

УДК 523.9

Сверхмощная вспышка мазера водяного пара в источнике W49N¹

¹ Вольвач А. Е., ¹ Вольвач Л. Н., ² Ларионов М. Г.

¹ Отдел радиоастрономии и геодинамики,

Крымская астрофизическая обсерватория, Ялта, 298688, Российская Федерация

² Астрокосмический центр Физического института им. П. Н. Лебедева РАН

Москва, 117810, Российская Федерация

volvach@bk.ru

Получено: 9 июля 2019 г.

Отрецензировано: 13 сентября 2019 г.

Принято к публикации: 16 сентября 2019 г.

Аннотация: С помощью RT-22 зарегистрирована самая мощная за всю историю наблюдения вспышка в линии +5.5 км/сек, начавшаяся в сентябре 2017 г. и продолжавшаяся в 2018 г. Получена детальная форма изменения спектральной плотности потока излучения источника в зависимости от времени. В максимуме поток превысил уровень $P \approx 8 \cdot 10^4$ Ян. Такое значение потока впервые было зафиксировано за все время наблюдений за объектом.

Ключевые слова радиотелескоп, радиоизлучение, вспышка, мазер.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Вольвач А. Е., Вольвач Л. Н., Ларионов М. Г. Сверхмощная вспышка мазера водяного пара в источнике W49N // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2019. Т. 2, № 3. С. 317—323.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Вольвач, А. Е. Сверхмощная вспышка мазера водяного пара в источнике W49N / А. Е. Вольвач, Л. Н. Вольвач, М. Г. Ларионов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2019. — Т. 2, № 3. — С. 317—323.

¹ Статья является расширенной версией доклада, представленного на 29-й Международной Крымской конференции «СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии» — КрыМиКо'2019 (Севастополь, РФ, 8—14 сентября 2019 г.).

Super water maser flare at W49N source

A. E. Volvach¹, L. N. Volvach¹, and M. G. Larionov²

¹ *Radio Astronomy and Geodynamics Department, Crimean Astrophysical Observatory
Yalta, 298688, Russian Federation*

² *Astro Space Center, P. N. Lebedev Physical Institute, RAS
Moscow, 117810, Russian Federation
volvach@bk.ru*

Received: July 9, 2019

Peer-reviewed: September 13, 2019

Accepted: September 16, 2019

Abstract: *Using the RT-22, the most powerful flare in the line of +5.5 km/s in W49N source was detected. A detailed form of the change in the spectral density of the radiation flux of the source as a function of time was obtained. Detailed analysis of the variations of the flux density, which reached a maximum value $P \approx 8 \times 10^4$ Jy, have led to important scientific conclusions about possible mechanisms for the emission in this water line.*

Keywords: *radio telescope, radio emission, flare, maser.*

For citation (IEEE): A. E. Volvach et al. “Super water maser flare at W49N source,” *Informations and Radio Technologies*, vol. 2, no. 3, pp. 317–323, 2019. (In Russ.).

1. Введение

Изучение природы областей звездообразования и их эволюции — от стадии молекулярных облаков до звезд — одно из наиболее актуальных и бурно развивающихся направлений современной астрофизики.

Существование мазерного излучения в межзвездной среде рассматривается в современной астрофизике как один из важнейших признаков процессов звездообразования. Первые космические мазеры были обнаружены в 1965 г. на молекулах OH. После открытия мазерного перехода $6_{16}—5_{23}$ в молекуле водяного пара в 1969 г. наблюдениями космических источников было установлено, что мазерное излучение связано с HII областями или с холодными звездами поздних спектральных классов.

Особенно ценную информацию также приносит мазерное излучение космических радиоисточников, излучающих в радиолиниях OH, H₂O, SiO и других молекул, что дает нам важные сведения о тех астрофизических объектах, с которыми они связаны. В 1971 году с учетом РТ-22 КрАО проведены первые в мире межконтинентальные РСДБ наблюдения источников в линиях водяного пара на частоте мазерного перехода $6_{16}—5_{23}$. До-

стигнуто угловое разрешение радиointерферометра РТ-22 (Симеиз) — РТ-37 (Хайстек) 0.1 мсек. дуги.

Мазерное излучение возникает в результате естественных процессов «накачки», которые действуют в атмосферах и оболочках некоторых звезд, в межзвездных газовых облаках, в атмосферах комет. В плотных оболочках вокруг протозвезд, где имеется нагрев среды, в том числе ударными волнами, протозвездными выбросами, или аккрецией, содержание H_2O может составлять 10^{-4} по отношению к плотности газовой составляющей.

В широком диапазоне скоростей (± 300 км/сек), в объекте W49N зарегистрировано множество линий мазера водяного пара. Большая часть из них сосредоточена в компактной области размером 0.1 пк. Было замечено, что источники, расположенные в таком небольшом объеме пространства и обладающие такой большой дисперсией скоростей, не могут представлять собой динамически стабильную систему [2].

Низкоскоростные детали мазерной линии водяного пара обнаруживают значительную переменность плотности потока в диапазоне от часов до многих лет. Детальный мониторинг плотности потока обнаружил его возрастание до 80 кЯн [3]. Задержка по времени между излучением компонент в источнике W49N в мазерной области размерами $\sim 2 \cdot 10^{17}$ см соответствует распространению возмущения со скоростью света, что может указывать на радиационный механизм накачки мазера [4].

2. Оборудование и наблюдения

Наблюдения проводились с помощью 22-м радиотелескопа РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории в Симеизе. Высокочувствительная приемная система на длину волны 1.35 см была установлена во вторичном фокусе РТ-22. Для приема и регистрации сигналов от источников в линии водяного пара на РТ-22 КрАО использовался модернизированный спектрально-поляриметрический радиометр с фурье-спектральным анализатором параллельного типа, который имел 512 и/или 2048 каналов и разрешение 8 и 2 кГц (105 и 26 м/с по лучевой скорости в линии H_2O) соответственно [1, 6]. Полученные при наблюдениях спектральные данные корректировались с учетом поглощения в атмосфере и изменения эффективной площади радиотелескопа от угла места.

Перестраиваемые гетеродины синхронизировались высокостабильной частотой 5 МГц от водородного стандарта частоты VCH-1005 и обеспечивали преобразование входных частот приема в промежуточную частоту с указанной выше полосой [5]. Весь цикл наблюдений линий мазера

водяного пара состоял в накоплении сигнала в течение 5—10 минут при наведении на источник (*on*) и при отведении с источника на градус в сторону от источника (*off*). Циклы могли повторяться для достижения необходимого отношения сигнал/шум.

3. Результаты

Регулярный длительный мониторинг *W49N* был начат с сентября 2017 г. и проводился параллельно с наблюдениями мазера *IRAS 18316-0602*, в котором в это время была зафиксирована развивающаяся мощная вспышка. Данные спектральных измерений снимались с интервалами времени (1-2) дня. На рис. 1 показана зависимость спектральной плотности потока излучения в линии водяного пара на скорости около 6 км/сек, полученной по максимумам спектральной линии [8].

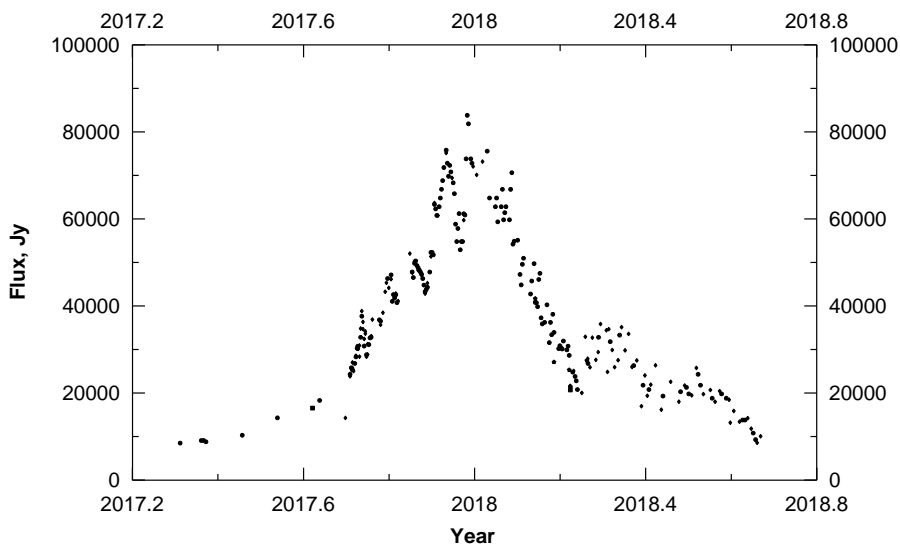


Рис. 1. Долговременный мониторинг *W49N* в линии водяного пара.

Fig. 1. Long-term monitoring of *W49N* in the water vapor line

По данным [7] *W49N* находится на расстоянии 11 кпк от Солнца и является одним из самых далеких мазеров внутри нашей Галактики. Можно использовать полученное расстояние до мазера для оценки болометрической светимости ассоциированного с ним ИК источника и класса возбуждающей звезды. Принимая во внимание необходимый параметр возбуждения, требуемый для компактной H_{II} области ($u=110 \text{ пк}\cdot\text{см}^{-2}$), интегральную инфракрасную светимость мы приходим к необходимости иметь

в качестве центрального источника массивную звезду раннего спектрального класса $O5$ со светимостью $L \sim 4 \cdot 10^5 L_{\odot}$, как источник первичного энерговыделения. То есть мы можем иметь дело с массивным горячим гигантом в десятки солнечных масс, способным ионизовать плотную среду вокруг себя на расстоянии ($10^{17} - 10^{18}$) см.

Образец записи линии водяного пара вблизи максимума вспышки 2017—2018 гг. показаны на рис. 2 [8].

Таким образом, источник *W49N* вместе с *IRAS 18316-0602* являются самыми мощными галактическими киломазерами. Если расположить *W49N* на расстоянии *Orion KL*, то поток был бы 50000 кЯн, что почти в 10 раз превышает максимальное значение самой мощной вспышки в Орионе за всю историю его наблюдения (≈ 6000 кЯн).

Гигантская вспышка мазера водяного пара в *W49N* началась с апреля 2017 г. и продолжалась в 2018 г. Анализ кривой мониторинга плотности потока во время вспышки позволяет сделать важные выводы.

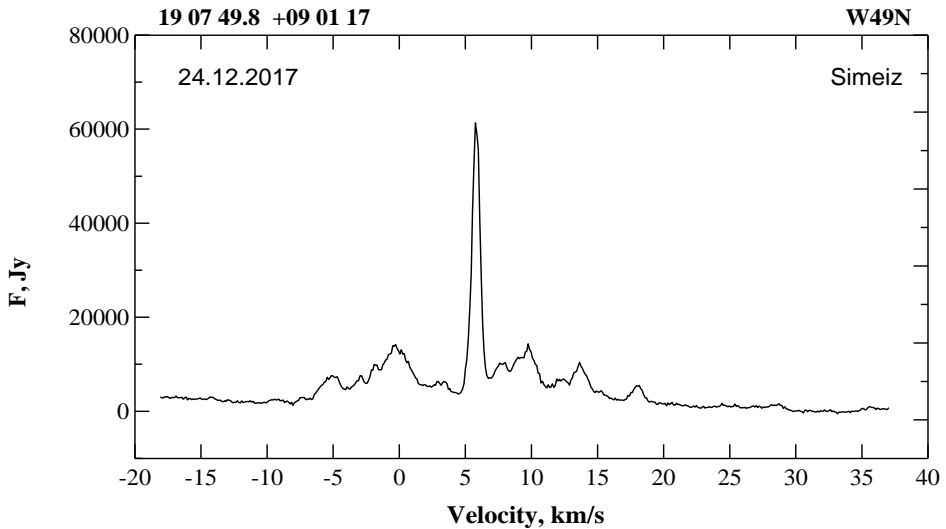


Рис. 2. Линия водяного пара в *W49N* в максимуме вспышки.

Fig. 2. The line of water vapor in *W49N* at maximum flash

Наблюдается картина быстрых изменений спектральных плотностей потоков линий, которые связываются, так или иначе, с изменениями активности центральной массивной звезды. Но остается главный вопрос: что является инициатором таких изменений в поведении центрального тела, обеспечивающего такие мощные вспышки мазеров водяного пара?

Всякая предлагаемая модель первичного энерговыделения в системе мазерных источников должна объяснять комплекс наблюдаемых проявлений, в которые входят как низкоскоростные мощные вспышки мазерного излучения, так и высокоскоростные детали излучения космических мазеров. Длительность процесса вспышки (рис. 1) составляет величину более года. Процесс активации мазера продолжался в течение 6 месяцев, после чего происходил спад плотности потока излучения. На то, что мазерная конденсация была, возможно, единственной, указывает факт наличия узкой линии излучения на фиксированной частоте и ее гауссообразная форма. Наблюдаемые параметры излучения в линии должны обеспечиваться высокой плотностью мазерного образования, его значительной массой и большим перепадом температуры, сохраняющимся в течение заметного промежутка времени (порядка нескольких месяцев). Необходимо указать на физический процесс, инициирующий поведение центрального тела и приводящий к изменению названных характеристик мазера в течение обозначенного времени со стремительным подъемом излучения и его спадом.

Естественно предположить, что заметная доля массивных звезд на ранней стадии эволюции являются двойными и кратными системами, образовавшимися в процессе эволюции газово-пылевого облака. В случае образования тесных массивных систем возникает мощное гравитационное взаимодействие и появляется возможность инициации источников первичного энерговыделения в газово-пылевых облаках посредством частичного сброса оболочки центральной массивной звезды из-за гравитационного воздействия со стороны компаньона в периастре системы. Частичные квазипериодические сбросы оболочек звезды в принципе могут обеспечить энергетику процесса и объяснить гигантские вспышки мазерного излучения, происходящие эпизодически раз в 10—20 лет.

4. Заключение

1. Зафиксирована детальная форма кривой плотности потока излучения во время уникальной гигантской вспышки, продолжавшейся с сентября 2017 г. в течение практически всего 2018 г.

2. Получены свидетельства того, что во время вспышки киломазер «работал» в ненасыщенном режиме: наблюдалась специфическая зависимость ширины линии от потока.

Благодарности

Авторы статьи выражают благодарность персоналу РТ-22 КрАО РАН за помощь в проведении наблюдений. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта №19-29-11005.

Список литературы

1. Wynn-Williams C. G. Radio Maps of Condensations in H II Regions // Monthly Not. Roy. Astron. Soc. 1971. Vol. 151. Pp. 397—420.
2. Стрельницкий В. С., Сюняев Р. А. О природе высоких скоростей источников H_2O в W49 // *Астроном. Ж.* 1972. Т. 49, вып. 4. С. 704—...
3. Sullivan W. T. Microwave Water Vapor Emission from Galactic Sources // *Astrophys. J. Suppl.* 1973. Vol. 25, ser. 222. Pp. 393—432.
4. Morgan J. M. et al. Very long baseline interferometric observations of the H_2O sources in W49N, W3(OH), Orion A, and VY Canis Majoris // *Astrophys. J.* 1973. Vol. 185. Pp. 535—567.
5. Gammon R. H. Correlated variability in W 49 (H_2O) // *Astron. and Astrophys.* 1976. Vol. 50, no. 1. Pp. 71—77.
6. Вольвач А. Е., Вольвач Л. Н., Стrepка И. Д., Antюфеев А. В., Мышенко В. В., Зубрин С. Ю., Шульга В. М. Некоторые результаты совместных исследований НИИ «КpAO» и РИ НАНУ областей звездообразования в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн // *Изв. Крымской Астрофиз. obs.* 2009. Том 104, № 6. С. 72—79.
7. Zhang B., Reid M. J., Menten K. M. et al. Parallaxes for W49N and G048.60+0.02 : Distant Star Forming Regions in the Perseus Spiral Arm // *ApJ.* 2013. Vol. 775:79, no 1.
8. Вольвач Л. Н., Вольвач А. Е., Ларионов М. Г., МакЛеод Г. К., ван ден Хеever С. П., Волак П., Олеч М., Ипатов А. В., Иванов Д. В., Михайлов А. Г., Мельников А., Мен-тен К., Беллоче А., Вейс А., Мазумдар П., Шуллер Ф. Гигантская вспышка мазера водяного пара в галактическом источнике IRAS 18316-0602 // *Астрономический журнал.* 2019. Т. 96, № 1. С. 51—69.

Информация об авторах

Вольвач Лариса Николаевна, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Вольвач Александр Евгеньевич, доктор физико-математических наук, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, Российская Федерация.

Ларионов Михаил Григорьевич, доктор физико-математических наук, заместитель руководителя Астрокосмического центра Физического института им. П. Н. Лебедева РАН г. Москва, 117810, Российская Федерация.

Information about the authors

Larisa N. Volvach, PhD. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Alexandr E. Volvach, Dr. Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea, Russian Federation.

Michail G. Larionov, Dr. Sci., Astro Space Center, P. N. Lebedev Physical Institute, RAS, Moscow, Russian Federation.