

УДК 523.9

РТ-22 КрАО — патрулирование мазерных H_2O источников

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

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

Статья поступила: 20 февраля 2019 г.

Отрецензировано: 1 марта 2019 г.

Принято к публикации: 12 марта 2019 г.

Аннотация: Представлены результаты систематических наблюдений выборки ярких мазеров H_2O ($G25.65++1.05$, $G25.825-0.178$, $G27.184-0.082$, $G34.403+0.233$, $G35.20-0.74$, $G43.8-0.13$, $G107.30+5.64$) с потоком, в среднем, более 200 Ян в главной детали спектра за период с апреля по сентябрь 2017 г., выполненных в рамках подготовки к проведению интерферометрических наблюдений со сверхдлинными базами с участием радиотелескопа РТ-22 (Крымская астрофизическая обсерватория РАН). Все источники на рассмотренном промежутке времени обнаруживают достаточно сильную переменность, в пределах от ~40 до ~2300 Ян. В источнике $G25.65+1.05$ на дату 07.09.2017 зарегистрирована вспышка излучения до ~17 000 Ян на скорости 42.8 км/с, впоследствии развившаяся до 60 кЯн в конце сентября 2017 г. Этот факт может говорить о наличии в данных мазерах компактных структур.

Ключевые слова: радиотелескоп, радиоизлучение, вспышка, мазер.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008): Вольвач Л. Н., Вольвач А. Е., Дмитроца А. И. РТ-22 КрАО — патрулирование мазерных H_2O источников // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. 2019. Т. 2, № 1. С. 13—21.

Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011): Вольвач, Л. Н. РТ-22 КрАО — патрулирование мазерных H_2O источников / Л. Н. Вольвач, А. Е. Вольвач, А. И. Дмитроца // Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии. — 2019. Т. 2, № 1. — С. 13—21.

RT-22 CrAO – H₂O maser sources patrolling

L. N. Volvach¹, A. E. Volvach¹, M. G. Larionov², and A. I. Dmitrotsa¹

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: February 20, 2019

Peer-reviewed: March 1, 2019

Accepted: March 12, 2019

Abstract: Results of systematic observations of a sample of bright H₂O maser sources with fluxes, on average, exceeding 200 Jy in their main spectral feature during April–September 2017 (G25.65+1.05, G25.825–0.178, G27.184–0.082, G34.403+0.233, G35.20–0.74, G43.8–0.13, G107.30+5.64) are presented. These observations were carried out in preparation for Very Long Baseline Interferometry observations with an array including the Crimean Astrophysical Observatory 22-m radio telescope. All these sources display fairly strong variability during the time interval considered, encompassing fluxes from ~40 to ~2300 Jy. A flare reaching ~17 000 Jy was detected at a velocity of 42.8 km/s in G25.65+1.05 on September 7, 2017, which subsequently grew to 60 000 Jy at the end of September 2017. This suggests the presence of compact maser structures.

Keywords radio telescope, radio emission, flare, maser.

For citation (IEEE): A. E. Volvach et al. “Monitoring of the 2014–2018 flare event in blazar 3C454.3,” *Infocommunications and Radio Technologies*, vol. 2, no. 1, pp. 13–21, 2019. (In Russ.). doi: 10.15826/icrt.2019.02.1.02

1. Введение

Быстрое развитие астрофизики, как и появление новых возможностей наблюдений, позволило детально исследовать физические процессы в межзвездной среде. 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 $b_{16} — 5_{23}$ в молекуле водяного пара в 1969 г. наблюдениями космических источников было установлено, что мазерное излучение связано с III областями или с холодными звездами поздних спектральных классов [1].

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 участием РТ-22 КрАО проведены первые в мире межконтинентальные РСДБ наблюдения источников в линиях водяного пара на частоте мазерного перехода $\nu_{16} - \nu_{23}$. Достигнуто угловое разрешение радиоинтерферометра РТ-22 (Симеиз) — РТ-37 (Хайстек) — 0.1 мсек. дуги. В галактических объектах были найдены скопления H₂O источников и обнаружена мощная вспышка в комплексе W49.

Областей образования массивных звезд, по сравнению с областями образования звезд промежуточной и средней массы, известно мало. Основных причин называют две: быстрый процесс эволюции и глубокое погружение в плотное молекулярное облако, что из-за сильного поглощения затрудняет обнаружение и наблюдение их формирования на ранней стадии эволюции [2]. При этом роль массивных звезд в эволюции межзвездной среды очень велика. Их воздействие изменяет физические условия в ней, провоцирует процесс начала звездообразования в окрестности массивной звезды и появление многих пекулярных объектов. Они дают нам информацию об условиях фрагментации молекулярных облаков и об образовании первичных кластеров протозвезд, глубоко погруженных в газ и пыль, ускоряют химическую эволюцию окружающей среды, способствуют нагреву пыли и испарению сложных молекул с поверхности пылинок, увеличивая тем самым их обилие.

Во многих случаях в таких областях, кроме тепловых линий молекул, наблюдаются молекулярные мазерные линии, наиболее распространенными из которых являются линии гидроксила OH, H₂O и многочисленные линии метанола, т. е. высвечивается ряд мазерных линий наиболее распространенных молекул при распаде их инвертированных состояний.

Модернизация и введение в действие на РТ-22 КрАО новых сверхчувствительных приемных комплексов позволили начать многочастотные наблюдения мазерных источников: от дециметрового до миллиметрового диапазонов длин волн, в том числе и мазеров в атмосферах комет.

Такой широкий диапазон позволил начать изучение практически всех известных космических мазеров, а также начать исследование мазеров в атмосферах комет. Следует отметить, что лишь на нескольких радиотелескопах в мире реализованы такие возможности для наблюдений. Это объясняется необходимостью создания сложных приемных систем, требующих учета специфики наблюдений в каждой части широкого диапазона длин волн.

В данной работе представлены результаты наблюдений мазерных источников H_2O в нескольких областях образования массивных звезд. Для этой программы наблюдений были отбраны источники (см. табл. 1), имеющие плотность потока в мазерной линии H_2O не менее 200 Ян в течение продолжительного периода.

Таблица 1. Источники, отобранные для программы наблюдений мазеров H_2O на РТ-22 КрАО.

Источник	RA J2000	DEC J2000	VLSR, км/с	Расстояние, кпк
G25.65+1.05	18 ^h 34 ^m 20.84 ^s	-05°59'42.20"	41.9	2.08
G25.825-0.178	18 39 03.60	-06 24 11.17	80.3	6.3
G27.184-0.082	18 41 13.21	-05 09 05.13	18.3	1.2
G34.403+0.233	18 53 18.00	+01 25 26.00	54.7	1.5
G35.20-0.74	18 58 13.21	+01 40 35.29	31.2	2.2
G43.8-0.13	19 11 54.01	+09 35 50.52	37.5	11.8
G107.30+5.64	22 21 27.61	+63 51 45.30	-7.1	0.76

2. Оборудование и наблюдения

Наблюдения проводились с помощью 22-м радиотелескопа РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории в Симеизе. Эффективная площадь антенны РТ-22 на длине волны 1.35 см равна 220 м². Ширина диаграммы направленности антенны на половине мощности сигнала на частоте 22 ГГц составляет 2.52' ± 0.01'. Наведение антенны на исследуемый объект осуществляется с точностью не хуже 2.5" [3]. 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 [4]. Полученные при наблюдениях спектральные данные корректировались с учетом поглощения в атмосфере и изменения эффективной площади радиотелескопа от угла места.

Полоса приема информации составляла 4 МГц при использовании системы регистрации Марк-5В+. Программное обеспечение создано в отделе радиоастрономии КрАО. Шумовая температура системы $T_{\text{ш}}$ и поглощение в атмосфере определялись по калибровочной ступеньке, «разрезам

атмосферы» и фиксированным температурным перепадам на апертуре радиотелескопа. Шумовая температура $T_{ш}$ варьировалась в пределах 150—200 К в зависимости от погодных условий. Калибровка по потоку осуществлялась с использованием источников DR 21, Vir-A, Cyg-A. Ширина диаграммы направленности радиотелескопа на 22 ГГц составляла 150 угл. сек. Чувствительность радиотелескопа была 13 Ян/К [5].

Цикл наблюдений мазерных линий 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.

С 25 апреля по 07 сентября 2017 г. было проведено 5 сеансов наблюдений 7 источников мазерного излучения из табл. 1.

3. Результаты

Все источники обнаруживают достаточно сильную переменность на масштабе нескольких месяцев, что может говорить о наличии в этих объектах компактных структур (мазерных пятен), делающих их интересными с точки зрения интерферометрических исследований (рис. 1.).

Плотность потока различных компонентов в спектрах на протяжении 5 месяцев покрывает диапазон от ~40 до ~2300 Ян, а в источнике G25.65+1.05 зарегистрирована вспышка излучения до ~17 000 Ян на скорости 42.8 км/с на дату 07.09.2017, впоследствии получившая развитие до 60 кЯн в конце сентября 2017 г. [6]. Большинство мазерных деталей в спектрах выборки имеют плотность потока в пике в среднем от 200 до 400 Ян, что отвечает наблюдательному критерию выборки (не слабее 200 Ян).

На рис. 2 для каждого источника представлена зависимость от времени интегральной плотности потока во всех компонентах спектра (верхние панели рисунков) и плотности потока максимального пика (нижние панели рисунков). Эти графики иллюстрируют общую активность мазеров в течение всего периода наблюдений. Как видно из рис. 2, у источников G25.65, G25.825 и G35.20 имеется тенденция к возрастанию интегральной плотности потока по всему спектру в течение всего периода наблюдений, а источники G27.184, G34.403 и G43.8 постепенно снижали свою интегральную яркость [7]. Источник G107.3 в указанный промежуток времени то возрастал, то убывал как по интегральной яркости, так и по плотности потока максимального пика. Как правило, изменение интегральной плотности потока источников коррелирует с изменением плотности потока наиболее яркой детали, за исключением G27.184 и G34.403, в которых эти зависимости были противоположны друг другу большую часть периода наблюдений.

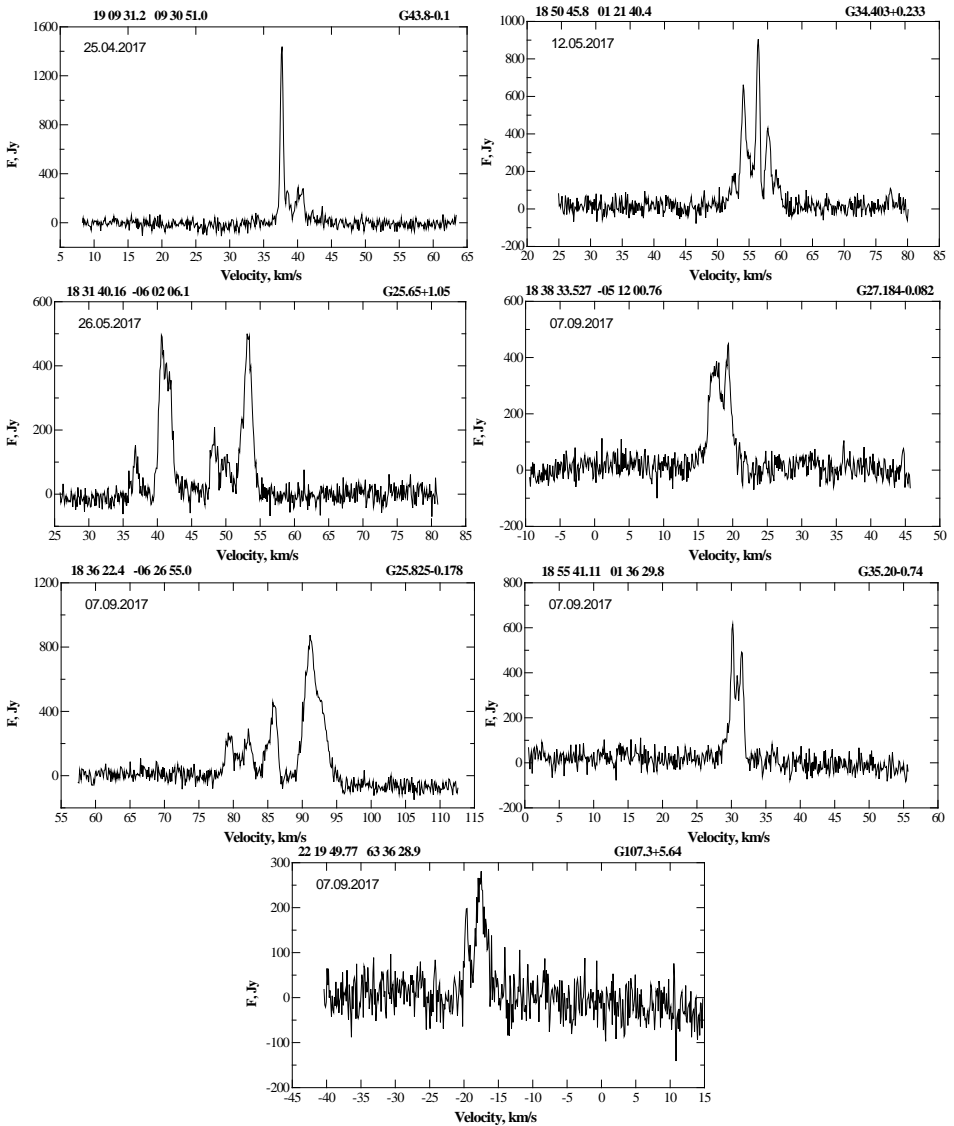


Рис. 1. Спектры мазерных источников.

Fig. 1. Spectra of maser sources

За время наших наблюдений источник G25.65 испытал наиболее мощные вспышки с возрастанием плотности потока основной мазерной детали в несколько сот раз относительно «спокойного» состояния [8].

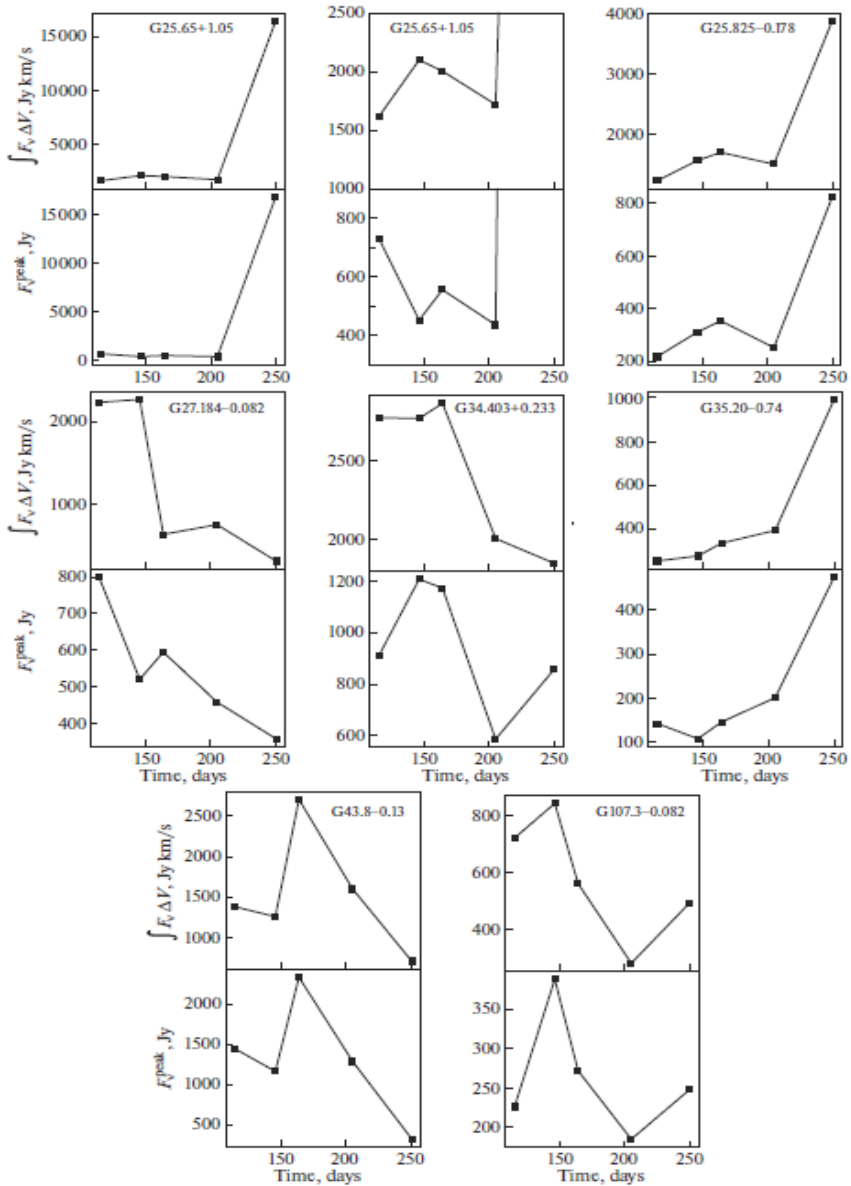


Рис. 2. Зависимость интегральной плотности потока (верхние панели) и плотности потока максимального пика в спектре (нижние панели) от даты наблюдений [7].

Fig. 2. Dependence of the integrated flux density (upper panels) and flux density of the maximum peak in the spectrum (lower panels) on the date of observation [7]

Можно связать такие вспышки с процессами в околозвездном диске. Выше упоминалась одна из возможностей — рост потока ИК-излучения в центральной части области при всплеске аккреции вещества на центральный звездный объект [9], или воздействие на мазерную область ударной волны, возникшей при этом эпизоде аккреции. Мазер может также вспыхнуть, например, при совмещении на луче зрения двух или более протопланетных мазерных конденсаций, движущихся по кеплеровским орбитам вокруг центрального объекта и усиливающих излучение H_2O в ненасыщенном режиме.

Более длительный мониторинг плотности потока и картографирование мазерных деталей в различных молекулярных переходах в таком типе источников позволит сделать выбор между этими гипотезами.

4. Заключение

1. Выполнен мониторинг семи источников мазерного излучения в линии H_2O в областях образования массивных звезд. Проведен анализ полученных наблюдательных данных и проведено сравнение спектров с данными более ранних работ.

2. Все наблюдавшиеся в данной работе мазеры H_2O демонстрируют сильную переменность, что представляет проблему для постановки интерферометрических наблюдений.

Источники финансирования и выражение признательности

Авторы статьи выражают благодарность персоналу РТ-22 КрАО РАН за помощь в проведении наблюдений. Работа частично поддержана грантом РФФИ 18-42-910018.

Список литературы

1. Cheung A. C., Rank D. M., Townes C. H. и др. Detection of Water in Interstellar Regions by its Microwave Radiation // *Nature*. 1969. Т. 221, № 5181. С. 626—628.
2. Bally J., Cunningham N., Moeckel N. и др. Nearby regions of massive star formation // *Massive star birth : A crossroads of Astrophysics*, IAU Symposium Proceedings of the international Astronomical Union. Т. 227. Cambridge : Cambridge University Press, 2005. С. 12—22.
3. Моисеев И. Г., Нестеров Н. С. Калибровочные радиоисточники в миллиметровом диапазоне волн // *Изв. Крым. астрофиз. obs.* 1985. Т. 73. С. 154—165.
4. Нестеров Н. С., Вольвач А. Е., Стрелка И. Д. и др. Приемное устройство на частоту 22 ГГц для международной РСДБ станции «Симеиз» // *Радиофизика и радиоастрономия*. 2000. Т. 5, № 3. С. 320—322.
5. Вольвач А. Е., Вольвач Л. Н., Стрелка И. Д. и др. Некоторые результаты совместных исследований НИИ «КрАО» и РИ НАНУ областей звездообразования в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн // *Изв. Крымской Астрофиз. obs.* 2009. Т. 104, № 6. С. 72—79.

6. Volvach A. E., Volvach L. N., MacLeod G. и др. Detection of a Bright H₂O Maser Burst from G25.65+1.05 at the Simeiz Radio Telescope RT-22 // *The Astronomer's Telegram*. 2017. № 10728.
7. Shakhvorostova N. N., Vol'vach L. N., Vol'vach A. E. и др. Search for H₂O Maser Flares in Regions of Formation of Massive Stars // *Astronomy Reports*. 2018. Т. 62, № 9, С. 584—608.
8. Volvach L. N., Volvach A. E., Larionov M. G. и др. Powerful bursts of water masers towards G25.65+1.05 // *Monthly Not. Roy. Astron. Soc. : Letters*. 2019. Т. 482, № 1. С. L90—L92.
9. Вольвач Л. Н., Вольвач А. Е., Ларионов М. Г. И др. 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.

Дмитроца Андрей Иванович, научный сотрудник ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН», пгт. Научный, Крым, 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.

Andrej I. Dmitrotsa, Sci., FSBSI “Crimean Astrophysical Observatory of RAS”, Nauchni, Crimea.