

Тема: «Исследование природы источников космического радиоизлучения в широком диапазоне волн»

Отчет за 2021 год

РЕФЕРАТ

Работа посвящена изучению источников космического излучения различных классов: Солнца (радиоизлучение Солнца), мазерных источников водяного пара (H₂O) и гидроксила (OH), связанных с областями активного звездообразования, и внегалактических источников (квазары, блазары, лацертиды и ядра сейфертовских галактик). Использовались оптические инструменты АЗТ-5, ЦЕЙСС-2, ЦЕЙСС-600 и ЦЕЙСС-1000 и радиотелескопы РТ-22 в Пушино и Большой радиотелескоп в Нансэ (Франция). Для объектов разных классов осуществлялся поиск переменности излучения временных масштабов от нескольких часов до десятков лет (продолжение многолетнего мониторинга) в широком диапазоне длин волн. Обнаружен ряд сильных вспышек излучения. Проведено исследование природы таких вспышек, а также долговременных вариаций излучения, структуры и эволюции околозвездной среды в областях звездообразования. Обнаружена корреляция переменности параметров Стокса мазерного излучения гидроксила с переменностью плотности потока для объекта W75N. Осуществлены работы по улучшению процесса наблюдений: в Цейсс-1000 встроено оригинальный автоматический гид в главном зеркале.

Ключевые слова: радиоизлучение солнца, квазары, ядра галактик, межзвёздная среда, области звездообразования, околозвёздные оболочки, космические мазеры, магнитные поля»

ВВЕДЕНИЕ

Проводились исследования источников различных классов, таких как: активные ядра галактик, внегалактические источники, квазары, блазары, объекты типа BL Lac (лацертиды), мазерные источники водяного пара и гидроксила и Солнце (радиоизлучение Солнца). Для этого были продолжены наблюдения в оптическом и радио диапазонах на телескопах в КРАО, Зеленчукской обсерватории и радиотелескопах в ПРАО и Нансэ (Франция). Объединяют все классы источников то, что они имеют переменность различных временных масштабов, от минут до десятков лет и в них происходят вспышки излучения. Представляет интерес поиск обнаружение периода звездной активности, равного 11 лет.

Важную роль в процессе звездообразования на всех этапах эволюции играет магнитное поле, которое значительно усиливает эффективность этого процесса. Наблюдения в линиях молекулы гидроксила могут дать информацию о величине и направлении

магнитного поля в областях звездообразования. Излучение ОН мазера сильно поляризовано обычно в круговом режиме, а также в линейном. Интересно, что результаты поляризации в субмиллиметровом диапазоне предполагают отделение магнитного поля от глобального галактического поля. Таким образом, системное изучение магнитных полей в областях звездообразования было бы полезно. Поляризационные свойства излучения ОН мазера были объяснены теоретическими моделями на основе Зеемановского расщепления. Магнитное поле играет важную роль в процессе звездообразования на всех его стадиях. Наблюдения могут дать информацию об интенсивности и направлении магнитного поля в областях звездообразования. Повторные наблюдения выявили изменения поляризационных свойств и, следовательно, магнитного поля в окрестностях молодых звездных объектов (YSO). В свою очередь, это будет характеризовать, например, вариации в регулируемых полем звездных ветрах от YSO; это также повлияет, через МГД-удары, на интенсивность мазеров. Таким образом, вариации полной интенсивности и поляризации должны быть коррелируемыми.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

I. Исследование внегалактических источников излучения (В.К. Конникова)

1. Проводилась переобработка источников типа VL Lac, HPQ и квазаров с красными смещениями до 1.5, которые наблюдались на РАТАН-600 с 1998 по 2020 гг. (в основном, переобработка требовалась до 2017 г). Около 60 радиоисточников на 5-6 частотах от 0.97 до 21.7 ГГц. Наблюдения на частоте 0.97 ГГц мы ранее вообще не обрабатывали.
2. Источники наблюдались, как правило, сериями от 10 до 115 дней каждый. Цель переобработки – исследование переменности плотности потока в течение серии на масштабах от 3 до 30 дней на всех частотах. Основной метод – построение структурных, автокорреляционных и кросскорреляционных функций. Методика была улучшена по сравнению с более ранней. Улучшена фильтрация от помех техногенных или погодных для избежания ложной переменности, аппроксимация и вычитание долговременной переменности проводилась кривыми второго порядка. Это позволило отсеять ряд ложных переменностей (в основном на нижнем конце спектра). На частоте 0.97 можно только определить среднюю плотность потока.
2. При обнаружении переменности строятся спектры переменных компонент. Вид спектра дает возможность отделить внутреннюю переменность в источнике от переменности, вызванной флуктуациями неоднородности в межзвездной среде.
3. Продолжено многоволновое исследование повышенной активности лацертиды BLLac, начатый с августа 2020 г.

II. Исследования активных ядер галактик (Л.С. Уголькова)

1. Используя объединённые данные проекта SMARTS и данные, полученные на телескопах Crimean AZT-8 и St. Petersburg (КРАО группой Ларионова В.М. из С.Петербурга) и телескопах МГУ ГАИШ в оптике, а также данные гамма излучения миссии FERMI исследована корреляция вспышек в каждый год повышенной активности блазара 3C454.3

с конца 2012 г по 2017 г. Построены графики оптического и гамма излучения. Исследовались особенности изменения активности блазара за весь период самой мощной долговременной активности в течение всего наблюдаемого периода. Также построены графики кросс корреляционных функций (CCF) и их кривые блеска. Кросс корреляция показывает почти нулевое запаздывание между фильтрами BVR и ИК и гамма излучением. Это говорит о том, что излучение в оптике и гамма излучение появляется примерно из одной и той же области (предположительно из основания джета). Предполагается существование, как синхротронного излучения, так и обратного комптоновского рассеяния на релятивистских электронах, а также на релятивистских протонах, что характерно для сильных вспышек. В данном источнике наблюдаются иногда оба механизма во вспышках 2014—2016 годов. В других вспышках наблюдается один из перечисленных механизмов излучения. Подтверждено, что во время вспышек наблюдаются процессы, связанные с вращением области гамма излучения относительно области оптического излучения, что имеет место в джете, где сгустки плазмы движутся по винтовой линии.

2. Продолжено многоволновое исследование повышенной активности лацертиды BLLac, начатый с августа 2020 г. Наблюдения в оптике с фильтрами UBVRi были получены на телескопах КС ГАИШ Цейс-2 и АЗТ-5, а также на телескопах RC-600 (оптика) и 2.5 м в КГО ГАИШ (ближний ИК диапазон и линейная оптическая поляризация).). Обнаружилось, что с августа месяца 2020 г. усилилась активность источника на всех длинах волн. Максимумы в оптике и в гамма лучах увеличились до величин превосходящих все максимумы вспышек источника за 20 лет. За период июль-сентябрь 2021 г. проведено изучение поляризации BLLac в фильтре R. Получены интересные особенности поворота угла поляризации с изменением яркости объекта в оптике и в гамма излучении. Определены закономерности, как медленного изменения угла поляризации, так и супер быстрого – за три часа угол изменился на 160 град. И так было не один раз за всё время её вспышечной активности. Изучение эффектов поляризации даёт возможность исследовать магнитное поле в излучающей струе (JET) в любой AGN, особенно согласовывая наши результаты с радиоданными.

III. Космические мазерные радиисточники (Н.Т. Ашимбаева, Е.Е. Лехт, М.И. Пащенко)

1. Продолжен мониторинг источников мазерного излучения в линии водяного пара на 1.35 см на 22-м радиотелескопе в Пушино с регулярностью около одного сеанса в месяц и в линиях гидроксила на 18 см на Большом радиотелескопе в Нансэ (Франция). Наблюдались порядка 140 источников, связанных с областями активного звездообразования (биполярные потоки и компактные и сверхкомпактные области III) и звездами поздних спектральных классов (мириды, полуправильные переменные, гиганты, сверхгиганты). Проведено 10 сеансов наблюдений в линии 1.35 см на РТ-22 в Пушино и по несколько наблюдений около 10 источников в главных и сателлитных линиях 18 см на радиотелескопе в Нансэ (Франция). Особое внимание было уделено исследованию природы вспышечной активности мазеров в областях активного звездообразования и исследованию переменности параметров Стокса в источниках IRAS 16293-2422, G43.8-0.1, W51M и W75N.

2. В спектрах H₂O и OH выделялись отдельные эмиссионные детали, которые соответствуют отдельным мазерным конденсациям (мазерным пятнам на VLA-картах). Для каждой такой эмиссионной детали определялись плотность потока излучения, лучевая скорость и ширина линии для каждой эпохи наблюдений. На основании данных мониторинга определялась переменность перечисленных параметров, т.е. исследовалась эволюция мазерного излучения, как отдельных деталей, так и всего спектра. По возможности проводились пространственные отождествления эмиссионных деталей нашего мониторинга с мазерными пятнами VLA-карт близких эпох наблюдений. В спектрах OH по наблюдениям в круговых поляризациях определялось зеемановское расщепление линий и, следовательно, величина продольного магнитного поля. Для поиска зеемановских пар также использовались VLA-карты для отождествления компонентов зеемановского расщепления. Обнаружение слабых магнитных полей порядка 0.1 мГс (малое расщепление) стало возможным благодаря высокой чувствительности радиотелескопа в Нансэ и высокому спектральному разрешению приемного устройства.

3. В процессе выполнения мониторинга W75N в главных линиях OH 1665 МГц и 16657 МГц обнаружены временные вариации параметров Стокса для всех эмиссионных деталей спектра. Обнаружено, что позиционный угол и степень линейной поляризации, а также степень круговой поляризации большинства деталей меняются со временем с определенными закономерностями, либо меняются очень слабо. Имеется корреляция этих параметров с переменностью плотности потока. Наблюдаемые вариации лучевой скорости некоторых деталей, особенно в линии 1667 МГц, связаны с наличием сложной структуры мазерной конденсации. Возможно, имеется скопление мазерных деталей с близкими лучевыми скоростями, либо имеется сильная неоднородная структура мазерной конденсации. Обнаружено, что основная деталь 12 км/с на протяжении 50 лет с момента открытия мазера OH в W75 N имела два максимума активности с интервалом между ними около 30 лет. Это показывает существование долгопериодической переменности активности источника W75N с периодом порядка 30 лет. Проведено отождествление спектральных деталей в линии 1665 МГц с мазерными пятнами на VLBA картах, что позволяет исследовать характер переменности глобального магнитного поля для источника в целом. В спутниковой линии 1720 МГц также обнаружена сильная переменность всех параметров Стокса для большинства эмиссионных линий. Получено, что сильная вспышка основных деталей в 2007–2009 гг. произошла в источнике VLA 2, который связан с кеплеровским диском области W75N.

4. Был проведен анализ полного мониторинга мазерного источника IRAS 16293-2422 на волне 1.35 см, выполненного на радиотелескопе РТ-22 в Пушино с 1996 г. по 2021 г. В этот временной интервал мы наблюдали три цикла высокой активности мазера H₂O с периодом 8 лет. Эта переменность может быть связана с изменением активности протозвезды в тесной двойной системе IRAS 16293-2422 в процессе ее формирования, впервые замеченной в 2002 году. Характер изменений плотности потока и лучевой скорости мазера H₂O хорошо объясняют следующую модель. Возмущения от протозвезды распространяются через организованные структуры в виде цепочек длиной $\approx 3,5$ а.е. с монотонным градиентом скорости в направлении распространения. Значительное увеличение активности мазера водяного пара и серия сверхвспышек связаны с увеличением активности протозвезды в системе IRAS 16293-2422 с 2002 года и

последовавшего затем в 2005 г. биполярного выброса компонентов A2 α и A2 β из источника A2. До 2002 года мощные вспышки не наблюдались, что подтверждает нашу модель.

IV. Радиоизлучение Солнца (И.А. Биленко)

1. Согласно современным представлениям радиовсплески II типа (РВII) в декаметровом и гектометровом диапазонах генерируются в результате последовательности ряда сложных процессов в магнитогидродинамических (МГД) ударных волнах. Большинство РВII связаны с ударными волнами, формирующимися в корональных выбросах массы (КВМ). Однако вопрос о формировании как КВМ, так и РВII до сих пор остается открытым, как и не ясны до конца процессы, определяющие их динамику в солнечных циклах.

2. В 2021 году были продолжены работы по исследованию природы КВМ и РВII. Рассмотрены особенности КВМ сопровождающихся РВII (РВII КВМ). Рассмотрены различия параметров КВМ и РВII в 23 и 24 циклах солнечной активности. Проведен анализ солнечных магнитных полей разных пространственно-временных масштабов и параметров солнечной плазмы и их влияния на условия генерации РВII.

3. Результаты показали, что как полярная, так и не полярная компоненты глобального магнитного поля (ГМП) Солнца значительно снижаются к 24 циклу, а структура ГМП становится более хаотичной. Большинство РВII формируются при стабильной структуре ГМП.

4. Параметры РВII КВМ и РВII отличаются в 23 и 24 циклах. Характер их изменения соответствует мощным КВМ и динамике магнитных полей выше 100 Гс. Выделены различные группы РВII КВМ и РВII в зависимости от величины ГМП и изменчивости его структуры, что свидетельствует о существовании разных типов РВII для формирования которых нужны совершенно разные условия. В связи с этим изучалась роль среды, в которой распространяются КВМ, на условия необходимые для генерации РВII. Состояние межпланетной среды и космической погоды на орбите Земли определяются потоками солнечной плазмы, формирующими солнечный ветер. На основе данных наземных и космических обсерваторий, были проанализированы закономерности влияния циклических пространственных и временных вариаций солнечных крупномасштабных магнитных полей на параметры солнечного ветра в 21–24 циклах. Также рассмотрены зависимости параметров солнечного ветра от величины и процента вклада различных компонент крупномасштабных магнитных полей Солнца в разных циклах и на разных фазах солнечной активности каждого отдельного цикла. Рассмотрены зависимости РВII и параметров сопутствующих КВМ от фоновых характеристик плазмы в областях начала регистрации каждого радиовсплеска в 23 и 24 циклах солнечной активности. Были детально проанализированы зависимости числа и параметров РВII и связанных с ними КВМ от таких параметров плазмы как напряженность магнитного поля, плотность, значения альфвеновской скорости и числа Маха на расстояниях регистрации каждого РВII и их циклические вариации в 23 и 24 циклах. Общее число КВМ возросло от 13924 в 23 цикле до 15074 в 24 цикле, а число РВII КВМ уменьшилось с 338 в 23 цикле до 180 в 24 цикле. Основное снижение числа РВII в 24 цикле произошло за счет событий

соответствующих магнитным полям менее 30 μT и для КВМ с альфвеновскими числами Маха 1-2.9. Показано, что различия в параметрах плазмы и корональных выбросов в 23 и 24 циклах могли стать причиной снижения числа РВП в 24 цикле.

5. 61 КВМ (это 18.05%) сопровождающихся РВП в 23 цикле и 31 (17.22%) в 24 цикле, являющихся слабыми событиями, регистрируются при скоростях КВМ, равной или ниже альфвеновской. Т. е. с альфвеновскими числами Маха, равными или меньше единицы, в основном, в периоды максимума солнечной активности. При таких условиях ударные волны формироваться не могут и РВП не должны наблюдаться. Возможно, что в этих событиях реализуется иной, не плазменный, механизм генерации РВП.

V. (В. Р.Амирханян)

1. Обнаружено, что в течение двух лет наблюдений с ростом потока объекта БЛАЗАР S5 0716+71 линейная поляризация меняется синусоидально.

2. Проведена работа по встраиванию в Цейсс-1000 (обсерватория в станции Зеленчук) оригинального автоматического гида в главном зеркале.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Многолетний мониторинг объектов различных типов в широком диапазоне длин волн представляет большой научный интерес. Он позволяет изучать эволюцию исследуемых типов космических источников, а также физические параметры среды.

1. Проводилась переобработка источников типа VL Lac, HPQ и квазаров с красными смещениями до 1.5, которые наблюдались на РАТАН-600 с 1998 по 2020 гг. (в основном, переобработка требовалась до 2017 г). Около 60 радиоисточников на 5-6 частотах от 0.97 Наблюдения на частоте 0.97 ГГц мы ранее вообще не обрабатывали. Цель переобработки – исследование переменности плотности потока в течение серии на масштабах от 3 до 30 дней на всех частотах до 21.7 ГГц.

2. Исследована корреляция вспышек в каждый год повышенной активности блазара 3C454.3 с конца 2012 г по 2017 г. Построены графики оптического и гамма излучения, исследовались особенности изменения активности блазара за весь период самой мощной долговременной активности в течение всего наблюдаемого периода. Обнаружено, что в течение двух лет наблюдений с ростом потока объекта БЛАЗАР S5 0716+71 линейная поляризация меняется синусоидально.

3. Продолжено многоволновое исследование повышенной активности лацертиды BLLac, начатый с августа 2020г. Определены закономерности как медленного изменения угла поляризации, так и супер быстрого – за три часа угол изменился на 160 град. И так было не один раз за всё время её вспышечной активности. Изучение эффектов поляризации даёт возможность исследовать магнитное поле в излучающей струе (JET) в любой AGN, особенно согласовывая наши результаты с радиоданными

4. Показано, что существенное повышение активности мазера водяного пара в IRAS 16293-2422 и, в частности, регулярные вспышки большой мощности связаны с

увеличением активности одной из протозвезд близкой двойной системы в этом источнике и большого выброса вещества в 2005 году. Обнаружен период активности мазера водяного пара, составляющий 8 лет. Размер отдельных мазерных пятен (конденсаций) оценивается как ~ 3.5 а.е. Показано, что такие мазерные конденсации образуют структуры в виде протяженных цепочек с монотонным градиентом скорости в направлении распространения, например, звездного ветра или ударной волны.

5. Проведена обработка наблюдений W75N в линиях 1720 МГц, выполненных по программе мониторинга на радиотелескопе в Нансэ (Франция). Получены результаты аналогичные результатам в линии 1665 МГц. Выделено более 10 отдельных эмиссионных деталей в спектрах и для них определены параметры поляризации. Обнаружена переменность всех параметров Стокса. Найдена корреляция между переменностью мощности излучения (плотности потока) и степенью поляризации и позиционного угла (для линейной поляризации).

6. На основе данных наземных и космических обсерваторий, были проанализированы закономерности влияния циклических пространственных и временных вариаций солнечных крупномасштабных магнитных полей на параметры солнечного ветра в 21–24 циклах. Получено, что общее число КВМ возросло от 13924 в 23 цикле до 15074 в 24 цикле, а число РВІІ КВМ уменьшилось с 338 в 23 цикле до 180 в 24 цикле. Основное снижение числа РВІІ в 24 цикле произошло за счет событий соответствующих магнитным полям менее $30 \mu\text{T}$ и для КВМ с альфвеновскими числами Маха 1-2.9. Получено, что различия в параметрах плазмы и корональных выбросов в 23 и 24 циклах могли стать причиной снижения числа РВІІ в 24 цикле.

По всем направлениям темы за 2021 год опубликовано 4 статьи в рецензируемых российских и зарубежных журналах и 1 статья в сборниках статей. Сделано 14 докладов на различных научных конференциях. Опубликован 1 тезис докладов.

1. Colom P., Ashimbaeva N.T., Lekht E.E., Pashchenko M.I., Rudnitskii G.M., Tolmachev A.M., Evolution of OH Maser Emission in the Active Star-Forming Region W75N. I. Research the 1665 MHz Line. Astronomy Reports, V. 65, № 1, p. 45-60 (2021).
2. Colom P., Ashimbaeva N.T., Lekht E.E., Pashchenko M.I., Rudnitskij G.M., Krasnov V.V., Tolmachev A.M. Evolution of superflares of H₂O maser emission in IRAS 16293-2422 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society. V. 507, № 3, p. 3285-3291 (2021).
3. Амирханян В.Р. ИЗЛУЧЕНИЕ ВНЕШНИХ КОМПОНЕНТОВ ПРОТЯЖЕННЫХ РАДИОИСТОЧНИКОВ, Астрофизический бюллетень, издательство САО РАН (Нижний Архыз), т. 76, № 1, с. 1-5 (2021)
4. Bilenko I.A. Variations in the Solar Magnetic Fields and their Influence on Coronal Mass Ejections and Type-II Radio Bursts Geomagnetism and Aeronomy, т. 61, № 7, с. 1009-1021 (2021).