

УДК 524.527-77

МНОГОЛЕТНИЙ МОНИТОРИНГ И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ВСПЫШЕК МАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ H_2O В IRAS 16293–2422

© 2016 г. П. Колом¹, Е. Е. Лехт^{2*}, М. И. Пашенко², Г. М. Рудницкий², А. М. Толмачев³

¹LESIA, Observatoire de Paris, Section de Meudon, CNRS, UPMC, Université Paris–Diderot,
5 place Jules Janssen, 92195 Meudon Cedex, France

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

³Пуцинская радиоастрономическая обсерватория,
Астрокосмический центр Физического института им. П.Н. Лебедева РАН,
Пушино, Россия

Поступила в редакцию 12.08.2015 г.; принята в печать 25.12.2015 г.

Представлены результаты исследования мазерного излучения H_2O и OH в источнике IRAS 16293–2422, относящемся к классу холодных ИК-источников. Наблюдения проводились на 22-м телескопе Пуцинской радиоастрономической обсерватории в период 1999–2015 гг. и на радиотелескопе в Нансэ (Франция) в линиях H_2O и OH , соответственно. Обнаружено большое число очень сильных вспышек мазера H_2O , достигающих потоков в десятки тысяч Янских. Отдельные детали могут образовывать организованные структуры в виде цепочек протяженностью ~ 2 а.е., вдоль которых имеется градиент лучевой скорости. Показано, что наблюдаемый дрейф излучения H_2O (2003–2004 гг.) в пространстве и по скорости (от 4.3 до 5.3 км/с) вызван не только собственным движением деталей. Другой причиной является дрейф максимума излучения во время вспышки при последовательном возбуждении ударной волной пространственно разнесенных деталей в структуре, например, в виде цепочки. Наблюдения в линиях OH на 18 см показали, что излучение является неполяризованным, тепловым с шириной линии 0.7 км/с. Это соответствует температуре облака ~ 30 К.

DOI: 10.7868/S0004629916080053

1. ВВЕДЕНИЕ

Маломассивная протозвездная система IRAS 16293–2422 является ярким представителем класса холодных ИК-источников. Он расположен в хорошо известном темном облаке ρ Ori и, вероятнее всего, находится на расстоянии 120 пк от Земли [1]. Объект является источником далекого ИК-излучения. На 25 мкм его излучение не было обнаружено, а распределение энергии от 25 мкм до 2.7 мм находится в хорошем согласии с температурой абсолютно черного тела, равной 40 К. Согласно [2] болометрическая светимость IRAS 16293–2422 оценивается как $36 L_\odot$.

Интерферометрические наблюдения ИК-источника на 2.7 мкм показали, что он имеет дисковую структуру размером 1800 а.е. на 800 а.е. [3]. Газ и пыль массой 1–6 M_\odot вращаются относительно малой оси. IRAS 16293–2422 является двойной системой с компонентами А и В, разделенными угловым расстоянием 5'' (800 а.е.) и внедренными

в плотное молекулярное ядро (см., напр., [4, 5]). В компоненте А были обнаружены пылевые суб-миллиметровые источники, разделенные угловым расстоянием 0.6'' [6]. Компонент В, скорее всего, сильно фрагментирован.

Темное облако в ρ Ori многократно наблюдалось в молекулярных линиях CO (см., напр., [7, 8]). Наблюдения Уилкинга и др. [9] в линии C^{18}O показали, что центральная область облака (его ядро) имеет размеры 1×2 пк. В облаке имеются крупномасштабные биполярные молекулярные истечения ($\sim 1'$), наблюдаемые в CO, и магнитное поле, которые перпендикулярны большой оси диска [10, 11]. Одно из истечений связано с источником А и имеет скорость 4 км/с. Связь другого истечения с каким-либо объектом не установлена. С источником А связано также компактное молекулярное истечение SiO [12].

Масса центральной протозвезды оценивается как $\sim 0.3 M_\odot$ (см., напр., [13]), а динамическая масса молекулярного ядра составляет примерно $2.3 M_\odot$. Плотность вещества в молекулярном ядре

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

превышает 10^8 см^{-3} . Все это говорит о том, что IRAS 16293–2422 находится на очень ранней фазе звездообразования.

В направлении IRAS 16293–2422 проведено достаточно много наблюдений в линии H_2O на 1.35 см. Мазерное излучение H_2O обнаружили Уилкинг и Клауссен [14]. Терей и др. [15] показали, что мазерное излучение H_2O исходит из области размером $0.6''$ или $\sim 96 \text{ а.е.}$ и связано только с источником А. Чандлер и др. [16] обнаружили, что на месте компонента А на самом деле находятся два субмиллиметровых источника Аа и Аб. Согласно [17] мазерное излучение H_2O локализовано вблизи субмиллиметрового источника Аа.

Мониторинг, выполненный Фуруя и др. [18], показал существование быстрой переменности с характерным временем в несколько дней. Имаи и др. [19] получили карты расположения мазерного излучения на три эпохи в 1991 и 1994 гг., а также обнаружили собственные движения трех мазерных деталей [20]. Очень мощные детали, причем с коротким временем жизни, появлялись на скоростях с синим и красным смещениями относительно скорости молекулярного облака CO (4 км/с).

В направлении IRAS 16293–2422 наблюдалось также излучение (неполяризованное) в главных линиях OH 1665 и 1667 МГц, которое согласно [21] является тепловым. Мазерное излучение OH не наблюдается. Также не было обнаружено мазерное излучение метанола. Отсутствие мазерного излучения гидроксидов и метанола, а также излучения в континууме типично для очень молодых объектов.

2. НАБЛЮДЕНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ

В программу мониторинга на радиотелескопе RT-22 (Пушино) в линии водяного пара на волне 1.35 см источник IRAS 16293–2422 (RA(2000) = $16^{\text{h}}32^{\text{m}}22.8^{\text{s}}$, Dec(2000) = $-24^{\circ}28'35.8''$) был включен в 1999 г. Анализ сигнала осуществлялся анализатором спектра фильтрового типа с разрешением по лучевой скорости 0.101 км/с . С конца 2005 г. используется 2048-канальный анализатор автокорреляционного типа с разрешением 0.0822 км/с . Для точечного источника антенная температура в 1 К соответствует плотности потока 25 Ян. Все спектры были скорректированы за поглощение сигнала в земной атмосфере, что существенно, поскольку высота источника над горизонтом составляла $10\text{--}11^{\circ}$.

Мы также провели несколько сеансов наблюдений IRAS 16293–2422 в линиях гидроксидов на волне 18 см на радиотелескопе Радиоастрономической станции Нансэ Медонской обсерватории (Франция) в различные эпохи, начиная с 2007 г.

На рис. 1–6 приведены спектры мазерного излучения H_2O с 1999 по 2015 г. Поскольку диапазон значений потоков велик, рисунки по вертикальной оси представлены в разных масштабах. Эмиссионные детали, которые в спектрах пересекают предыдущие детали, изображены пунктирными линиями. Для каждого спектра указаны эпохи наблюдений. По горизонтальной оси отложены лучевые скорости относительно местного стандарта покоя. Двойными стрелками показан масштаб вертикальных осей в янских. В периоды сильных вспышек наблюдения проводились с интервалом от одного до нескольких дней. Эти спектры не включены в рисунки, но используются при анализе эволюции вспышек. С апреля по сентябрь 2014 г. сигнал в спектрах отсутствовал. Для этого периода был вычислен усредненный спектр, представленный на рис. 6. Однако это не привело к обнаружению сигнала более 5 Ян.

На рис. 7 показана переменность лучевой скорости основных эмиссионных деталей мазерного излучения H_2O . Детали в эпохи высокой активности (сильные вспышки более 700 Ян) нанесены светлыми кружками. Положения минимумов активности источника показаны отрезками вертикальных линий в нижней части рисунка. Горизонтальной штрих-пунктирной линией показана скорость молекулярного облака CO (4 км/с). В течение временного интервала, заключенного между двумя вертикальными штриховыми линиями (с середины 2006 г. по конец 2007 г.), наблюдения не проводились по техническим причинам.

Обращает на себя внимание то, что большинство деталей на рис. 7 расположены не хаотически, а имеют тенденцию располагаться вдоль некоторых направлений, что указывает на имеющиеся закономерности их эволюции. Положения максимумов потоков деталей с близкими лучевыми скоростями аппроксимированы прямыми пунктирными линиями и для удобства пронумерованы. Критерием выделения были два условия: разброс точек не превышает тепловую ширину линии и хотя бы в одну эпоху поток излучения превышал 700 Ян (т.е. имела место достаточно сильная вспышка). Пунктирные линии могут отражать дрейф максимумов излучения таких структур по лучевой скорости.

Конфигурации 5 и 6 на рис. 7 имеют сложную структуру. Отдельные элементы в них обозначены отрезками сплошных прямых линий. Конфигурация 5 имеет сложную неупорядоченную по скорости структуру и состоит из четырех отдельных элементов. В конфигурации 6 имеется тенденция смещения излучения в сторону более низких скоростей (пунктирная линия).

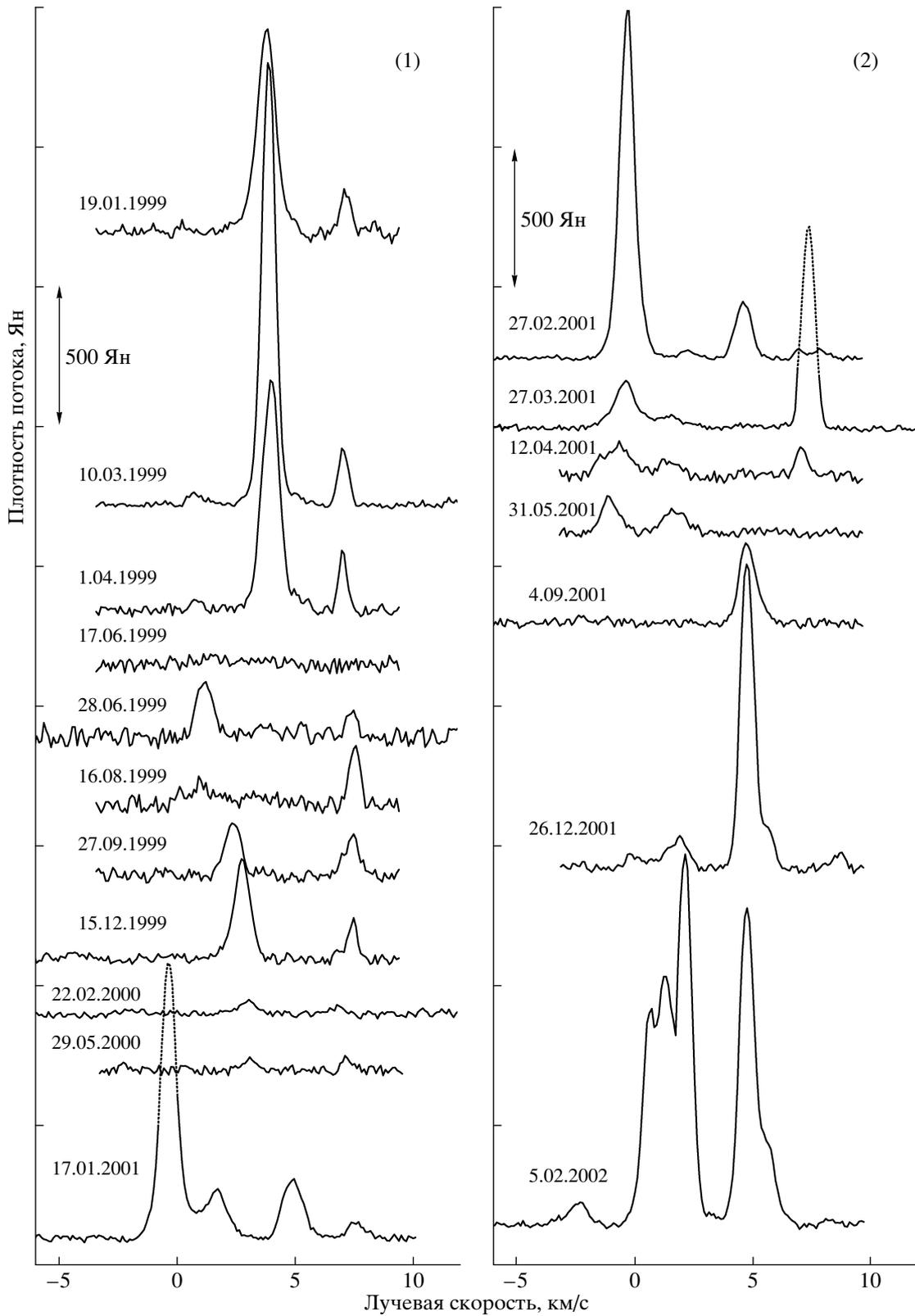


Рис. 1. Спектры мазерного излучения H_2O в IRAS 16293–2422 в 1999–2002 гг.

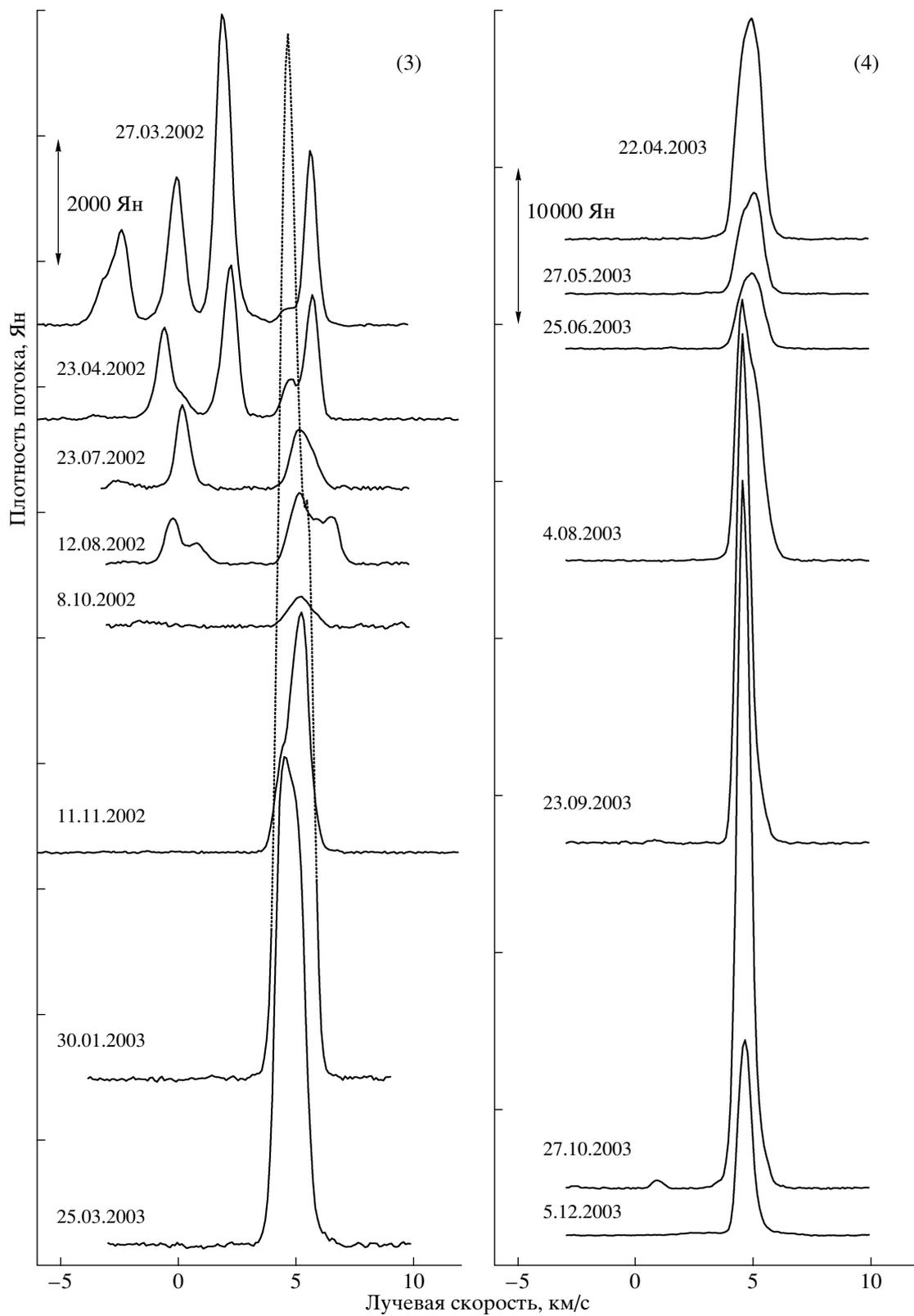


Рис. 2. Спектры мазерного излучения H_2O в IRAS 16293–2422 в 2002–2003 гг.

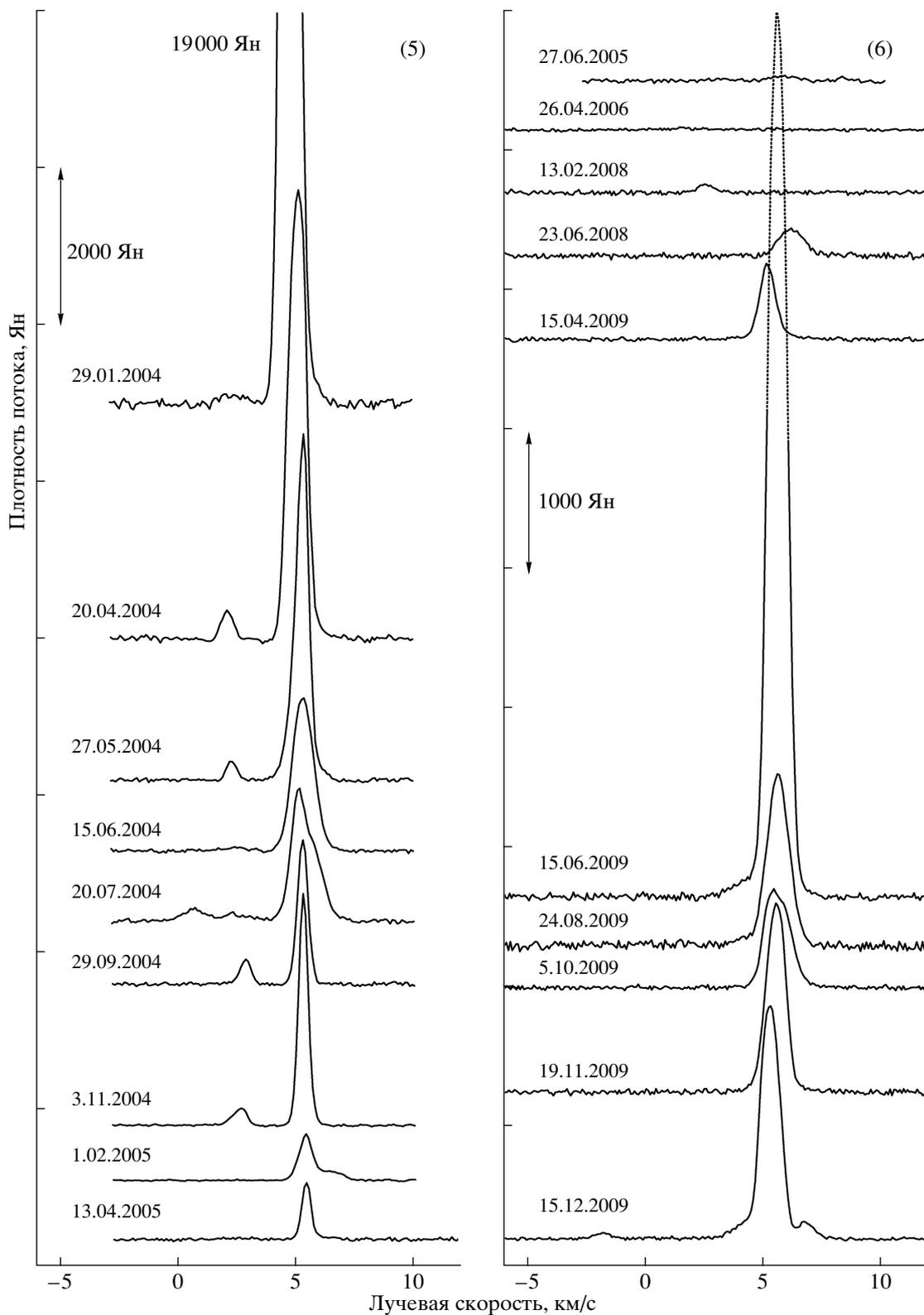


Рис. 3. Спектры мазерного излучения H₂O в IRAS 16293–2422 в 2004–2009 гг.

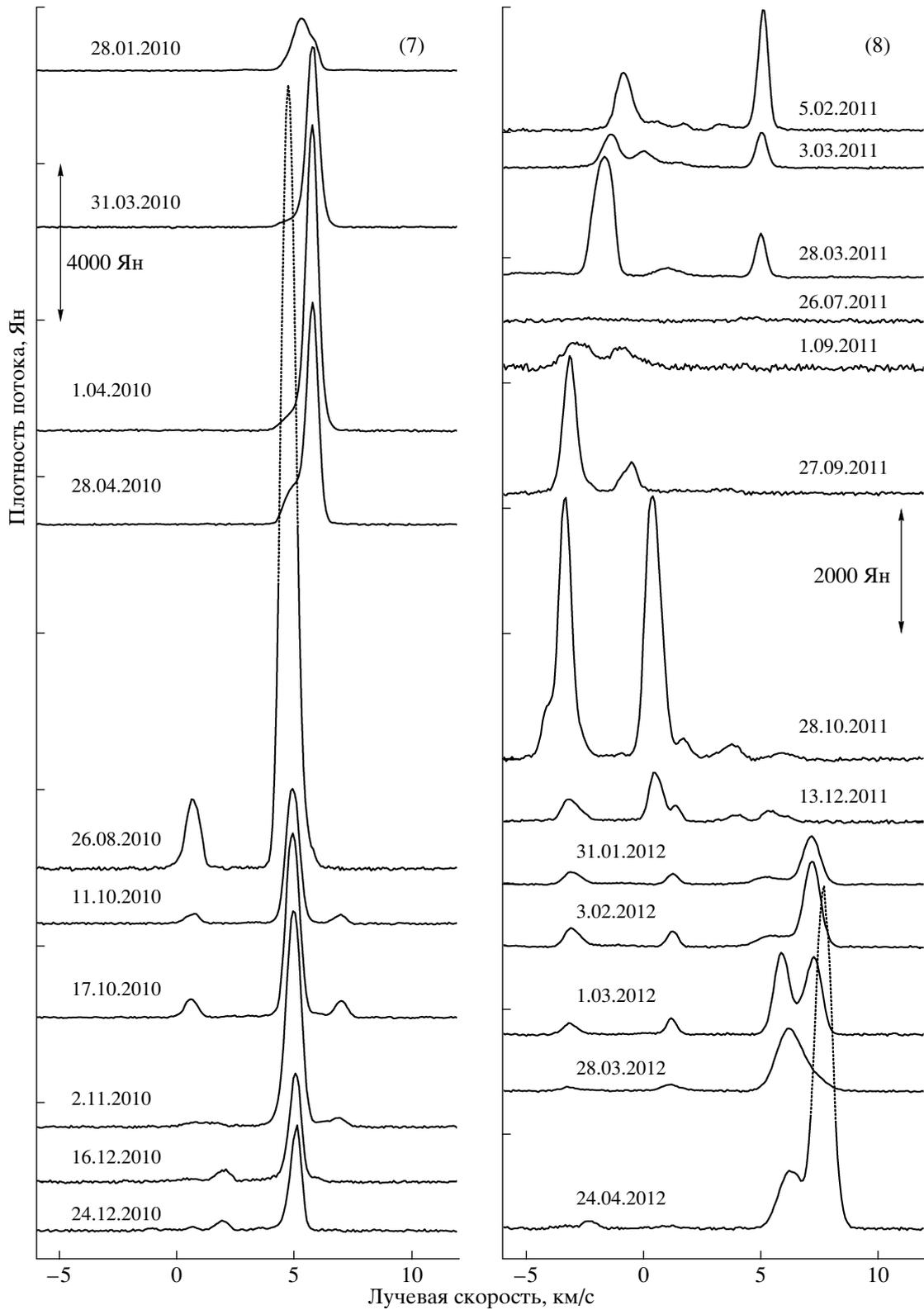


Рис. 4. Спектры мазерного излучения H₂O в IRAS 16293–2422 в 2010–2012 гг.

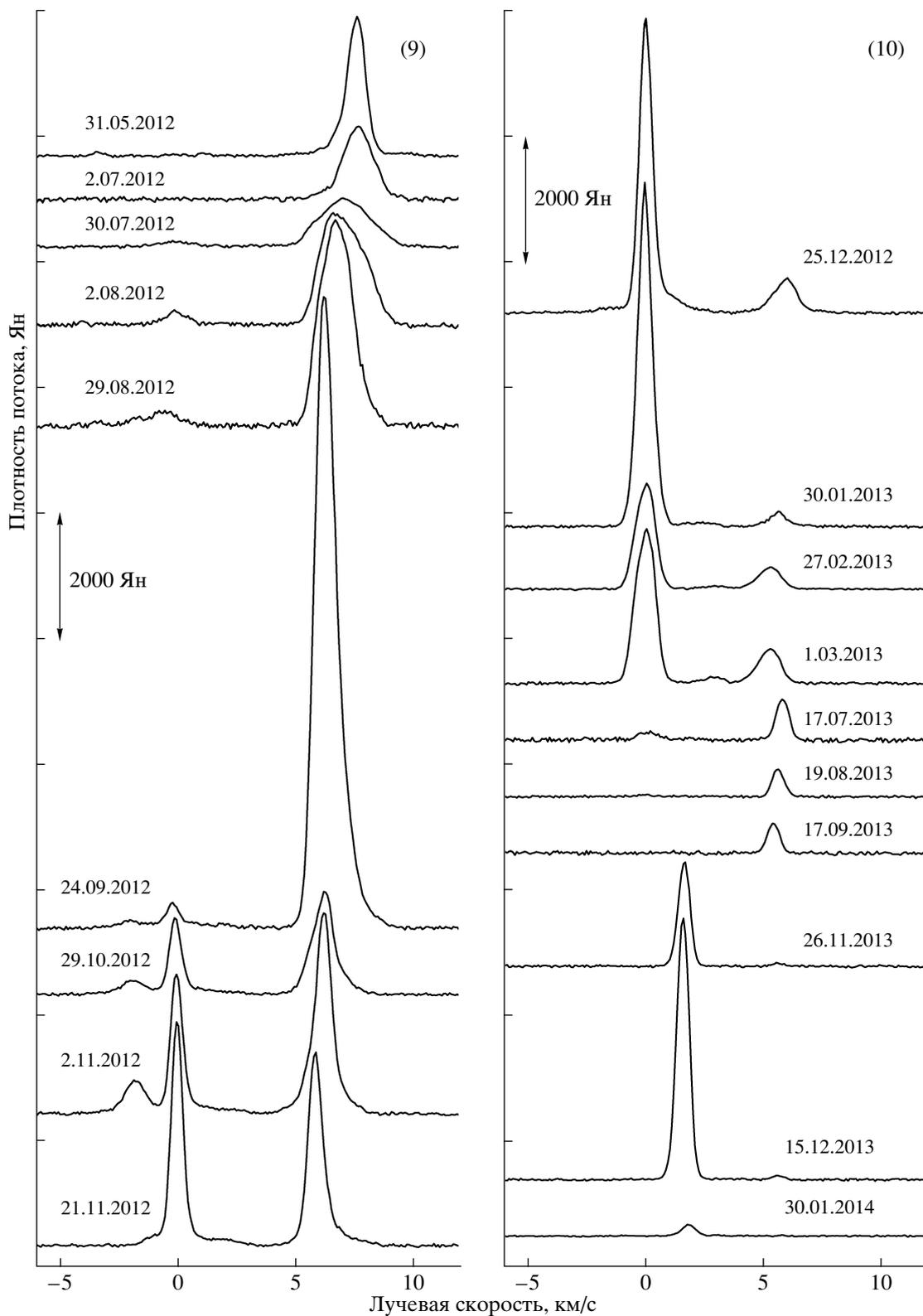


Рис. 5. Спектры мазерного излучения H_2O в IRAS 16293–2422 в 2012–2014 гг.

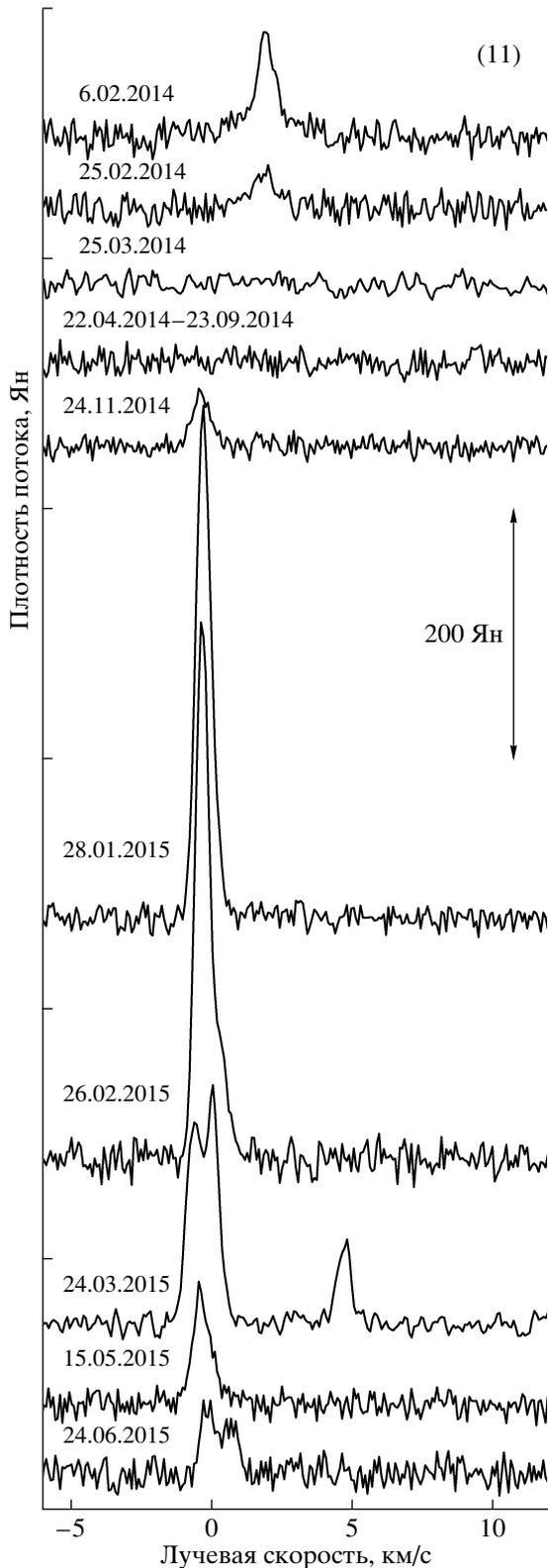


Рис. 6. Спектры мазерного излучения H_2O в IRAS 16293–2422 в 2014–2015 гг.

Наблюдения в главных линиях гидроксила на волне 18 см проводились нами в 2007, 2013, 2014

и 2015 гг. в линейных и круговых поляризациях. В спутниковых линиях 1612 и 1720 МГц наблюдения проводились в 2014 и 2013–2014 гг., соответственно. В линии 1612 МГц излучение не было обнаружено. Результаты наблюдений представлены на рис. 8. Для главных линий приведены усредненные спектры за период наблюдений 2007–2015 гг. Профили приведены для полного излучения (сумма излучений в правой и левой круговых поляризациях, которые равны между собой при неполяризованном излучении).

3. ДИСКУССИЯ

Переменность мазерного излучения H_2O периодического характера, которая наблюдалась нами ранее у многих холодных ИК-источников, не обнаружена. Можно говорить только о некотором циклическом характере активности мазера H_2O . Точнее всего продолжительность циклов активности была оценена по минимумам излучения. Такой анализ показал, что продолжительность циклов активности различалась значительно и находилась в диапазоне 0.9–3.4 г. Циклы активности также очень сильно отличались друг от друга по интенсивности вспышек как одиночных деталей, так и групп деталей, а также по структуре спектров. Часто вспышки были очень кратковременными. Нередко после вспышек наступали кратковременные периоды очень низкой активности мазера. Наиболее продолжительные минимумы с очень низким уровнем мазерного излучения имели место в середине 2000 г., в 2005–2006 гг., а также в 2014 г. Таким образом, мы приходим к заключению, что активность мазера водяного пара в IRAS 16293–2422 имеет циклический характер.

Основное мазерное излучение H_2O наблюдалось в двух диапазонах скоростей: 4.3–7.5 км/с и –3–2.5 км/с. Первый из них имеет красное смещение относительно скорости молекулярного облака, а второй – синее смещение. В первом диапазоне излучение наблюдалось от достаточно большого числа деталей. Наиболее сильное и чаще появляющееся излучение находилось в окрестностях лучевой скорости 5 км/с. Во втором диапазоне спектра основным было излучение вблизи лучевых скоростей –3, 0 и ~2.4 км/с. В окрестностях нулевой лучевой скорости излучающая область, вероятно, имеет сложную структуру.

Кроме исследования эволюции групп деталей с близкими лучевыми скоростями в периоды их высокой активности (вспышек), представляет интерес изучение вспышек одиночных деталей. Мы провели анализ формы линии деталей в эпохи максимумов их активности. Важными параметрами здесь являются симметрия или асимметрия линии и форма

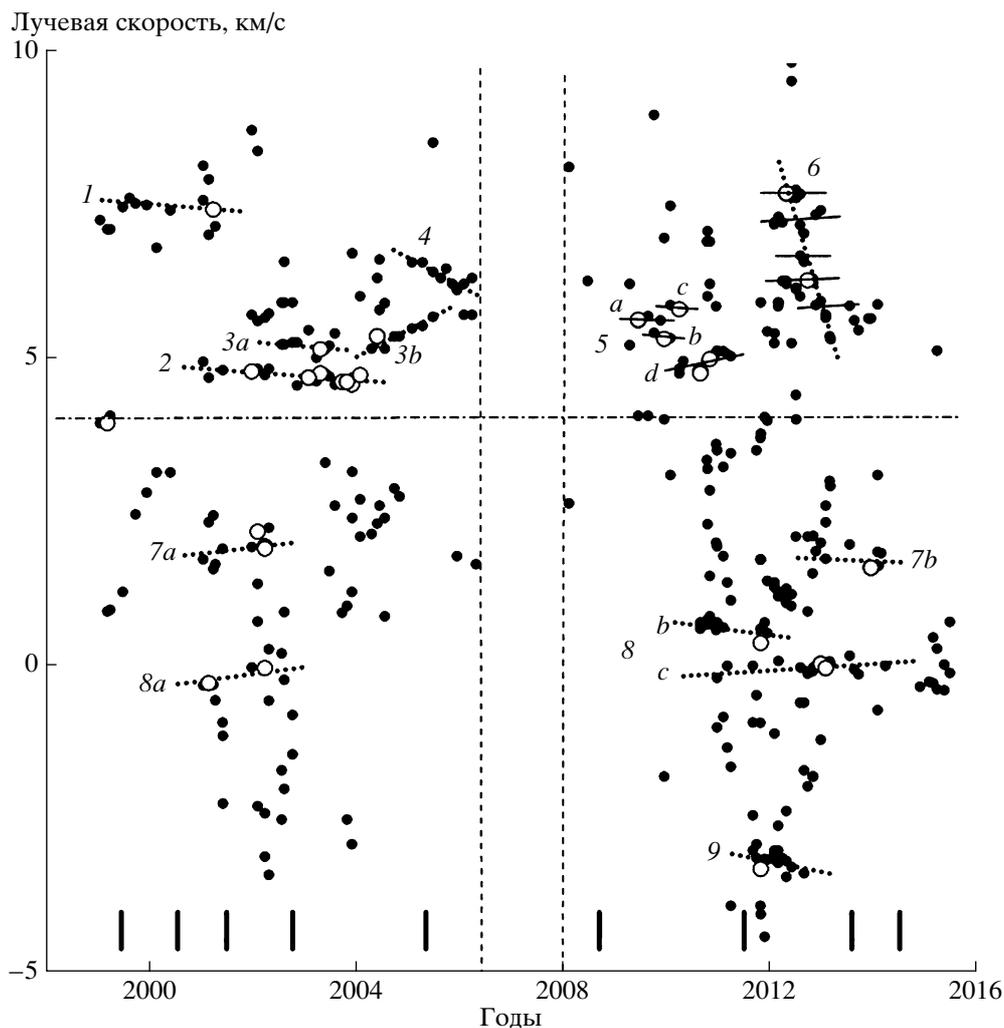


Рис. 7. Переменность лучевой скорости основных эмиссионных деталей мазерного излучения H_2O . Детали в эпохи высокой активности (сильные вспышки) нанесены светлыми кружками. Положения минимумов активности показаны отрезками вертикальных линий. Горизонтальной штрих-пунктирной линией показана скорость молекулярного облака CO (4 км/с). Положения максимумов потоков деталей с близкими лучевыми скоростями (дрейф максимумов) аппроксимированы прямыми пунктирными линиями и пронумерованы. В течение временного интервала, заключенного между двумя вертикальными штриховыми линиями, наблюдения не проводились по техническим причинам.

крыльев линии и их эволюция в процессе развития вспышки. Такой анализ позволяет выявить большее число компонентов, чем простое вписывание гауссиан, а также возможное существование турбулентных движений вещества.

Анализ показал, что ширины линий одиночных деталей заключены в узком интервале значений лучевых скоростей: 0.6–0.8 км/с. Наблюдаются линии как симметричной, так и асимметричной формы. Симметричные линии хорошо аппроксимируются гауссианами. Однако в некоторых случаях одно крыло (левое или правое) или оба одновременно были выше вписанной гауссианы.

3.1. Вспышки в диапазоне скоростей 4.3–7.5 км/с

Конфигурация 1 (см. рис. 7) имеет простую структуру. Основной является деталь на скорости около 7.4 км/с, максимум излучения которой во время кратковременной вспышки составил 720 Ян. Дрейф, превышающий 0.15 км/с, не прослеживается.

Во время самой сильной вспышки мазера H_2O в 2003–2004 гг. ($F_{\text{max}} = 16700$ Ян) имело место последовательное возбуждение ударной волной трех основных деталей с разными, но близкими лучевыми скоростями (от 4.6 до 5.4 км/с). Это отчетливо видно на рис. 1 и 2 (панели, обозначенные 2 и 3), рис. 7 (структуры 2 и 3) и рис. 9.

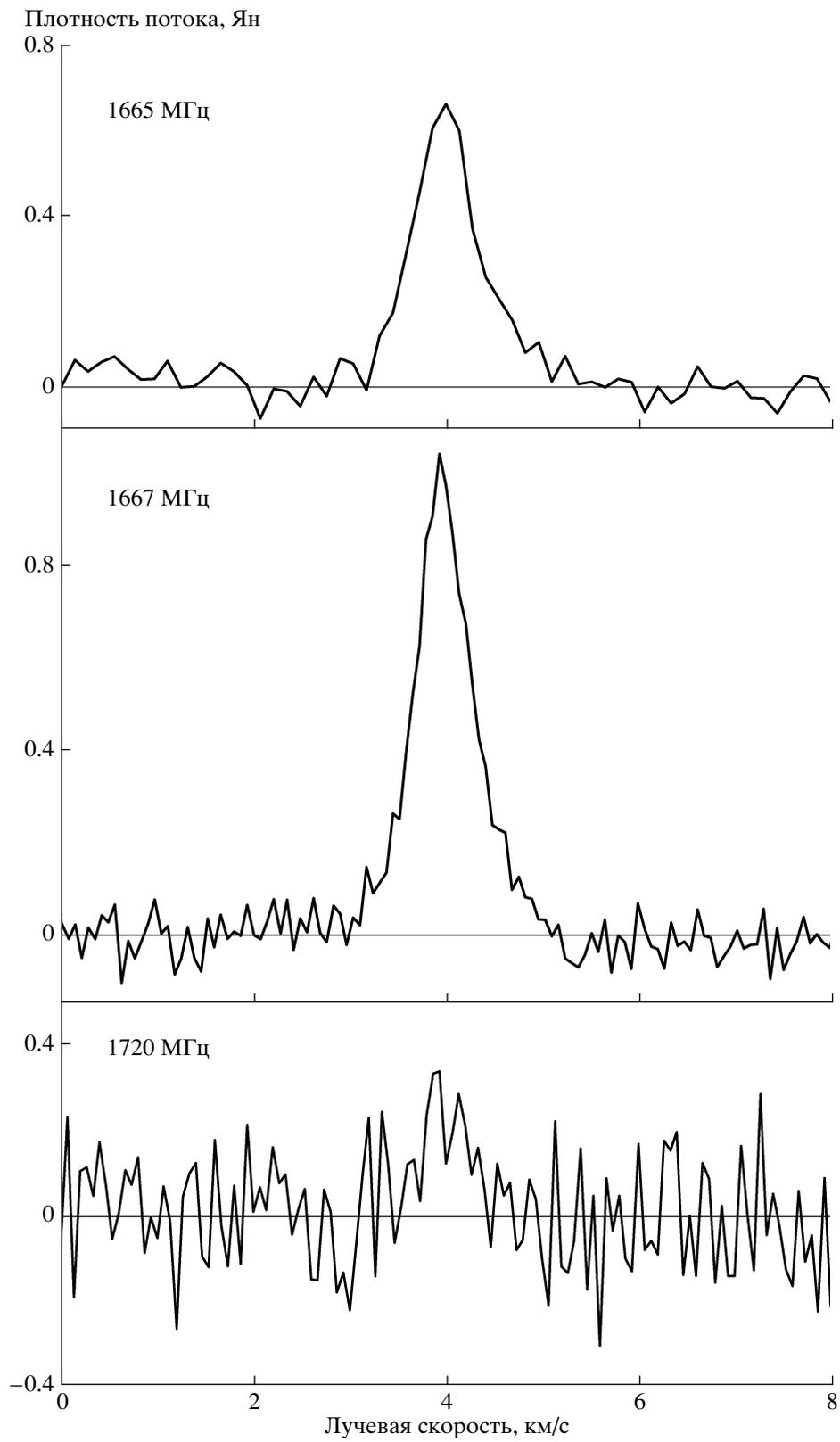


Рис. 8. Профили излучения в линиях гидроксила на 18 см в направлении IRAS 16293–2422 (см. текст).

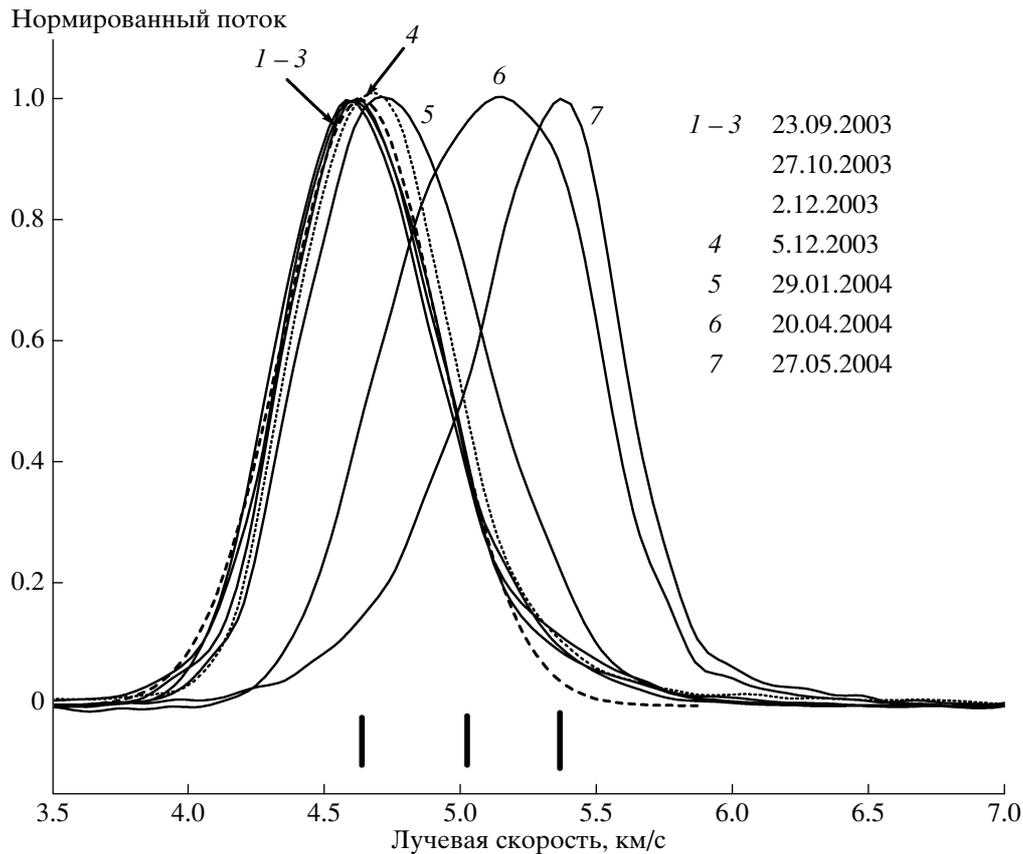


Рис. 9. Нормированные профили линий излучения H_2O в период самой мощной вспышки в IRAS 16293–2422 в 2003–2004 гг. Пунктирной линией показан профиль, с которого начались сильные изменения его структуры. Приведены эпохи наблюдений для каждого профиля линии. Штриховой линией показана гауссиана, вписанная в профиль в эпоху максимума излучения (45 000 Ян в октябре 2003 г.). Внизу отрезками вертикальных линий показаны положения по лучевой скорости основных деталей вспышки.

Возбуждение излучения деталей ударной волной происходило не одновременно, а с задержками во времени, следовательно, детали пространственно разнесены. Согласно Имаи и др. [20], которые наблюдали это излучение в этот же период времени, происходили как пространственный, так и скоростной дрейфы излучения. Однако нам представляется, что здесь имели место два механизма. Один из них — реальные собственные движения деталей, второй — последовательное возбуждение излучения пространственно разнесенных деталей с близкими лучевыми скоростями в период вспышки.

На рис. 9 представлены центральные части профилей линий излучения H_2O . Для удобства анализа эволюции профилей проведена их нормировка. Приведены эпохи наблюдений. Нормированные профили для первых трех эпох хорошо совпадают как по форме линии, так и по скорости (4.6 км/с). В каждый из них была вписана гауссиана, которая хорошо аппроксимирует соответствующий профиль. Мы приводим только одну нормированную гауссиану, вписанную в профиль линии в эпоху

максимума. Отличие от гауссиан для всех трех эпох наблюдается в правых крыльях. Это вызвано наличием в крыле линии более слабой детали на скорости 5.4 км/с. Из характера эволюции профиля линии можно заключить, что имеются по крайней мере три эмиссионные детали: 4.6, 5.0 и 5.4 км/с. Моменты изменения скорости максимума излучения совпадают с моментами, зафиксированными Имаи и др. [20].

На подобную морфологию мазера также указывали Альвес и др. [17], но в другую эпоху (2007 г.). Согласно [17] в 2007 г. спектр имел негауссову форму и состоял по крайней мере из трех деталей (5.7, 7.4 и 9.2 км/с), образующих линейную конфигурацию. Детали возбуждаются фронтом сжатого газа в молекулярном истечении, активизированном протозвездой.

Вспышка 2009–2010 гг. имела очень сложную эволюцию. Наблюдались последовательные вспышки четырех основных деталей (см. рис. 4 и 7). На рис. 7 эта структура обозначена номером 5, а составляющие ее компоненты — *a*, *b*, *c* и *d*. Никакой

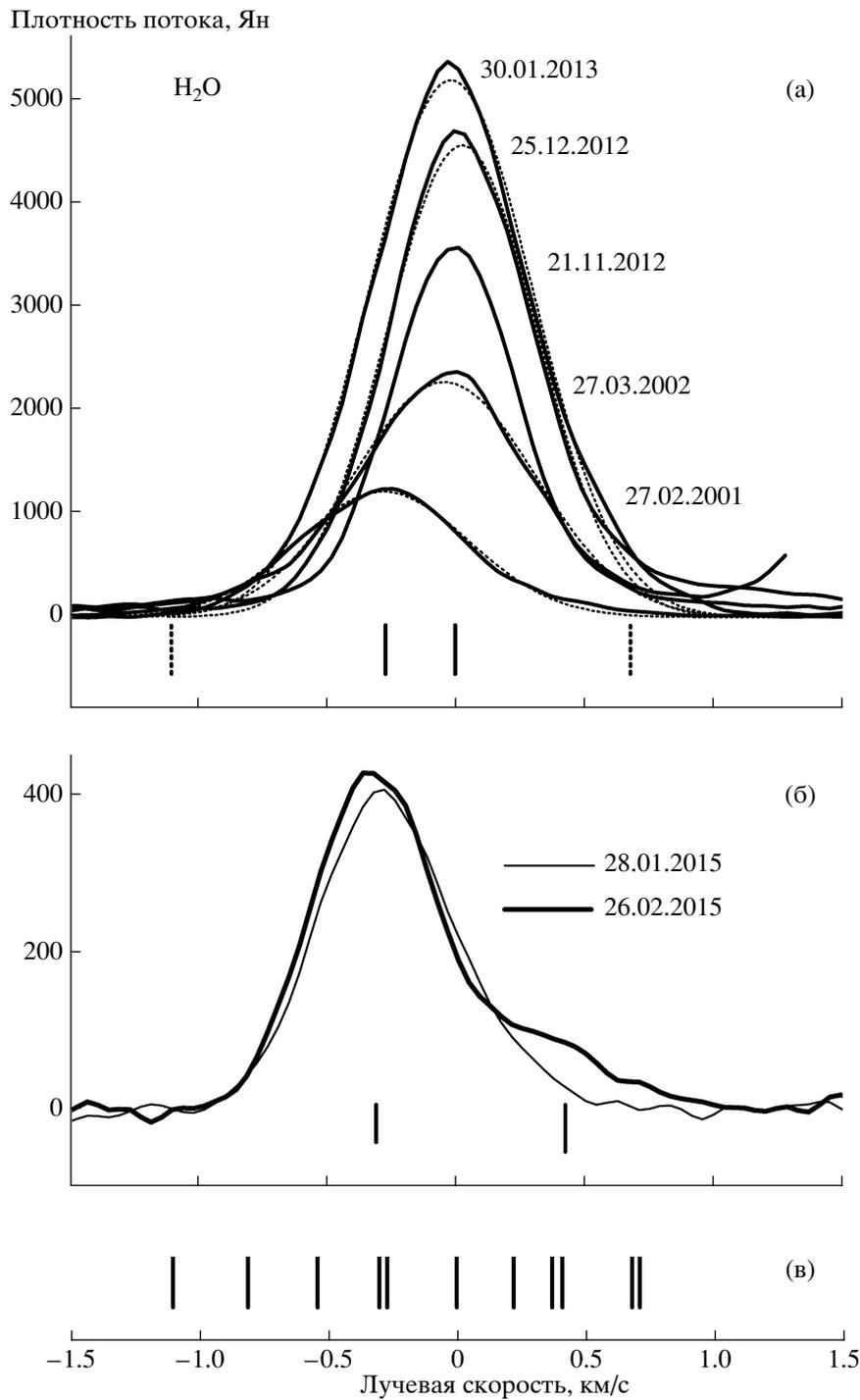


Рис. 10. а — Профили линий эмиссионных деталей H₂O на скорости вблизи 0 км/с в эпохи максимумов излучения. Справа напротив максимумов указаны эпохи наблюдений. Пунктирными линиями вписаны гауссианы. б — Профили линий H₂O во время вспышки в 2015 г. Выделенные детали всех вспышек отражены отрезками вертикальных линий. в — Положения всех эмиссионных деталей с потоками более 800 Ян, которые наблюдались в нашем мониторинге с 1999 г.

упорядоченной по скорости структуры не просматривается. Лучше всего эволюция спектра может быть объяснена в рамках модели в виде дуги (см., напр., [22]) или просто в виде скопления мазерных деталей.

Сильная вспышка 2012–2013 гг. также развивалась очень сложно. Наиболее сильное излучение произошло на $V_{\text{LSR}} = 6.24$ км/с с потоком около 10000 Ян. Она также сопровождалась большим

дрейфом максимума излучения. Темп дрейфа составил около 3 (км/с)/год. Вызван он последовательным возбуждением излучения деталей, имеющих скорости от 7.5 до 5.3 км/с (см. рис. 4 и 5, панели 8–10 и структуру 6 на рис. 7). Эти детали могут образовывать пространственную структуру с градиентом лучевой скорости, например, в виде цепочки. Такие образования принято называть организованными структурами.

По характеру эволюции профиля линии мы выделили пять деталей. Они отмечены на рис. 7 отрезками прямых линий. Задержки между максимумами потоков этих деталей составили от 0.16 до 0.35 г. Накачка мазера может производиться распространяющейся от звезды ударной волной. Существование ударной волны в IRAS 20126 показали Ристорсели и др. [23] на основании данных по субмиллиметровому излучению воды.

Кауфман и Нейфелд [24] путем моделирования этих данных показали, что в окрестностях источника IRAS 20126 предпочтительней является ударная волна С-типа (С-shock) со скоростью порядка 12–15 км/с. При скорости 15 км/с полученным из наблюдений задержкам соответствует расстояние между деталями (в направлении, перпендикулярном фронту ударной волны) от 0.5 до 1.1 а.е. и полной протяженности цепочки ~2 а.е. Это хорошо согласуется с результатами для других источников, например, для W75N [22, 25].

3.2. Излучение в диапазоне скоростей –1.5–2.1 км/с

На рис. 10 приведены профили линий излучения H₂O на скорости вблизи 0 км/с в эпохи вспышек (структура 8 на рис. 7). Поскольку диапазон потоков в максимумах вспышек отличался незначительно, профили приведены в одном масштабе (рис. 10а). Более слабая вспышка 2015 г. представлена отдельно на рис. 10б со вписанными гауссианами. Профили линий оказались не совсем симметричными и немного отличаются от гауссовой формы. Это может быть следствием того, что наблюдаемые мазерные конденсации являются неоднородными. Удивительно, что с 2002 по 2013 г. излучение появлялось нечасто, но всегда на скорости, близкой к 0 км/с.

Вспышка 2015 г. произошла на той же скорости, что и в 2001 г. (–0.3 км/с). Все это может быть аргументом в пользу того, что мазерные конденсации на этих скоростях являются достаточно стабильными образованиями. Отрезками вертикальных сплошных линий на рис. 10 отмечены основные компоненты вспышек, а пунктирными линиями — компоненты с потоками менее 100 Ян. На рис. 10в нанесены положения всех эмиссионных деталей

с потоками более 800 Ян, которые наблюдались в нашем мониторинге с 1999 г. Многие из этих вспышек были кратковременными, сравнимыми с интервалами между наблюдениями.

Наконец, рассмотрим излучение вблизи скорости 2 км/с. Эмиссионные детали, которые дают это излучение, образуют структуру 7 (см. рис. 7). В основном наблюдалось слабое излучение. Можно выделить две мощные кратковременные вспышки в 2002 и 2014 гг. на скоростях 1.9 и 1.7 км/с, соответственно. Вспышки сопровождалась появлением короткоживущих деталей на скоростях в интервале 1.6–2.1 км/с. Какая-либо закономерность в последовательности появления излучения на этих скоростях не просматривается, что говорит о сложной структуре данной конфигурации мазера H₂O. Скорее всего, она является скоплением отдельных мазерных деталей.

3.3. Особенности мазера H₂O в IRAS 16293–2422

Мы обнаружили ряд особенностей мазерного излучения H₂O в IRAS 16293–2422 по отношению к многим другим подобным источникам, связанных с холодными ИК-источниками (см., напр., [26]).

- Основным отличием является большое число очень сильных вспышек.
- Во время сильных вспышек излучение наблюдалось в узком интервале лучевых скоростей (от 4.5 до 6 км/с). Излучение других, даже слабых, деталей, как правило, отсутствовало.
- Очень короткие вспышки обычно были связаны с одиночными деталями и появлялись хаотически по времени (рис. 7).
- В период 1987–1992 гг. наибольшая активность мазера приходилась на лучевые скорости 6–8 км/с [14, 15, 27, 28]. Согласно результатам настоящей работы акцент активности сместился на 4.5–5.5 км/с в периоды 2001–2004 и 2009–2010 гг. С 2012 г. активность снова сместилась в интервал скоростей 5.5–7.5 км/с. Кроме того, достаточно интенсивным было излучение вблизи нулевой скорости, а более слабое — и в широком интервале лучевых скоростей.

С конца 2012 г. излучение на $V_{LSR} = 5$ км/с сильно упало, но появилось излучение вблизи нулевой скорости, достигнув в январе 2013 г. потока в 5500 Ян. В конце 2013 г. произошла сильная кратковременная вспышка (4200 Ян) на 1.6 км/с.

Наконец, в 2015 г. более слабая вспышка опять произошла вблизи нулевой скорости.

Таким образом, имеются предпочтительные интервалы лучевых скоростей ($-0.3-0.4$, $1.6-2.1$ и $4.5-5.5$ км/с), где наблюдалось мощное мазерное излучение, причем вспыхивающего характера.

3.4. Излучение гидроксила

Излучение гидроксила во все эпохи наших наблюдений в направлении IRAS 16293–2422 было неполяризованным. Соотношение потоков в линиях 1665, 1667 и 1720 МГц составляет $4 : 2.7 : 1$. Это немного отличается от классического соотношения при тепловом излучении. Лучевая скорость максимума излучения составляет около 4 км/с, т.е. совпадает со скоростью облака CO. Ширина линии равна ~ 0.7 км/с. Вероятнее всего излучение гидроксила имеет тепловой характер. Тогда ширине линии в 0.7 км/с соответствует температура области излучения гидроксила ~ 30 К. Это значение близко к обычной температуре теплых облаков (40 К), в которых находятся холодные ИК-источники.

Кроме основного компонента, в правых крыльях главных линий имеется слабый компонент. В линии 1665 МГц он немного сильнее, чем в линии 1667 МГц. Лучевая скорость составляет $4.6-4.8$ км/с. Такая форма линии может отражать неоднородную структуру облака, т.е. когда облако имеет два уплотнения вещества.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы приводим результаты мониторинга очень молодого объекта IRAS 16293–2422, относящегося к холодным ИК-источникам. При интерпретации наших данных мы также использовали многочисленные наблюдения этого источника другими авторами (мониторинг и наблюдения с высоким угловым разрешением). Приводим основные результаты, полученные в настоящей работе.

- Мазерное излучение H_2O представляет собой последовательность мощных вспышек, достигающих порою десятков тысяч янских, при отсутствии какого-либо стабильного во времени излучения.
- Отдельные мазерные детали H_2O могут образовывать организованные структуры в виде цепочек протяженностью ~ 2 а.е., вдоль которых наблюдается регулярное изменение скорости.
- Скорее всего, величина собственного движения мазерных деталей H_2O в интервале скоростей $4.3-5.3$ км/с (2003–2004 гг.) меньше, чем это следует из наблюдений с высоким угловым разрешением. Причиной может быть сложная структура скопления мазерных деталей (с близкими лучевыми скоростями и малым расстоянием между ними), которые при вспышке активности протозвезды последовательно возбуждаются ударным фронтом, возникающим в молекулярном потоке. Поэтому в разные эпохи наблюдаются последовательно разные детали.
- Мазерные конденсации, ответственные за излучение в диапазоне скоростей от -1.5 до 1.6 км/с, вероятно, являются стабильными образованиями.
- Излучение в линиях молекулы гидроксила 1665, 1667 и 1720 МГц неполяризовано и является тепловым. Наблюдаемой ширине линии ~ 0.7 км/с соответствует температура области возникновения теплового излучения OH около 30 К.

Авторы выражают благодарность сотрудникам Пушинской (Россия) и Медонской (Франция) радиоастрономическим обсерваториям за большую помощь в проведении наблюдений. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 15-02-07676).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. J. Knude and E. Hog, *Astron. and Astrophys.*, **338**, 897 (1998).
2. J. C. Correia, M. Griffin, and P. Saraceno, *Astron. and Astrophys.*, **418**, 607 (2004).
3. L. G. Mundy, B. A. Wilking, and S. T. Myers, *Astrophys. J.* **311**, L79 (1986).
4. L. G. Mundy, A. Wootten, B. A. Wilking, G. A. Blake, and F. I. Sargent, *Astrophys. J.* **385**, 306 (1992).
5. L. W. Looney, L. G. Mundy, and W. J. Welch, *Astrophys. J.* **529**, 477 (2000).
6. C. J. Chandler, C. L. Brogan, Y. L. Shirley, and L. Loinard, *Astrophys. J.* **632**, 371 (2005).
7. C. D. Lada and B. A. Wilking, *Astrophys. J.* **238**, 620 (1980).
8. J. G. A. Wouterloot, K. Fiegle, J. Brand, and G. Winnewisser, *Astron. and Astrophys.*, **301**, 236 (1995).
9. B. A. Wilking and C. J. Lada, *Astrophys. J.* **274**, 698 (1983).
10. C. K. Walker, C. J. Lada, E. T. Young, and M. Margulis, *Astrophys. J.* **332**, 335 (1988).
11. S. C. C. Yeh, N. Hirano, T. L. Bourke, P. T. P. Ho, C.-F. Lee, N. Ohashi, and S. Takakuwa, *Astrophys. J.* **675**, 454 (2008).

12. R. Rao, J. M. Girart, D. P. Marrone, S. Lai, and S. Schnee, *Astrophys. J.* **707**, 921 (2009).
13. G. Narayanan, C. K. Walker, and H. D. Buckley, *Astrophys. J.* **496**, 292 (1998).
14. B. A. Wilking and M. J. Claussen, *Astrophys. J.* **320**, L133 (1987).
15. S. Terebey, S. N. Vogel, and P. C. Myers, *Astrophys. J.* **390**, 181 (1992).
16. C. J. Chandler, C. L. Brogan, Y. L. Shirley, and L. Loinard, *Astrophys. J.* **632**, 371 (2005).
17. F. O. Alves, W. H. T. Vlemmings, J. M. Girart, and J. M. Torrelles, *Astron. and Astrophys.* **542**, A14 (2012).
18. R. S. Furuya, Y. Kitamura, A. Wootten, M. J. Claussen, and R. Kawabe, *Astrophys. J. Suppl.* **144**, 71 (2003).
19. H. Imai, T. Iwata, and M. Miyoshi, *Publ. Astron. Soc. Japan* **51**, 473 (1999).
20. H. Imai, K. Nakashima, T. Bushimata, Y. K. Choi, T. Hirota, M. Honma, K. Horiai, N. Inomata, K. Iwadate, T. Jike, O. Kameya, R. Kamohara, Y. Kan-Ya, N. Kawaguchi, M. Kijima, H. Kobayashi, S. Kuji, T. Kurayama, S. Manabe, T. Miyaji, T. Nagayama, A. Nakagawa, C. S. OH, T. Omodaka, T. Oyama, S. Sakai, S. Sakakibara, K. Sato, T. Sasao, K. M. Shibata, R. Shimizu, M. Shintani, Y. Sofue, K. Sora, H. Suda, Y. Tamura, M. Tsushima, Y. Ueno, and K. Yamashita, *Publ. Astron. Soc. Japan* **59**, 1107 (2007).
21. W. G. L. Pöppel and E. Scalise Jr., *Revista Mexicana Astron. Astrof.* **17**, 121 (1989).
22. Е. Е. Лехт, В. И. Слыш, В. В. Краснов, *Астрон. журн.* **84**, 1070 (2007).
23. I. Ristorcelli, E. Falgarone, F. Schöier, S. Cabrit, M. Gerin, Ph. Baron, U. Frisk, J. Harju, A. Hjalmarsson, A. Klotz, B. Larsson, R. Liseau, and L. Pagani, *IAU Symp.* **231**, 227 (2005).
24. M. J. Kaufman and D. A. Neufeld, *Astrophys. J.* **456**, 250 (1996).
25. J. M. Torrelles, J. F. Gómez, L. F. Rodríguez, P. T. P. Ho, S. Curiel, and R. Vázquez, *Astrophys. J.* **489**, 744 (1997).
26. П. Колом, Е. Е. Лехт, М. И. Пашенко, Г. М. Рудницкий, А. М. Толмачев, *Письма в Астрон. журн.*, **41**, 464 (2015).
27. M. Felli, F. Palagi, and G. Tofani, *Astron. and Astrophys.* **255**, 293 (1992).
28. M. J. Claussen, B. A. Wilking, P. J. Benson, A. Wootten, P. C. Myers, and S. Terebey, *Astrophys. J. Suppl.* **106**, 111 (1996).