

**Тема: «Исследование природы источников космического
радиоизлучения в широком диапазоне волн»
Отчет за 2025 год**

Работа по теме посвящена изучению источников космического излучения различных классов: Солнца (радиоизлучение Солнца), мазерных источников водяного пара (H_2O) и гидроксила (OH), связанных с областями активного звездообразования, и внегалактических источников: блазаров 3C454.3 и BLLac, лацертиды S5 0716+714 и Q 1959.

Общим для всех объектов темы был поиск переменности излучения временных масштабов от нескольких часов до десятков лет (продолжение многолетнего мониторинга) в широком диапазоне длин волн. Также большое внимание было уделено исследованию структуры и эволюции магнитного поля и сильных вспышек излучения и их природы.

Наблюдения мазерных источников были по программе мониторинга выполнены на волне 1.35 см на радиотелескопе РТ-22 в Пущино и на волне 18 см на Большом радиотелескопе в Нансэ (Франция).

1. Радиоизлучение Солнца (И.А. Биленко)

В 2025 г. было проведено детальное исследование динамики временных и пространственных распределений полярных и не полярных магнитных полей в периоды смены знака полярных магнитных полей (переполюсовки) Солнца в 21-25 циклах. Сопоставлен вклад характеристик локального (чисел Вольфа и радиоизлучения на длине волны 10.7 см) и глобального (ГМП, данные солнечной обсерватории Wilcox) магнитных полей в процесс переполюсовки. Рассмотрено влияние динамики полярных и не полярных магнитных полей в периоды переполюсовки на особенности поведения гелиосферного токового слоя, активных областей, радиоизлучения и корональных выбросов массы в каждом цикле.

Показано, что структура ГМП различна как в разных циклах, так и на различных фазах каждого цикла и что суммарный вклад вариаций магнитных полей полярного диполя, суммы секторных ($n=m$) и тессеральных ($n \neq m \neq 0$) гармоник с четными значениями n и нечетными m являются определяющими в формировании и циклических изменениях наблюдаемой секторной структуры ГМП при которой и происходит переполюсовка. Время и продолжительность переполюсовки в каждом полушарии и их дисбаланс

определяются меридиональной, идущей от полюса к полюсу, циркуляцией потоков ГМП положительной и отрицательной полярности. На основе динамики этих потоков предложены формулы расчета времени переполюсовок как в будущих, так и прошедших циклах. Учитывая, что переполюсовки всегда происходят в максимуме цикла, эти формулы могут быть использованы для прогноза периодов максимума циклов.

В периоды переполюсовки наблюдается снижение параметров как ГМП, так и характеристик локальных полей, снижение корреляций между ними, что напрямую влияет на количество и параметры корональных выбросов массы. Снижение напряженности ГМП в периоды переполюсовки приводит к росту числа слабых, низкоскоростных корональных выбросов с малыми углами раствора.

II. Космические мазерные радиоисточники (Н.Т. Ашимбаева, Е.Е. Лехт)

1. Продолжен мониторинг источников мазерного излучения в линии водяного пара на 1.35 см на 22-м радиотелескопе в Пущино с регулярностью около одного сеанса в месяц и в линиях гидроксила на 18 см на Большом радиотелескопе в Нансэ (Франция).
2. **S 231.** В этом источнике обнаружена сильная переменность излучения OH-мазера от деталей с лучевыми скоростями ниже -12 км/с. Согласно принятой нами структуры источника, эти детали, вероятно, расположены в южной части источника S231. В мазерной конденсации, связанной с деталью спектра -9.32 км/с в линии 1667 МГц в период 2022-2024 годов, отсутствовало продольное магнитное поле с верхним пределом 0.05 мГс. Поперечное поле довольно стабильное.

В конденсации мазера на скорости -10.43 км/с в линии 1667 МГц одновременно происходило уменьшение зеемановского расщепления и, следовательно, продольного магнитного поля, а также вращение вектора поперечного магнитного поля. Низкая степень линейной поляризации в северной области источника S231, где конденсация мазера -9.32 и -10.93 км/с в линии 1665 МГц, может быть результатом значительного фарадеевского вращения на пути усиления мазера. Найденное нами зеркальное отображение профилей линий 1612 и 1720 МГц относительно друг друга позволяет предположить, что уровни этих переходов накачиваются ИК-излучением от источника, встроенного в намагниченное межзвездное облако вокруг мазера OH в S231. Статья готова для публикации.

3. **W51M.** Наблюдения области звездообразования W51M были выполнены в 2022 и 2024 гг. в линиях OH на волне 18 см. Проведены исследования

эволюции плотности потока и степени круговой поляризации отдельных спектральных деталей мазера OH. Проведено пространственное отождествление спектральных деталей с мазерными пятнами на картах с высоким пространственным разрешением. Степень линейной поляризации пяти наиболее сильных деталей (55.92, 57.18, 57.72, 58.27 и 59.5 км/с) в линии 1665 МГц не превышает 5%. Вектор продольного магнитного поля для этих деталей ориентирован в пределах угла 19.6° - 39.2°. Таким образом, можно предположить, что имеется пространственно организованное крупномасштабное для W51M (e1 и e2) магнитное поле.

4. **S255.** Подготовлен каталог спектров H2O за период 1982-2025 годы для публикации в журнале Revista Mexicana A&A. Будет построено 3D-изображение полученных за время мониторинга спектров. Многопараметрический подход к анализу данных позволяет наглядно изучить наличие коротко- и долгопериодической переменности мазерного излучения и, соответственно, состояние активности протозвезды большой массы в S255.
5. **W75N.** Были зарегистрированы сильные, в некоторой степени коррелированные во времени, вспышки мазерного излучения H2O на 22 ГГц и OH в линиях 1665 и 1720 МГц спектральных деталей на лучевых скоростях 10.3, 3.5 и 8.5 км/с соответственно. Начало наивысшей фазы вспышечной активности -- вторая половина 2023~г. Вспышки связаны с мазерными пятнами, расположенными в радиоджете (VLA 1). Их возникновение может быть связано с прохождением МГД-волн, которые возбуждают мазерное излучение в соответствующем слое фрагмента оболочки. Повышенная активность излучения в линии OH 1667 МГц, которая наблюдалась во второй половине 2021 г. на лучевых скоростях 0.17 и 4.4 км/с, связана с кеплеровским диском (VLA 2).

Статья по исследованию источника W75N сдана в печать в АЖ.

III. Исследования внегалактических источников (Л.С.Уголькова)

Продолжена работа по исследованию 2-х мощных и продолжительных случаев повышенной вспышечной активности блазаров 3C454.3 и BLLac.

Закончена обработка и дополнена данными поляризации и исследованиями переменности этих источников активных ядер галактик (АГН). Получены результаты исследования особенностей оптического и γ -излучения блазара 3C 454.3 в период с 2012 по 2017 гг. Данные излучения блазара в оптическом диапазоне, полученные авторами с помощью инструментов КРАО, Пулковской обсерватории и Крымской

станции ГАИШ, объединены с данными проекта SMARTS. По результатам высокой степени корреляции K (0.77-0.97) и запаздывания D около 0 (от -2.3 до +1) дня излучений оптика-гамма во время самых мощных и быстрых вспышек каждый год, можно с большой уверенностью предположить, что оба излучения появляются примерно из одной и той же области, а именно, близко от ядра и аккреционного диска и они физически связаны. Особенно надо выделить максимум активности 2014 г., когда, наблюдаемая активность представлена в виде серии из 5 вспышек, следующих одна за другой через 49-50 дней, с повторением как формы кривых блеска, так и периодичности параметров корреляции. Это можно объяснить вращением областей оптического и гамма-излучения относительно друг друга. Поляризация также подтверждает это явление. Наше предположение относится к модели сгустка плазмы с излучением в оптике и гамма, с разным их расположением в этом сгустке, который движется вдоль джета и одновременно вращается, как волчок. Это очевидно из радиоданных наземных телескопов (VLBA), так и космических приборов, таких как "РАДИОАСТРОН". Сильные вспышки 2014 и 2016 гг. предполагают существование как лептонной, так и протонной модели.

Закончены обработка и исследования многоволновой переменности ещё 2-х источников - лацертиды S5 0716+714 и Q 1959. Данные получены в основном в КГО.

ПУБЛИКАЦИИ

По всем направлениям темы за 2025 год опубликовано 5 статей в рецензируемых журналах и 2 статьи сданы в печать. Сделано 4 доклада на различных научных конференциях.

Статьи:

1. Биленко И. А.

“Особенности структуры глобального магнитного поля Солнца в 21-25 циклах”. Геомагнетизм и Аэрономия. Т. 65. №7. С. 883-895. 2025 г. (получена корректура).

2. Bilenko I. A.

“Solar Polar Field Reversals as the Result of the Global Magnetic field Meridional Flows”, на рецензии в журнале: “Solar Physics”.

Доступна в arXiv: arXiv:2510.27441.

DOI: 10.48550/arXiv.2510.27441.

3. Биленко И. А.
“Солнечная активность в периоды смены знака полярного магнитного поля”,
принята к публикации в журнал: “ Вестник Московского Университета.
Серия 3 – Физика и астрономия”.
4. E. E. Lekht, J. E. Mendoza-Torres, N. T. Ashimbaeva, V. V. Krasnov, and
V. R. Shoutenkov
« Long-term variability of water maser emission in S128»
Revista Mexicana de Astronomía y Astrofísica, 61, 117–122 (2025)
<https://doi.org/10.22201/ia.01851101p.2025.61.01.09>

5. Н.Т.Ашимбаева, Е.Е.Лехт, В.В.Краснов, В.Р.Шутенков
« Мазерное излучение OH в области активного звездообразования W51M»
Астрон. журнал, том 102, № 12, с. 1109–1120 (2025).

Сданые в печать:

- 1.Н.Т.Ашимбаева, Е.Е.Лехт, В.В.Краснов, В.Р.Шутенков
«Коррелированные вспышки мазерного излучения H2O и OH в W75N»
Астрон. журнал.
- 2.Л.С.Уголькова, Е.В.Шимановская, В.М.Ларионов и дугие.
«Особенности корреляции оптического излучения в период многоволновой
Активности блазара 3C 454.3 с 2012 по 2017 гг.» (АЖ).

Конференции:

1. Биленко И. А.
“Полярные фотосферные и корональные магнитные поля Солнца” (Устный)
XXIX Всероссийская ежегодная конференция по физике Солнца
«Солнечная и солнечно-земная физика – 2025», Россия, Троицк, 13-17
октября 2025 г.
2. Биленко И. А.
“Сопоставление вариаций глобального и локальных магнитных полей в 21-25
циклах солнечной активности” (Устный)
"Магнетизм и активность Солнца - 2025" (Крым-2025), Россия КрАО,
30 июня - 4 июля 2025 г.
3. Биленко И. А.
“Солнечная активность в периоды смены знака полярного магнитного поля”
(Устный)
Всероссийская астрономическая конференция «Современная астрономия: наука и
образование (к 270-летию Московского университета)», Россия, Москва, ГАИШ,
23-27 июня 2025 г.

4. Биленко И. А.

“Проявление волн Россби в солнечных магнитных полях” (Устный)

Двадцатая конференция «Физика плазмы в солнечной системе», Россия Москва,
ИКИ РАН, 10-14 февраля 2025 г.