

УДК 524.3

## Необычное вспышечное явление мазера водяного пара в протозвездном источнике IRAS 16293-2422

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

<sup>1</sup> Отдел радиоастрономии и геодинамики,  
Крымская астрофизическая обсерватория, Ялта, 298688, Российская Федерация

<sup>2</sup> Астрокосмический центр Физического института им. П. Н. Лебедева РАН  
Москва, Российская Федерация  
volvach@bk.ru

Получено: 15 сентября 2021 г.

Отрецензировано: 16 сентября 2021 г.

Принято к публикации: 16 сентября 2021 г.

**Аннотация:** Получены и проанализированы данные длительного мониторинга молодого протозвездного источника IRAS 16293-2422, имеющего протопланетные газово-пылевые диски. Необычная по форме и продолжительности вспышка, длящаяся около полугода, состоит из шести коротких вспышек мазера, находящихся в ненасыщенном состоянии. Вспышки находятся на вершине седьмой, более продолжительной вспышки, которая своим излучением иницирует мазеры шести отдельных вспышек. Получены прямые доказательства гипотезы активации мазеров воды за счет увеличения длины пути накачки мазеров при каскадном усилении в мазерных пятнах, находящихся на луче зрения к наблюдателю. В связи с полученными данными рассмотрена структурная конфигурация источника.

**Ключевые слова:** звездные образования, звезды с экзопланетами, молекулы, радиолинии, водные мазеры.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.5—2008):** Вольвач А. Е., Вольвач Л. Н., Ларионов М. Г. Необычное вспышечное явление мазера водяного пара в протозвездном источнике IRAS 16293-2422 // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. 2021. Т. 4, № 1. С. 5—16.

**Для цитирования (ГОСТ 7.0.11—2011):** Вольвач, А. Е. Необычное вспышечное явление мазера водяного пара в протозвездном источнике IRAS 16293-2422 / А. Е. Вольвач, Л. Н. Вольвач, М. Г. Ларионов // *Инфокоммуникационные и радиоэлектронные технологии*. — 2021. — Т. 4, № 1. — С. 5—16.

# An unusual flare phenomenon of a water vapor maser in the protostellar source IRAS 16293-2422

A. E. Volvach<sup>1</sup>, L. N. Volvach<sup>1</sup>, and M. G. Larionov<sup>2</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: September 15, 2021

Peer-reviewed: September 16, 2021

Accepted: September 16, 2021

**Abstract:** Long-term monitoring data of the young protostellar source IRAS 16293-2422, having protoplanetary gas-dust disks, were obtained and analyzed. An uncommon in shape and duration flare, lasting about six months, consists of six short maser flares in an unsaturated state. The flares are at the top of the seventh, longer flare, which by its emission initiates the masers of six separate flares. Direct evidence has been obtained for the hypothesis of activation of water masers due to an increase in the length of the pumping path of masers during cascade amplification in maser spots located in the line of sight to the observer. In connection with the data obtained, the structural configuration of the source is considered.

**Keywords:** star formations, stars with exoplanet, molecules, radio lines, water masers.

**For citation (IEEE):** A. E. Volvach, L. N. Volvach, and M. G. Larionov, “An unusual flare phenomenon of a water vapor maser in the protostellar source IRAS 16293-2422”, *Infocommunications and Radio Technologies*, 2021, vol. 4, no. 1, pp. 5–16.

## 1. Введение

После обнаружения космических мазеров начался процесс изучения протозвездных образований, состоящих из низкотемпературных газа и пыли, в которых под действием агентов возбуждения возникает мазерное излучение. Важным направлением является исследование протопланетных дисков у звезд, которые имеют экзопланеты, от стадии молекулярных облаков в межзвездной среде до звезд с планетными системами. Особенно ценную информацию предоставляет мазерное излучение в радиолиниях, что дает нам важные сведения и о тех астрофизических объектах, с которыми они связаны. Мазерные линии и их связь с данными теоретических расче-

тов переноса излучения в этих линиях могут быть использованы для оценки физических параметров исследуемых объектов.

Молодая звездная система IRAS 16293-2422 (в дальнейшем — IRAS 16293), открытая уже более 30 лет назад, классифицируется исследователями как звездный источник класса «0», который имеет экзопланеты или образующие планетные пылевые диски [1—4]. Система представляет собой сложное комплексное образование, состоящее, возможно, из трех протозвезд массой около  $2M_{\odot}$ , вращающихся вокруг общего центра тяжести, включающая, кроме того, коллапсирующее облако размером 3000 АЕ и массой около  $2M_{\odot}$ . Интерферометрическими наблюдениями установлено существование вокруг двух протозвезд газово-пылевых дисков размерами 12 АЕ и менее 3.6 АЕ (IRAS 16293 A1 и A2), вращающихся по кеплерианским орбитам вокруг протозвезд [5]. A1 и A2 разделены расстоянием 40 АЕ и имеют период обращения около 530 лет. IRAS 16293B разделена расстоянием 800 АЕ от IRAS 16293 A1 и A2 [6]. Источник IRAS 16293 чрезвычайно активен и был отмечен тремя выбросами в двух направлениях, что говорит о присутствии активности двух протозвезд [7].

Возникновение мощного излучения мазера воды в IRAS 16293 указывает на наличие в нем для этого благоприятных условий, как с точки зрения температурного режима, так и плотности и степени ионизации. Хотя переход  $H_2O$  из стадии льда, впрессованного в пыль, в фазу водяного пара происходит при температуре около 130 К, ее недостаточно для эффективной работы «машины накачки мазера», основанной на столкновительно-столкновительных (CCr) процессах во вращательных переходах молекулах воды. Это происходит из-за высокого положения сигнальных уровней молекулы и необходимости иметь достаточную степень ионизации. Все это требует кинетических температур более 500 К. Обсуждение этого вопроса было начато нами в работе [8].

Одним из самых важных вопросов остается объяснение, что собой представляет источник первичной энергии, необходимой для активации мазера и конкретная физическая картина его реализации. В работе представлены новые уникальные данные мощного длительного вспышечного явления, произошедшего в IRAS 16293 в линии с радиальной скоростью около 6 км/с и анализ этого явления.

## 2. Наблюдения и обработка

22-метровый радиотелескоп в Симеизе был использован для наблюдений на частоте 22.235 ГГц  $6_{16} - 5_{23}$  перехода мазера водяного пара в источнике IRAS 16293. Входные сигналы усиливались высокочувствитель-

ным СВЧ приемником и поступали на спектрально-поляриметрический радиометр с параллельным Фурье-спектральным анализатором, разрешение которого по частоте и радиальной скорости в линии  $\text{H}_2\text{O}$  составляло соответственно 8 и 2 кГц (0.105 и 0.03 км/с) [9]. Полуширина диаграммы направленности радиотелескопа (FWHM) составляла 2.5 угл. мин., чувствительность 13 Ян/К. Температура шума приемной системы в зависимости от погодных условий варьировалась в пределах 120—150 К. В собранные данные вносилась коррекция на атмосферное поглощение и изменения эффективной площади радиотелескопа от угла места.

### 3. Результаты

Наблюдения мазера воды в линии 6 км/с были выполнены в период с января 2019 г. по январь 2021 г. (рис. 1). Интервал между съемом данных был 1—2 дня. Было зафиксировано необычное мощное вспышечное явление, длившееся около полугода и состоящее из шести отдельных вспышек, каждая из которых длилась менее месяца. Вспышки частично накладывались друг на друга по времени, что могло указывать на то, что они возникли в мазерных пятнах, принадлежащих одному мазерному скоплению. Несмотря на сложную конфигурацию длительного вспышечного явления, можно попытаться восстановить физическую картину явления. Для этого мы используем спектральной-временной метод исследований, основанный на одновременном использовании мониторинговых и спектральных данных. Мониторинговые данные вспышечного явления в IRAS 16293 показаны на рис. 1, где отмечены все шесть мощных вспышек.

Необычное явление возникло с резкого увеличения спектральной плотности потока, которая превысила 10 кЯн. После этого рост потока продолжился возникновением следующей вспышки и был подхвачен третьей вспышкой, плотность потока которой достигла 22 кЯн. Подъем и спад плотности потока каждой вспышки происходил по экспоненте, что не противоречит свойствам мазеров, находящихся в ненасыщенном состоянии. Продолжительность каждой из вспышек составила 20—25 дней по уровню, составляющему половину плотности потока. Из интерферометрических данных известно (например, для ORION KL), что размер мазерных пятен находится в пределах 0.5—2 АЕ. Эту величину можно рассматривать только как верхний предел, ибо существует рассеяние излучения в межзвездной среде или вблизи самого источника [10].

В настоящее время еще недостаточно данных, чтобы ответить на вопрос являются ли указанные размеры типичными для всех источников мазера воды в различных скоплениях одного и того же источника и тем более

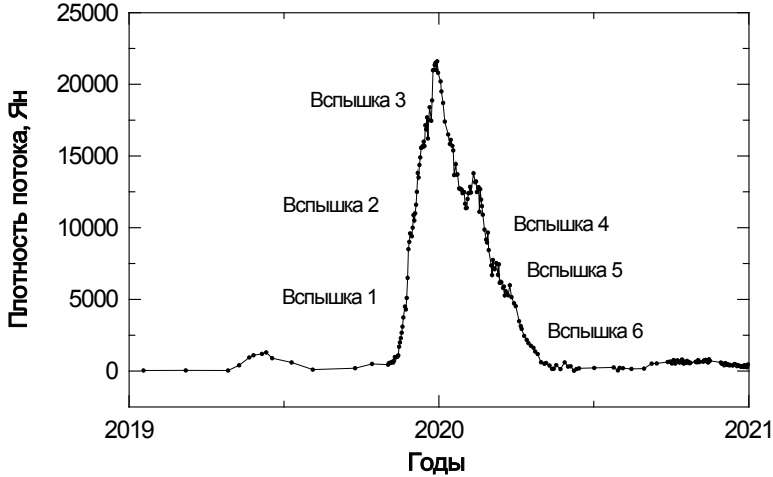


Рис. 1. Явление мощных вспышек вблизи радиальной скорости 6 км/с, произошедшее в IRAS 16293 с января 2019 по январь 2021 г.

Fig. 1. The phenomenon of powerful flares near a radial velocity of 6 km/s, which occurred in IRAS 16293 from January 2019 to January 2021

в различных объектах? Кроме того, одинаковы ли для всех источников скорости агентов, инициирующих мазерное излучение? Если ответ положительен, тогда продолжительность всех коротких мазерных вспышек, при которых мазеры находятся в ненасыщенном состоянии, должна быть одинакова во всех источниках. Для подтверждения или опровержения такой гипотезы необходимо иметь достаточное число похожих вспышек, зарегистрированных с высоким временным разрешением (как в нашем случае). Пока таких данных недостаточно и каждый подобный случай имеет важное значение для ответов на поставленные вопросы.

Но вернемся к рассмотрению нашего вспышечного явления. Если плотность потока вспышки растет и падает экспоненциально, то зависимость ширины линии от потока будет иметь зависимость, показанную на рис. 2 для вспышки 3. Спектр линии 6 км/с для вспышки 3 показан на рис. 3. Вид зависимости (рис. 2) предсказывается, когда мазер находится в ненасыщенном состоянии [11, 12]:

$$\Delta v = \Delta v_0 / [\sqrt{1 - \ln(S/S_0)}], \quad (1)$$

где  $\Delta v$  — полуширина линии радиальной скорости по уровню половины максимальной плотности потока,  $\Delta v_0$  — тепловая полуширина радиальной скорости линии для максимального значения плотности потока вспышки  $S_{\max}$ ,  $S$  — спектральная плотность потока,  $G = \ln(S/S_0)$  — усиление мазера,

$S_0$  — входная плотность потока в мазерном компоненте. Мы имеем линейную аппроксимацию (best-fit line) для шести вспышек, описываемую выражением [13]:

$$1/(\Delta v)^2 = a + b \cdot \ln S, \quad (2)$$

где  $a, b$  являются коэффициентами. После преобразований выражений (1, 2)

$$1/\Delta v^2 = [(1 - \ln S_0) + \ln S]/(\Delta v_0)^2. \quad (3)$$

В данном соотношении

$$a = (1 - \ln S_0)/(\Delta v_0)^2, \quad b = 1/(\Delta v_0)^2. \quad (4)$$

Для  $v_0$  и  $S_0$  мы получим выражение:

$$\Delta v_0 = (1/b)^{1/2}, \quad \ln S_0 = 1 - a \cdot (\Delta v_0)^2. \quad (5)$$

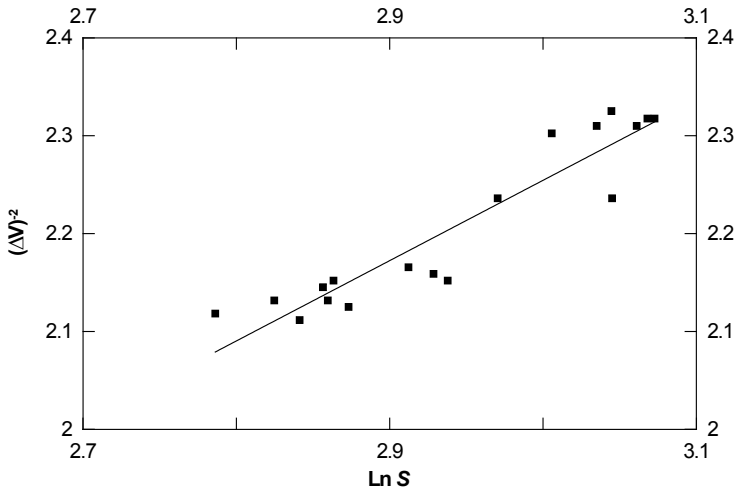


Рис. 2. Зависимость обратной величины квадрата полуширины линии от натурального логарифма плотности потока для вспышки 3 в IRAS 16293.

Fig. 2. Relationship of the reciprocal of the square of the half-width of the line on the natural logarithm of the flux density for flash 3 in IRAS 16293

В таблице 1 собраны значения параметров для всех вспышек. Для каждой вспышки, отмеченной на рис. 1, строилась зависимость, показанная на рис. 2 и по формулам 4, 5 определялись их параметры. Для всех вспышек зависимости  $(\Delta v)^{-2}/\ln(S)$  аппроксимировались прямыми линиями с положительным наклоном, что указывало на сужение линии при экспоненциальном увеличении плотности потока вспышки. Мазер ведет себя подобным образом, когда находится в ненасыщенном состоянии. Т. о., для шести вспышек были получены основания считать их мазеры ненасыщенными.

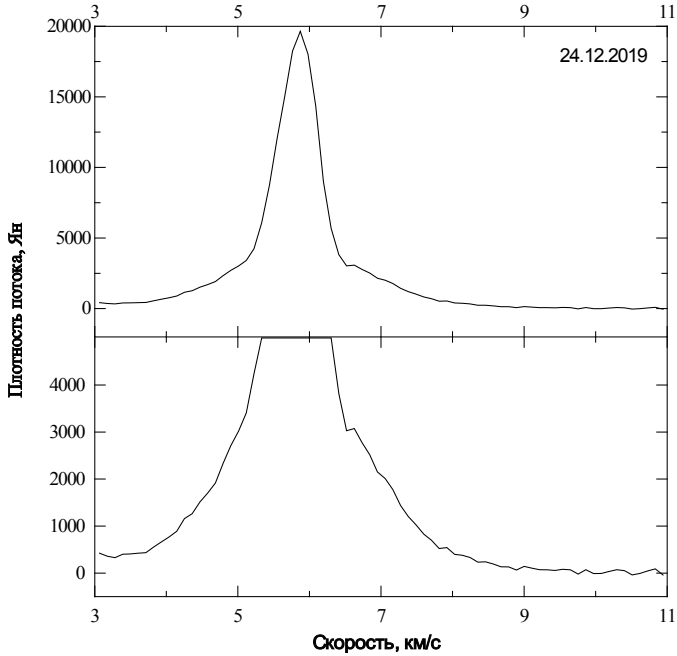


Рис. 3. IRAS 16293. Спектр линии вблизи 6 км/с для вспышки 3 (верхняя панель) и при ограниченном значении плотности потока 5 кЯн.

Fig. 3. IRAS 16293. Line spectrum near 6 km/s for flare 3 (top panel) and at a limited flux density of 5 kJy

Таблица 1. Характеристики вспышек в линиях около 6 км/с в IRAS16293

№ вспышки	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>R</i>	$\Delta v_0$ , км/с
1	0.106	1.535	0.94	0.81
2	0.100	1.490	0.96	0.82
3	0.248	1.670	0.85	0.77
4	0.124	1.506	0.82	0.81
5	0.010	1.756	0.79	0.77
6	0.009	1.755	0.87	0.75
$\Sigma/n$ and $\sigma$	0.102±0.088	1.642±0.243		0.79±0.05
№ вспышки	$S_0$ , кЯн	$S_{max}$ , кЯн	$G \ln(S_{max}/S_0)$	$T_k$ , К
1	2.51	9.5	1.33	222
2	2.54	16.0	1.84	228
3	2.35	22.0	2.24	200
4	2.51	13.5	1.64	222
5	2.71	7.5	1.02	200
6	2.70	5.0	0.62	190
$\Sigma/n$ and $\sigma$	2.55±0.11 ( $\Sigma/n=Flare7$ )			210±16

Примечания к таблице:  $a$ ,  $b$  — коэффициенты в формуле 2,  $R$  — доверительная вероятность выбранной аппроксимации для зависимости  $(\Delta v_0)^2 / \ln S$ ,  $\Delta v_0$  — полуширина линии при  $S_{\max}$  (максимальное значение плотности потока вспышки),  $S_0$  — входной поток для лазерной конденсации,  $G$  — коэффициент усиления лазера,  $T_k$  — кинетическая температура газа в каждом лазерном образовании, полученная в рамках рассматриваемой модели по ширине линий.

#### 4. Дискуссия

Анализируя приведенные данные для радиолиний вблизи лучевой скорости 6 км/с можно заметить, что линия каждой вспышки во время действия всех 6 вспышек находится на вершине другой, менее мощной, но более широкой линии (см., например, рис. 3). Это означает, что кроме шести отмеченных вспышек, существует седьмая, являющаяся базовой, поток которой, по-видимому, инициирует излучение всех вспышек. За время действия шести вспышек амплитуда седьмой меняется в пределах 1.5—4 кЯн. Ширина линии седьмой вспышки почти в 4 раза превышает ширины линий шести мощных вспышек. Это может свидетельствовать в пользу насыщенного состояния лазера этой вспышки.

Таблица 2. Измеренные характеристики вспышек вблизи скорости 6 км/с

№ вспышки	$\Delta v_{\text{измерен}}$ , км/сек	$T_k$ (измерен), К	$S_{\text{Вспышка7}}$ (измерен), кЯн	$\Delta v_{\text{Вспышка7}}$ , км/с	$T_k \text{ H}_2\text{O}$ Вспышка7, К
1	0.70	165	2.8	2.72	2500
2	0.67	150	1.8	2.80	2650
3	0.69	160	3.4	2.75	2556
4	0.75	190	2.0	2.50	2110
5	0.66	147	1.8	2.12	1520
6	0.89	266	0.8	1.90	1220
Средняя величина и среднеквадратичная ошибка	0.73±0.09	180±24	2.1±0.90	2.46±0.38	2100±570

Примечания к таблице:  $\Delta v_{\text{измерен}}$  — измеренная полуширина линии,  $T_k$  (измерен) — кинетическая температура газа в каждом лазерном образовании, измеренная по ширинам линий,  $S_{\text{Вспышка7}}$  — плотность потока седьмой вспышки во время действия каждой из шести вспышек,  $\Delta v_{\text{Вспышка7}}$  — полуширина линии седьмой вспышки во время каждой из шести вспышек,  $T_k \text{ H}_2\text{O}$ , Вспышка7 — кинетическая температура  $\text{H}_2\text{O}$  в лазерном образовании, ответственном за седьмую вспышку, рассчитанная по приведенной в [11] формуле.

Рассмотренная конфигурация вспышек приводит нас к заключению, что появление мощных вспышек ненасыщенных лазеров воды связано с перекрытием нескольких лазерных пятен, находящихся на луче зрения наблюдателя (радиотелескопа). Такую возможность мы уже указывали в работе [14], основываясь на факте, что входной поток  $S_0$ , полученный для



мощной вспышки в W49N, значительно превышает все известные фоновые излучения. Именно насыщенный мазер с близкой лучевой скоростью подсвечивает мазерные пятна, находящиеся на луче зрения. Схожая мысль была высказана в [15] и получила реальное подтверждение в работе [8]. В таблице 2 приведены измеренные параметры всех вспышек.

Ширины линий были измерены методом вписывания кривой Гауса в наблюдательные данные (таблица 2) и получены также с использованием рассмотренной модели (таблица 1). Ширины линий в обоих случаях совпадают в пределах ошибок. В таблице 2 кинетические температуры приведены, как для  $H_2O$ , так и для газовой среды. Мы должны сделать вывод, что для эффективной работы мазерной «машины» требуются достаточно высокие уровни входного потока  $S_0$  и высокие температуры  $H_2O$ .

Таблица 3. Величина смещения частоты вспышек

№ вспышки	$v_{\text{центральная частота}}$ км/с	$v_{\text{вспышка 7}}$ км/с
1	5.90	5.95
2	5.86	5.96
3	5.87	5.92
$\Sigma/n, \sigma$	<b>5.88±0.02</b>	<b>5.94±0.02</b>
4	6.05	5.87
5	6.07	5.87
6	6.03	5.90
$\Sigma/n, \sigma$	<b>6.05±0.02</b>	<b>5.88±0.02</b>

Примечания к таблице:  $v_{\text{центральная частота}}$  — центральная частота вспышки (в км/с),  $v_{\text{вспышка 7}}$  — центральная частота вспышки 7.

За время действия вспышек 1—6 происходит их частотное смещение по отношению к седьмой вспышке. Использование метода вписывания Гауссовой кривой в наблюдательные данные позволило численно оценить величину смещения. Полученные данные суммированы в таблице 3, из которой видно, что существуют две группы мазерных пятен со значительным различием частот линий на уровне 8 стандартных отклонений. Для вспышки 7 отклонения можно считать статистически не значимыми. Поэтому можно предположить наличие сдвигов по частоте линий вспышек 1—6 и считать, что вспышки произошли в разных мазерных пятнах, в каждом со своими радиальными скоростями и расположенными поблизости друг от друга, скорее даже в одном мазерном кластере. Если нам известны размеры мазерных пятен, то мы можем оценить скорость распространения агента, инициирующего мазерное излучение. Так, для размера 1 АЕ мы получим значение скорости  $v_{\text{пер}} \approx 10^2$  км/с. При полученной высокой плотности мазерных пятен в кластере его размеры можно оценить как  $\geq 7$  АЕ (оценка снизу сделана по количеству мазерных пятен).

Структура мазерных пятен, полученная нами в IRAS 16293 в линии 6 км/с и линии 8 км/с [8], а также в W49N в линии –60 км/с [16], указывает на схожую структуру мазерных пятен в разных галактических источниках и общий способ возбуждения мощных вспышек мазера воды. Необходимо иметь несколько пятен на луче зрения к наблюдателю, среди которых инициатором мощных мазерных вспышек выступает мазер, находящийся в насыщенном состоянии, производящий высокий уровень входного потока для остальных мазеров, «работающих» в ненасыщенном режиме.

## 5. Выводы

1. В период 2019—2021 гг. выполнен детальный мониторинг мазера водяного пара в галактическом источнике с протопланетными системами IRAS 16293-2422.

2. Мощное комплексное вспышечное явление было зарегистрировано в линии около 6 км/с, продолжавшееся 6 месяцев и состоящее из отдельных мощных вспышек.

3. Используя спектрально-временной способ анализа наблюдательных данных, впервые удалось выделить отдельные вспышки из общего вспышечного явления.

4. Шесть мощных вспышек появлялись на вершине менее мощной, но более продолжительной седьмой вспышки, радиация которой инициировала излучение шести вспышек.

5. Шесть мощных вспышек, по-видимому, находились в ненасыщенном состоянии, в то время как седьмая «работала» в насыщенном режиме.

6. Была реализовывана конфигурация мазерных пятен, при которой мощное мазерное излучение возникает за счет увеличения длины мазерной накачки при каскадном усилении.

## Благодарности

Авторы признательны правительству Российской Федерации и Министерству высшего образования и науки РФ за поддержку по гранту 075-15-2020-780 в части обработки и анализа данных РТ-22.

## Список литературы

1. Walker C. K., Lada C. J., Young, E. T. Maloney, P. R. Wilking B. A. Spectroscopic evidence for infall around an extraordinary IRAS source in Ophiuchus // *Astrophysical Journal*. 1986. Vol. 309. P. L47–L51.

2. Menten K. M., Serabyn E., Gusten R., Wilson T. L. Physical conditions in the IRAS 16293-2422 parent cloud // *Astronomy & Astrophysics*. 1987. Vol. 177. P. L57–L60.
3. Chen X., Arce H. G., Zhang Q. et al. SMA Observations of Class 0 Protostars : A High Angular Resolution Survey of Protostellar Binary Systems // *Astrophysical Journal*. 2013. Vol. 768, iss. 2. Article id. 110.
4. Tobin J. J., Sheehan P. D., Megeath S. T. et al. The VLA/ALMA Nascent Disk and Multiplicity (VANDAM) Survey of Orion Protostars. II. A Statistical Characterization of Class 0 and Class I Protostellar Disks // *Astrophysical Journal*. 2020. Vol. 890. Article id. 130.
5. Jørgensen J. K., van der Wiel M. H. D., Coutens A. et al. The ALMA Protostellar Interferometric Line Survey (PILS). First results from an unbiased submillimeter wavelength line survey of the Class 0 protostellar binary IRAS 16293-2422 with ALMA // *Astronomy & Astrophysics*. 2016. Vol. 595. Article id. A117.
6. Maureira M. J., Pineda J. E., Segura-Cox D. M. et al. Orbital and Mass Constraints of the Young Binary System IRAS 16293-2422 A // *Astrophysical Journal*. 2020. Vol. 897. Article id. 59.
7. Kristensen L. E., Klaassen P. D., Mottram J. C. et al. ALMA CO J = 6–5 observations of IRAS 16293–2422 // *Astronomy & Astrophysics*. 2013. Vol. 549. Article num. L6.
8. Volvach A. E., Volvach L. N., Larionov M. G. Composite powerful short flare of water maser emission in IRAS 16293-2422 // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2021. Vol. 507, iss. 1. P. L52–L56.
9. Volvach A. E., Volvach L. N., Larionov M. G. Unusually powerful flare activity of the H<sub>2</sub>O maser feature near a velocity of –60 km s<sup>–1</sup> in W49N // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2020. Vol. 496, iss. 1. P. L147–L151.
10. Johnston K. J., Knowles S. H., Sullivan W. T. An interferometer map of the water-vapor sources in W49 // *Astrophysical Journal*. 1971. Vol. 166. P. L21–L26.
11. Goldreich P., Kwan J. Astrophysical Masers. IV. Line Widths // *Astrophysical Journal*. 1974. Vol. 190. P. 27–34.
12. Volvach L. N., Volvach A. E., Larionov M. G. et al. Flaring water masers associated with W49N // *Astronomy & Astrophysics*. 2019. Vol. 628. Article num. A89.
13. Volvach A. E., Volvach L. N., Larionov, M. G. et al. Powerful bursts of water masers towards G25.65+1.05 // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2019. Vol. 482, iss. 1. P. L90–L92.
14. Volvach L. N., Volvach A. E., Larionov M. G. et al. Unusual flare activity in the extreme-velocity –81 km s<sup>–1</sup> water-maser feature in W49N // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2019. Vol. 487. P. L77–L80.
15. Burns R. A., Orosz G., Bayandina O. et al. VLBI observations of the G25.65+1.05 water maser superburst // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2020. Vol. 491. P. 4069–4075.
16. Volvach L. N., Volvach A. E., Larionov M. G. Unusually powerful flare activity of the H<sub>2</sub>O maser feature near a velocity of –60 km s<sup>–1</sup> in W49N // *Monthly Notices of the Royal Astronomical Society*. 2020. Vol. 496. P. L147–L151.

### Информация об авторах

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

**Вольвач Лариса Николаевна**, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник 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.

### **Information about the authors**

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

**Larisa N. Volvach**, PhD. 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.