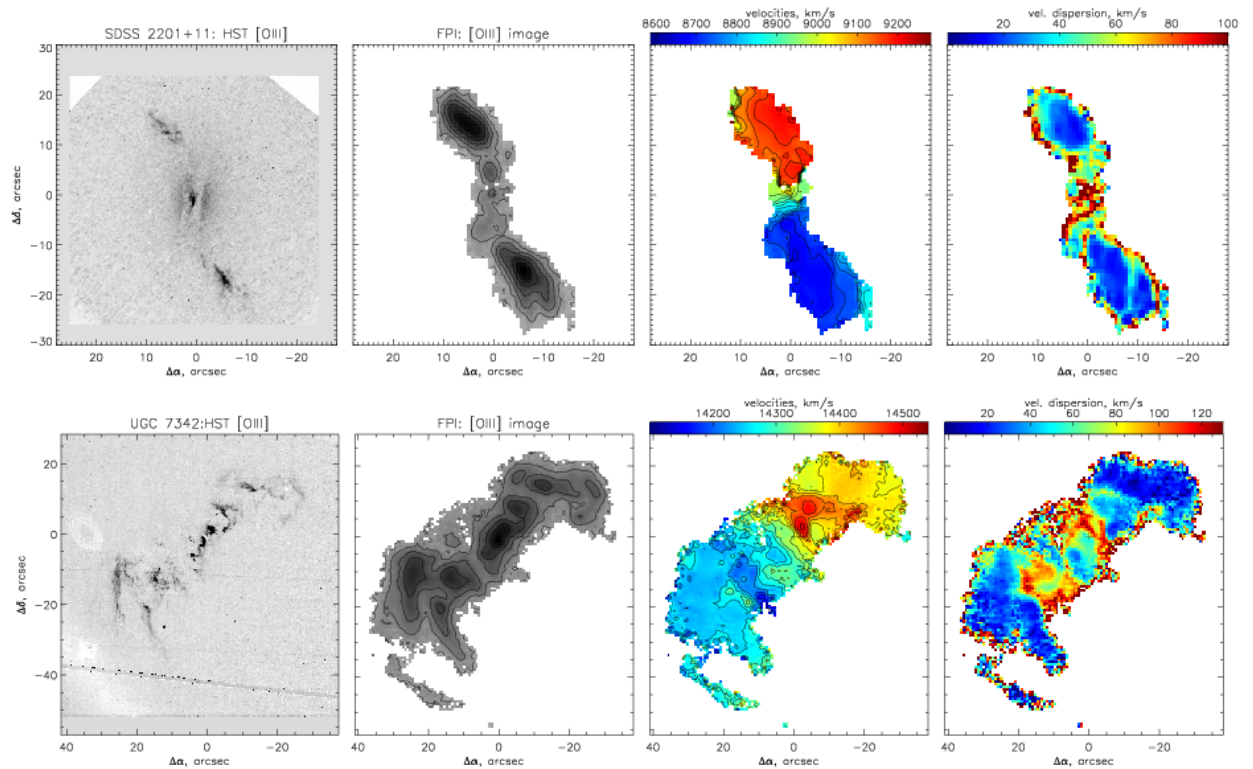


Рисунок 2: Верхний ряд - галактика SDSS 2201+11, нижний - UGC 7342. Слева направо: изображения с КТХ в линии [OIII], изображение в той же линии с 6-м телескопа САО РАН, поля скоростей и дисперсии скоростей ионизованного газа.

- По наблюдениям на 6-м телескопе САО РАН с фокальным редуктором SCORPIO-2 в режиме сканирующего интерферометра Фабри-Перо в линии Н-альфа была исследована кинематика ионизованного газа в гигантской сверхоболочке (ГСО) галактики IC 2574. Данные обзора THINGS были использованы для анализа кинематики нейтрального газа. По полю скоростей HI была составлена модель вращения IC 2574, использованная для вычитания вращения галактики в кубах данных для Н-альфа и HI для исследования локальной кинематики межзвездной среды. Наше исследование кинематики HI в области ГСО подтверждает более ранние результаты о расширении ГСО. Показано, что ГСО находится на дальней стороне плоскости галактического диска. Панорамная спектроскопия в Н-альфа была использована для детального изучения комплексов звездообразования, выглядящие как оболочечные HI области в стенках ГСО. Для четырех комплексов измерены скорости расширения, кинематические возрасты и темп притока механической энергии, необходимый для их образования.

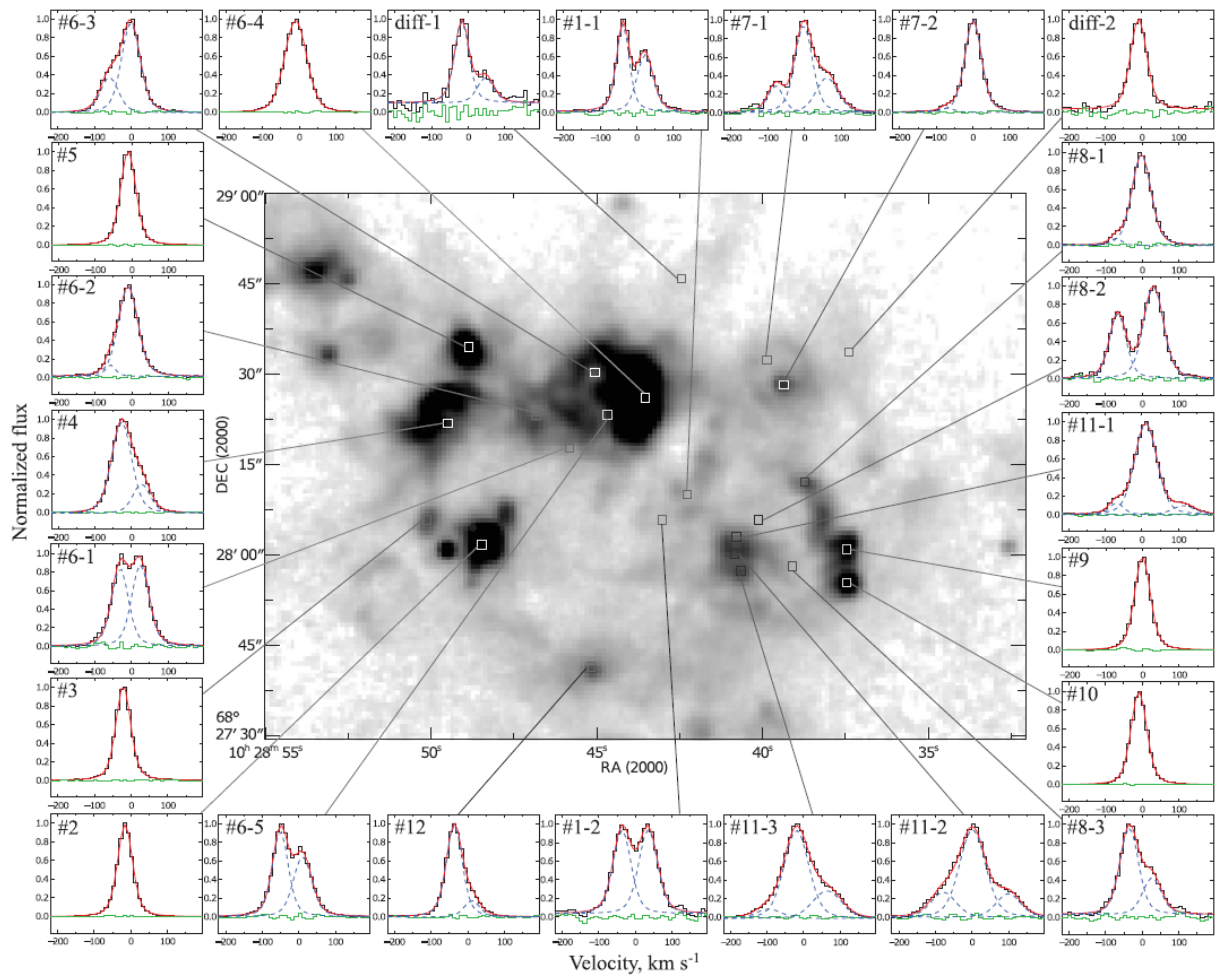


Рисунок 3. Примеры профилей в линии H-альфа, построенные в результате наблюдений галактики IC 2574 со сканирующим интерферометром Фабри-Перо на 6-м телескопе САО РАН.

4. Мы использовали Z-трансформированную дискретную корреляционную функцию (Z-transformed Discrete Correlation Funktion –ZDCF) и Стохастический процесс оценки AGN методов реверберации ((Stochastic Process Estimation for AGN Reverberation methods –SPEAR)) для анализа временных серий потоков в континууме и H $\alpha$  и H $\beta$  линиях для выборки хорошо известных типа 1 AGN: Arp 102b, 3C390.3, NGC 5548 . Цель этой работы – сравнить измерения времени запаздывания этими двумя методами и проверить, имеется ли связь с другими свойствами эмиссионных линий. Мы нашли, что полученные времена запаздывания от H $\beta$  больше, чем таковые, полученные из H $\alpha$  анализа для Arp 102b, 3C390.3, NGC 5548. Это может указывать, что H $\beta$  формируется (возникает, происходит) на больших радиусах у этих объектов. Более того, мы нашли, что ZDCF и SPEAR времена запаздываний высоко коррелированы ( $r \sim 0.87$ ) и что ошибки обеих ZDCF и SPEAR времен запаздываний коррелируют с FWHM использованных эмиссионных линий ( $r \sim 0.7$ ). Это увеличивает неопределенность в оценках массы черной дыры, используя теорему вириала, для AGN с более широкими линиями.

## ПУБЛИКАЦИИ

### 1) Работы, вышедшие из печати в 2014 г

- 1.1 Afanas'ev, V. L.; Borisov, N. V.; Gnedin, Yu. N.; Buliga, S. D.; Natsvlisvili, T. M.; Piotrovich, M. Yu., Spectral distribution of the polarized radiation from standard accretion disks in Active Galactic Nuclei: Observational analysis, *Astronomy Reports*, Volume 58, Issue 10, pp.725-732
- 1.2 Afanasiev, V. L.; Popović, L. Č.; Shapovalova, A. I.; Borisov, N. V.; Ilić, D., Variability in spectropolarimetric properties of Sy 1.5 galaxy Mrk 6, *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*, Volume 440, Issue 1, p.519-529
- 1.3 The supergiant shell with triggered star formation in Irr galaxy IC~2574: neutral and ionized gas kinematics, Egorov O. V., Lozinskaya T.A., Moiseev A.V., Smirnov-Pinchukov G.V. 2014, *MNRAS*, 444, 376; [arXiv:1407.2048](https://arxiv.org/abs/1407.2048)
- 1.4 Kovačević, A.; Popović, L. Č.; Shapovalova, A. I.; Ilić, D.; Burenkov, A. N.; Chavushyan, V. H., Time series analysis of active galactic nuclei: The case of Arp 102B, 3C 390.3, NGC 5548 and NGC 4051, *Advances in Space Research*, Volume 54, Issue 7, p. 1414-1428.
- 1.5 S. A. Hakopian, S. K. Balayan, [S. N. Dodonov](#), A. V. Moiseev, A. A. Smirnova Panoramic Spectroscopy of Galaxies with Star-formation Regions. A Study of SBS 1202+583, *arXiv:1401.3359*, 2014.

### 2) Работы, сланные в печать в 2014 г

- 2.1 HST Imaging of Fading AGN Candidates I: Host-Galaxy Properties and Origin of the Extended Gas, William C. Keel, W. Peter Maksym, Vardha N. Bennert, Chris J. Lintott, S. Drew Chojnowski, Alexei Moiseev, Aleksandrina Smirnova, Kevin Schawinski, C. Megan Urry, Daniel A. Evans, Anna Pancoast, Bryan Scott, Charles Showley, Kelsi Flatland 2014, *ApJ*, submitted; [arXiv:1408.5159](https://arxiv.org/abs/1408.5159) [[astro-ph.GA](#)]
- 2.2 L.Č. Popović, A.I. Shapovalova, D.Ilić, A.N.Burenkov, V.H. Chavushyan, W. Kollatschny, A. Kovac̄ević, J. R. Valde's, J. Leo'n-Tavares, N.G. Bochkarev, V. Patin̄o-A'lvarez, and J. Torrealba "Spectral optical monitoring of the double peaked emission line AGN Arp102b:II. Variability of the broad line properties", *arXiv:1408.6955v1*, 28 aug 2014 (принята в *A&A* в августе);
- 2.3. V.L.Afanasiev, A.I. Shapovalova, L.Č. Popović, N.A.Borisov, Spectropolarimetric monitoring of Seyfert galaxy 3C390.3 on 6m telescope SAO RAS in 2009-2014, 2014 *MNRASJ*, submitted

## ДОКЛАДЫ НА КОНФЕРЕНЦИЯХ

1. Bochkarev, Nikolai; Chavushian, Vahram; Ilic, Dragana; Kovacevic, Jelena; Shapovalova, Alla I.; Kollatschny, Wolfram; Popovic, Luka; Leon-Tavares, Jonathan; Valdes, J. R.; Burenkov, A. N., Spectral optical monitoring of AGN Arp 102B in 1987-2013, 40th COSPAR Scientific Assembly. Held 2-10 August 2014, in Moscow, Russia, Abstract E1.19-28-14
2. Invited lecture: A.I.Shapovalova et al. "LONG TERM MONITORING OF BROAD LINE AGN", "III WORKSHOP ON ASTROPHYSICAL SPECTROSCOPY, 7 - 11 October 2014 - Konarevo, Serbia, PROGRAM

3. Invited lecture: V.L.Afanasiev "Spectro- polarimetric variability of radio-loud AGN 3C390.3", "III WORKSHOP ON ASTROPHYSICAL SPECTROSCOPY, 7 - 11 October 2014 - Konarevo, Serbia, PROGRAM

### **Проект 7.6. « Спектральные и фотометрические исследования нестационарных внегалактических объектов и звезд Галактики»**

Научный руководитель к.ф.-м.н В.В.Власюк

Ответственный исполнитель к.ф.-м.н. Н.В.Борисов

В рамках выполнения проекта в 2014 году О.И. Спиридоновой совместно с В.П.Горанским изучено проявление вспышечной активности SS433 в момент затмения. 26 июля объект был фотометрирован с помощью штатного ПЗС-фотометра 1-м телескопа в режиме дистанционных наблюдений. Значения блеска составили:  $U = 16.47$ ;  $B = 15.676$ ;  $V = 13.592$ ;  $Rc = 11.810$ ;  $Ic = 10.290$ . Измерения в полосах  $U$ ,  $Rc$  и  $Ic$  относятся к наиболее ярким, в частности в полосе  $Ic$  предыдущее рекордное значение превышено на  $0.148$ . Блеск в полосах  $B$  и  $V$  типичен для моментов сильных вспышек. Предполагается, что увеличение блеска в красном диапазоне спектра в момент затмения обусловлено частным затмением горячего компонента системы. В то же время холодный компонент системы испытывает сильные колебания блеска, природа которых пока с надежностью не установлена.

В рамках выполнения настоящего проекта продолжены совместные наблюдения в оптическом и радио диапазонах активных ядер галактик с целью обнаружения быстрой (IDV) переменности потока излучения и установления корреляции вариаций потока от источников в указанных диапазонах длин волн. Синхронные наблюдения выборки из 10 объектов проводились на 1-метровом рефлекторе Цейсс-1000 с штатным ПЗС-фотометром в основном в  $R$  фильтре и на 22-метровом радиотелескопе НИИ КрАО (Украина) на частотах 22 и 36 ГГц.

Для части объектов получены данные в полосах  $B, V, R, I$ .

Для одного из исследуемых источников – 0235+164 - построена кривая блеска в полосе  $R$  на протяжении семи лет – с 2008 по 2014 год. Наряду с сравнительно быстрой переменностью на масштабах недель хорошо видны крупномасштабные детали с амплитудой до 4 зв.вел. на масштабах порядка года. В  $1.5''$  к югу от основного изображения обнаружен более слабый точечный источник. В моменты наблюдений с качеством изображения порядка 1 угл.сек. удалось провести его фотометрию. На рис.1 показан блеск обоих компонентов, полученных за весь период мониторинга.

Совместный анализ данных, полученных в оптическом и радиодиапазонах, продолжается. Результаты готовятся к печати.



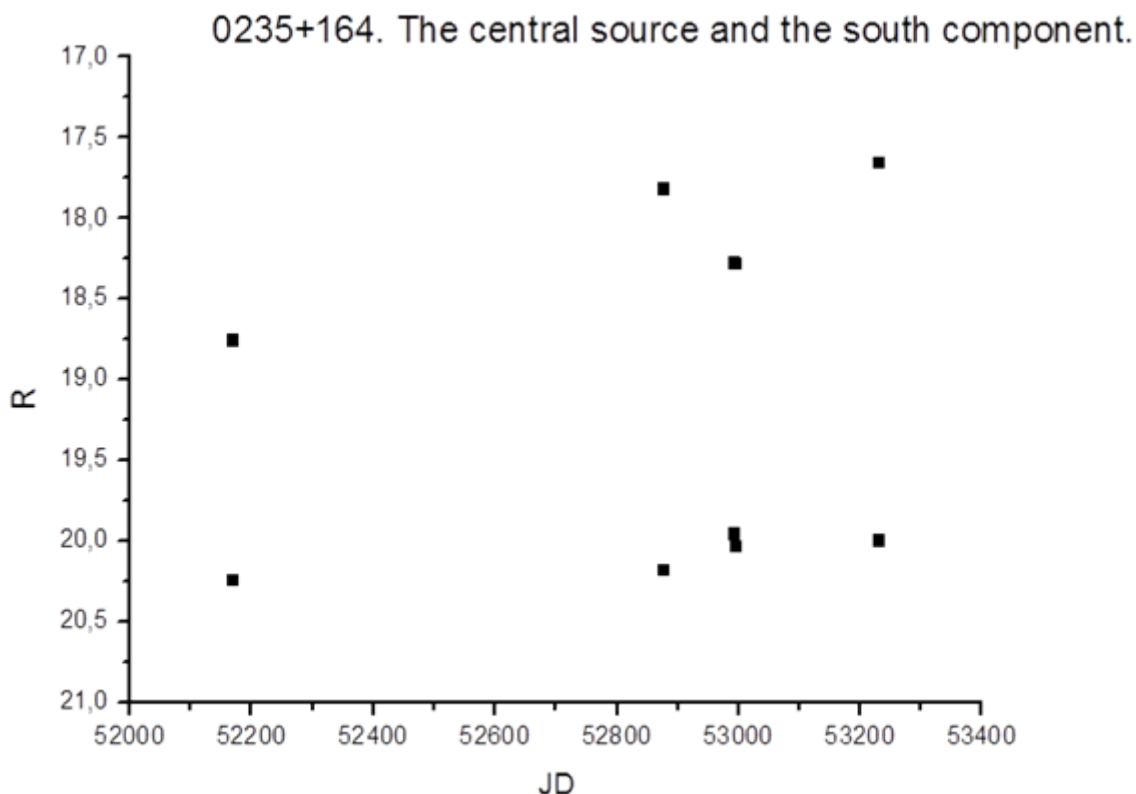


Рис.1 Блеск основного и вторичного компонентов системы 0235+164 в полосе R, полученный в течение всего периода мониторинга.

В рамках выполнения настоящего проекта продолжены совместные наблюдения в оптическом и радио диапазонах активных ядер галактик с целью обнаружения быстрой (IDV) переменности потока излучения и установления корреляции вариаций потока от источников в указанных диапазонах длин волн. Синхронные наблюдения проводились на 1-метровом рефлекторе Цейсс-1000 с штатным ПЗС-фотометром в R фильтре и на 22-метровом радиотелескопе НИИ КрАО (Украина) на частотах 22 и 36 ГГц.

Завершен анализ фотометрических, спектральных и поляриметрических данных для слабой переменной звезды USNO-A2.0 0825-18396733, полученных ранее на телескопах САО РАН БТА и Цейсс-1000. Фотометрические данные в фильтрах  $B, V, Rc$  показали, что объект имеет избыток блеска в красном диапазоне  $Rc-V = 1^m$ . Спектральные особенности - наличие красного континуума с наложением сильных эмиссионных линий водорода, линии гелия  $HeII$  4686Å, слабых линий нейтрального гелия и тяжелых элементов - указывают на наличие в системе белого и красного карликов. Анализ доплеровских карт, построенных по линиям водорода и ионизованного гелия, показал, что область формирования этих линий локализована вблизи внутренней точки Лагранжа и связана с аккрецирующей колонной. Исследование спектров и полученной кривой лучевых скоростей показали, что в системе происходит частное затмение белого карлика, а массы компонентов системы находятся в интервале  $0.71 - 0.78 M_{\odot}$  (белый карлик) и  $0.18 - 0.20 M_{\odot}$  (красный карлик). Дополнительные фотометрические наблюдения в фильтре R позволили уточнить орбитальный период системы, равный  $P = 0.^d08481(2)$ , и найти указания на сильную собственную переменность объекта. Измерения круговой

поляризации на фокальном редукторе БТА SCORPIO-2 показали, что излучение системы сильно поляризовано (круговая поляризация достигает 30 % Рис. 2.) и в ней имеет место аккреция вещества на один из полюсов. Это позволяет сделать вывод об открытии нового поляр.

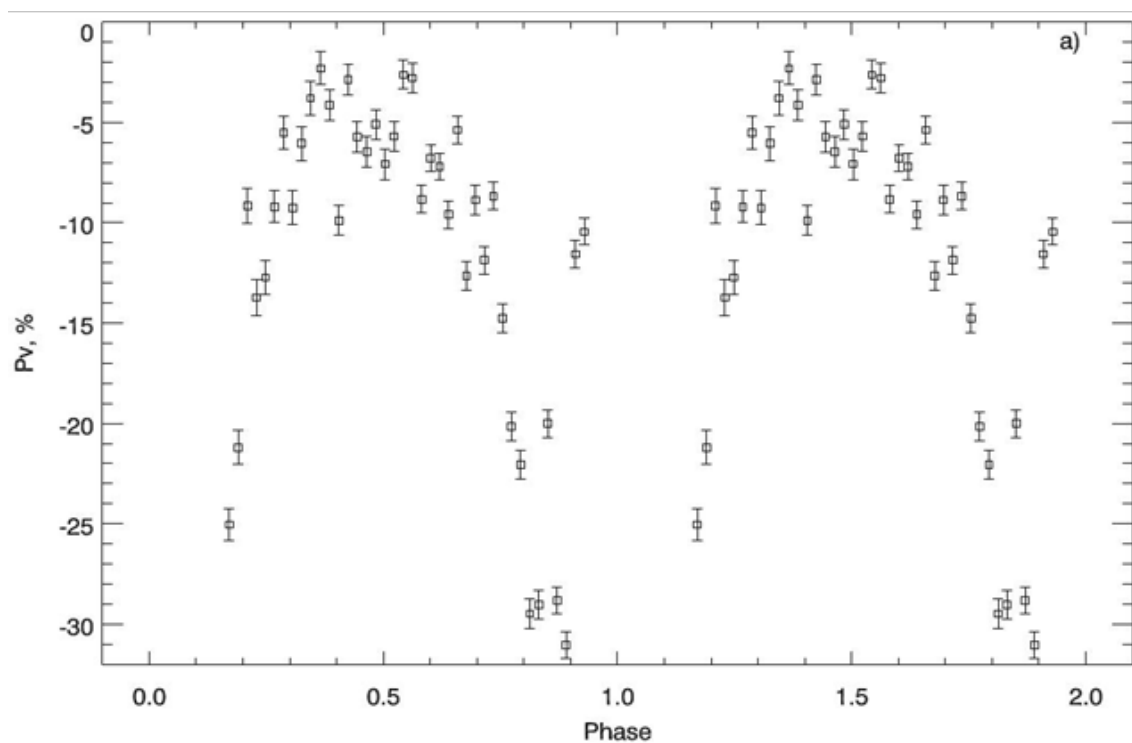


Рис.2. Переменная круговая поляризация излучения USNO-A2.0 0825-18396733 свернутая с фазой орбитального периода.

Продолжены спектральные наблюдения карликовых Новых типа WZ Sge находящихся в спокойном состоянии с целью определения их фундаментальных параметров. Для этого предполагается проведение совместного анализа полученных данных наблюдений и синтетических спектров белых карликов, рассчитанных методом моделей атмосфер.

Выполнены исследования катаклизмической переменной 1RXS J020928.9+283243. Спектры объекта показывают плоский континуум с наложением сильных эмиссионных линий водорода серии Бальмера, нейтрального и ионизованного гелия. Анализ профилей линий показал, что они имеют композиционный характер с формированием в аккреционной колонне и на облученной поверхности красного карлика. Измеренные лучевые скорости компоненты, формирующейся на поверхности красного карлика, позволили оценить параметры системы  $M_1=0.74\pm 0.02$ ,  $M_2=0.15\pm 0.01$ ,  $q=0.21\pm 0.02$ ,  $R_1=0.17\pm 0.01$ . Доплеровские карты построенные по эмиссионным линиям показали отсутствие дисковой аккреции, что определяет систему как калсический поляр.

В работе выполнен анализ оптического излучения и получен набор фундаментальных параметров предкатаклизмической переменной SDSS J212531-010745, содержащей в качестве главной компоненты звезду типа PG 1159. Спектроскопические и мультиполосные фотометрические наблюдения объекта выполнены в 2008-11 гг. на телескопах БТА и Цейсс-1000 CAO РАН. Орбитальные кривые блеска системы имеют форму, близкую к синусоиде с амплитудой, возрастающей с длиной волны от  $\Delta m = 0.m40$  в полосе В до  $\Delta m = 0.m73$  в полосе R. В спектрах наблюдаются линии поглощения HeII и нейтральных атомов металлов в комбинации с эмиссионными линиями HII, HeI, CII, MgII,

F eII, интенсивность которых синхронно повышается с ростом блеска системы. Установлено, что оптическое излучение SDSS J212531-010745 имеет композиционный характер и соответствует модели предкатаклизмической переменной с сильными эффектами отражения. Методом кросс-корреляции измерены лучевые скорости и получены значения масс компонент. Выполнено численное моделирование кривых блеска, лучевых скоростей и спектров системы с определением полного набора ее параметров. Обнаружены заметные (до 1 dex) аномалии химического состава вторичной компоненты. Показано, что характеристики главной компоненты соответствует эволюционным прогнозам для DAO-карликов с массой  $M \approx 0.5M_{\odot}$ , а вторичной компоненты - для маломассивных звезд Главной Последовательности солнечной металличности.

## ПУБЛИКАЦИИ

Митрофанова А.А., Борисов Н.В., Шиманский В.В., Анализ эволюции карликовой Новой GSC 02197-00886, *Астрофизический бюллетень*, Том 69, номер 1, 2014

V. P. Goranskij, O. I. Spiridonova; el #6347; Extreme outburst of SS 433 observed in eclipse.; *ATel* #6347; 2014

Габдеев М.М., Борисов Н.В., Шиманский В.В., Спиридонова О.И.; Спектральные и фотометрические исследования поляра USNO-A2.0 0825-18396733; *Астрономический журнал*, 2014, принята к печати.

Афанасьев В.Л., Борисов Н.В., Габдеев М.М.; Фотометрические и поляриметрические наблюдения нового поляра USNO-A2.0 0825-18396733; 2014, подготовлена к печати.

Шиманский В.В., Борисов Н.В., Нуртдинова Д.Н., Соловьева Ю.Н., Сахибуллин Н.А., Спиридонова О.И.; Моделирование оптического излучения предкатаклизмической переменной SDSS J212531-010745; *Астрономический журнал*, 2014, принята к печати.

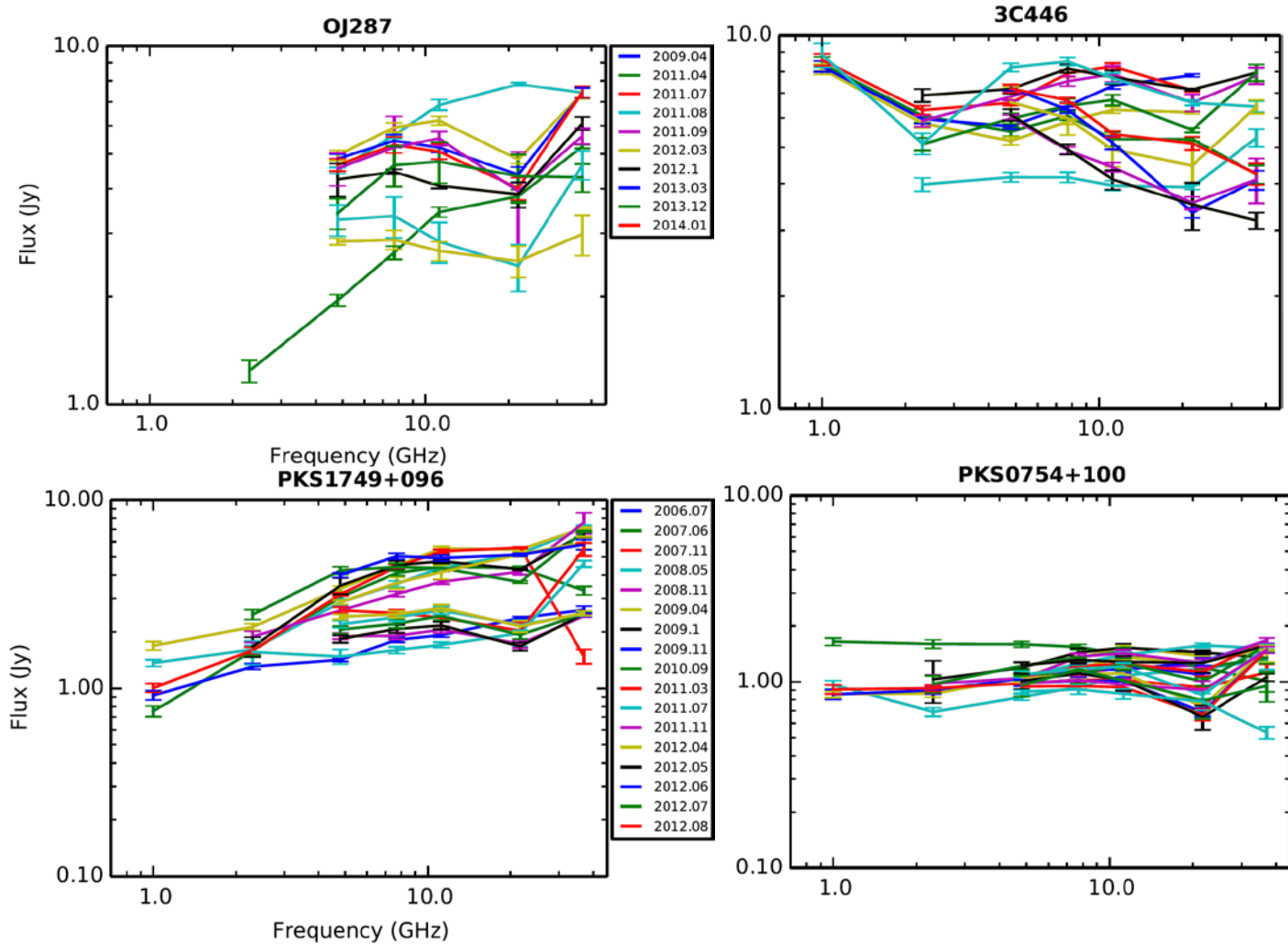
## Проект 7.5 «Свойства радио и оптического излучения активных ядер галактик»

*Научный руководитель и ответственный исполнитель* доктор физ.-мат. наук М.Г. Мингалиев

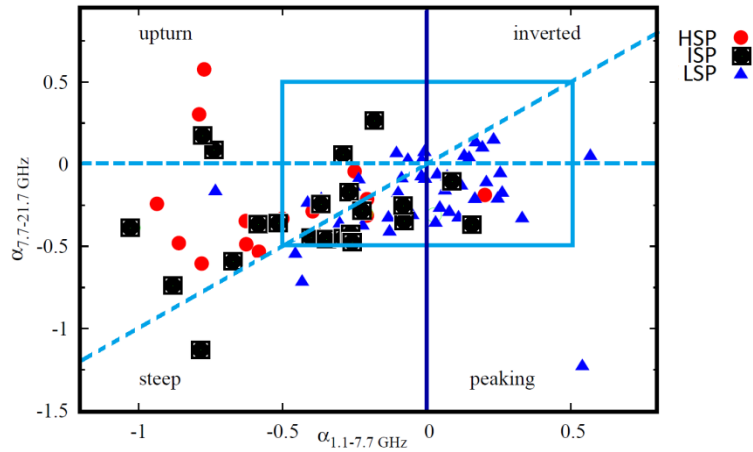
В 2014 г. на радиотелескопе РАТАН-600 проведены наблюдения более 300 представителей блазаров, большинство из которых -- редкий подкласс АЯГ – объекты типа BL Lacertae (BL Lac). Использовались два комплекса приемников космического излучения - криорадиометры диапазона 6.2, 3.9, 2.7 и 1.38 см и неохлаждаемый комплекс «ЭРИДАН» (1.38, 2.7 и 6.2 см). Наблюдения проведены в рамках наблюдательной программы «Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа BL Lacertae». В результате получены новые мгновенные широкодиапазонные радиоспектры объектов (Рисунок 1, 3), проанализированы их спектральные свойства и радио переменность. Значения плотностей потоков измерены на несколько эпох, в результате, включая многолетние данные по этой программе с 2006 г., максимальное число измерений – 40, минимальное – 1, среднее по выборке - 5. Полученный набор данных дает возможность исследовать различия в радиоспектрах трех представителей блазаров HSP, ISP и LSP, включая слабые объекты HSPs, которые редко предназначаются для длительных наблюдательных компаний. Здесь HBLs: high-energy peak, LBLs: low-energy peak, IBLs: intermediate - в зависимости от пика синхротронной компоненты в спектральном распределении энергии: для LSPs  $\log \nu_{\text{peak}} \leq 14.5$ ,  $14.5 < \log \nu_{\text{peak}} \leq 16.5$  - для ISPs, и  $\log \nu_{\text{peak}}$

> 16.5 для HSPs. Значения пиков синхротронных компонент для большинства блазаров рассчитаны по кривым SED (spectral energy distribution), представленным в Roma-BZCAT (Massaro et al. 2009), для части блазаров - из работы Nieppola et al. 2006. Полученные результаты можно суммировать в следующем (Mingaliev et al. A&A 2014, принято в печать, arXiv:1410.2835; Mingaliev et al. A&A 2014 in preparation):

1. Блазары классов LSPs и HSPs, вероятно, представляют противоположные спектральные свойства, относящие их к отличающимся объектам. LSPs имеют большую плотность потока, более плоские радиоспектры (Рисунок 2 и Таблица 1) и демонстрируют более сильную изменчивость плотности потока. HSPs очень слабы в радио диапазоне, имеют тенденцию к крутым низкочастотным спектрам (1-2 ГГц), и являются менее переменными.
2. При рассмотрении частоты 7.7 ГГц как точки разделения низко- и высокочастотной областей спектра для блазаров, выявлено, что HSPs имеют тенденцию показывать спектральное уплощение на частотах 7.7 ГГц и выше (крутые низкочастотные спектры становятся более плоскими), в то время как средний спектр LSP делается круче (Рисунок 2).
3. Вероятно, отличие между подклассами блазаров LSP и HSP заключается в наличие протяженной компоненты у HSPs, производящей крутой спектр, в то время, как у LSP блазаров радиоспектр формируется знакомым сценарием наложения нескольких компактных компонент, в результате чего мы наблюдаем близкий к нулю спектральный индекс. Подобный результат был обнаружен недавно (Chhetri et al. 2012) и при исследовании на 20 ГГц (AT20G) разделения между протяженными и компактными радио объектами.
4. Вопреки сложившемуся мнению, что блазары – сильно переменные объекты, в выборке из 300 блазаров только 13% (40 источников) обнаружили переменность плотности потока более 30% на частоте 21.7 ГГц. На частоте 4.8 ГГц только для 9% (27) объектов значение  $Var_s \geq 0.3$  (см. Таблицу 2). Это может быть связано с: 1) неоднородностью измерений для объектов всей выборки, некоторые из них наблюдались 1-3 раза, полученные данные не могут определенно отражать состояние объектов на длительных масштабах времени; 2) относительно длительные периоды активности/неактивности объектов, например, для источника AO0235+16, который наблюдался 40 раз за 9 лет, выявлено активное состояние 1 раз – в 2008-2009 гг.
5. Подтверждено наличие антикорреляции между радиосветимостью и пиковой частотой синхротронной компоненты (Рисунок 4) для блазаров выборки. Радиосветимость рассчитана с использованием измерений РАТАН-600. Коэффициент корреляции Спирмана  $k$  равен -0.69 (99.9% уровень достоверности).
6. Выделено 22 кандидата в UHBL – “ultra-high-energy synchrotron peak” объекты. Это объекты блазары типа BL Lac (см. [www.sao.ru/blcat/](http://www.sao.ru/blcat/)), у которых пиковое значение синхротронной компоненты  $\nu_{peak} > 19$  (Giommi et al. 2001). Это, как правило, слабые в радиодиапазоне объекты. Например, на частоте 4.8 ГГц, спектральная плотность потока для них составляет единицы-десятки мЯн. Кривые SED для этих блазаров отличаются небольшим набором данных, в основном, это радио измерения. В большинстве случаев значение  $\nu_{peak}$  нельзя считать окончательно определенным.



**Рисунок 1.** Радиоспектры некоторых блазаров, полученные на РАТАН-600 в период 2006-2014 гг. По оси X отложена частота (ГГц), по оси Y – спектральная плотность потока (Ян). На частоте 37 ГГц представлены одновременные измерения обсерватории Метсахови (Финляндия). Анализ спектральных участков 21-37 ГГц представлен в работе Mingaliev et al. 2014 in preparation.



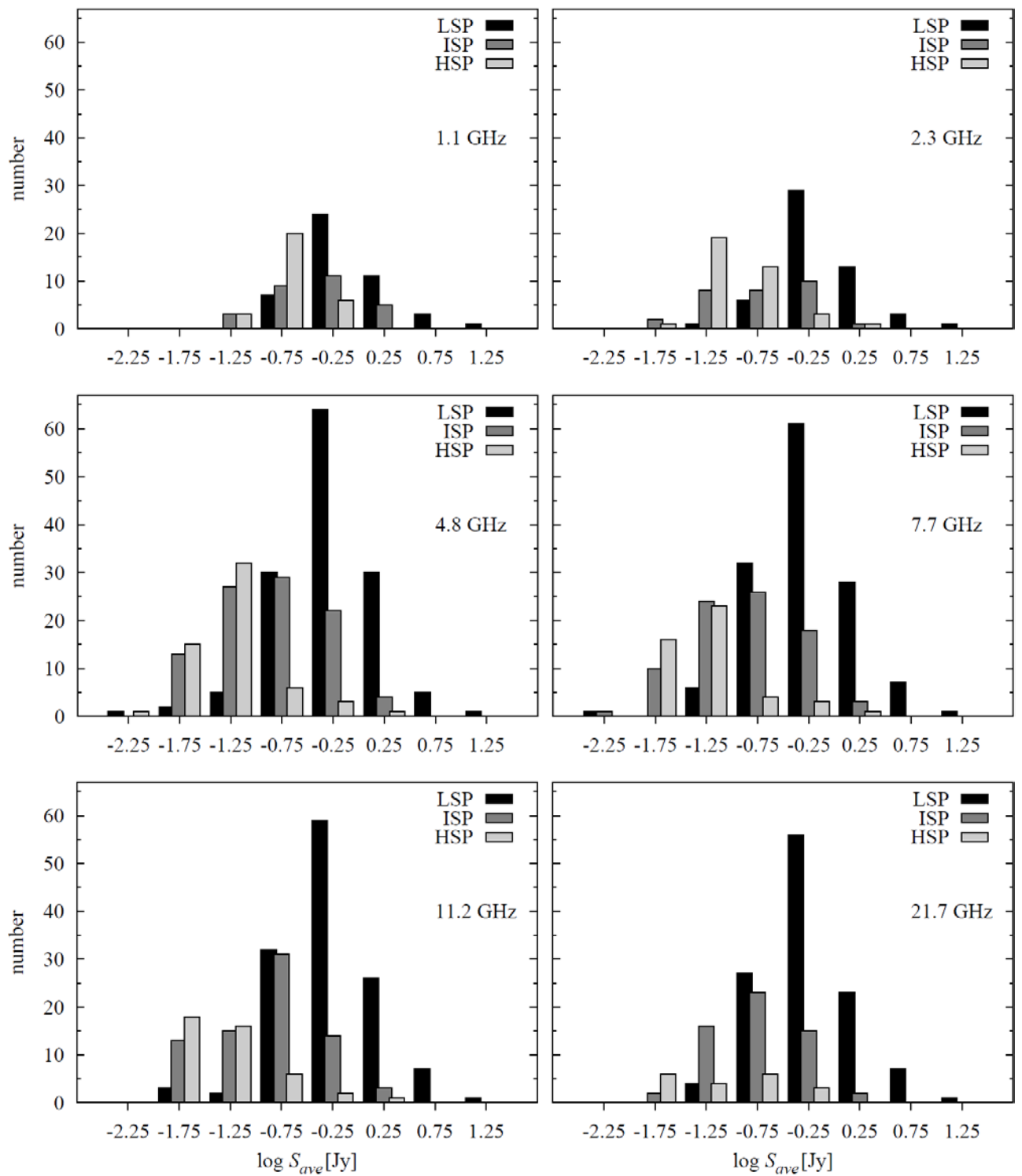
**Рисунок 2.** “Two-color” диаграмма для низко- (1.1-7.7 ГГц) и высокочастотных (7.7-21.7 ГГц) спектральных индексов трех подклассов блазаров HSP ISP и LSP.

**Таблица 1.** Количество объектов в каждом сегменте диаграммы на Рисунке 2. “Flat” соответствует спектральному индексу  $|\alpha_{\text{radio}}| < 0.5$  (внутри голубого квадрата).

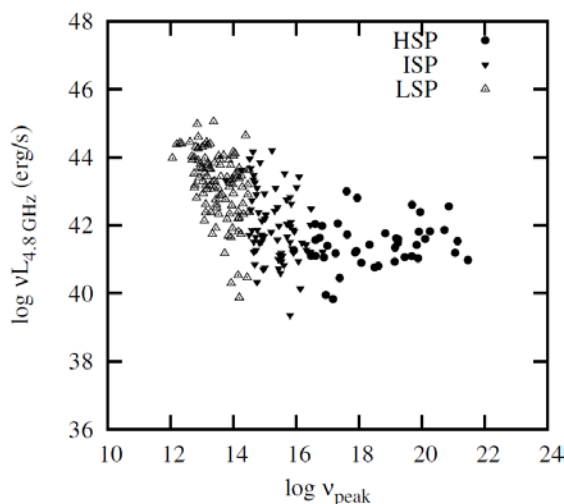
| spectral shape | $N$ | LSP | ISP | HSP |
|----------------|-----|-----|-----|-----|
| flat           | 58  | 38  | 15  | 5   |
| inverted       | 1   | 1   | 0   | 0   |
| peaking        | 1   | 1   | 0   | 0   |
| steep          | 16  | 3   | 6   | 7   |
| upturn         | 4   | 0   | 2   | 2   |

**Таблица 2.** Среднее значение индекса переменности  $\text{Var}_s$  трех подклассов блазаров.  $N$  – среднее число измерений с отношением сигнал/шум  $\geq 4$ .

| subclass | $\text{Var}_{1.1N}$<br>% | $\text{Var}_{2.3N}$<br>% | $\text{Var}_{4.8N}$<br>% | $\text{Var}_{7.7N}$<br>% | $\text{Var}_{11.2N}$<br>% | $\text{Var}_{21.7N}$<br>% |
|----------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|---------------------------|---------------------------|
| HSP      | 10 <sub>3</sub>          | 2 <sub>3</sub>           | 16 <sub>5</sub>          | 16 <sub>5</sub>          | 16 <sub>5</sub>           | 25 <sub>6</sub>           |
| ISP      | 11 <sub>4</sub>          | 10 <sub>4</sub>          | 10 <sub>5</sub>          | 10 <sub>5</sub>          | 11 <sub>5</sub>           | 14 <sub>5</sub>           |
| LSP      | 9 <sub>4</sub>           | 11 <sub>5</sub>          | 15 <sub>7</sub>          | 14 <sub>7</sub>          | 16 <sub>7</sub>           | 22 <sub>7</sub>           |



**Рисунок 3.** Средние значения плотностей потоков для выборки BLO (представлены измерения с отношением сигнал-шум  $S/N > 4$ ), полученные на ПАТАН-600. В распределении выделены три подкласса BLOs: LBL, IBL и HBL.

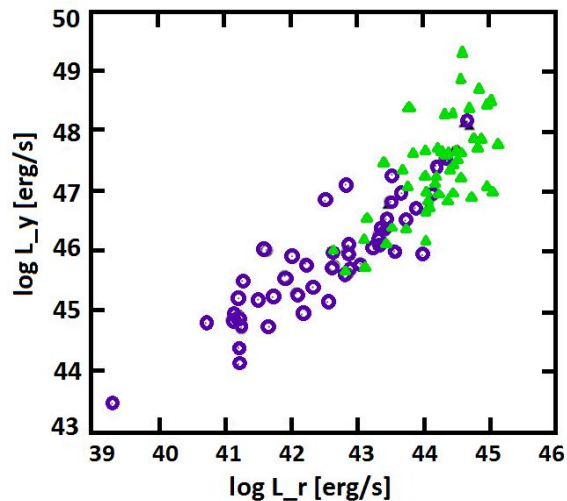


**Рисунок 4.** Соотношение между радиосветимостью (5 ГГц) и значением пиковой частоты синхротронной компоненты для блазаров исследуемой выборки. Радиосветимости рассчитаны с использованием измерений РАТАН-600.

Наблюдаемая корреляция излучения блазаров в  $\gamma$  и радио диапазонах (по данным РАТАН-600 и Fermi-LAT). С использование наблюдательных данных РАТАН-600 и первого каталога Fermi (1FGL), полученных квазисовременно (в течение нескольких месяцев) исследовалась наблюдаемая корреляция излучения в гамма и радио диапазонах для выборки 123 блазаров (56 - FSRQ - flat spectrum radio quasars, 53 – объекты типа BL Lac). Корреляция изучалась между потоками в пяти радио (2.3-21.7 ГГц) и пяти гамма диапазонах (0.1-100 ГэВ). В результате:

1. Обнаружена значительная корреляция (Рисунок 5) радиоизлучения на частотах 2.3-4.8 ГГц с излучением в 0.1-1 ГэВ диапазоне для BL Lac типа блазаров, в то время как для FSRQ типа блазаров коэффициент корреляции излучения в радиодиапазоне большинстве гамма диапазонов составил  $\sim 0.2-0.3$  (99% значимость, непараметрический тест Кендалла) (Mufakharov et al., MNRAS 2014, submitted).
2. Выявлена чувствительность коэффициента корреляции по отношению к рассмотренным гамма диапазонам (у BL Lac типа блазаров), и к рассмотренной радиочастоте (у FSRQ типа блазаров).
3. Найдена сильная коррелированность светимостей в гамма и радио диапазонах (коэфф. корр. Спирмана  $\rho=0.88$  при уровне значимости 99%). Полученные результаты подтверждают выводы предыдущих исследователей о взаимосвязи излучений в гамма и радио диапазонах блазаров.

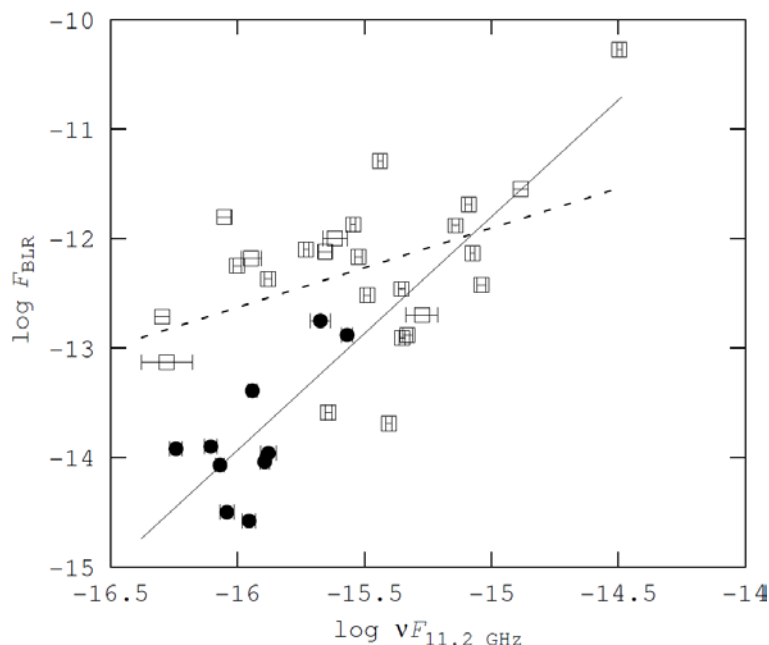




**Рисунок 5.** Корреляция светимостей в гамма и радио диапазонах (коэффициент корреляции Спирмана  $\rho=0.88$  при уровне значимости 99%).

Связь излучения в джете и аккреционном диске блазаров с использованием многочастотных данных ПАТАН-600. С использованием наблюдательных данных ПАТАН-600 (1.1, 2.3, 4.8, 7.7, 11.2 и 21.7 ГГц) исследовались корреляции между излучением в области образования широких линий (broad line region - BLR) и излучением в других диапазонах частот (от радио до рентгена) для выборки 37 блазаров (25 - flat spectrum radio quasars – блазары FSRQ, 10 - блазары BL~Лас типа) (Mufakharov et al., AstBul 2014). С целью определения влияния состояния объектов на корреляцию для радиоданных использовались измерения, полученные на ПАТАН-600 в двух состояниях - максимального и минимального значения плотности потока. В результате:

1. Показано, что в некоторых состояниях радиодиапазона существует корреляция излучения с излучением BLR-области для блазаров двух типов (Рисунок 6). У FSRQ и BL Лас типа блазаров корреляция потока в BLR с потоком в радиодиапазоне неотличима во всех случаях, за исключением случая, когда рассматривалось сильное изменение плотности потока для BL Лас типа (десятки процентов). При этом уровни значимости для BL Лас (на некоторых частотах хуже 0.05) в радиоактивном состоянии позволяют говорить лишь о вероятном наличии связи.
2. Выявлено, что переменность излучения значительно влияет на корреляцию. Результат работы не противоречит теоретическим предположениям о тесной взаимосвязи аккреционного диска и джета в блазарах.



**Рисунок 6.** Пример корреляции потоков из области образования широких линий и в радиодиапазоне в активном состоянии блазаров. Незаполненными квадратами обозначены FSRQ (flat spectrum radio quasars), заполненными кружками – объекты типа BL Lac. Штриховой линией показана аппроксимация для FSRQ, сплошной линией - для BL Lac-объектов.

Радиоисточник J0010+1058.

Проведен анализ результатов 13 летнего мониторинга радиоисточника J0010+1058 (III Zw 2, Mrk 1501) на пяти частотах в диапазоне 2.3-21.7 ГГц на радиотелескопе РАТАН-600 с 2000 по 2013 гг. наблюдался в составе полной выборки в области склонений  $10^{\circ}$ - $12^{\circ}30'$  на Северном секторе РАТАН-600 с сентября 2000 г. по сентябрь 2013 г.

С 2000 по 2004 г наблюдения проводились одновременно на частотах 2.3, 3.9, 7.7, 11.2 и 21.7 ГГц., с 2014 г приемник на 3.9 ГГц заменен на 4.8 ГГц, с 2011 г. из-за техногенных помех исключен приемник на 2.3 ГГц. В 2013 г вместо 7.7 ГГц наблюдения проводились на 8.2 ГГц. Были проведены 9 сетов ежедневных наблюдений длительностью от 77 до 103 дней. Выборка наблюдалась для исследования переменности на масштабах времени от нескольких дней до нескольких лет. Радиоисточник J0010+1058 наблюдался как во всех длинных сетях, так и в отдельных наблюдениях длительностью 10-20 дней. Для контроля возможных изменений, связанных с изменением эффективной площади антенны, величины калибровочного сигнала и других причин, наблюдались до 10 источников с постоянной плотностью потока и угловыми размерами меньше ширины диаграммы на самой короткой длине волны. На рис. 7 приведены кривые блеска с 2000 по 2013 гг. на частотах 21.7, 11.2, 7.7, 4.8 и 2.3 ГГц и спектры источника J0010+1058 в разные фазы активности.

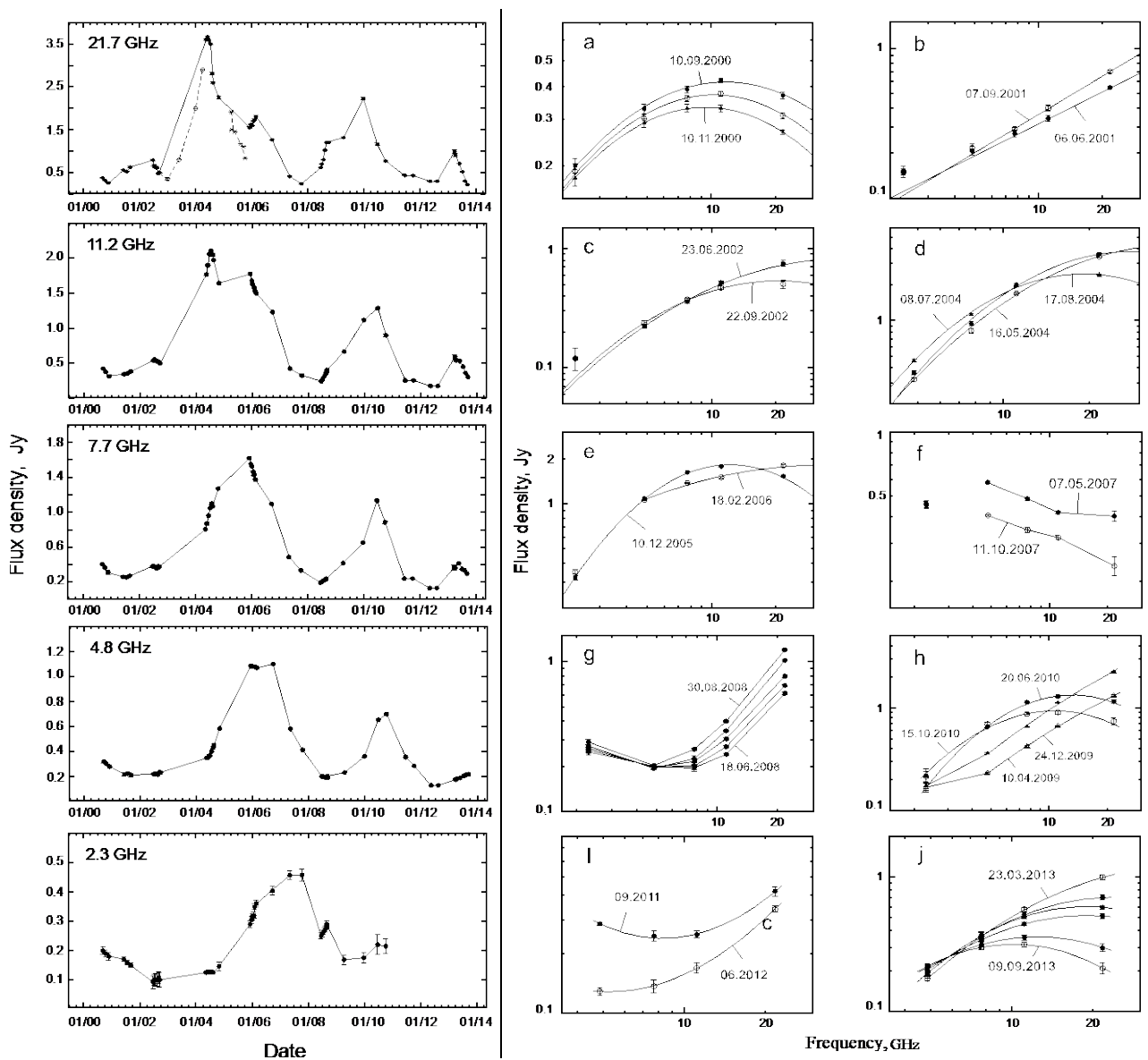
Мониторинг источника J0010+1058 за 13 лет показал 4 вспышки с амплитудой на 21.7 ГГц больше 1 Ян. В первой вспышке плотность потока на этой частоте увеличилась в 16 раз.

Используя автокорреляционные функции определено среднее характерное время вспышек  $\tau_{acf} \approx 1.55 \pm 0.1$  года (максимум-минимум) одинаковое на всех пяти частотах. Характерное время 1.55 года дает линейные размеры излучающей области без учета угла зрения  $R \approx c \times \tau_{acf} \approx 0.48$  пс, угловые 0.28 mas, яркостная температура  $0.06$ - $0.65 \times 10^{12}$  К на частотах 21.7 -2.3 ГГц.

Кроме этого, на частотах выше 2.3-ГГц существует второе характерное время  $\tau_{acf} \approx 0.6$  года.

Кросскорреляционные функции, построенные по всем данным показали среднее время запаздывания вспышек по отношению к частоте 21.7 ГГц на 150, 210, 270 и 390 дней соответственно на 11.2, 7.7, 4.8 и 2.3 ГГц. Напомним, что мы определили среднее время запаздывания максимумов по всем вспышкам. Индексы переменности за 13 лет на частотах 2.3-21.7 ГГц равны 0.55, 0.70, 0.77, 0.84 и 0.88 соответственно. Зависимость индексов переменности от частоты аппроксимируется параболой с максимумом на 30 ГГц. Зависимость максимального перепада плотности потока за 13 лет от частоты аппроксимируется функцией  $\Delta S_{max} = \nu^{+0.86}$ . В исследуемом диапазоне не достигается оптически тонкая область спектра ударной волны.

Спектры, полученные в разные фазы активности кривой блеска, подтверждают модель развития вспышек соответствующие модели, в которой переменность есть результат эволюции ударной волны в джете радиоисточника.



**Рисунок 7.** Слева – кривые блеска источника J0010+1058 с 2000 по 2013 гг. на частотах 21.7, 11.2, 7.7, 4.8 и 2.3 ГГц; справа – спектры источника J0010+1058 в разные фазы активности.

## ПУБЛИКАЦИИ

- 1) Study of the Relation between the Jet and Accretion-Disk Emission in Blazars Using RATAN-600 Multifrequency Data. T. V. Mufakharov, Yu.V.Sotnikova, A.K.Erkenov, and M. G. Mingaliev. *Astrophysical Bulletin*, Volume 69, Issue 3 (2014), pp.266-278.
- 2) Переменность плотности потока квазара J1159+2914 (S5 1156+295) в радиодиапазоне В 2010–2013 гг. А. Г. Горшков, А. В. Ипатов, В. К. Конникова, В. В. Мардышкин, М. Г. Мингалиев, М. А. Харинов. *Астрон. ж*, 2014, т. 91, No 10, с. 815–823.
- 3) RATAN-600 multi-frequency data for the BL Lac objects. M.G. Mingaliev, Yu.V. Sotnikova, R.Yu. Udovitskiy, T.V. Mufakharov, E. Nieppola, and A.K. Erkenov. *Astronomy & Astrophysics*, accepted August 16, 2014. 2014arXiv1410.2835M.
- 4) Observations of the FSRQ 3C454.3 with the RATAN-600 radio telescope. Trushkin, S. A.; Mingaliev, M. G.; Sotnikova, J. V.; Mufakharov, T. V.; Erkenov, A. K. *The Astronomer's Telegram*, No 6246, 06/2014.
- 5) Increasing fluxes of S5 1044+71 measured with RATAN-600 radio telescope. Trushkin, S. T.; Mingaliev, M. G.; Sotnikova, Yu. V.; Erkenov, A.; Udovitskij, R. Yu.; Mufakharov, T. V. *The Astronomer's Telegram*, No 5869, 02/2014.
- 6) A high radio state of the quasar S5 1044+71. Trushkin, S., A.; Mingaliev, M. G.; Sotnikova, Yu. V.; Erkenov, A. K.; Udovitskij, R. U.; Mufakharov, T. V. *The Astronomer's Telegram*, No 5792, 01/2014.
- 7) The observed radio/gamma-ray emission correlation for blazars with the Fermi-LAT and the RATAN-600 data. T. Mufakharov, M. Mingaliev, Yu. Sotnikova, A. Erkenov. *Mon. Not. R. Astron. Soc*, submitted, 2014.
- 8) Долговременная переменность радиоисточника J0010+1058 (III Zw 2, Mrk 1501) в 2000-2013 гг. А.Г. Горшков, В.К. Конникова, М.Г. Мингалиев. *Астрофизический бюллетень*, 2014, подана в печать.

### **Проект 7.7 «Наземная поддержка космических экспериментов по исследованию активных ядер галактик»**

Руководитель: к.ф.-м.н. Н.А.Нижельский

В рамках программы ПРАН работы по теме проводились по двум основным направлениям: техническое обеспечение плановых наблюдательных программ на радиотелескопе РАТАН-600 и модернизация приемной аппаратуры сплошного спектра.

**1. На приемном комплексе вторичного зеркала (облучателя) №1 в течение года успешно проведены программы «Многоволновое исследование GPS- источников и кандидатов,**

Сотникова Ю.В. (САО РАН), *Narrow-Line Seyfert 1 Galaxies*, Nieppola, Elina (Finnish Centre of Astronomy with ESO); «Наблюдение излучения вращательной пыли в галактических облаках, Столяров В.А. (Cavendish Laboratory, Jodrell Bank Centre for Astrophysics, UK); «Исследование переменности блазаров на масштабах времени от нескольких дней до нескольких недель», Горшков А.Г. (ГАИШ МГУ, САО РАН); «Мониторинг радиопеременности микроквazarов», Трушкин С.А. (САО РАН; SAO, USA; CIFS, Italy; Universite Paris, France), «Эволюция синхротронных радиоспектров объектов типа BL Lacertae, Муфахаров Т.В. (САО РАН); «Исследование центральных областей ядер активных галактик», Ковалев Ю.А. (АКЦ ФИАН, РадиоАстрон). Последняя

программа проводилась также с целью анализа рабочих параметров космического радиотелескопа Радиоастрон, подготовлена совместная публикация [2].

**На вторичном зеркале (облучателе) №2 проведены программы «Генетический Код Вселенной, ак.Парийский Ю.Н. (САО РАН; АКЦ ФИАН; Институт Н.Бора, Дания; Институт Астрономии, Кэмбридж, Англия), большую часть времени занимает основная долговременная программа «Мониторинг переменности микроквazarов и внегалактических источников», Мингалиев М.Г, Трушкин С.А. (САО РАН).**

2.Модернизация приемной аппаратуры сплошного спектра РАТАН-600 осуществлялась по двум основным направлениям. В связи с многократным использованием ресурса микрокриогенных систем (МКС) и невозможностью массового приобретения новой криогенной техники из-за финансовых ограничений на РАТАН-600 охлаждаемые до водородного уровня температур маломощные усилители (МШУ) в радиометрах заменялись на «теплые», т.е. работающие без охлаждения. Второе, не менее важное направление усилий – создание новых современных систем сбора радиоастрономических данных и управления комплексами радиометров, позволивших применять новые схемы построения приемной аппаратуры для реализации более высокой чувствительности.

По большинству рабочих характеристик наиболее подходящими для использования в радиометрах сплошного спектра РАТАН-600 признаны МШУ НПФ «Микран», г.Томск. Сотрудничество с данным научно-производственным объединением развивается, разработанный и успешно используемый на РАТАН-600 радиометрический метод исследования шумовых характеристик и долговременной стабильности параметров маломощных усилителей заинтересовал специалистов «Микрана». Опубликована совместная статья, готовится договор на разработку для РАТАН-600 усилительных устройств нового поколения (модульного типа, т.е. представляющих собой полноценный радиометрический модуль со всеми его элементами).



Рис.1. Линейка неохлаждаемых МШУ НПФ «Микран», г. Томск, внедренных на радиотелескопе РАТАН-600

**Таблица 1. Технические характеристики используемых усилителей НПФ «Микран»**

| Диапазон, ГГц | Наименование изделия | Шумовая температура, дБ (К) | Усиление, дБ | Вход-выход                 |
|---------------|----------------------|-----------------------------|--------------|----------------------------|
| 4.4-5.0       | MALN4450-11          | 0.25 (17)                   | 35           | Волновод-волновод          |
| 7.9-8.7       | MALN7984-12          | 0.3 (21)                    | 30           | Волновод-коаксиал 7/3      |
| 10.9-11.7     | MALN109117-12        | 0.4 (28)                    | 36-38        | Волновод-коаксиал 3.5/1.52 |
| 21.0-23.5     | MALN210235-11        | 1.2 (92)                    | 28-30        | Волновод-коаксиал 3.5/1.52 |

Таким образом, в 2014 г. завершен перевод всех **семи криогенных радиометров РАТАН-600 на теплые входные МШУ** (4 на облучателе №1 и 3 на облучателе №2). В диапазонах волн 6.2 см, 3.5 см и 2.6 см их отличие по шумам от криогенных усилителей составляет всего от 7 до 16 К, с учетом же дополнительных потерь, неизбежных при вводе принимаемых сигналов в криостаты (гермовводы, теплоразвязывающие волноводы) – вдвое меньше. В самом коротковолновом диапазоне 1.4 см заметная потеря в чувствительности будет скомпенсирована применением **схемы полной мощности** и двухканального приема, в перспективе возможна замена на новую малошумящую разработку.

3. Работы по развитию и совершенствованию системы регистрации и обработки данных, а также и управления радиометрами на РАТАН-600 позволили определить пути повышения точности измерения и долговременной стабильности измерений выходных сигналов радиометров. Основным типом приемных устройств для наблюдений в радиоконтинууме в течение многих лет являлся модуляционный радиометр (или так называемый приемник Р.Дике) в различных вариантах его реализации. Это полностью дифференциальный метод приема с регистрацией разности основного и опорного сигналов для устранения флуктуаций вида  $1/f$  радиометра. О *полной мощности* космического радиоизлучения можно было судить только косвенно – по амплитуде шумовых флуктуаций системы радиотелескоп-радиометр.

Исследование же собственных флуктуаций *радиометра полной мощности* требует регистрации его сигнала на *постоянном токе* с применением *усилителей постоянного тока* (УПТ). Однако, в радиоэлектронике хорошо известна *проблема дрейфов нуля УПТ* со спектром вида  $1/f$ , как и у исследуемых шумов радиометра. В то же время, за последнее десятилетие произошел резкий прорыв в области создания бездрейфовых УПТ, не имеющих шума вида  $1/f$ . В лаборатории удалось спроектировать и построить предварительные усилители низкой частоты (ПУНЧ) на таких микросхемах и оснастить ими все радиометры континуума. Это позволило разработать такую прецизионную измерительную систему, встроенную в систему сбора радиометрических данных, которая не вносит в оцифровываемые сигналы собственных шумов вида  $1/f$ .

Применение на РАТАН-600 модуляционной схемы построения радиометров континуума в качестве основной было обусловлено тем обстоятельством, что, хотя *чувствительность модуляционного радиометра вдвое хуже, чем у идеального радиометра полной мощности*, его расчетная флуктуационная чувствительность легко реализуема на достаточно длинных интервалах времени (до 100 с и более). Расчетную же чувствительность идеального радиометра полной мощности на практике реализовать не удавалось из-за появления в самом радиометре шумов вида  $1/f$  даже на интервалах времени порядка 0.01 с. Продолжение начатых в 2013 году работ в этом направлении показало, что применение СВЧ детекторов на основе *туннельных обращенных диодов* вместо *детекторов на диодах Шоттки* резко снижает шум вида  $1/f$  в *радиометре полной мощности*. Впервые на практике реализована чувствительность идеального радиометра полной мощности на типовых для РАТАН-600 в режиме пассажного инструмента масштабах времени порядка 10 с. При этом она остается выше, чем у модуляционного радиометра на масштабах времени до 100 с. Результаты успешно внедрены в практическую работу семи высокочувствительных радиометров континуума РАТАН-600.

На рис.2 показано реальное улучшение чувствительности радиометра РАТАН-600 (волна 3.6см) при использовании режима полной мощности (total power radiometer с обращенным детектором на туннельном диоде) по сравнению с модуляционным радиометром на детекторе Шоттки.

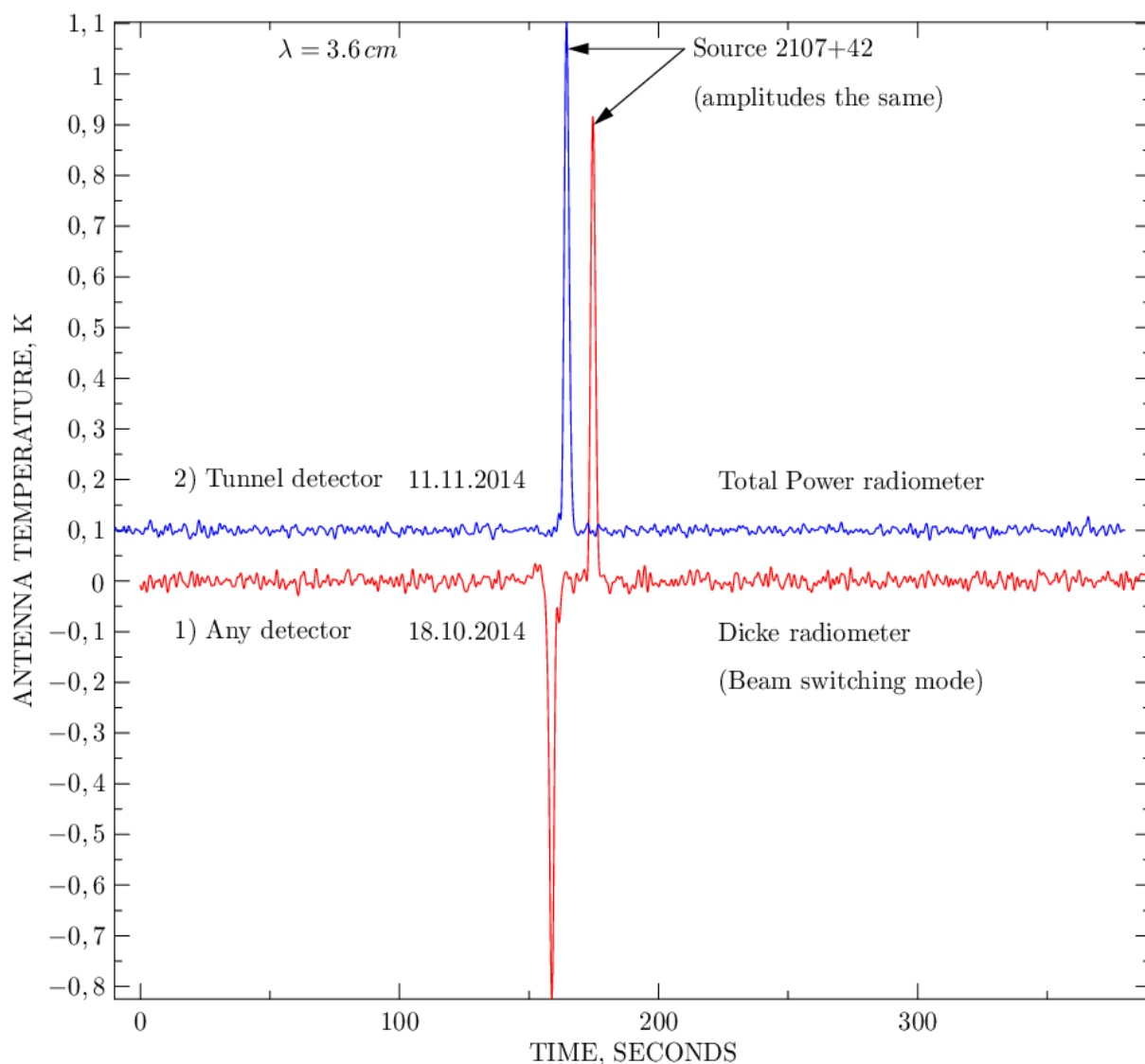


Рис.2. Сравнение шумов радиометра диапазона 3.6 см в модуляционном режиме и режиме полной мощности.

4. Анализ мониторинга электромагнитных помех на радиотелескопе РАТАН-600 показывает, что обстановка остается весьма сложной и касается практически всех диапазонов частот, кроме 30 ГГц. В диапазоне волн 3-4 см рабочую полосу (изначально 7.3 -8.2 ГГц) пришлось неоднократно перестраивать вверх (7.74-8.71) из-за помех от радиорелейных линий сотовых операторов. В диапазоне 6.2 см на частоте 5.2 ГГц работает спутниковый канал связи Космос-Земля, а на частотах 4.2-4.4 ГГц авиационные импульсные высотомеры. На рис.2. приведен пример действия такой помехи. Особенно сложной остается электромагнитная обстановка в дециметровом диапазоне РАТАН-600 (0.6-3.0 ГГц). На рис.3. показана запись электромагнитной обстановки на РАТАН-600 в диапазоне частот 0.3-3.0 ГГц (06.11.14г). Следует отметить максимальное превышение уровня помех по отношению к нулевому уровню более чем на 70 дБ ( $10^7$  раз (!) по мощности). Отыскать частотные промежутки в несколько десятков МГц, свободные от помех является чрезвычайно трудной задачей.



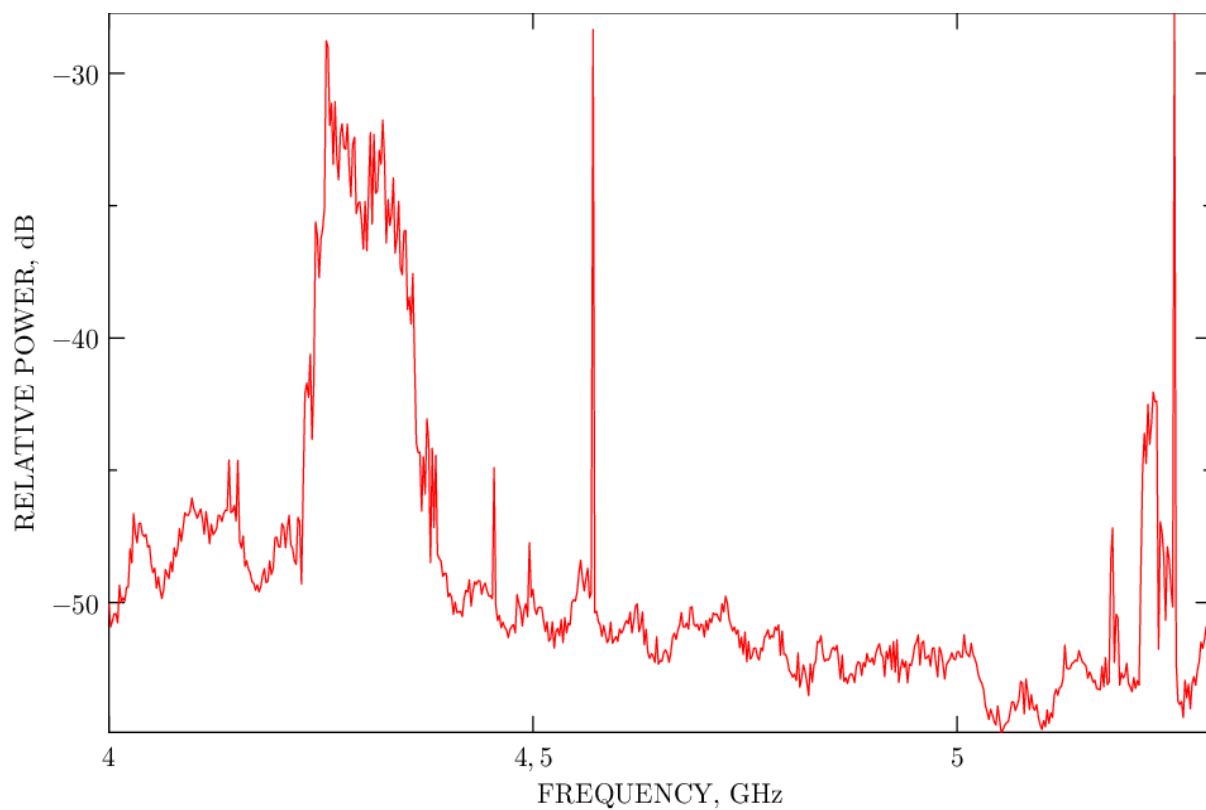


Рис.2. Электромагнитная обстановка в диапазоне 4.0-5.5 ГГц: помехи от радиовысотометров и космической связи (down-link Космос-Земля).

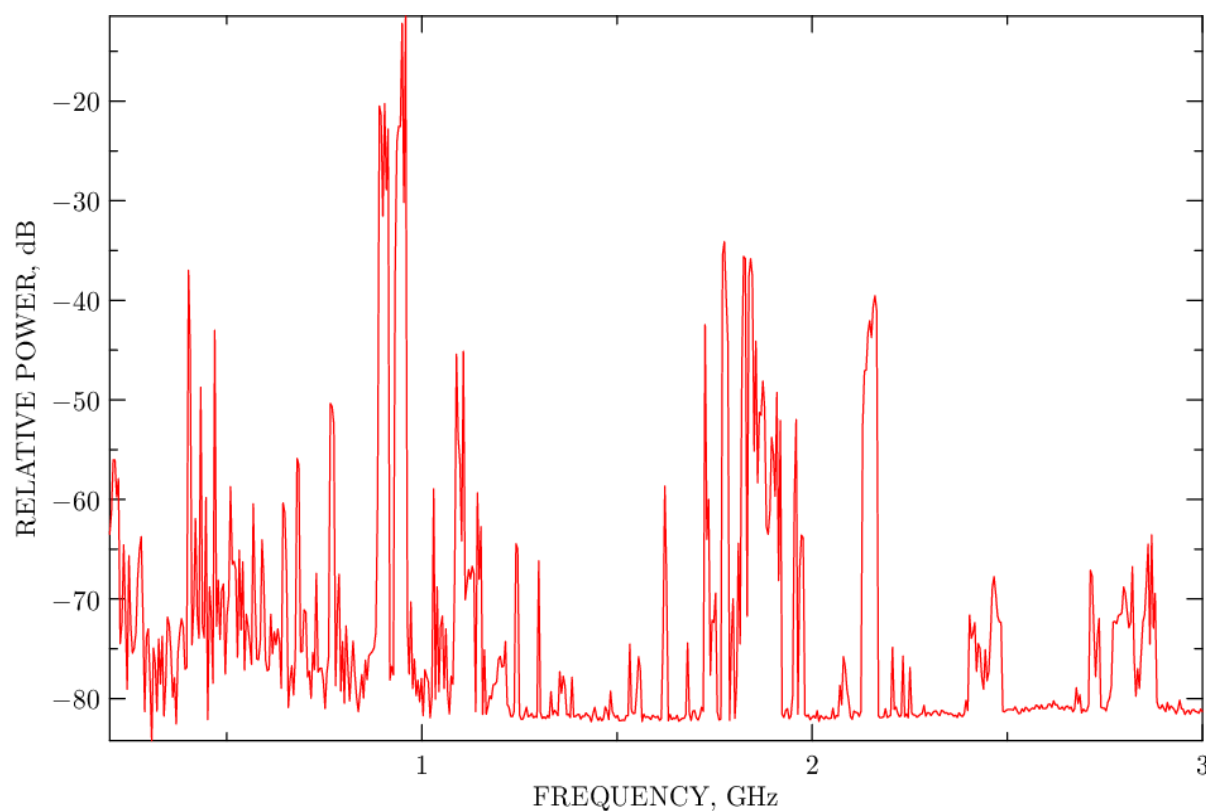


Рис.3. Запись электромагнитной обстановки на РАТАН-600 в диапазоне частот 0.3-3.0 ГГц.

## ПУБЛИКАЦИИ

1. Цыбулев П.Г., Дугин М.В., Берлин А.Б., Кратов Д.В., Нижельский Н.А., Удовицкий Р.Ю. Шум вида  $1/f$  в радиометре полной мощности//Астрофизический бюллетень, 2014, Т.69(2), с.256-262.
2. Ковалев Ю.А., Васильков В.И., Попов М.В., Согласнов В.А., Войцик П.А., Лисаков М.М., Кутькин А.М., Николаев Н.Я., Нижельский Н.А., Жеканис Г.В., Цыбулев П.Г. Проект РадиоАстрон. Измерения и анализ основных параметров космического телескопа в полете 2011-2013 гг. Космические исследования, 2014, Т.52(5), с.1-10.

Сдана в печать статья (в АЖ):

1. *Ю.Н.Парийский, А.Б.Берлин, Н.Н.Бурсов, Н.А.Нижельский, Т.А.Семенова, А.В.Темирова, П.Г.Цыбулев.* О статической радиоастрономии 21 века.

### **Планы на 2015 год.**

При условии получения финансирования в планах на 2015 год остается мониторинг сложной электромагнитной обстановки на РАТАН-600 с целью возвращения в программы наблюдений диапазонов 13 см и 30 см. Освоение нового для континуума диапазона 21 см. Внедрение в штатный режим наблюдений двухканальных режимов работы на всех радиометрах (приобретение детекторов на обращенных ТД, оснащение усилителями НЧ с отсутствием дрейфов нуля, изготовление полосно-пропускающих фильтров на новые рабочие полосы частот).