

Поствспышечные изменения спектров мазерного радиоизлучения воды на длине волны 1.35 см источников W49N и G43.8-0.1 на интервале с 2024.95 по 2025.25

© А. В. Ипатов, И. А. Рахимов, С. А. Гренков, Т. С. Андреева

ИПА РАН, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

На радиотелескопах радиоинтерферометрического комплекса «Квазар КВО» в рамках программы Ru-OH ведутся регулярные спектральные наблюдения мазерного радиоизлучения воды ряда источников в диапазоне 1.35 см. Основной целью этих наблюдений является выявление быстрых и долгосрочных переменностей мазерного радиоизлучения. Источники W49N и G43.8-0.1, входящие в список наблюдаемых по программе Ru-OH объектов, привлекли к себе внимание радиоастрономического сообщества в конце 2024 г. из-за произошедших в них мощных вспышек. В период с конца ноября по конец марта 2025 г. в ИПА РАН велись наблюдения, по которым отслеживались поствспышечные изменения спектров мазерных излучений воды в указанных источниках.

Источник W49N является одним из богатейших по набору линий мазера водяного пара, расположенных в диапазоне скоростей ± 150 км/с, и показывает частую вспышечную активность ([Вольвач и др., 2019](#)). В W49N отмечены вспышки интенсивности излучения компонент на лучевых скоростях -71.6 км/с и -59.4 км/с, изменяющиеся синхронно. Интенсивность радиоизлучения компоненты -71.6 км/с с момента начала вспышки возросла более чем в 10 раз (с 2.4 кЯн до ~ 26 кЯн) и начала возвращаться к своей обычной интенсивности, а компонента -59.4 км/с изменила интенсивность в 16.6 раз (примерно с 600 Ян до 9.96 кЯн). В источнике G43.8-0.1, как и в большинстве мазеров воды, наблюдается переменность всего спектра (за исключением одного эмиссионного пика в районе $+40$ – $+42$ км/с) ([Лехг., 1995](#)). В среднем один раз в 3 года в этом источнике происходят вспышки различной силы и интенсивности. Вспышка произошла в компоненте $+39.2$ км/с и на момент начала ее регулярного отслеживания интенсивность находилась уже на довольно высоком уровне (около 1.5 кЯн) с последующим плавным увеличением до 2.2 кЯн, а 06.02.2025 подошла к своему пику ~ 2.8 кЯн. Основная вспышка в компоненте $+39.2$ км/с источника G43.8-0.1 также сопровождалась практически синхронным изменением соседних компонент с лучевыми скоростями $+40.8$ км/с и $+35.7$ км/с.

Часть статьи посвящена методике наблюдений, включающей использование БПФ-спектрометра с высоким частотным разрешением (488 Гц) и калибровку по стандартным радиоисточникам. Анализ данных выявил различия в характере нарастания и спада интенсивности вспышек, что может быть связано с нелинейными механизмами диссипации энергии.

Выводы статьи подчеркивают важность регулярных мониторинговых и интерферометрических наблюдений для понимания динамики мазерных вспышек и их связи с процессами звездообразования.

Ключевые слова: мазеры, регистрация спектров, вспышки излучения мазеров воды, мониторинг мазеров, W49N, G43.8-0.1, поляризация, магнитные поля.

Контакты для связи: Гренков Сергей Александрович (grenkov@iaaras.ru).

Для цитирования: Ипатов А. В., Рахимов И. А., Гренков С. А., Андреева Т. С. Поствспышечные изменения спектров мазерного радиоизлучения воды на длине волны 1.35 см источников W49N и G43.8-0.1 на интервале с 2024.95 по 2025.15 // Труды ИПА РАН. 2025. Вып. 73. С. 40–46.

<https://doi.org/10.32876/AppAstron.73.40-46>

Postflare Changes in Spectrums of Water Maser Emissions for 1.35 cm Wavelength in Sources W49N and G43.8-0.1 from 2024.95 to 2025.25

A. V. Ipatov, I. A. Rahimov, S. A. Grenkov, T. S. Andreeva

Institute of Applied Astronomy of the Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

Abstract

Regular spectral monitoring of water maser emission at 1.35 cm (22 GHz) from selected sources has been conducted under the Ru-OH program using the radio telescopes of the “Kvazar-KVO” very-long-baseline interferometry (VLBI) complex. The primary goal of these observations is to study both short-term and long-term variability in water maser emission. The sources W49N and G43.8-0.1, included in the Ru-OH target list, attracted significant attention from the radio astronomy community in late 2024 due to powerful maser flares detected in these regions. Post-flare spectral variations of water maser emission were monitored from late November 2024 through March 2025.

W49N, one of the richest water maser sources with spectral features spanning ± 150 km/s in radial velocity, exhibits frequent flaring activity. Monitoring revealed synchronized flares in velocity components at -71.6 km/s and -59.4 km/s. The -71.6 km/s feature showed an intensity increase of over 10 times (from 2.4 kJy to more than 26 kJy) before beginning to decay on November 27, 2024 while the -59.4 km/s component exhibited a 16.6-fold amplification (from ~ 600 Jy to 9.96 kJy). G43.8-0.1, like most water masers, displays spectral variability across its components, except for a stable emission peak at $+40$ to $+42$ km/s. This source typically undergoes flares of varying strength approximately every three years. The 2024 flare in the $+39.2$ km/s component, which was already at about 1.5 kJy when monitoring began, gradually increased to 2.2 kJy and peaked at 2.8 kJy on February 6, 2025. This event was accompanied by nearly synchronous variations in neighboring components at $+40.8$ km/s and $+35.7$ km/s.

The methodology section describes the use of an FFT spectrometer with high frequency resolution (488 Hz) and flux calibration performed using standard radio sources. Analysis revealed asymmetric flare profiles with different rise and decay timescales, suggesting nonlinear energy dissipation mechanisms.

This study underscores the importance of systematic single-dish monitoring combined with follow-up interferometric observations for understanding maser flare dynamics and their connection to star formation processes.

Keywords: masers, spectral line observations, water maser flares, maser monitoring, W49N, G43.8-0.1, polarization, magnetic fields

Contacts: Sergey A. Grenkov (grenkov@iaaras.ru).

For citation: Ipatov A. V., Rahimov I. A., Grenkov S. A., Andreeva T. S. Postflare changes in spectrums of water maser emissions for 1.35 cm wavelength in sources W49N and G43.8-0.1 from 2024.95 to 2025.25 // Transactions of IAA RAS. 2025. Vol. 73. P. 40–46.

<https://doi.org/10.32876/ApplAstron.73.40-46>

Введение

Мазерное излучение воды (H_2O) на длине волны 1.35 см (22 ГГц) — один из ключевых инструментов исследования динамики звездообразования. Оно возникает в плотных молекулярных облаках и околосозвездных средах, где инверсия населённостей молекул воды обеспечивает когерентное усиление излучения. Регулярные наблюдения мазеров воды позволяют выявлять быстрые и долгосрочные изменения их интенсивности, что может дать ключи к пониманию динамики галактической структуры и физических процессов, протекающих в космосе.

Существует огромное множество работ, посвящённых изучению вспышек мазеров воды в разных источниках. Однако источники W49N и G43.8-0.1 давно привлекли внимание научного радиоастрономического сообщества, так как имеют уникальные характеристики (в том числе и из-за их высокой и довольно частой вспышечной активности мазерного излучения воды), что делает их исследования особенно важными. Повышенное внимание к этим источникам является оправданным: только в конце 2024 г. наблюдались вспышки интенсивности излучения некоторых компонент радиоизлучения воды. Вспышки мазеров, регистрируемые в W49N и G43.8-0.1, часто связаны с ударными волнами, джетами молодых звёзд или изменениями аккреционного потока, что делает их ценными индикаторами скрытых процессов. Особый интерес представляют случаи синхронной переменности компонент с разными лучевыми скоростями, что может указывать на крупномасштабные возмущения среды. Мазерный источник W49N расположен дальше центра нашей Галактики. Он находится в плотной конденсации, расположенной

в массивной области НП. Расстояние до объекта составляет около 11 кпк ([Zhang et al., 2013](#)). Этот мазерный источник является одним из богатейших по набору линий мазера водяного пара, расположенных в диапазоне скоростей ± 150 км/с. Существуют серьезные проблемы, связанные с интерпретацией данных наблюдений и объяснением механизмов генерации линий в таком широком диапазоне скоростей. При этом необходимо следовать многочисленным наблюдательным фактам, накопившимся со времени открытий мазеров. Интерферометрические данные свидетельствуют о том, что и низкоскоростные (± 15 км/с), и высокоскоростные ($> \pm 15$ км/с) линии могут инициироваться из общего центра ([Matveenko et al., 1988](#)). Источники в области W49N показывают довольно частую вспышечную активность с резким усилением отдельных деталей профиля, при этом не затрагивая интенсивность остальных компонент. Источник G43.8-0.1 ассоциируется с компактной областью НП и мазером ОН на частоте 1665 МГц в пределах ± 10 ” ([Matthews et al., 1978](#)). РСДБ-наблюдения показывают, что в G43.8-0.1 мазерные конденсации H_2O образуют оболочечную структуру радиусом примерно ~ 0.2 ” ([Genzel et al., 1979](#)). При расстоянии до источника 3 кпк радиус оболочки составляет $\sim 10^{16}$ см. Как и в большинстве мазеров воды, в G43.8-0.1 наблюдается довольно сильная переменность всего спектра, за исключением одного эмиссионного пика на лучевой скорости в районе $+40$ – $+42$ км/с ([Лехт, 1995](#)). Эта компонента может быть использована в качестве опорного для относительных измерений компонент профиля. Также есть многочисленные публикации об обнаружении Зеемановского расщепления компонент во время вспышек в G43.8-0.1 ([Sarma et al., 2008](#)). В среднем, один раз в 3 года

в этом источнике происходят вспышки различной силы и интенсивности.

Наблюдения и отслеживание переменности источников W49N и G43.8-0.1 являются частью программы Ru-OH, проводимой на радиотелескопах РТ-32 комплекса «Квазар-КВО», которая направлена на исследование переменности мазеров воды и гидроксила. Эти два источника разделены между собой примерно 38 минутами по угловому расстоянию и полностью «разрешаются» друг от друга диаграммой направленности РТ-32. В соответствии с программой Ru-OH, один или два раза в месяц выполняется мониторинг ряда радиоизлучений мазерных источников воды на длине волны 1.35 см. После появления сообщений о мощных вспышках в этих источниках план работы радиотелескопа РТ-32 был откорректирован таким образом, чтобы обеспечить ежедневные наблюдения последствий произошедших вспышек (процесс временного усиления излучения мазеров и его последующего снижения) в этих источниках на интервалах в ± 2 часа от их кульминаций. Результаты этого мониторинга представлены в данной статье: систематическое наблюдение и анализ развития — затухания вспышек в указанных источниках за период с 2024.95 по 2025.25.

Аппаратура и описание методики измерений спектров

В настоящее время наблюдения мазеров на радиотелескопах комплекса «Квазар-КВО» проводятся с использованием штатных приемных устройств радиотелескопа РТ-32 на длинах волн 18 см (наблюдения линий гидроксила OH) и 1.35 см (наблюдения спектральных линий воды H₂O) в правой и левой круговых поляризациях. Также задействован двухканальный спектрометр на базе многофункциональной системы преобразования сигналов, работа которой основана на принципе быстрого преобразования Фурье пакетов выборок сигнала, — БПФ-спектрометр ([Гренков и др., 2023](#)). Перед началом сопровождения источника и записью его спектра выполняется процедура поиска поправок наведения радиотелескопа по одному из предварительно выбранных относительных стабильных компонент в спектральном профиле мазерного источника.

Сами наблюдения проводятся по методу регистрации спектра излучения источника сигнала «On source – Off source» с калибровкой амплитуды потока по стабильным калибровочным источникам радиоизлучения в континууме. Зарегистрированный спектр «Off source» («вне источника») используется в качестве опорного для устранения неравномерностей АЧХ канала приемника и выявления спектральных каналов, занятых возможными помехами с целью дальнейшего исключения помех из рассмотрения. В качестве калибровочных

в программе Ru-OH используются следующие источники: 3C123, 3C147, 3C286, 3C348, 3C353, 3C295, 3C274, CygA, TauA, уточненные значения потоков радиоизлучений которых взяты из ([Иванов и др., 2018](#)). Поправка частоты за движение наблюдателя относительно местного стандарта покоя вычисляется с помощью программы DOP ([Gordon, 1976](#)) при выходе на источник и автоматически учитывается в процессе наблюдений в видеоконверторе. При настройке БПФ-спектрометров используется полоса регистрации 16 МГц с частотным разрешением 488.28125 Гц (для полосы пропускания видеоконверторов 16 МГц при числе спектральных каналов 32768), что соответствует ~ 6.575 м/с в шкале лучевых скоростей. Эффективная площадь антенны соответствует 240 м². Основное время накопления в спектрометре составляет около 15 с, после чего измеренные спектры передаются в компьютер и сохраняются в архивном файле на жестком диске. Измерения проводятся примерно 20-минутными сетами, после чего антenna отводится от источника для записи профилей фонового шума, которые также позволяют проводить визуальный контроль наличия радиопомех и искажений различного характера. Ширина диаграммы направленности радиотелескопа РТ-32 на частоте 22 ГГц составляет $\sim 1.6'$. Чувствительность антенны по потоку соответствует 11.5 Ян/К. Типовое время накопления 1 мин дает СКО шума $\delta T_c \approx 0.6$ К. Все лучевые скорости относятся к обычному эталону покоя в радиоастрономии для линии межуровневых переходов H₂O на длине волны 1.35 см: 22235.08 МГц. Из общего количества наблюдений лучшие записи выбираются визуально по линейности среднего за время измерения профиля, а также по характеру непрерывного спектра. Критерием отбора служит отсутствие помех, паразитного излучения и атмосферных флуктуаций. Для определения переменностей и нивелирования влияния атмосферных эффектов поглощения радиоизлучения воды используется эталонная компонента спектра для нормализации всего профиля. Последняя выбирается таким образом, чтобы ее общая интенсивность не изменялась сильно в течение цикла наблюдения (или имела хорошо выраженный, укладывающийся в линейную зависимость, тренд) и чтобы она была достаточно сильной (преобладающей) по отношению к близко находящимся другим компонентам спектрального профиля.

Результаты обработки и анализа наблюдений

Отличительной характерной чертой мазерного радиоизлучения воды в диапазоне 1.35 см является довольно слабая поляризация этого излучения, в отличие от излучений гидроксила в диапазоне 18 см, поляризация которых достигает 100 %.

Отличие интенсивности излучения компонент спектрального профиля с различной поляризацией обусловлена воздействием сильных магнитных полей, которые также сопровождают вспышки разной мощности. Поэтому при обработке данных наблюдений отслеживается как параметр Стокса $I = S_0 = S_{\text{ПКП}} + S_{\text{ЛКП}}$, так и $Q = S_{\text{ПКП}} - S_{\text{ЛКП}}$, где $S_{\text{ПКП}}$ — интенсивность плотности потока радиоизлучения в правой круговой поляризации (Ян), $S_{\text{ЛКП}}$ — в левой круговой поляризации.

1. Результаты наблюдений W49N

Интенсивный и сложный профиль W49N содержит 17 ярко выраженных компонент (рис. 1) в диапазоне лучевых скоростей от -100 км/с до $+100$ км/с, из которых наиболее интенсивными в 2024 г. являются компоненты с лучевыми скоростями $+6.8$ км/с, -7.4 км/с и $+13.7$ км/с.

Основными вспыхнувшими компонентами в W49N в ноябре 2024 г. являются компоненты на лучевой скорости -71.6 км/с. За интервал времени с середины ноября до середины января вспыхнувшие составляющие спектра W49N показали плавное изменение интенсивности в виде нарастания и спада экспоненциального типа. Интенсивность этой компоненты с момента начала вспышки возросла более чем в 10 раз (с ~ 2.4 кЯн до ~ 26 кЯн) и с 27 ноября начала возвращаться к своей обычной интенсивности с более плавной скоростью в сравнении с темпом роста. Синхронно с компонентой -71.6 км/с изменялась интенсивность компоненты с лучевой скоростью -59.4 км/с в пределах от ~ 600 Ян до 9.96 кЯн. Синхронное изменение обеих компонент (с разницей в ~ 12 км/с) указывает на их общий источник возбуждения. Возможны следующие объяснения:

1. Биполярные джеты: если компоненты соответствуют противоположным потокам выбросов, то

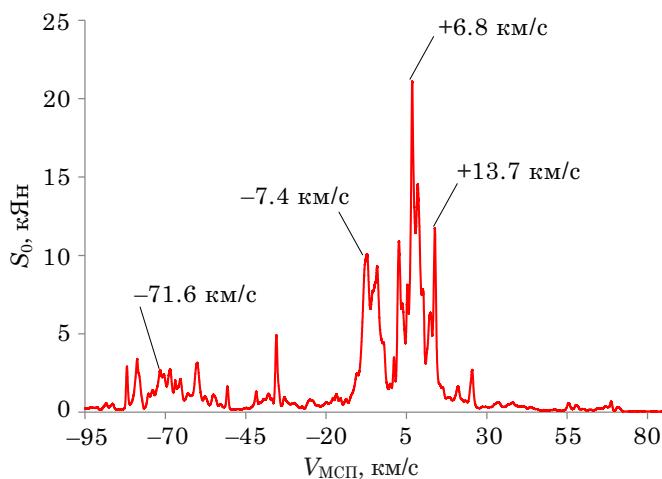


Рис. 1. Пример спектра общего потока радиоизлучения S_0 мазера воды в источнике W49N. Дата регистрации: 23.10.2024 12:35 (UT) в обсерватории «Светлое»

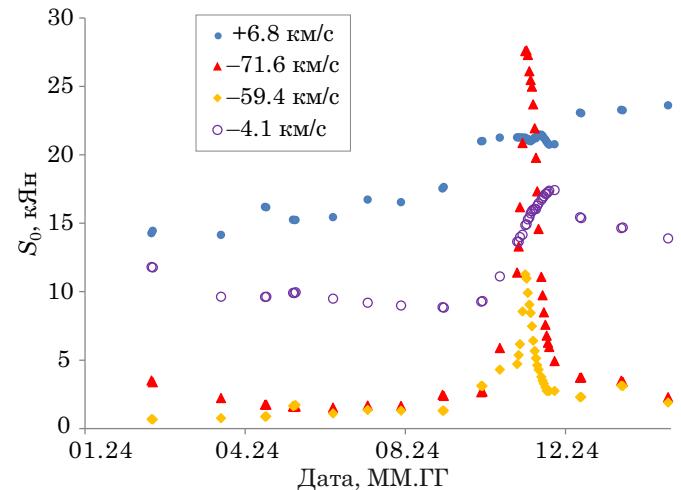


Рис. 2. Изменения интенсивности S_0 для компонент спектра W49N $+6.8$ км/с, -71.6 км/с, -59.4 км/с, -4.1 км/с

их кинематика может отражать симметричные выбросы со скоростью до ~ 65 км/с (при угле раскрытия $< 20^\circ$).

2. Ударная волна в неоднородной среде: разница скоростей может отражать движение фронта ударной волны через газ с градиентом плотности. Вращающаяся структура: альтернативно разница скоростей может соответствовать кеплеровскому движению в диске на расстоянии ~ 100 а.е. от центральной массы (для $M \sim 10 M_\odot$).

Проверка этих гипотез требует данных интерферометрических наблюдений с разрешением < 1 mas. С помощью подходящих радиоинтерферометрических данных, если они найдутся в обзоримых публикациях, можно было бы проверить пространственное распределение этих компонент и подтвердить одну из предложенных гипотез их синхронного изменения.

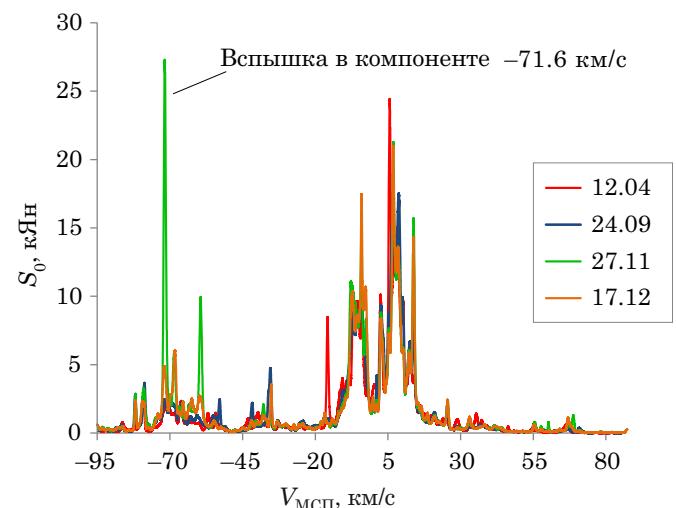


Рис. 3. Спектры общего потока радиоизлучения S_0 мазера воды в источнике W49N, зарегистрированные в обсерватории «Светлое» для дат 12.04.24, 24.09.24, 27.11.24 и 17.12.24

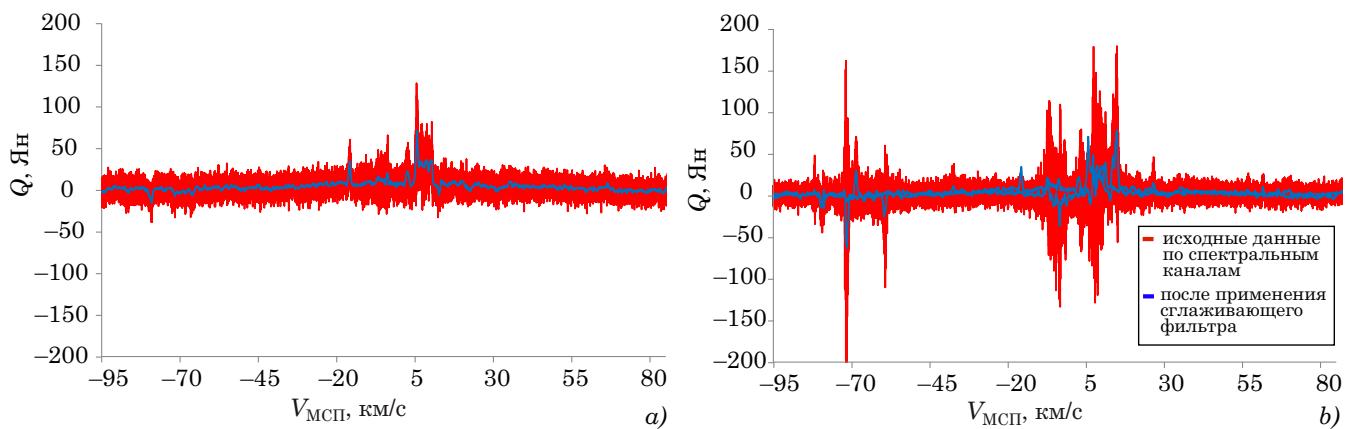


Рис. 4. Параметры Стокса Q , полученные для W49N в день без выраженной вспышки 12.04.24 (a) и в день с явной вспышечной активностью 27.11.24 (b)

Также значимые изменения произошли в компоненте на лучевой скорости -4.1 км/с. Интенсивность ее излучения возрастила по более плавной экспоненте с ~ 8.7 кЯн до 17.2 кЯн с пиком, приходящимся на 17.12.2024. В это же время преобладающая последние полгода компонента W49N с лучевой скоростью $+6.8$ км/с, выбранная в качестве эталона, сохраняет свою интенсивность ~ 20 кЯн (рис. 2).

На рис. 3 показаны спектральные профили, полученные в разные дни наблюдений для полного потока радиоизлучения S_0 (сумма левой и правой круговых поляризаций), а на рис. 4 — параметры Стокса Q для даты без интенсивной вспышки и для даты с явной вспышечной активностью.

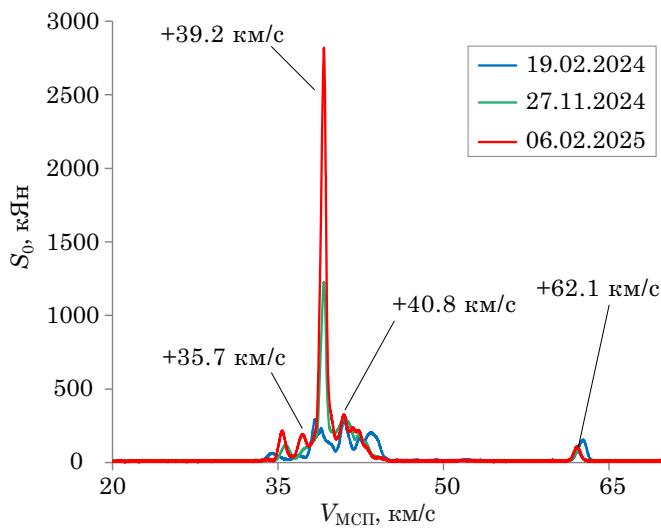


Рис. 5. Спектры общего потока радиоизлучения S_0 мазера воды в источнике G43.8-0.1, зарегистрированные в обсерватории «Светлое» для дат 19.02.24, 27.11.24, 06.02.25

2. Результаты наблюдений G43.8-0.1

Интенсивность излучения в источнике G43.8-0.1 в компоненте $+39.2$ км/с на дату начала мониторинга вспышки составила ~ 1.5 кЯн, плавно увеличилась до 2.2 и 06.02.2025 подошла к своему пику ~ 2.8 кЯн (рис. 5). До события вспышки (наблюдения с января по май) компоненты $+39.2$ км/с интенсивность излучения едва доходила до 290 Ян (рис. 6). В то же время (во время вспышки)

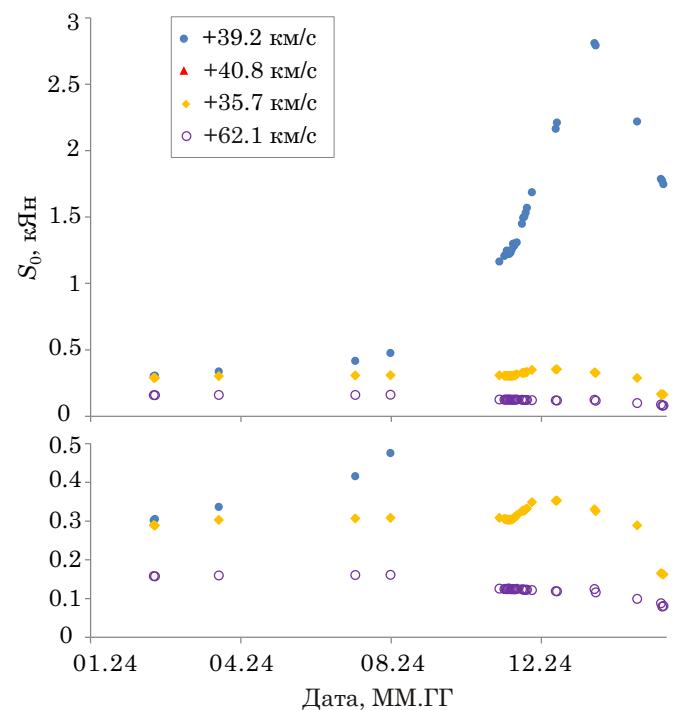


Рис. 6. Изменения интенсивности S_0 для компонент спектра G43.8-0.1 $+39.2$ км/с, $+40.8$ км/с, $+35.7$ км/с, $+62.1$ км/с. График приведен в двух масштабах: для вспышки и для остальных компонент с интенсивностью менее 500 Ян

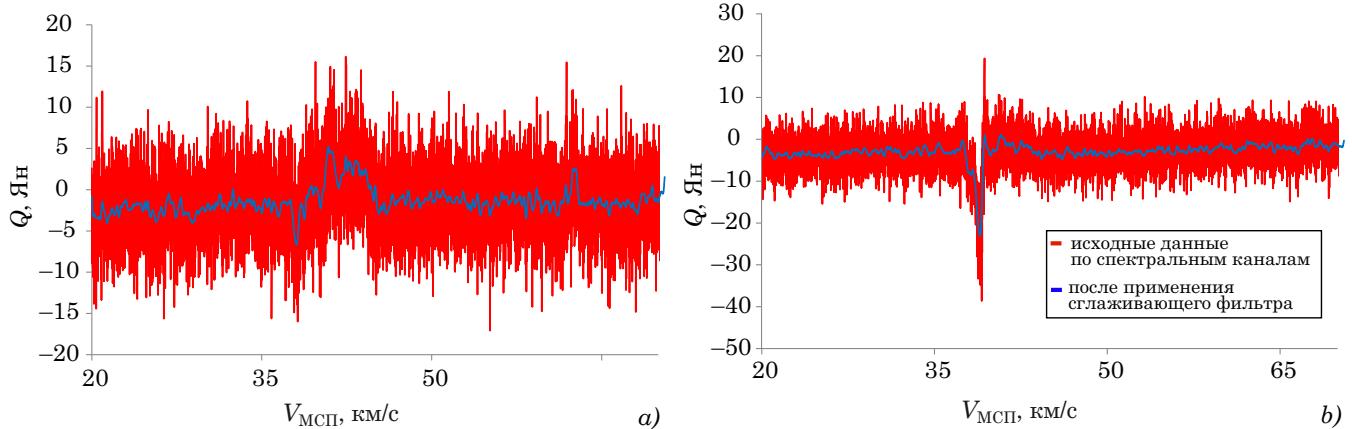


Рис. 7. Параметры Стокса Q , полученные для G43.8-0.1 в день без выраженной вспышки 19.02.24 (а) и в день пика вспышки 06.02.25 (б)

«стабильная» эталонная компонента +40.8 км/с и далеко отстоящая +62.1 км/с сохраняли свою интенсивность (~290 Ян и 100 Ян соответственно). Спектры, отражающие воздействия магнитных полей (параметр Стокса Q) для активного и неактивного состояний представлены на рис. 7.

Максимум вспышки для компоненты +39.2 км/с был зарегистрирован 06.02.2025 и спад интенсивности, имеющий более плавный характер, чем нарастание, на момент 31 марта – 2 апреля 2025 г. ещё не завершился.

Следует отметить, что компоненты с лучевыми скоростями +40.8 км/с и +35.7 км/с синхронно меняют свою интенсивность, сохраняя примерно одинаковые значения, разойдясь на ~33 % к моменту 2 апреля 2025 г. Синхронность изменения компонент +40.8 км/с и +35.7 км/с позволяет предположить их связь с кольцевой структурой (радиус ~0.2", что соответствует $\sim 10^{16}$ см). Возможны следующие варианты синхронизма изменения этих компонент:

1. Расширяющаяся оболочка: если компоненты принадлежат одной оболочке, их скорости могут отражать её расширение. Разброс скоростей (± 2.5 км/с) соответствует расширению со скоростью ~5 км/с для радиуса 0.2" (10^{16} см).

2. Магнитное поле: наличие Зеемановского расщепления (Sarma et al., 2008) указывает на роль сильных магнитных полей (с предварительной оценкой величины $B \sim 10\text{--}100$ МГс) в синхронном механизме вспышек этих компонент.

Заключение

Источники W49N и G43.8-0.1 являются «молодыми» областями звездообразования, отличающимися высокой активностью, которая проявляется в виде квазипериодических вспышек потока мазерного радиоизлучения в отдельных компонентах спектра с характерным временем перехода из относительно спокойного в активное состояние от 3.9

до 12.1 года. Проведенный мониторинг потоков мазерного радиоизлучения в источниках W49N и G43.8-0.1 во время мощной вспышечной активности в конце 2024 г. на длине волны 1.35 см позволил зарегистрировать достаточно детально формы кривых изменения плотности потока радиоизлучения вспыхнувших компонент. Поляризация мазерного излучения воды и выявление эффектов Зеемана указывают на наличие довольно сильных магнитных полей во время вспышек, что может быть связано с динамическими процессами, происходящими в зоне звездообразования. Построенные кривые вспыхнувших компонент показывают непредсказуемость начала вспышки и её завершения, а также совершенно разный характер изменений отдельных компонент даже в пределах зоны одного источника.

Проведённые наблюдения в очередной раз подтвердили, что вспышки мазеров воды в W49N и G43.8-0.1 имеют сложную пространственную структуру, на которую влияют биполярные выбросы, расширяющиеся оболочки и магнитные поля (по данным поляризации). Синхронные изменения при $\Delta v > 10$ км/с требуют механизма, действующего на масштабах > 100 а.е. (джеты, ударные волны). Поляризационные данные (Q) подтверждают влияние полей > 10 МГс (Sarma et al., 2008) на динамику вспышек. Разный характер возникновения и затухания вспышек (и в W49N, и в G43.8-0.1 спад интенсивности после пика был медленнее роста) может указывать на разные нелинейные механизмы диссипации энергии (например, остыивание ударной волны или перераспределение энергии в источнике накачки). Относительная стабильность эталонных компонент позволяет использовать их для «самокалибровки», но требует объяснения механизма их устойчивости к произошедшей вспышке.

В качестве итога следует отметить, что для чёткого понимания происходящих в источнике

процессов необходимо проведение регулярных и достаточно частых наблюдений как на одиночном радиотелескопе, так и в режиме радиоинтерферометрических наблюдений отдельных деталей спектрального профиля (интерферометрического разрешения для точной локализации компонент) при выявлении вспышек.

Работа выполнена с использованием оборудования ЦКП/УНУ «Радиоинтерферометрический комплекс «Квазар-КВО».

Литература

Вольвач Л. Н., Вольвач А. Е., Ларионов М. Г. и др. Вспышка мазера водяного пара в высокоскоростной линии W49N // Письма в астрономический журнал. 2019. Т. 45, № 5, С. 367–376. Doi: 10.1134/S0320010819050073.

Гренков С. А., Рахимов И. А., Федотов Л. В. Регистрация радиоизлучения в спектральных линиях на основе многофункциональной цифровой системы преобразования сигналов // Труды ИПА РАН. 2023. Вып. 66. С. 11–17. Doi: 10.32876/AppIAstron.66.11-17.

Иванов В. П., Ипатов А. В., Рахимов И. А. и др. Спектры стандартных радиоисточников в современную

эпоху // Астрономический журнал. 2018. Т. 95, № 9. С. 609–618. Doi: 10.1134/S0004629918090050.

Лехг Е. Е. Вариации мазерного излучения H₂O источника G43.8-0.1 в период 1981–1994 гг. // Астрономический журнал. 1995. Т. 72, № 4. С. 532–538.

Genzel R., Downes D., Moran J. M., et al. H₂O in W51 Main: an explaining bubble around a yang massive star? // Astron. And Astrophys. 1979. Vol. 78. P. 239–247.

Gordon M. A. Radial-velocity corrections for Earth motion // Methods in Experimental Physics. Part C. Astrophysics, Radio Observation. 1976. Vol. 12. P. 277–283.

Matthews H. E., Shaver P. A., Goss W. M., Habin H. J. Observations of HII regions near OH 43.79-0.13 and OH 48.61+0.02 // Astron. And Astrophys. 1978. Vol. 63. P. 307–311.

Matveenko L. I., Graham D. A., Diamond P. J. The H₂O maser flare region in the Orion-KL nebula // Sov. Astron. Lett. 1988. Vol. 14. P. 468–476.

Sarma A. P., Troland T. H., Romney J. D., Huynh T. H. VLBA observations of the Zeeman effect in H₂O masers in OH 43.8-0.1 // The Astrophysical Journey. 2008. № 674. P. 295–303.

Zhang B., Reid M. J., Menten K. M., et al. Parallaxes of W49N and G048.6+0.02: distant star forming regions in the Perseus Spiral Arm // Astron. And Astrophys. 2013. Vol. 775. P. 13.