

УДК 523.9

## **Гигантские вспышки мазера метанола в G358.931-0.030 и возможность детектирования гравитационных волн от тесных массивных звездных систем**

<sup>1</sup> Вольвач Л. Н., <sup>1</sup> Вольвач А. Е., <sup>2</sup> Ларионов М. Г., <sup>1</sup> Дмитроца А. И.

<sup>1</sup> Отдел радиоастрономии и геодинамики,

Крымская астрофизическая обсерватория, Ялта, 298688, Российская Федерация

<sup>2</sup> Физический институт им. П. Н. Лебедева РАН,

Астрокосмический центр, Москва, Российская Федерация

volvach@bk.ru

Получено: 29 февраля 2020 г.

Отрецензировано: 9 марта 2020 г.

Принято к публикации: 12 марта 2020 г.

**Аннотация:** С помощью радиотелескопа RT-22 в Симеизе проведен мониторинг линий метанола  $\text{CH}_3\text{OH}$  на частотах 19.967 ГГц (переход  $2_1 \rightarrow 3_0 E$ ) и 20.971 ГГц (переход  $10_1 \rightarrow 11_2 A$ ) в направлении на массивную область активного звездообразования G358.931-0.030. Зафиксированы две вспышки мазерного излучения. Проведен мониторинг вспышечного явления, произошедшего на частоте 19.967 ГГц. Галактические тесные двойные системы, состоящие из массивных звезд, находящиеся на стадии предшествующей главной последовательности, могут быть мощными источниками гравитационных волн.

**Ключевые слова:** радиотелескоп, радиоизлучение, вспышка, мазер, гравитационные волны.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008):** Вольвач Л. Н., Вольвач А. Е., Ларионов М. Г., Дмитроца А. И. Гигантские вспышки мазера метанола в G358.931-0.030 и возможность детектирования гравитационных волн от тесных массивных звездных систем // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2020. Т. 3, № 1. С. 24—31.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011):** Вольвач, Л. Н. Гигантские вспышки мазера метанола в G358.931-0.030 и возможность детектирования гравитационных волн от тесных массивных звездных систем / Л. Н. Вольвач, А. Е. Вольвач, М. Г. Ларионов, А. И. Дмитроца // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2020. — Т. 3, № 1. — С. 24—31.

# Giant methanol maser flares in G358.931-0.030 and possibility of detecting gravitational waves from close massive stellar systems

L. N. Volvach<sup>1</sup>, A. E. Volvach<sup>1</sup>, M. G. Larionov<sup>2</sup>, and A. I. Dmitrotsa<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Radio Astronomy and Geodynamics Department, Crimean Astrophysical Observatory,  
Yalta, 298688, Russian Federation

<sup>2</sup>Astro Space Center, Lebedev Physical Institute, Russian Academy of Sciences,  
Moscow, 117997 Russian Federation  
volvach@bk.ru

Received: February 29, 2020

Peer-reviewed: March 9, 2020

Accepted: March 12, 2020

**Abstract:** Using radiotelescope RT-22 in Simeiz, methanol lines of CH<sub>3</sub>OH were monitored at frequencies of 19.967 GHz (transition  $2_1 \rightarrow 3_0 E$ ) and 20.971 GHz (transition  $10_1 \rightarrow 11_2 A$ ) in the direction of the massive region of active star formation G358.931-0.030. Two flashes of maser radiation were recorded. Monitoring of the flare-up event that occurred at a frequency of 19.967 GHz was preached. Galactic close binary systems, consisting of massive stars at the stage of the preceding main sequence, can be powerful sources of gravitational waves.

**Keywords:** radiotelescope, radio emission, flare, maser, gravitational waves.

**For citation (IEEE):** L. N. Volvach, A. E. Volvach, M. G. Larionov, and A. I. Dmitrotsa, "Giant methanol maser flares in G358.931-0.030 and possibility of detecting gravitational waves from close massive stellar system" *Infocommunications and Radio Technologies*, 2020, vol. 3, no. 1, pp. 24–31.

## 1. Введение

В нашей Галактике имеются массивные зоны активного звездообразования, большинство из которых находятся в направлении на ее центральную область. Проблема изучения сверхмассивных звезд ( $\sim 60 M_{\odot}$ ) состоит в том, что их эволюция скрыта от наших глаз гигантским поглощением электромагнитного излучения. Время жизни таких объектов в тысячи раз меньше, чем у нормальных звезд. Именно мазеры (в том числе и CH<sub>3</sub>OH) являются указателями областей [1, 2], в которых происходят процессы рождения сверхмассивных звезд.

Менее изучен на данный момент массивный комплекс звездообразования G358.931-0.030 из каталога компактных источников (CSC) с пото-

ком 1.4 Ян на длине волны 870  $\mu$  [3]. Объект G358.931-0.030 включен в международную мониторинговую наблюдательную программу [4, 5].

Регистрации линий вблизи малоисследованного диапазона частот 19.9 ГГц и 20.9 ГГц была проведена на РТ-22 в Симеизе в период с 23 января 2019 г. по 5 марта 2019 г.

## 2. Оборудование и наблюдения

Наблюдения проводились с помощью 22-метрового радиотелескопа РТ-22 Крымской астрофизической обсерватории в Симеизе. Приемник диапазона 18—26 ГГц был установлен во вторичном фокусе РТ-22. Высокостабильная частота 5 МГц от водородного стандарта *VCH-1005* подавалась на перестраиваемые по частоте гетеродины. При этом обеспечивалось преобразование входных частот приема в промежуточную частоту с указанными значениями полос [6]. Наблюдательный цикл состоял из накопления сигнала в течение 5—10 минут при наведении на источник и столько же при отведении с источника на фиксированное расстояние  $0.5^\circ$ . Циклы повторялись для достижения заданного отношения сигнал/шум.

Весь процесс наблюдений проходил в автоматическом режиме под управлением модернизированной программы «field system». Это касалось наведения антенны на источник, сопровождения источника, отведения с источника, проведения калибровочных процедур и перестройки гетеродинов.

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.

Первичная обработка наблюдательных данных осуществлялась в режиме «on-line», что обеспечивало возможность оперативно вносить коррекции в наблюдательный процесс.

## 3. Результаты

Наблюдения проводились на частотах метанольных линий 19.967 ГГц и 20.971 ГГц в период с 23 февраля по 5 марта и были инициированы сообщением о появлении вспышки мазера метанола на частоте 6.7 ГГц в G358.931-0.030 [7].

В результате сразу было обнаружено мазерное излучение на частоте 19.967 ГГц в диапазоне скоростей от  $-14$  до  $-18$  км/с, представляющее собой совокупность отдельных линий от источников с близкими скоростями. На рис 1. показана спектральная линия излучения метанола вблизи частоты 19.9 ГГц [3, 4].

На рис 2. показана линия метанола  $\text{CH}_3\text{OH}$ , впервые зарегистрированная на частоте 20.971 ГГц в источнике G358.931-0.030 [3, 4].

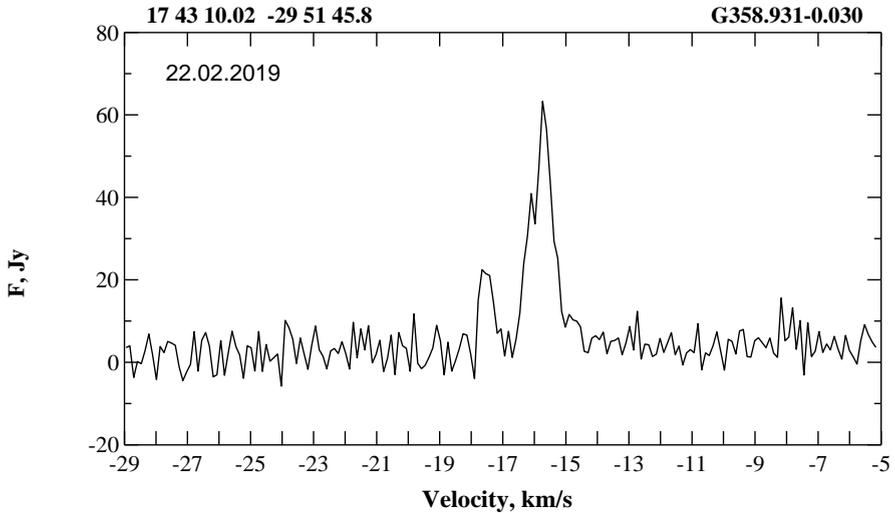


Рис. 1. Линия метанола  $\text{CH}_3\text{OH}$ , зарегистрированная на частоте 19.967 ГГц в источнике G358.931-0.030.

Fig. 1. The methanol line  $\text{CH}_3\text{OH}$ , recorded at a frequency of 19.967 GHz in the source G358.931-0.030

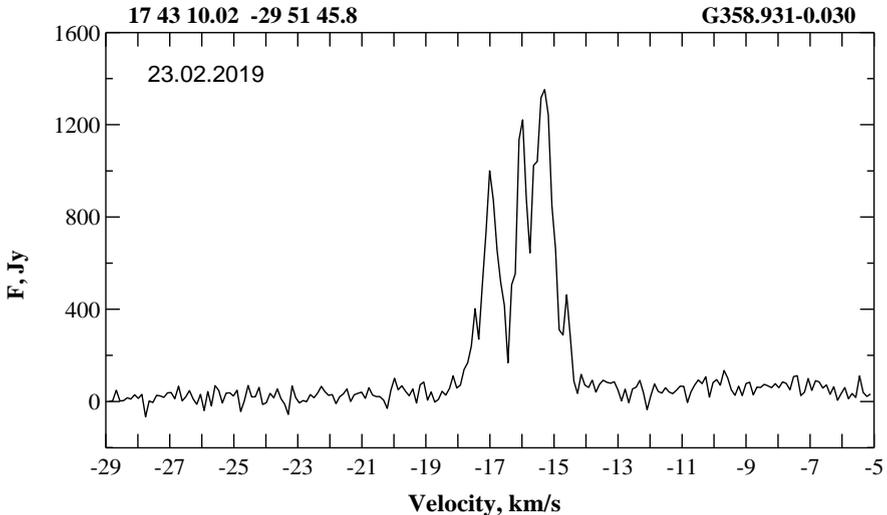


Рис. 2. Линия метанола  $\text{CH}_3\text{OH}$ , зарегистрированная на частоте 20.971 ГГц в источнике G358.931-0.030.

Fig. 2. Methanol  $\text{CH}_3\text{OH}$  line recorded at a frequency of 20.971 GHz in source G358.931-0.030

Общая продолжительность вспышки составляет около полутора месяцев и поэтому может относиться к разряду коротких вспышечных явлений. В этом смысле она ничем не отличается от коротких вспышек мазера водяного пара [8]. Корректность такого сравнения заключается в том, что энергетические переходы в рассматриваемых линиях метанола и водяного пара близки.

Вспышки излучения мазера метанола  $\text{CH}_3\text{OH}$  менее мощные, чем гигантские всплески мазеров водяного пара  $\text{H}_2\text{O}$ . В дополнении к этому, активность мазеров метанола в линиях диапазона 19—25 ГГц заметно ниже, чем на более низких частотах.

С учетом сказанного про обилие рабочих молекул метанола в областях активного звездообразования, зафиксированную нами вспышку на частоте 20.971 ГГц можно сравнить с самой мощной вспышкой мазера водяного пара в галактическом источнике G25.65+1.05 [9]. Не вдаваясь в детали процесса возбуждения мазера метанола, можно предположить, что указанный механизм возможен для объяснения рассматриваемой мощной вспышки мазера метанола в источнике G358.931-0.030 на частоте 20.971 ГГц. Разницу на два порядка по сравнению с амплитудой гигантской вспышки мазера водяного пара в источнике G25.65+1.05 на частоте 22.231 ГГц можно объяснить существенно более низкой плотностью рабочих молекул метанола (на два-три порядка) в зонах высокой звездной активности.

Наличие близкой по времени другой вспышки на частоте 19.967 ГГц может свидетельствовать в пользу рядом расположенных мазерных структур в областях  $\sim 10^{17}$  см, которые представляют собой набор еще более мелких структур  $\sim (10^{15}—10^{16})$  см. Каждая вспышка состоит из ряда — 5 деталей, каждую из которых можно интерпретировать как излучение отдельной глобулы.

Таким образом, в массивной области активного звездообразования G358.931-0.030, как и в W49N, могут активироваться конденсации, излучающие мазеры метанола, мощную вспышку которого нам и удалось зафиксировать на частоте 20.971 ГГц. Менее мощная вспышка произошла на частоте 19.967 ГГц, которая, возможно, связана с соседней мазерной конденсацией.

Вспышки в G358.931 на частотах 19.967 ГГц и 20.971 ГГц обнаружены впервые.

Известно, что вокруг молодых массивных звезд в областях активного звездообразования расположены газово-пылевые молекулярные диски, в которых находятся мазерные глобулы. Так как в нашей Галактике больше половины двойных и кратных звезд, то и в случае G358.931 мы можем

иметь двойную (кратную) звездную систему с массой центральной звезды  $60M_{\odot}$  и компаньона  $(10—20) M_{\odot}$ . Мы предположили в работе [9], что тесная массивная звездная система (ТДС) может быть причиной возникновения гигантских вспышек мазеров воды в немногочисленных галактических киломазерах G25.65+1.05 и W49N.

ТДС в массивных галактических комплексах звездообразования могут излучать гравитационные волны (ГВ). В эксперименте по обнаружению гравитационных волн 11 февраля 2016 г., возможно, зафиксированы слияния объектов звездных масс. Не исключено, что индикаторами схождения кратных массивных звезд в фазе, близкой к слиянию, могут быть гигантские вспышки мазера воды. Такими массивными областями активного звездообразования являются Orion KL, G25.65+1.05, W49N, G45.47+9.95, NGC63341-MMI, S255IR-NIRS3, G358.93-0.03 и др. Кратные ТДС в таких областях могут излучать гравитационные волны в интервале  $10^{-8}—10^{-9}$  Гц (орбитальные периоды ТДС, составляющие 3—30 лет).

Мощность ГВ двойной системы для случая сверхмассивных черных дыр (СМЧД) была предложена Валлонен [10]:

$$dE/dt = L(\text{эрг/сек}) = \{[32 \cdot G^4 \cdot m_1^2 \cdot m_2^2 (m_1 + m_2) \cdot (1 + 73e^2/21 + 37e^4/26)]/[5c^5 \cdot a^5 (1 - e^2)^{1/2}]\}.$$

Здесь масса центральной СМЧД  $m_1$ , масса компаньона  $m_2$ , эксцентриситет  $e$ , большая полуось орбиты  $a$ , — значения параметров двойной системы.

Подставив ориентировочные значения параметров ТДС для W49N:  $m_1=60M_{\odot}$ ,  $m_2=20M_{\odot}$ ,  $e=0.7$ ,  $a=10^{13}$  см, получим светимость объекта  $L \approx 10^{31}$  эрг/сек. На поверхности Земли будет поток от источника равный  $S=L/4\pi R^2$ , где  $R$  — расстояние от источника до Земли. Если мазерный источник находится в известном галактическом комплексе Orion KL (400 пк), то  $S=5.8 \cdot 10^{-13}$  эрг/(сек·см<sup>2</sup>).

Для сравнения, мощность ГВ, идущих от самого известного источника OJ 287 составляет  $L_{\text{OJ 287}} \approx 6 \cdot 10^{43}$  эрг/сек [11]. Поток от него на поверхности Земли  $S_{\text{OJ 287}}=5.6 \cdot 10^{-13}$  эрг/(сек·см<sup>2</sup>), что практически совпадает с потоком от ТДС, находящейся в массивном комплексе активного звездообразования Orion KL.

Таким образом, нельзя исключить, что галактические ТДС, состоящие из массивных звезд, находящихся на стадии, предшествующей главной последовательности, могут быть мощными источниками ГВ. Следует заметить, что регистрировать ГВ от таких источников приходится на сверхнизких частотах порядка  $10^{-8}$  Гц, учитывая периоды обращения таких систем  $\sim 10$  лет. Выгоднее регистрировать ГВ во время вспышек при слия-

нии объектов, длящихся доли секунды и имеющие частотные полосы на много порядков шире, как это предполагается при использовании детекторов LIGO и LISA. А вот детекторы IPTA рассчитаны на детектирование именно низкочастотных ( $10^{-8}$ — $10^{-9}$ ) Гц гравитационных волн [12].

#### 4. Заключение

1. С использованием радиотелескопа РТ-22 выполнен мониторинг линий метанола  $\text{CH}_3\text{OH}$  на частотах 19.967 ГГц (переход  $2_1 \rightarrow 3_0 \text{ E}$ ) и 20.971 ГГц (переход  $10_1 \rightarrow 11_2 \text{ A}$ ) в массивной области активного звездообразования G358.931-0.030.

2. Впервые обнаружены новые линии метанола на этих частотах.

3. Зафиксирована мощная вспышка в метанольной линии на частоте 20.971 ГГц в этом объекте, представляющая собой совокупность излучения от отдельных мазерных конденсаций. Наличие сложных структур мазера метанола с такими потоками ранее не отмечалось.

4. Галактические ТДС, состоящие из массивных звезд, находящихся на стадии предшествующей главной последовательности, могут быть мощными источниками гравитационных волн.

#### Благодарности

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

#### Список литературы

1. Sugiyama K., Fujisawa K., Doi A., Honma M. et al. Mapping Observations of 6.7 GHz Methanol Masers with the Japanese VLBI Network // PASJ, 2008, vol. 60, pp. 23–35.
2. Bartkiewicz A., Szymczak M., van Langevelde H. J. European VLBI Network imaging of 6.7 GHz methanol masers // A&A, 2016, vol 587, A104.
3. Urquhart J. S., Moore T. J. T., Schuller F., et al. ATLASGAL – environments of 6.7 GHz methanol masers // MNRAS, 2013, vol. 431, pp. 1752–1776.
4. Volvach A. E., Volvach L. N., Larionov M. G., Mac-Leod G. C. Detection of Methanol Maser Flares Near 19.9 and 20.9 GHz toward the Massive Source of Active Star Formation G358.931-0.030 // Astronomy Letters, 2019, vol. 45, no. 11, pp. 764–769.
5. Volvach A. E., Volvach L. N., Larionov M. G., MacLeod G. C., van den Heever S. P., Sugiyama K. Monitoring a methanol maser flare associated with the massive star-forming region G358.93-0.03 // Monthly Notices of the Royal Astronomical Society : Letters, 2020, vol. 494, pp. L59–L63.
6. Вольвач А. Е., Вольвач Л. Н., Стрелка И. Д., Антюфеев А. В., Мышенко В. В., Зубрин С. Ю., Шульга В. М. Некоторые результаты совместных исследований НИИ «КраО» и

- РИ НАНУ областей звездообразования в сантиметровом и миллиметровом диапазонах длин волн // Изв. Крымской Астрофиз. обс., 2009, т. 104, № 6, с. 72—79.
7. Sugiyama K., Saito Y., Yonekura Y., Momose M. Bursting activity of the 6.668 GHz CH<sub>3</sub>OH maser detected in G 358.93-00.03 using the Hitachi 32-m // The Astronomer's Telegram, 2019, # 12446.
  8. Volvach L. N., Volvach A. E., Larionov M.G. et al. Powerful bursts of water masers towards G25.65+1.05 // Monthly Not. Roy. Astron. Soc., 2019, vol. 482, pp. L90–L92.
  9. Volvach L. N., Volvach A. E., Larionov M. G., MacLeod G. C., van den Heever S. P., Wolak P., Olech M., Ipatov A. V., Ivanov D. V., Mikhailov A. G., Mel'nikov A., Menten K., Belloche A., Weiss A., Mazumdar P., Schuller F. A Giant Water Maser Flare in the Galactic Source IRAS 18316-0602 // Astronomy Reports, 2019, vol. 63, no. 1, pp. 49–65.
  10. Valtonen M. J. New orbit solutions for the precessing binary black hole model of OJ 287 // Astrophysical Journal, 2007, vol. 659, pp.1074–1081.
  11. Hobbs G., Archibald A., Arzoumanian Z., Backer D., Bailes M., Bhat N. D. R. Burgay M., Burke-Spolaor S., Champion D. et al. The International Pulsar Timing Array project : using pulsars as a gravitational wave detector // Classical and Quantum Gravity, 2010, vol. 27, no. 8, p. 084013.
  12. Manchester R. N. The Parkes Pulsar Timing Array // ChJAS, 2006, vol. 6, pp. 139–147.

### Информация об авторах

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

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

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

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

### 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.