

УДК 524.527.7

ВСПЫШКИ МАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ H_2O В МОЛОДОМ ЗВЕЗДНОМ ОБЪЕКТЕ $\text{GH}_2\text{O 092.67+03.07}$ (IRAS 21078+5211)

© 2018 г. В. В. Краснов¹, Е. Е. Лехт^{2*}, В. М. Миннебаев³,
М. И. Пащенко², Г. М. Рудницкий², А. М. Толмачев⁴

¹Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН, Москва, Россия

²Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

³Открытое акционерное общество “Научно-производственное общество Пульсар”, Москва, Россия

⁴Физический институт им. П.Н. Лебедева РАН,
Пушчинская радионаблюдательная обсерватория АКЦ ФИАН, Пушкино, Россия

Поступила в редакцию 04.07.2017 г.; принята в печать 10.10.2017 г.

Представлены результаты мониторинга мазера H_2O в направлении источника $\text{GH}_2\text{O 092.67+03.07}$ (IRAS 21078+5211), расположенного в гигантском молекулярном облаке Cygnus OB7. Наблюдения были выполнены на 22-м радиотелескопе Пушчинской радионаблюдательной обсерватории в период 2006–2017 гг. Обнаружены сильные вспышки мазерного излучения H_2O , в которых поток достигал значений 19 800 Ян. Вспышки имели как глобальный для источника, так и локальный характер. Все вспышки сопровождались сильными структурными изменениями спектров H_2O в соответствующих диапазонах лучевых скоростей. Показано, что отдельные компоненты H_2O образуют как компактные скопления, так и вытянутые цепочки протяженностью 1–2 а.е. Анализ переменности потока, лучевой скорости и формы линии деталей в эпохи вспышек показал, что среда может быть сильно фрагментированной и что в областях генерации мазерного излучения H_2O имеются мелкомасштабные турбулентные движения вещества.

DOI: 10.7868/S0004629918030064

1. ВВЕДЕНИЕ

На ранней стадии формирования звезды погружены в плотные и холодные газо-пылевые облака, в которых из-за очень большого поглощения протозвезда не видна в оптическом диапазоне длин волн. Ее излучение поглощается в протозвездном облаке и затем переизлучается в далеком ИК-диапазоне. На раннем этапе эволюции звезды проходят стадию очень энергичного выброса вещества, сопровождающегося образованием мощных высокоскоростных биполярных, а иногда и однополярных истечений холодного молекулярного газа. На этой стадии в окрестностях звезды (в окружающем ее облаке) появляются мазеры H_2O , а затем OH и метанола, и формируется сверхкомпактная область III.

Мазеры водяного пара могут быть связаны как с диском, окружающим протозвезду, так и с высокоскоростными биполярными или однополярными молекулярными истечениями.

Молодой звездный объект $\text{GH}_2\text{O 092.67+03.07}$ расположен в гигантском молекулярном облаке Cygnus OB7. Расстояние до него от Солнца первоначально принималось равным 800 пк [1]. Однако более поздние измерения тригонометрического параллакса дали значение около 1.63 кпк [2]. В этой области идет процесс формирования звезд большой массы. Полная масса плотного газа в облаке приблизительно равна $7.7 \times 10^4 M_\odot$. Мазер H_2O связан с объектом G 092.67+03.07. Точные координаты мазера и протозвезды таковы: $\alpha_{2000} = 21^{\text{h}}09^{\text{m}}21.72^{\text{s}}$, $\delta_{2000} = 52^\circ 22' 37.08''$ ($l = 92.67^\circ$, $b = +3.07^\circ$).

В этой области находятся два источника ИК-излучения: IRAS 21078+5211 и IRAS 21078+5209. Светимость каждого из них оценивается как $\sim 10^4 L_\odot$. Интерферометрические наблюдения, проведенные в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах в направлении IRAS 21078+5211 [3], позволили построить модель источника в виде плотного сжимающегося и вращающегося диска, из центра которого исходит очень молодое биполярное истечение. Динамическая шкала вре-

*E-mail: lekht@sai.msu.ru

мени выброса оценивается в $\simeq 3.5 \times 10^3$ лет [3], а линейный размер — 8×10^3 а. е. Массы выброса и диска равны 0.6 и $12 M_{\odot}$, соответственно.

Молодая массивная протозвезда G_{H₂O} 092.67+03.07 находится в центре диска и имеет массу, скорее всего, в интервале от 4.1 до $7.4 M_{\odot}$ [3]. В направлении этой протозвезды не найдено мазеров гидроксила и метанола [1]. Также не обнаружено излучения в радиоконтинууме: на 8 ГГц $F < 0.3$ мЯн, т.е. не найдена область III. Все это свидетельствует о том, что массивная звезда довольно молодая.

Мазерное излучение водяного пара на $\lambda = 1.35$ см в направлении источника G_{H₂O} 092.67+03.07 (IRAS 21078+5211) было обнаружено в январе 1989 г. [4]. В спектре имелись три пика излучения на -27 , -17.6 и -14 км/с с потоками 15, 41 и 23 Ян, соответственно. Однако следует отметить, что мазерное излучение наблюдали еще раньше (27 июля 1988 г.), но эти результаты были опубликованы только в 1993 г. [5]. Основной пик с потоком 3.7 Ян имел скорость -21.4 км/с. В мае 1991 г. излучение не наблюдалось. Более поздние интерферометрические измерения, выполненные Jennes и др. [6], показали, что мазер H₂O расположен более чем на 1' южнее ИК-источника IRAS 21078+5209 и связанной с ним области III. Таким образом, мазерный источник H₂O не связан с областью III, а точно совпадает по положению с источником субмиллиметрового излучения IRAS 21078+5211. Следовательно, в области G 092.67+03.07 имеются два независимых источника, которые расположены в одной и той же протяженной и массивной (более $900 M_{\odot}$) пылевой оболочке.

Скорости молекулярных линий, наблюдаемых в направлении IRAS 21078+5211, составляют $V_{\text{LSR}}(\text{CS}) = -6.2$ км/с [7] и -6.8 км/с [6], $V_{\text{LSR}}(^{12}\text{CO}) = -6.1$ км/с [8], $V_{\text{LSR}}(^{13}\text{CO}) = -6.9$ км/с [3] и -5.5 км/с [6]. Скорости линий аммиака составляют -6.5 км/с ($J = 1, K = 1$) и 6.3 км/с ($J = 2, K = 2$), а их ширины, соответственно, 1.64 и 2.49 км/с [9]. Наличие теплого излучения аммиака (~ 20 К) подтверждает связь молекулярного газа с вкрапленным в него мазерным источником.

Пашенко и др. [10] на основании исследования эволюции мазерного излучения в период 1992–2005 гг. пришли к выводу о наличии сильной фрагментации среды и о существовании мелкомасштабного турбулентного движения газа в областях генерации мазерного излучения H₂O. Турбулентность может препятствовать образованию области III [11]. Также было сделано предположение о том, что мазерные пятна в зависимости от их лучевых

скоростей принадлежат разным структурам источника — диску и биполярному потоку.

В период 2010–2011 гг. Хи и др. [2] провели исследования мазерного источника H₂O в области G 092.67+03.07 методом тригонометрического параллакса на VLBA (NRAO). Были измерены собственные движения отдельных мазерных пятен.

2. НАБЛЮДЕНИЯ

Регулярные наблюдения (мониторинг) мазерного источника в направлении молодого протозвездного объекта G_{H₂O} 092.67+03.07 проводятся нами с 1992 г. на радиотелескопе РТ-22 радиоастрономической обсерватории в Пушино. Результаты наблюдений с 1992 г. по 2006 г. были изложены в работе [10]. Чувствительность радиотелескопа равна 25 Ян/К для неполяризованного излучения точечного источника. Шумовая температура системы составляла от 120 до 250 К в зависимости от погодных условий. Спектры были исправлены за поглощение в атмосфере Земли. Анализ сигнала осуществлялся 2048-канальным автокоррелятором со спектральным разрешением 0.0822 км/с в линии 1.35 см. В период с июля 2006 г. по июль 2008 г. наблюдения не проводились по техническим причинам.

Спектры H₂O, полученные в направлении источника G_{H₂O} 092.67+03.07, представлены на рис. 1–6. Наблюдения проводились в широком интервале лучевых скоростей, от -85 до $+82$ км/с. Поскольку высокоскоростное излучение не было обнаружено, шкала скоростей по горизонтальной оси была выбрано от -40 до $+20$ км/с. Ввиду сильной переменной спектры показаны в разных масштабах по вертикальной оси. Чтобы показать как слабые, так и сильные детали, проведено ограничение таких спектров на некоторых уровнях потока, а центральные части спектров показаны на отдельных панелях (см. рис. 2 и 6, панели (4) и (11), соответственно). На панели (4b) (рис. 2) показана эволюция самой сильной вспышки, которая произошла в 2011 г. Имеется дрейф максимума излучения. Напротив каждого максимума дана дата наблюдений: справа для восходящей ветви, а слева для нисходящей.

На рис. 7 показана переменность интегрального потока, вычисленного для интервала лучевых скоростей от -40 до $+20$ км/с. Также нанесены данные, полученные в 2000–2006 гг. [10]. Пунктирными линиями показаны средние значения для периодов высокой активности мазерного источника, которые для удобства пронумерованы.

Выделенные в спектрах эмиссионные детали нанесены на рис. 8 темными точками. Вариации

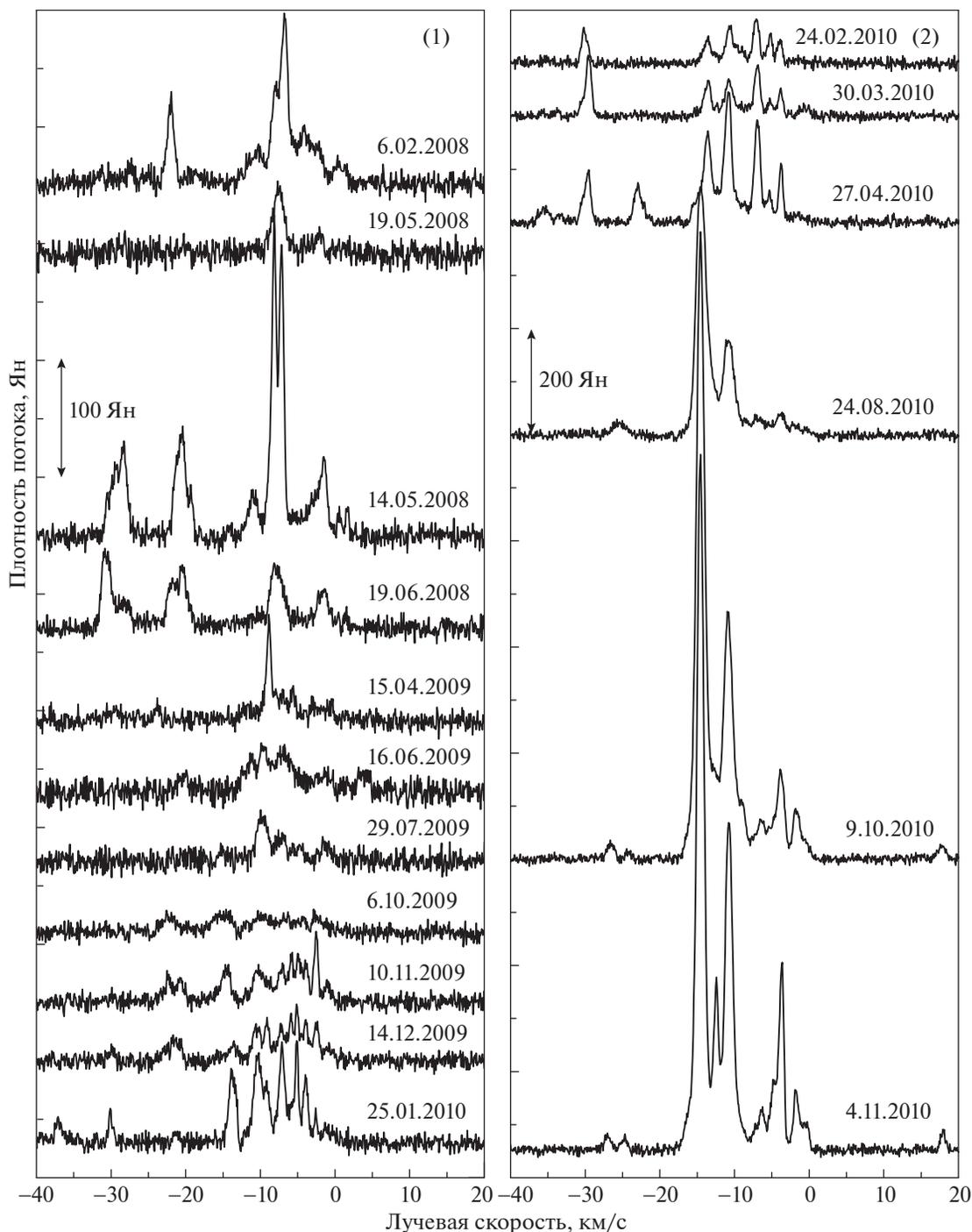


Рис. 1. Спектры мазерного излучения H_2O в GH_2O 092.67+03.07 на длине волны $\lambda = 1.35$ см. Двусторонними вертикальными стрелками показана цена деления в Янских. Приведены эпохи наблюдений.

лучевой скорости основных деталей аппроксимированы прямыми линиями и для удобства анализа они пронумерованы. Более слабые детали выделены штриховыми линиями. Точнее, это дрейф максимумов излучения в группах деталей с близкими лучевыми скоростями, что будет показано после анализа эволюции излучения (потока, скорости и

ширины линии) в разделе 3. Детали с потоками в максимумах излучения более 1800 Ян нанесены светлыми кружками. Штрих-пунктирной линией показана лучевая скорость молекулярного облака CO, равная -6 км/с. Отрезками вертикальных линий на рис. 7 и 8 отмечены эпохи наблюдений на системе VLBA (NRAO) [2].

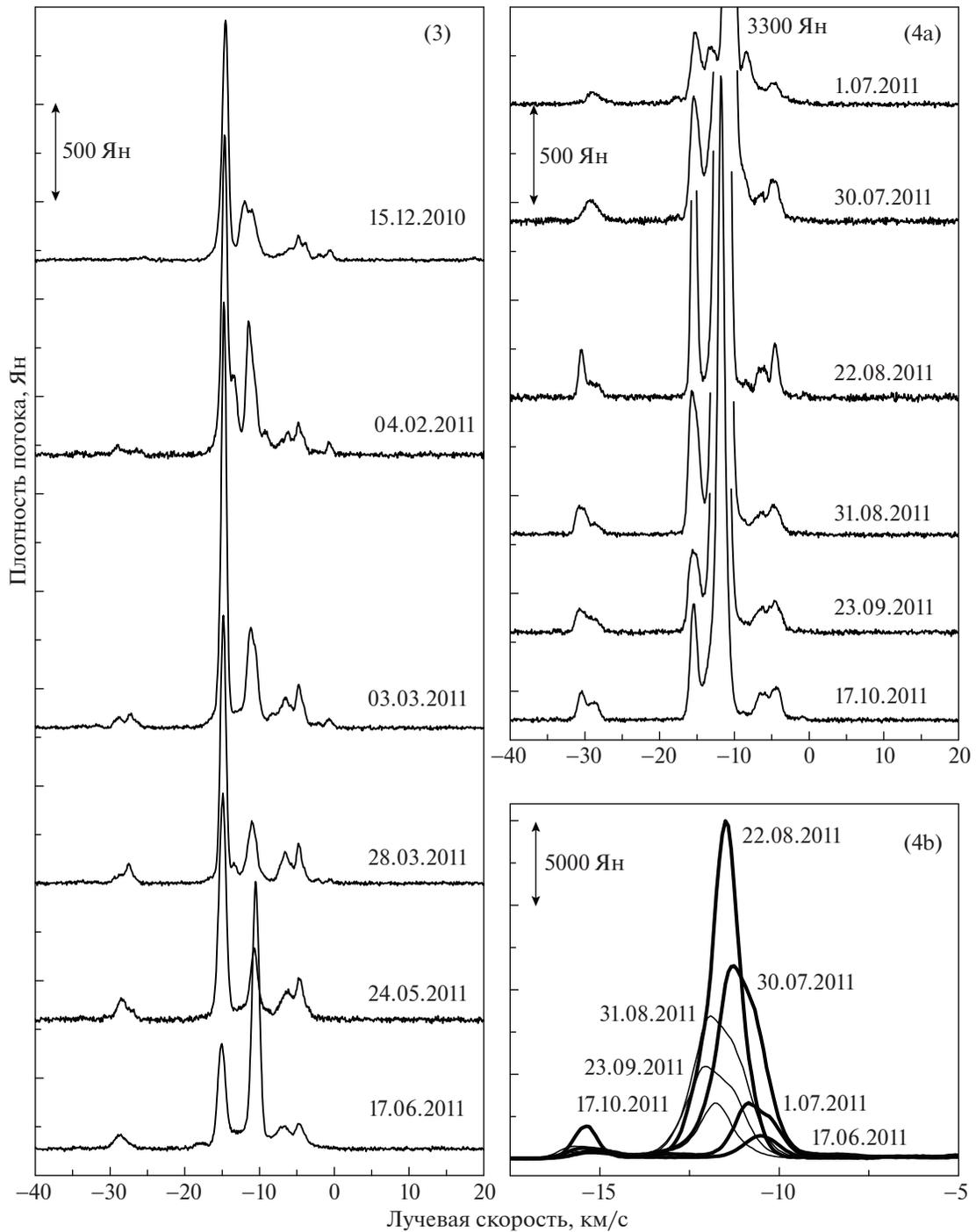


Рис. 2. То же, что на рис. 1. Чтобы показать как слабые, так и сильные детали, центральные части спектров на панели (4а) обрезаны. Полностью центральная деталь показана на панели (4б). Напротив каждого максимума дана дата наблюдений: справа для восходящей ветви, а слева для нисходящей.

Завершающая стадия эволюции главной вспышки 2011 г. представлена на рис. 9 слева. Стрелками показаны положения эмиссионных деталей, которые удалось выделить при анализе эволюции главной вспышки. Справа показана переменность потока основных деталей в 2010–2012 гг. Цифры возле пиков указывают их лучевые скорости.

Временные вариации потоков других сильных деталей даны на рис. 10. Для удобства указаны номера деталей согласно рис. 8 и их лучевые скорости. Отрезками вертикальных линий на рис. 9 и 10 отмечены эпохи наблюдений на системе VLBA (NRAO) [2].

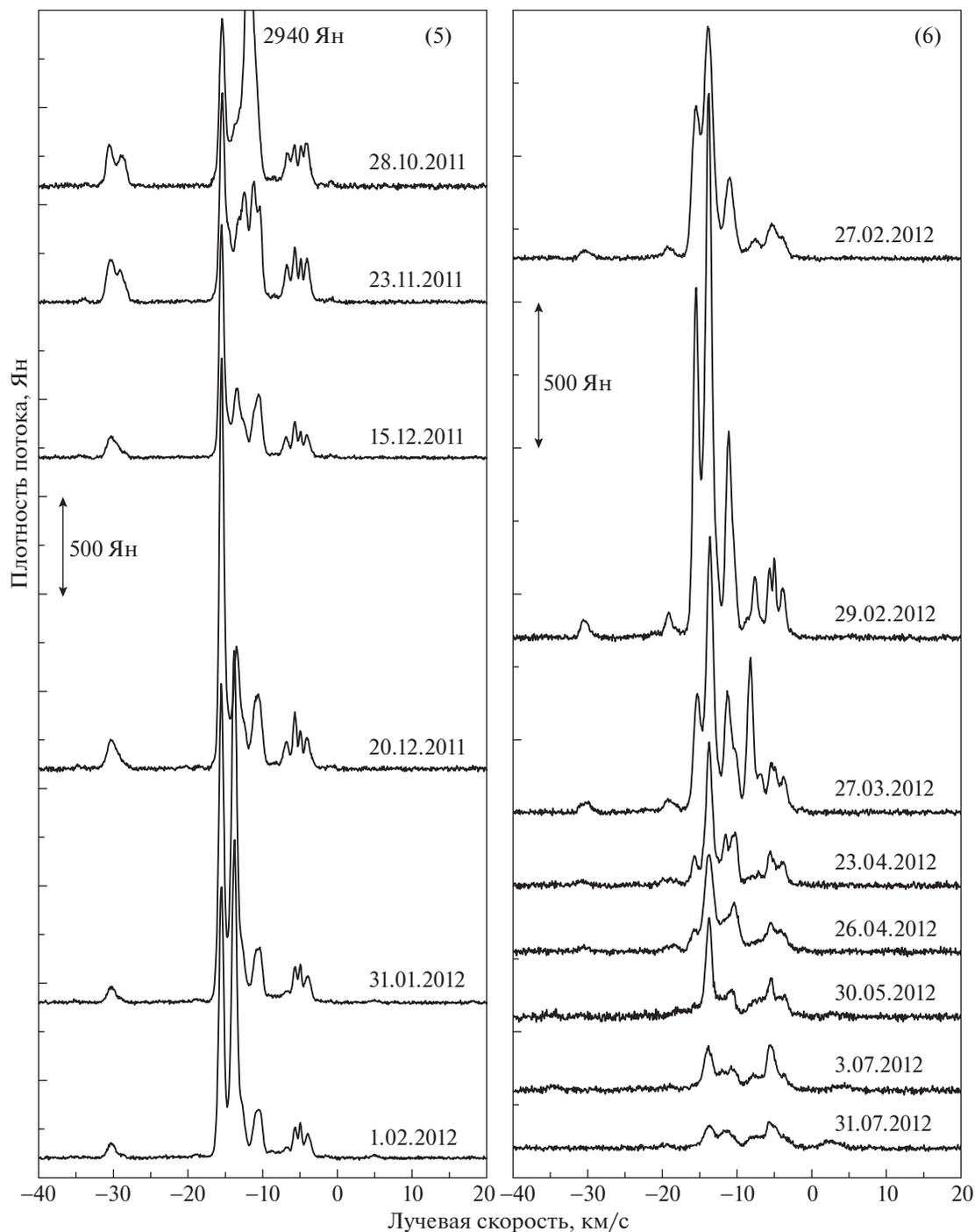


Рис. 3. То же, что на рис. 1.

3. ОБСУЖДЕНИЕ

Спектры H_2O содержат большое число эмиссионных деталей и имеют сильную переменность, как по интенсивности излучения, так и по структуре. Как правило, время нахождения мазерных деталей в активной фазе невелико. Наиболее долгоживущие детали выделены отрезками прямых линий и пронумерованы от 1 до 10. Наблюдается дрейф

лучевых скоростей большинства деталей, как с большим временем жизни, так и короткоживущих.

При анализе и интерпретации результатов нашего мониторинга мы воспользовались результатами, полученными Хи и др. [2] для определения тригонометрического параллакса и собственного движения мазерных пятен на VLBA в NRAO. Детали 2 и 4 нашего мониторинга отождествляются с

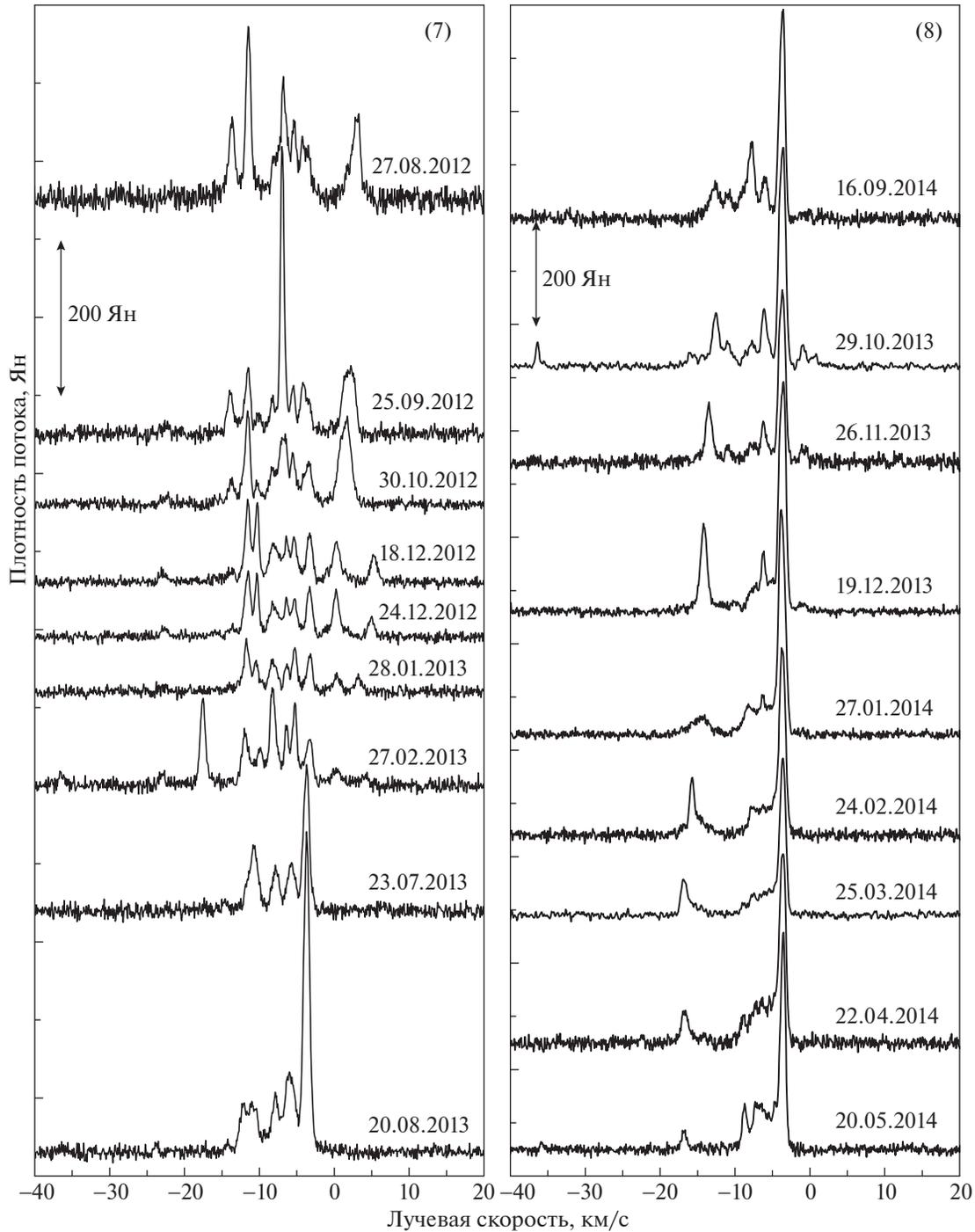


Рис. 4. То же, что на рис. 1.

опорными деталями -3.7 и -14.3 км/с [2]. Обращает на себя внимание, что согласно карте VLBA-наблюдений мазерные детали образуют шесть пространственно разделенных групп. Причем компоненты в каждой группе имеют достаточно близкие лучевые скорости. Конфигурации групп различны: от компактных ~ 8 а. е. по обоим координатам до структур типа цепочек или волокон протяженностью до 30 а. е. Мы также смогли определить при-

надлежность выделенных нами основных деталей в спектрах к соответствующим группам.

3.1. Интегральный поток

Рассмотрим сначала, как меняется мазерное излучение H_2O в направлении G 092.67+03.07 в целом. Для этого проведем анализ переменности

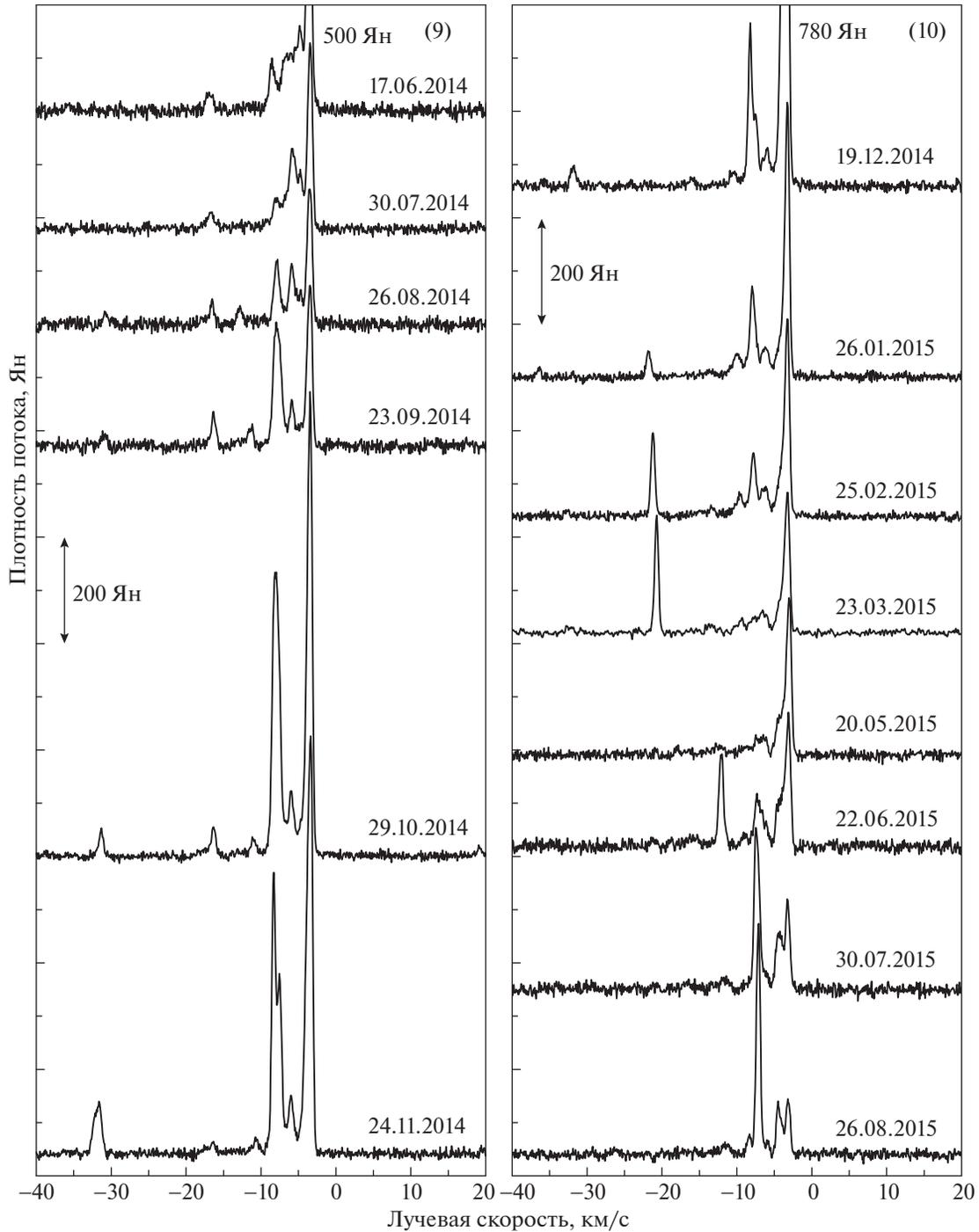


Рис. 5. То же, что на рис. 1.

интегрального потока. Для временного интервала 1992–2005 г. такой анализ был выполнен в работе [10]. Анализ показал, что весь временной интервал можно разделить на отдельные циклы активности. В некоторых случаях переходы от цикла к циклу происходили достаточно быстро, напоминая триггерный механизм перехода из одного состояния в другое. Подобное явление наблюдалось нами ранее в источнике G 43.8-0.1 [12],

где продолжительность цикла высокой активности мазера составила около 3.3 года, т.е. продолжительности циклов высокой активности мазера H_2O в G 092.67+03.07 и G 43.08-0.1 оказались очень близкими. Такой характер вариаций мазерного излучения может быть следствием резких изменений светимости протозвезды, что пока не наблюдалось в большинстве других источников, связанных с молодыми объектами в областях звездообразования.

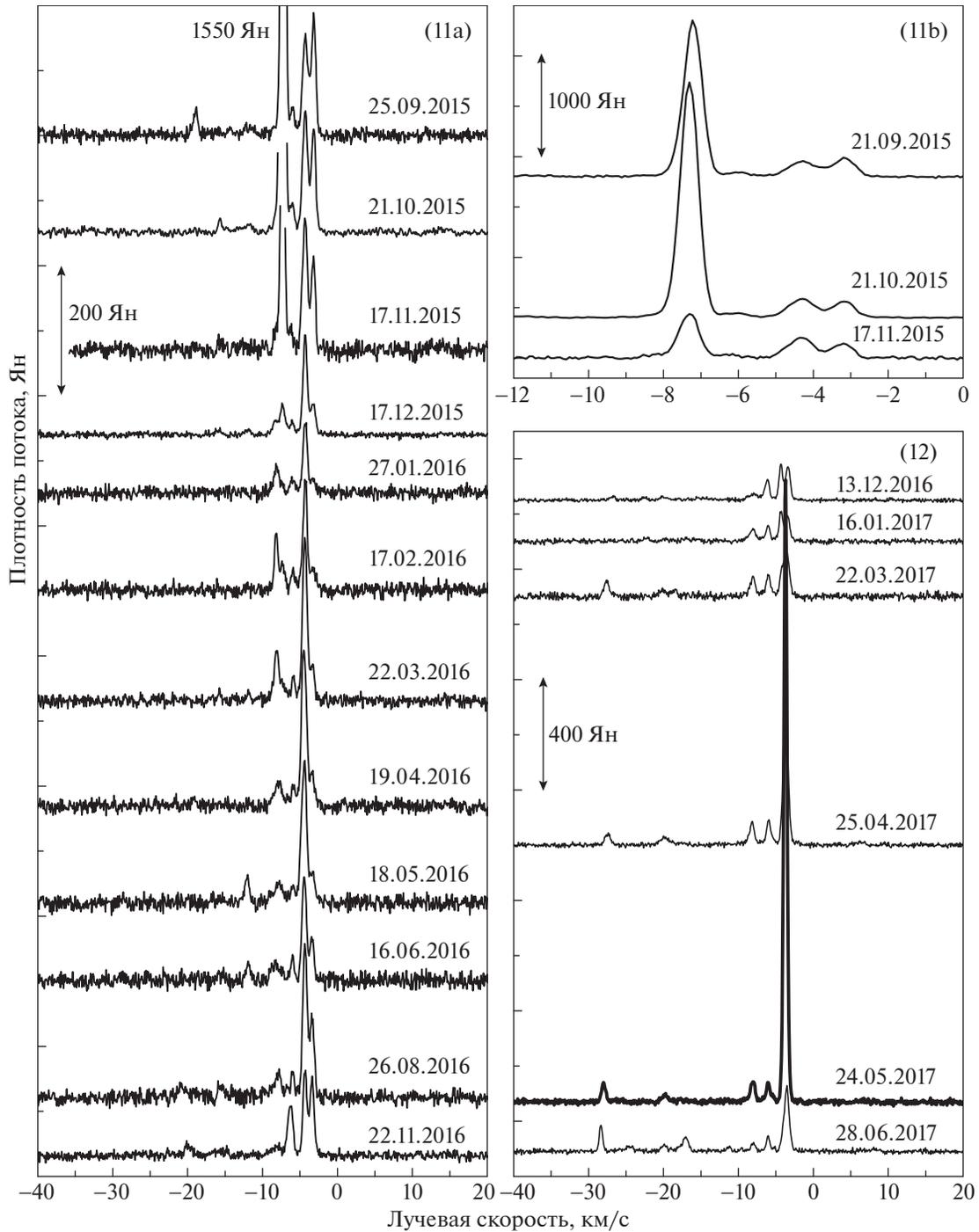


Рис. 6. То же, что на рис. 1. Спектры на панелях (11а) и (11б) построены аналогично рис. 2.

Результаты наблюдений настоящей работы подтверждают предыдущие выводы (см. рис. 7). Особенно является значительно более высокий уровень активности мазера H_2O в 2010–2012 гг., продолжительность которого составила два года. Кроме того, в некоторых циклах активности наблюдались также достаточно короткие, но сильные вспышки. Они были обусловлены либо одиночными деталями, либо несколькими деталями.

3.2. Отдельные детали в 2008–2012 гг.

Вариации скоростей спектральных деталей не имели какого-то преимущественного направления и носили хаотический характер. Кроме того, время их жизни было небольшим (несколько месяцев). Все это указывает на существование сильной фрагментации среды и сложной структуры вещества, в котором расположены мазерные конденсации.

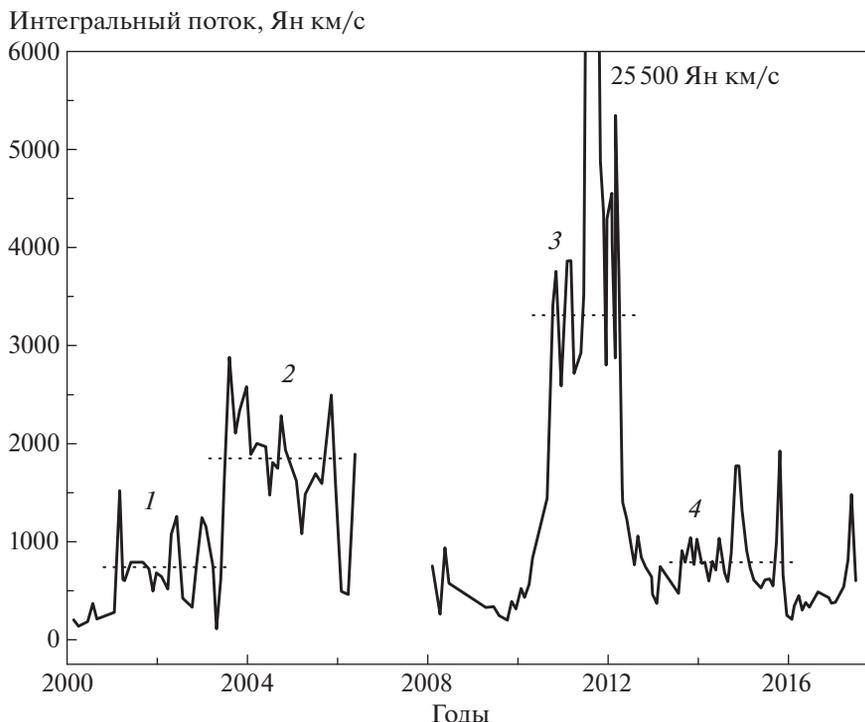


Рис. 7. Переменность интегрального потока H_2O в $\text{GHz O } 92.67+03.07$ в 2000–2017 гг. Пунктирными горизонтальными линиями показаны средние значения для периодов высокой активности мазерного источника. Эти циклы активности пронумерованы. Отрезками вертикальных линий (вблизи оси абсцисс) отмечены эпохи VLBA-наблюдений (NRAO).

Малое время жизни в активной фазе может быть связано с большой скоростью диссипации энергии ударной волны, возбуждающей мазерное излучение, а также с малыми размерами мазерных конденсаций. Обращает на себя внимание тот факт, что наиболее интенсивное излучение наблюдалось от более долгоживущих деталей.

При совместном анализе результатов нашего мониторинга и VLBA-наблюдений [2] воспользуемся терминологией “мазерное пятно”. Это та область, в направлении которой наблюдается мазерное излучение на определенной лучевой скорости (мазерная деталь в спектре H_2O или мазерная конденсация). Рассмотрим эволюцию эмиссионных деталей, потоки которых в максимумах превышали 1800 Ян.

Согласно [2] мазерное пятно на $V_{\text{LSR}} = -3.7$ км/с имеет собственное движение в картинной плоскости, которое соответствует скорости движения ≈ 28 км/с. В течение временного интервала май 2010 г.—май 2011 г. не наблюдалось изменений лучевой скорости излучения от этого пятна, несмотря на то, что имела место сильная вспышка излучения с потоком в максимуме 350 Ян, но она так же быстро угасла, как и возникла.

В конце 2010 г. появилось излучение на близкой скорости (-4.8 км/с) (деталь 4b на рис. 8 и 10),

а затем на -4 км/с, которое со второй половины 2011 г. наблюдается непрерывно по настоящее время (детали 4c и б).

С другим опорным мазерным пятном на скорости -14.3 км/с отождествляется деталь 2 нашего мониторинга. Согласно [2] скорость собственного движения в картинной плоскости составляет 16 км/с. Нами обнаружен дрейф лучевой скорости излучения этого пятна, равный 1 (км/с)/год. Полный дрейф составил 2.4 км/с. Наблюдались три сильные вспышки.

Исследуя характер дрейфа максимума потока по лучевой скорости и самого потока, а также формы линии, мы определили, что имели место последовательные вспышки трех компонентов на -14.54 , -15.05 и -15.50 км/с с потоками в максимумах 2150, 1910 и 2070 Ян, соответственно. Время задержки между максимумами потоков трех вспышек составляло около 6 и 4 мес. При скорости ударной волны 15 км/с (см., напр., [13]) это соответствует расстоянию между данными мазерными пятнами 1.5 и 1 а.е. Согласно [2] эти мазерные пятна расположены в скоплении размером 8×3 а.е.

Эмиссионная деталь 3 наблюдалась нами непрерывно в 2011–2012 гг. на скорости -13.8 км/с. Дрейф скорости был незначительным. В максимумах потоки составляли 1780 и

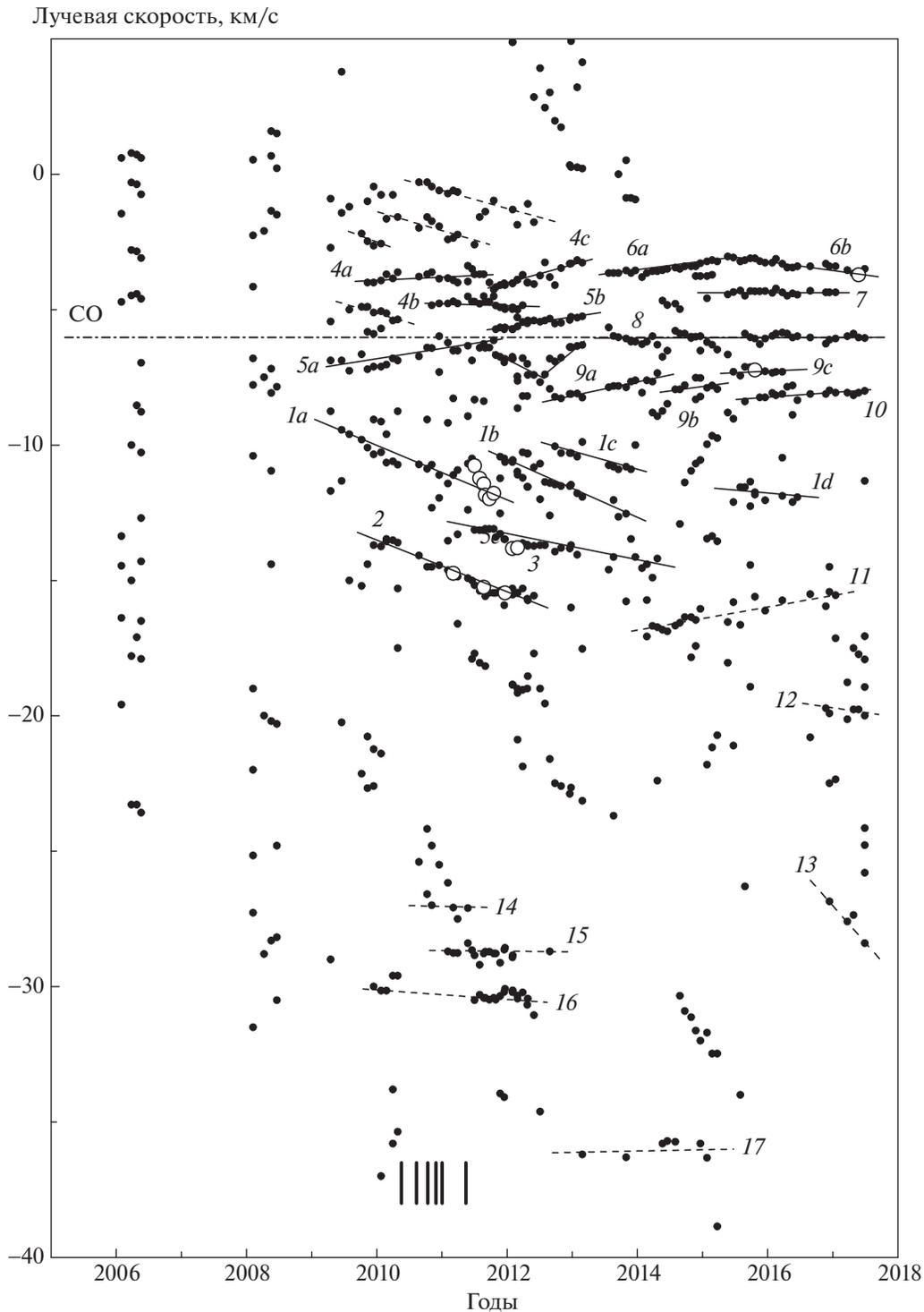


Рис. 8. Выделенные в спектрах H_2O отдельные эмиссионные детали нанесены темными точками. Вариации скорости основных компонентов (деталей) аппроксимированы прямыми линиями и для удобства они пронумерованы (см. текст). Компоненты с потоками в максимумах излучения более 1800 Ян нанесены светлыми кружками. Штрих-пунктирной линией показана скорость молекулярного облака CO. Отрезками вертикальных линий отмечены эпохи VLBA-наблюдений (NRAO)[2].

1830 Ян. Линии были симметричными, широкими (1–1.2 км/с по уровню 0.5). Крылья линий лежат выше вписанных гауссиан. Это вызвано наличием

в крыльях более слабых компонентов. Определить точные значения параметров этих компонентов не представляется возможным. По приблизительным

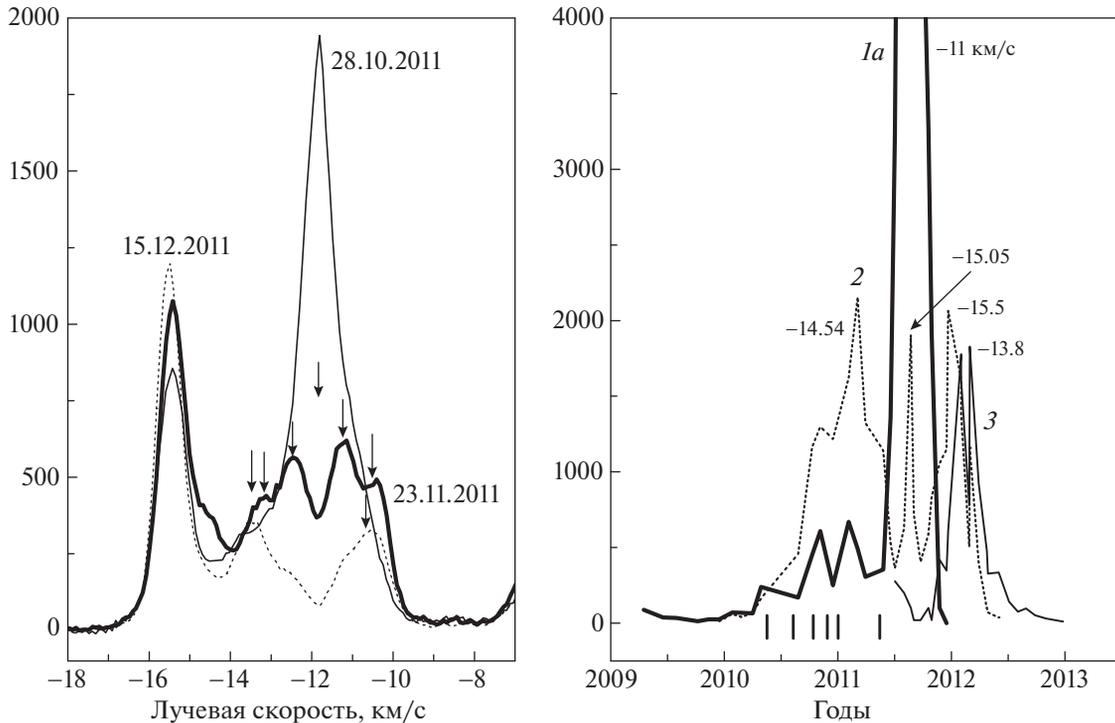


Рис. 9. Эволюция главной вспышки мазера H_2O в $\text{GHz O 092.67+03.07}$.

оценкам можно сказать, что скорости компонентов ~ -14.3 и ~ -13.3 км/с.

3.3. Главная вспышка 2011 г.

Очень сильная вспышка произошла в период высокой активности мазерного источника H_2O в G 092.67+03.07 на лучевой скорости около -10.7 км/с. Это была самая сильная вспышка за весь наш мониторинг данного источника. Начало вспышки приходится на середину 2011 г. До этого скорость детали увеличивалась. Затем стал быстро расти поток. При этом линия была асимметричной (двойной) и максимум потока смещался в сторону уменьшения скорости (см. рис. 2, панель (4b)). Затем центральная деталь исчезла и четко стали просматриваться четыре другие детали: по две справа и слева от места положения центральной детали (см. рис. 8). Всего в процессе эволюции вспышки выявлено как минимум 7 компонентов в интервале лучевых скоростей от -13.5 до -10.0 км/с.

Продолжительность восходящей и нисходящей ветвей эволюции вспышки были одинаковыми и составляли по 3 мес. Темп роста/спада потока составил более 200 Ян/сутки. Однако продолжительность жизни каждого компонента вспышки была еще меньше, а темп изменения потока был выше.

Мы установили, что излучение от шести компонентов появлялось последовательно в порядке убывания их лучевых скоростей с задержками около 1 мес. Это возможно при последовательном возбуждении излучения компонентов ударной волной. При скорости ударной волны 15 км/с (см., напр., [13]) расстояние между компонентами по лучу зрения составляет ~ 0.25 а. е., а полный размер ~ 1.5 а. е. В качестве модели можно принять цепочку размером ~ 1.5 а. е. с градиентом лучевой скорости вдоль этой цепочки, состоящую из шести отдельных элементов (звеньев). Это хорошо согласуется с результатами, полученными непосредственно из наблюдений других источников, например, W75N [14, 15]. Различие состоит в том, что для W75N измерения выполнены для проекций структур в картинной плоскости, а в нашем случае для G 092.67+03.07 результаты относятся к проекциям структур на луч зрения. Таким образом, мониторинг и VLBA-наблюдения дополняют друг друга.

Другим важным результатом является антикорреляция потоков главной вспышки ($V_{\text{LRS}} \approx -10.7$ км/с) и детали на скорости -15 км/с, исключая спектр 28 июня 2011 г. Такое явление неоднократно наблюдалось нами в ряде источников. Объясняется оно конкуренцией пространственных мод за накачку (см., напр., [16]).

После завершения главной вспышки появилось излучение на $V_{\text{LSR}} = -13$ км/с с потоком в максимуме около 2000 Ян. Это можно объяснить гео-

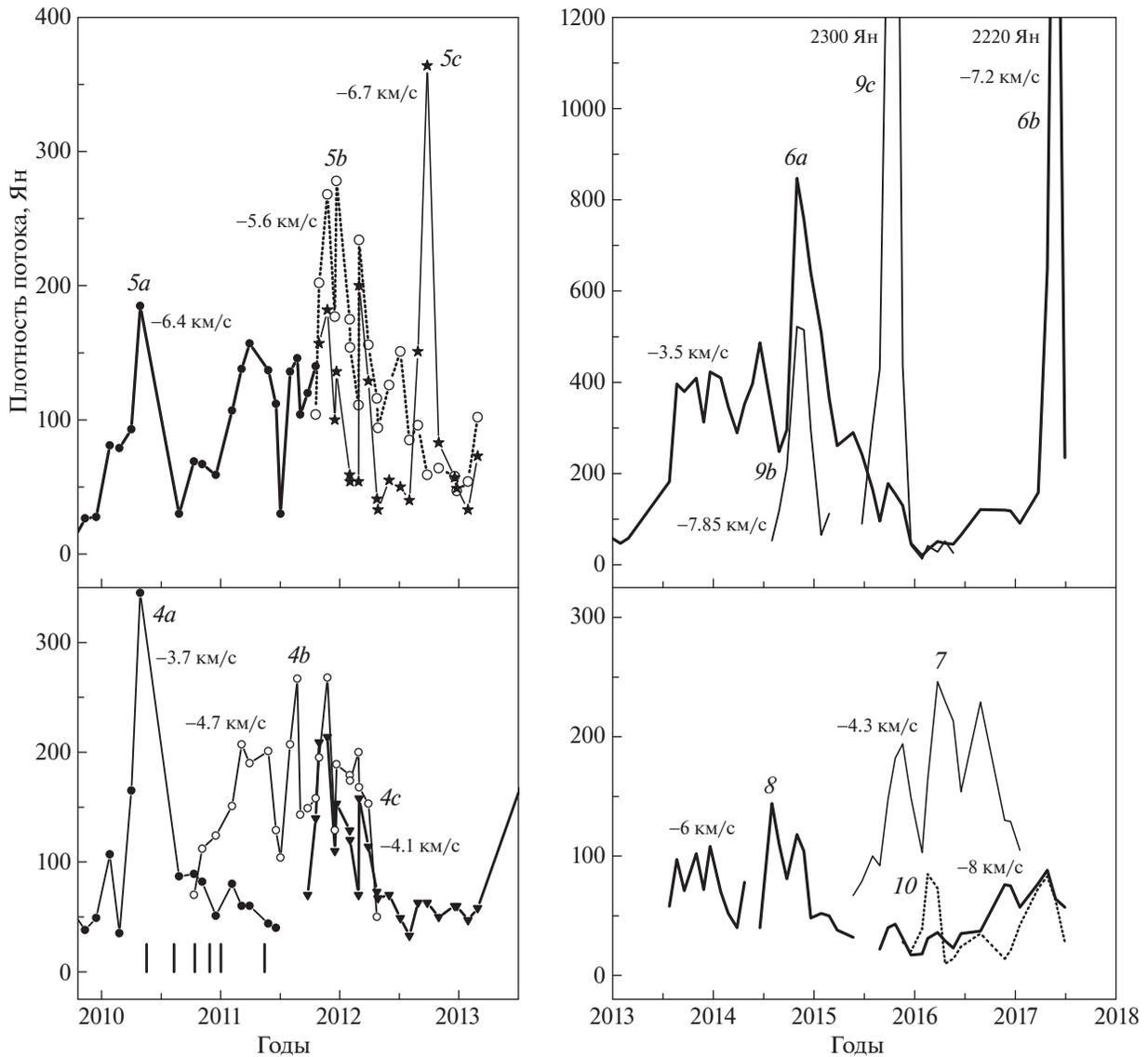


Рис. 10. Временные вариации потоков основных эмиссионных деталей H₂O.

метрий источника: скопление мазерных деталей в области скоростей -13 км/с расположено дальше от протозвезды, чем рассмотренная выше цепочка.

3.4. Отдельные детали в 2012–2017 гг.

Рассмотрим эмиссионные детали *6a* и *6b* (см. рис. 8). Вспышка в первой из них *6a* наблюдалась в конце 2014 г.—начале 2015 г. на скорости -3.4 км/с с потоком 860 Ян и шириной линии около 0.7 км/с (вычисленной по правому крылу в предположении, что линия симметричная). Она имела небольшой дрейф по лучевой скорости и сопровождалась очень кратковременным излучением на -3.8 км/с с потоком в максимуме 770 Ян (конец 2014 г.). Временной сдвиг между максимумами излучения составил ~ 1.5 мес., что при скорости ударной

волны 15 км/с может соответствовать расстоянию между ними по лучу зрения ~ 0.4 а. е.

Самая сильная вспышка излучения детали *6b* произошла в 2017 г. Линия в максимуме была симметричной, достаточно узкой (0.48 км/с) и она хорошо аппроксимируется гауссианой. Дрейф скорости не наблюдался. Все это свидетельствует о том, что линия является одиночной. Вспышка была очень кратковременной и происходила на уровне невысокой активности мазера в целом. Вероятнее всего, она имела локальный характер. Это может происходить в сильно фрагментированной турбулентной среде при случайном наложении по лучу зрения отдельных сгустков материи (мазерных конденсаций) особенно при ненасыщенном режиме мазера. Такие всплески потоков могут как быстро увеличиваться, так и быстро падать. Именно так

произошло в 2017 г. с деталью *6b*. Интервала в один месяц между последовательными наблюдениями оказалось недостаточным, чтобы получить восходящую и нисходящую ветви изменений интенсивности излучения данной вспышки.

Вспышка детали *9c* на скорости -7.3 км/с в 2015 г. была полным аналогом вспышки 2017 г. детали *6b*. Поток в максимуме составил 2300 Ян, линия была симметричной и имела ширину 0.56 км/с. Излучение было кратковременным. Видимо, механизм возникновения рассмотренных выше трех вспышек был одинаковым. Он имел локальный характер и, вероятнее всего, был связан с турбулентными мелкомасштабными движениями вещества (мазерных пятен) в картинной плоскости (см. также [2]).

Другой характер переменности потока наблюдался для детали *3* в 2012 г. Максимум потока составил 1830 Ян. Вспышка была более продолжительной, чем рассмотренные выше. Линия имела симметричную форму. Ширина линии составила ~ 1 км/с. В крыльях линии имелись по одной детали со скоростями -14.3 и -13.3 км/с.

Таким образом, в периоды всех сильных вспышек обнаруживается сложная структура спектров H_2O , насчитывающая несколько компонентов. Ввиду малых задержек между максимумами излучения компонентов мы приходим к выводу, что имеются компактные скопления мазерных конденсаций. Это хорошо вписывается в результаты VLBA-наблюдений [2].

Кроме рассмотренных выше более или менее долгоживущих деталей, наблюдались детали с малым временем нахождения в активной фазе, от месяца до двух лет. Излучение от некоторых деталей появлялось эпизодически. Как правило, потоки от таких деталей не превышали $100-150$ Ян. Большая группа эмиссионных деталей с лучевыми скоростями от -25 до -36 км/с (*13-17* на рис. 8) согласно [2] входит в компактное скопление размером 13×8 а. е. Корреляция потоков прослеживается только для излучения на скоростях -30.3 и -28.6 км/с в 2011 г.

Деталь *13* имеет сложную структуру и состоит из пяти последовательно появляющихся компонентов. Скорости компонентов, расставленных в порядке их появления в спектрах, равны -27.58 , -27.30 , -27.70 , -28.0 и -28.36 км/с. Потоки в максимумах составляли 57, 39, 33, 68 и 94 Ян, соответственно. Продолжительность жизни этих компонентов была невелика, не превышала 2 мес. Мы перечислили результаты эволюции детали *13*, чтобы отразить специфику структуры мазера H_2O в источнике G 092.67+03.07.

Рассматривая эволюцию еще ряда деталей, мы приходим к выводу, что реальный дрейф излучения по лучевой скорости не прослеживается. Есть последовательное появление излучения на близких лучевых скоростях, что приводит к видимому регулярному смещению максимума излучения.

4. ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Перечислим основные результаты, полученные в настоящей работе.

1. Представлен каталог спектров мониторинга мазера H_2O в направлении источника GН₂O 092.67+03.07 (IRAS 21078+5211), расположенного в гигантском молекулярном облаке Cygnus OB7, выполненного на 22-м радиотелескопе Пушинской радиоастрономической обсерватории в период 2006–2017 гг.

2. Проведено отождествление основных эмиссионных деталей, а также групп деталей с близкими лучевыми скоростями с мазерными пятнами VLBA-карты, полученной в работе [2] в НРАО.

3. Активность мазерного источника в целом имела циклический характер. Переходы от цикла к циклу происходили достаточно быстро, напоминая триггерный механизм перехода из одного состояния в другое.

4. Обнаружены сильные вспышки мазерного излучения H_2O . Все вспышки сопровождалась сильными структурными изменениями спектров в соответствующих диапазонах лучевых скоростей. Во время самой мощной вспышки в 2011 г. на скорости $V_{\text{LSR}} = -14.3$ км/с поток в максимуме достигал 19 800 Ян и вспышка отражала последовательное появление излучения от нескольких мазерных пятен с близкими лучевыми скоростями (компактное скопление мазерных пятен).

5. Анализ переменности потока, лучевой скорости и формы линии деталей в эпохи вспышек показал, что среда может быть сильно фрагментированной и что имеются мелкомасштабные турбулентные движения вещества в областях генерации мазерного излучения H_2O .

6. Как правило, отдельные компоненты H_2O образуют как компактные скопления мазерных пятен, так и вытянутые цепочки протяженностью $1-2$ а.е.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-02-07676). Авторы выражают благодарность сотрудникам Пушинской радиоастрономической обсерватории за большую помощь в проведении наблюдений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Szymczak, G. Hrynek, and A. J. Kus, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **143**, 269 (2000).
2. Y. Xu, J. J. Li, M. J. Reid, K. M. Menten, *et al.*, *Astrophys. J.* **769**, 1 (2013).
3. J. P. Bernard, K. Dobashi, and M. Momose, *Astron. and Astrophys.* **350**, 197 (1999).
4. F. Palla, R. Cesaroni, G. Comoretto, and M. Felli, *Astron. and Astrophys.* **246**, 249 (1991).
5. J. G. A. Wouterloot, J. Brand, and K. Fiegle, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **98**, 589 (1993).
6. T. Jenness, P. F. Scott, and R. Padman, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **276**, 1024 (1995).
7. T. M. Dame and P. Thaddeus, *Astrophys. J.* **297**, 751 (1985).
8. B. A. Wilking, L. G. Mundy, J. H. Blackwell, and J. E. Howe, *Astrophys. J.* **345**, 257 (1989).
9. M. P. Miralles, L. F. Rodríguez, and E. Scalise, *Astrophys. J. Suppl.* **92**, 173 (1994).
10. М. И. Пашенко, А. М. Толмачев, Е. Е. Лехт, *Астрон. журн.* **85**, 241 (2008).
11. T. Xie, L. G. Mundy, S. N. Vogel, and P. Hofner, *Astrophys. J.* **473**, L131 (1996).
12. Е. Е. Лехт, *Астрон. журн.* **72**, 532 (1995).
13. G. Surcis, W. H. T. Vlemmings, S. Curiel, B. Hutawarakorn Kramer, J. M. Torrelles, and A. P. Sarma, *Astron. and Astrophys.* **527**, id. A48 (2011).
14. J. M. Torrelles, N. A. Patel, G. Anglada, J. F. Gómez, *et al.*, *Astrophys. J.* **598**, L115 (2003).
15. Е. Е. Лехт, В. И. Слыш, В. В. Краснов, *Астрон. журн.* **84**, 1070 (2007).
16. R. Cesaroni, *Astron. and Astrophys.* **233**, 513 (1990).