

БЫСТРОПЕРЕМЕННЫЙ МАЗЕРНЫЙ РАДИОИСТОЧНИК IRAS 05338–0624

© 2009 г. М. И. Пашенко¹, Г. М. Рудницкий¹, П. Колом²

¹Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга
МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

²Медонская обсерватория, Медон, Франция

Поступила в редакцию 12.10.2008 г.; принята в печать 07.11.2008 г.

В направлении на источник инфракрасного излучения IRAS 05338–0624 в темном межзвездном облаке L1641N в январе 2008 г. обнаружен новый мазер ОН. Наблюдения выполнены на радиотелескопе Радиоастрономической обсерватории Нансэ (Франция) в линиях ОН 1667 и 1665 МГц. На спектрах обеих линий присутствует тепловое излучение ОН окружающего молекулярного облака на лучевых скоростях относительно Местного стандарта покоя $V_{LSR} = 6–9$ км/с. Кроме того, на профилях, полученных 7 января 2008 г., в обеих линиях имеется узкая мазерная деталь на $V_{LSR} = 2$ км/с; плотность потока в максимуме на 1667 и 1665 МГц составляет 1.5 и 0.4 Ян, соответственно. В феврале–июле 2008 г. мазерное излучение ОН не было обнаружено. Далее 20 августа 2008 г. мазерная деталь снова наблюдалась в линии 1665 МГц на той же скорости $V_{LSR} = 2$ км/с, что и в январе. Плотность потока в максимуме была около 0.4 Ян. Соответствующее излучение в линии 1667 МГц не найдено с верхним пределом ~ 0.1 Ян. Однако 18 сентября 2008 г. излучение опять отсутствовало в обеих линиях ОН. Источник наблюдался также в линии H_2O $\lambda = 1.35$ см на радиотелескопе РТ-22 Пушинской радиоастрономической обсерватории 7 и 13 февраля 2008 г. В обоих случаях зарегистрирована деталь мазерного излучения на $V_{LSR} = 9$ км/с с плотностью потока в максимуме 35 и 15 Ян, соответственно. После видимого отсутствия в апреле мазерная эмиссия H_2O вновь появилась 14 мая 2008 г. на $V_{LSR} = 7$ км/с с плотностью потока около 15 Ян. Прослежена история предыдущих наблюдений объекта в линиях молекул ОН и H_2O . Мазер показывает сильную и быструю переменность потока в линиях обеих молекул, что характерно для молодых звездных объектов низкой светимости, находящихся на ранней стадии эволюции.

PACS: 97.21.+a, 98.38.Er

1. ВВЕДЕНИЕ

На ранней стадии своего формирования звезды погружены в плотные и холодные газо-пылевые облака, в которых из-за очень большого поглощения света звезда 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 фазу энергичного выброса вещества, сопровождающегося образованием мощных высокоскоростных биполярных, а иногда и однополярных потоков холодного молекулярного газа. На этой стадии в окрестностях звезды (в окружающем ее облаке) появляются мазерные радиоисточники, излучающие в линии молекулы H_2O , затем в линиях ОН и CH_3OH , и формируется сверхкомпактная область III. Мазеры могут быть связаны как с диском, окружающим протозвезду, так и с высокоскоростными биполярными молекулярными потоками. Мазерная эмиссия обусловлена когерентным

усилением радиоизлучения на частотах спектральных линий молекулами с инверсной населенностью энергетических уровней. Инверсия создается механизмом накачки. В случае молекул ОН накачка является, вероятнее всего, радиативной (за счет инфракрасного излучения пыли в оболочке, окружающей молодой звездный объект), а в случае молекул H_2O — столкновительной (возможно, при наличии ударных волн в области мазерной генерации) [1].

Источник IRAS 05338–0624 ассоциируется с холодным молекулярным облаком L1641N ($T \sim 20–30$ К), расположенным в комплексе звездообразования в Орионе на расстоянии ~ 450 пк от Солнца [2]. Плотность потока источника в дальней ИК-области 206.2 Ян на волне 60 мкм и 485.7 Ян на 100 мкм; полная светимость в диапазоне 7–135 мкм составляет менее $120 L_{\odot}$ [3]. Согласно наблюдениям облака L1641N [4] в радиолинии

молекулы CO $J = 2-1$, средняя лучевая скорость облака относительно Местного стандарта покоя $V_{LSR} = 7.4$ км/с.

В облаке L1641N обнаружено несколько биполярных выбросов молекулярного газа из молодых объектов [5–7]. Так, наблюдения с высоким угловым разрешением в линиях CO, HCO⁺ и HCN [5] показали наличие биполярного выброса, связанного с ИК-источником IRAS 05338–0624. Крылья выброса расположены в пределах расстояния 0.2 пк от центрального источника. В окрестностях IRAS 05338–0624 наблюдается излучение также и в линиях других молекул [2]. Следует отметить, что в линиях молекулы метанола CH₃OH найдено только тепловое излучение, мазерной эмиссии не обнаружено [8–10]. Перечисленное выше свидетельствует, что объект IRAS 05338–0624 является очень молодым.

В данной работе сообщается об исследовании мазерного излучения OH и H₂O, связанного с объектом IRAS 05338–0624. Работа открывает серию статей, посвященных новым совместным российско-французским исследованиям космических мазеров на радиотелескопе в Нансэ (Франция).

2. НАБЛЮДЕНИЯ В ЛИНИЯХ ГИДРОКСИЛА

Мы наблюдали источник IRAS 05338–0624 в линиях гидроксила на радиотелескопе¹ Радиоастрономической станции Нансэ Медонской обсерватории (Франция). Телескоп представляет собой двухзеркальный инструмент системы Крауса. Это транзитный телескоп, позволяющий наблюдать радиоисточники вблизи меридиана. Подвижный плоский отражатель размером 200 м × 40 м направляет радиоволны на неподвижное сферическое зеркало размером 300 м × 35 м и радиусом кривизны 560 м, расположенное на расстоянии 460 м. Сферическое зеркало, в свою очередь, фокусирует радиоволны на облучателе вблизи поверхности земли. Облучатель установлен на тележке, перемещаемой по рельсовому пути. Перемещение облучателя дает возможность сопровождать радиоисточник в пределах $\pm 30^m / \cos \delta$ по часовому углу относительно меридиана. Возможны наблюдения радиоисточников на $\delta > -39^\circ$. На склонении $\delta = 0^\circ$ диаграмма направленности телескопа на волне 18 см составляет $3.5' \times 19'$ по прямому восхождению и склонению, соответственно. На том же склонении чувствительность телескопа для $\lambda = 18$ см составляет 1.4 К/Ян.

¹http://www.obs-nancay.fr/nrt/nrt/obs/NRT_tech_info.html

Шумовая температура системы с усилителями, охлаждаемыми жидким гелием, — от 35 до 60 К в зависимости от условий наблюдения.

Недавно проведенная модернизация облучателей радиотелескопа Нансэ открывает новые возможности для эффективного исследования поляризации мазерного излучения OH. Радиотелескоп обеспечивает прием излучения одновременно в двух спектральных линиях (1665 и 1667 МГц) четырех типов поляризации: левая и правая круговая (LC и RC), линейная с позиционными углами 0° и 90° [L(0°) и L(90°)] либо 45° и –45° [L(45°) и L(–45°)].

Спектральный анализ проводится автокорреляционным спектроанализатором из 8192 каналов. Эти каналы могут быть разделены на несколько батарей, каждая из которых проводит независимый спектральный анализ сигнала в одной из двух линий OH и в одном из четырех направлений поляризации. В наших наблюдениях спектроанализатор был разделен на 8 батарей по 1024 канала. Частотная полоса анализа каждой батареи — 781.25 кГц, частотное разрешение — 763 Гц. Это соответствует разрешению по лучевой скорости 0.137 км/с.

Во время наблюдений радиоисточника вначале ведется запись спектров двух линий в поляризациях LC, RC, L(0°), L(90°); затем облучатели линейной поляризации поворачиваются на 45°, и осуществляется запись в LC, RC, L(45°), L(–45°). Таким образом, за один сеанс получают 8 спектров двух линий и шести мод поляризации (спектры LC и RC записываются дважды и усредняются; время накопления для них оказывается вдвое большим). Комбинируя моды поляризации, можно получить все четыре параметра Стокса мазерного излучения OH. Параметры Стокса определяются через плотности потока разных поляризаций в каждом частотном канале спектроанализатора следующим образом [11]:

$$I = F(0^\circ) + F(90^\circ) = F(RC) + F(LC),$$

$$Q = F(0^\circ) - F(90^\circ),$$

$$U = F(45^\circ) - F(-45^\circ),$$

$$V = F(RC) - F(LC).$$

Значение параметров Стокса для определения магнитного поля в источнике обсуждается, например, в [12].

Объект IRAS 05338–0624 наблюдался нами в Нансэ 11 июня 1991 г. Было обнаружено тепловое излучение в двух главных линиях 1665 и 1667 МГц в двух круговых и двух линейных поляризациях в диапазоне лучевых скоростей 6–9 км/с. Спектр

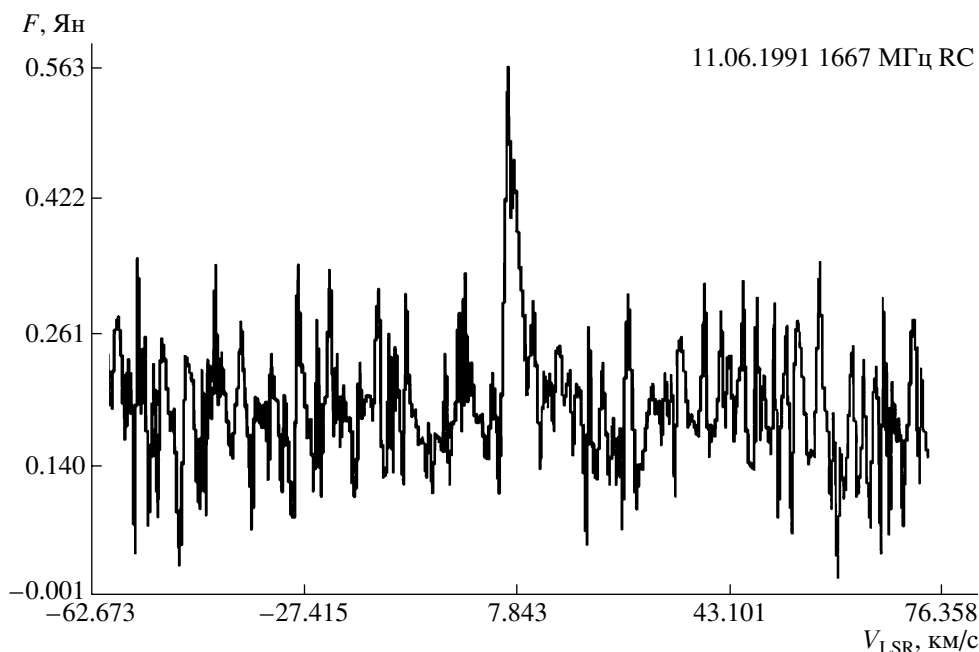


Рис. 1. Профиль линии ОН 1667 МГц источника IRAS 05338–0624, полученный 11 июня 1991 г. на радиотелескопе в Нансэ в правой круговой поляризации.

излучения в правой круговой поляризации на частоте 1667 МГц приведен на рис. 1 (публикуется впервые). На этих же лучевых скоростях ($V_{\text{LSR}} = 6\text{--}9$ км/с) в окружающем холодном облаке наблюдаются линии различных молекул (CO, CS, HCN, DCN и др.) [2]. Однако мазерное излучение в главных линиях ОН не было тогда зарегистрировано ни в левой, ни в правой круговой поляризации.

Слыш и др. [13] наблюдали IRAS 05338–0624 в марте–мае 1993 г. в главных линиях ОН также на телескопе в Нансэ. Они независимо обнаружили тепловое излучение в обеих главных линиях. Мазерное излучение ни в одной из главных линий снова не было обнаружено.

Новые наблюдения IRAS 05338–0624 в линиях ОН были выполнены нами на радиотелескопе в Нансэ в январе–сентябре 2008 г. В сеансе наблюдений 7 января 2008 г., наряду с ранее известным тепловым излучением ОН на $V_{\text{LSR}} = 6\text{--}9$ км/с, мы впервые обнаружили в IRAS 05338–0624 мазер ОН (рис. 2). Мазерное излучение в линии 1667 МГц представляло собой узкую эмиссионную деталь (ширина по половинной интенсивности $\Delta V_{1/2}$ не более 0.2 км/с) на лучевой скорости $V_{\text{LSR}} = 2$ км/с с плотностью потока в максимуме 1.5 Ян. Излучение в линии 1667 МГц имело слабую эллиптическую поляризацию — отличные от нуля параметры Стокса Q и V . Деталь излучения на той же лучевой скорости в линии 1665 МГц имела

почти 100%-ную правую круговую поляризацию при плотности потока в максимуме 0.4 Ян. Поляризационные характеристики излучения однозначно указывали на его мазерную природу. Однако в сеансе наблюдений 16 февраля 2008 г. мазерное излучение ОН в IRAS 05338–0624 не было зарегистрировано ни на 1667, ни на 1665 МГц; его плотность потока не превышала 0.1 Ян (рис. 3). Дальнейшие наблюдения IRAS 05338–0624 в линиях ОН (24 марта, 4 и 14 апреля, 6 мая и 8 июля 2008 г.) также не показали наличия мазерной эмиссии с плотностью потока более 0.1 Ян.

Излучение ОН IRAS 05338–0624 вновь было зарегистрировано 20 августа 2008 г. только в линии 1665 МГц: была найдена узкая ($\Delta V_{1/2} < 0.2$ км/с) эмиссионная деталь на лучевой скорости $V_{\text{LSR}} = 2$ км/с — той же, что и в профиле линии 7 января 2008 г. (рис. 4). Деталь имела линейную поляризацию — параметр Стокса U , отличный от нуля. Степень поляризации — около 50%, позиционный угол $\chi = 180^\circ \arctg(U/Q)/\pi$ близок к 90° . Соответствующее излучение в линии 1667 МГц на этот раз не было обнаружено, верхний предел на плотность потока — ~ 0.1 Ян.

Наконец, в сеансе наблюдений 18 сентября 2008 г. мазерное излучение снова не было зарегистрировано ни на 1665, ни на 1667 МГц, верхний предел плотности потока по уровню 3σ составляет 0.1 Ян. Наблюдавшиеся профили линий аналогичны приведенным на рис. 3.

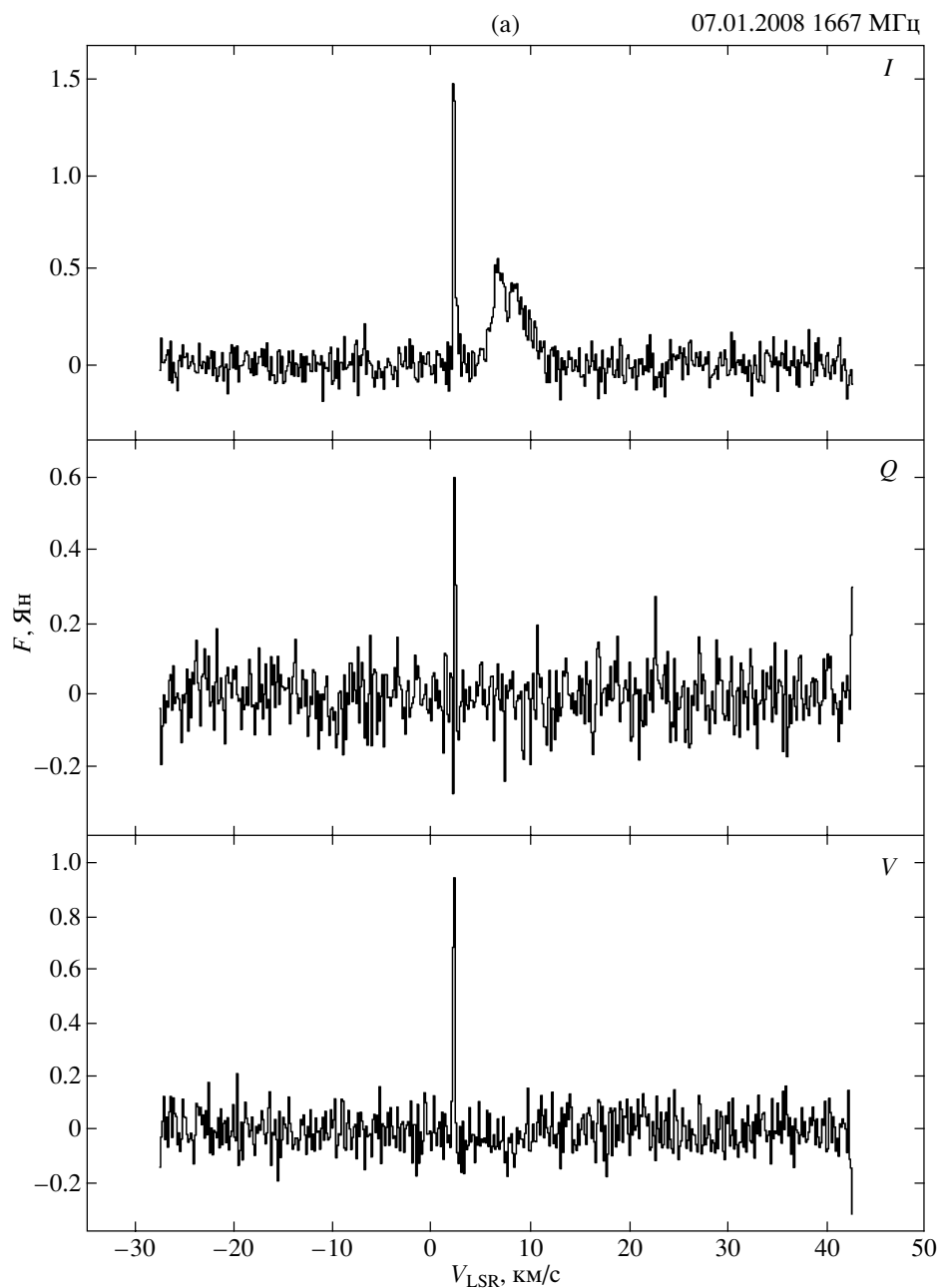


Рис. 2. Профили параметров Стокса I , Q , V в линиях ОН 1667 и 1665 МГц, полученные на радиотелескопе в Нансэ 7 января 2008 г.

3. НАБЛЮДЕНИЯ В ЛИНИИ ВОДЯНОГО ПАРА

Мазерное излучение IRAS 05338–0624 в линии H_2O $6_{16}-5_{23}$ (22235.08 МГц, $\lambda = 1.35$ см) впервые наблюдали Ксианг и Тернер [14] 22 января 1991 г. В то время профиль мазерного излучения H_2O IRAS 05338–0624 состоял из одиночной детали на лучевой скорости $V_{\text{LSR}} = 8.6$ км/с с плотностью потока в максимуме 12 Ян. В 1992–1993 гг. переменность этого

излучения исследовали Клауссен и др. [15]; наблюдались сильные изменения структуры профиля линии H_2O . В работах других авторов [16–18] излучение H_2O обнаружено не было.

Данные о наблюдениях IRAS 05338–0624 в линии H_2O собраны в таблице. Там же приводятся результаты наблюдений в линии H_2O , полученные в данной работе (отмечены звездочками). Наши наблюдения IRAS 05338–0624 в линии H_2O 22235.08 МГц проводились в 1992 и 2008 гг. на радиотелескопе РТ-22 Радиоастроно-

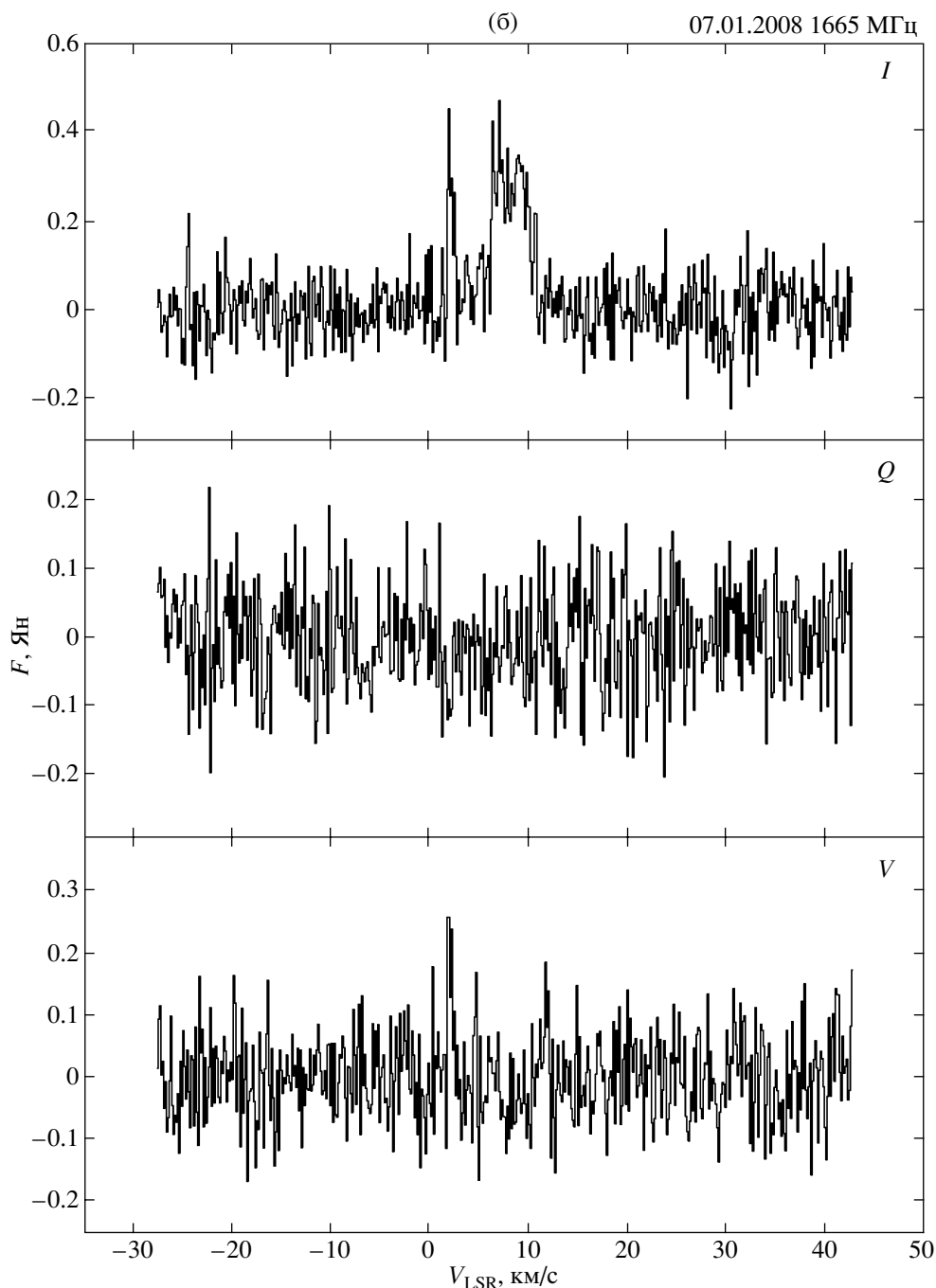


Рис. 2. Окончание

мической обсерватории Астрокосмического центра Учреждения Российской академии наук Физического института им. П.Н. Лебедева РАН в г. Пущино (Московская область)². Приемная аппаратура включала в себя охлаждаемый транзисторный усилитель диапазона 22 ГГц (шумовая температура системы $T_N = 80\text{--}120$ К). Для спектрального

анализа применялись 96-канальный фильтровой спектрометр с разрешением 0.101 км/с (1992 г.) и 2048-канальный автокорреляционный спектрометр с разрешением 0.081 км/с (2008 г.).

Первое наблюдение IRAS 05338–0624 в линии H_2O было выполнено нами 29 мая 1992 г. Мазерное излучение не было обнаружено, верхний предел на плотность потока по уровню 3σ составляет ~ 15 Ян. Как отмечалось выше, в

²<http://www.prao.ru/radiotelescopes/rt22.html>.

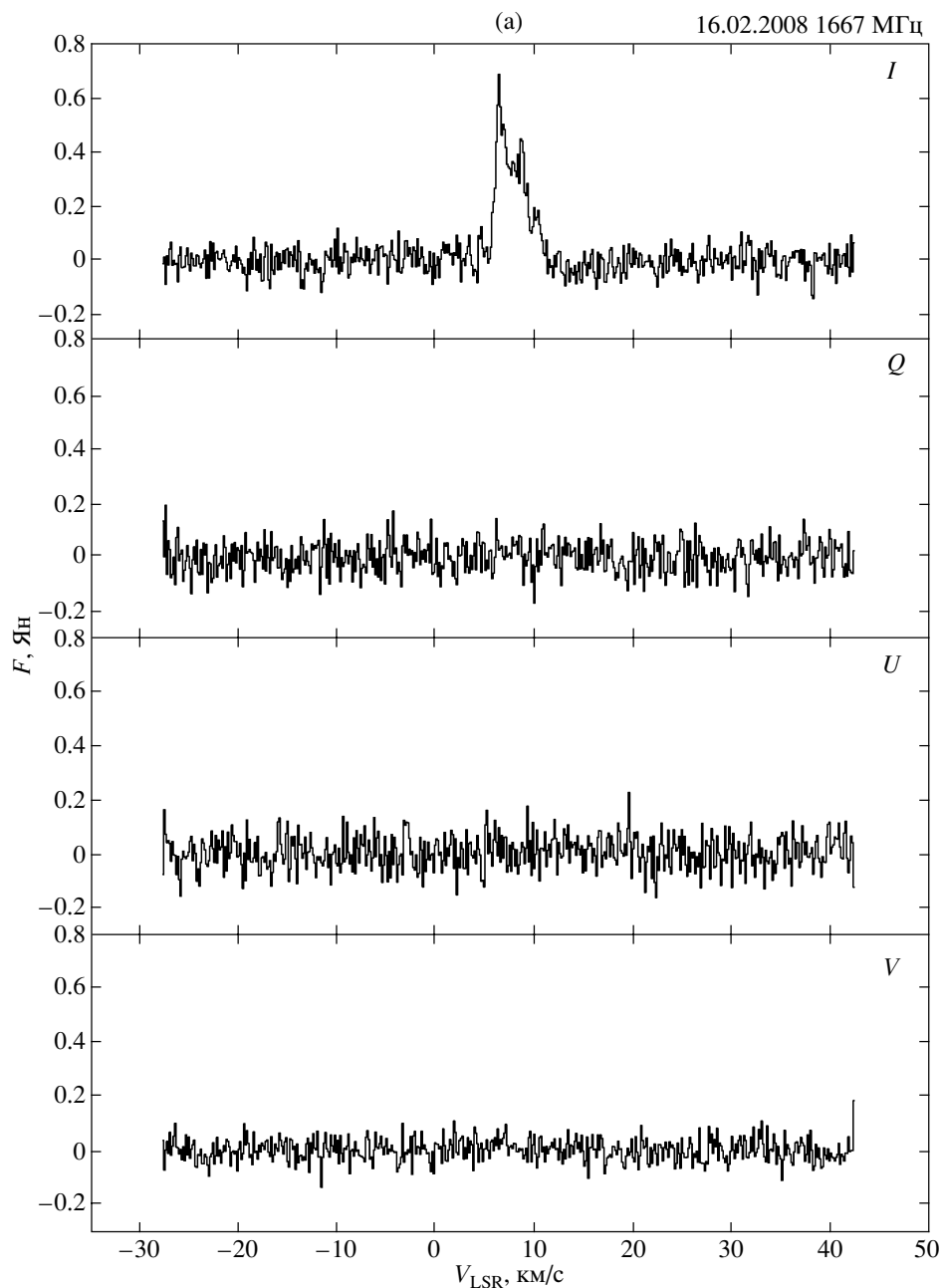


Рис. 3. Профили параметров Стокса I , Q , U , V в линиях ОН 1667 и 1665 МГц, полученные на радиотелескопе в Нансэ 16 февраля 2008 г.

1992–1993 гг. проводили мониторинг в линии H_2O ряда источников IRAS также Клауссен и др. [15]. Наш отрицательный результат согласуется с их данными по IRAS 05338–0624. В спектре линии H_2O , полученном ими 16 июля 1992 г., видимое излучение отсутствует; плотность потока — не более 1 Ян. В спектре 29 октября имеются две слабых детали около $V_{\text{LSR}} = 10$ км/с. В спектрах, полученных в [15] в ноябре и декабре того же года, излучение H_2O гораздо сильнее, причем в

профиле наблюдаются четыре мазерных детали на разных лучевых скоростях (таблица). Далее после большого перерыва наблюдения японских исследователей в 1998 г. вновь не выявили излучения H_2O в IRAS 05338–0624 [18].

Мы провели новые наблюдения IRAS 05338–0624 в линии H_2O в феврале–мае 2008 г. На рис. 5 приведены профили линии H_2O , полученные нами на РТ-22 в 2008 г. На первом профиле 7 февраля имеется эмиссионная деталь

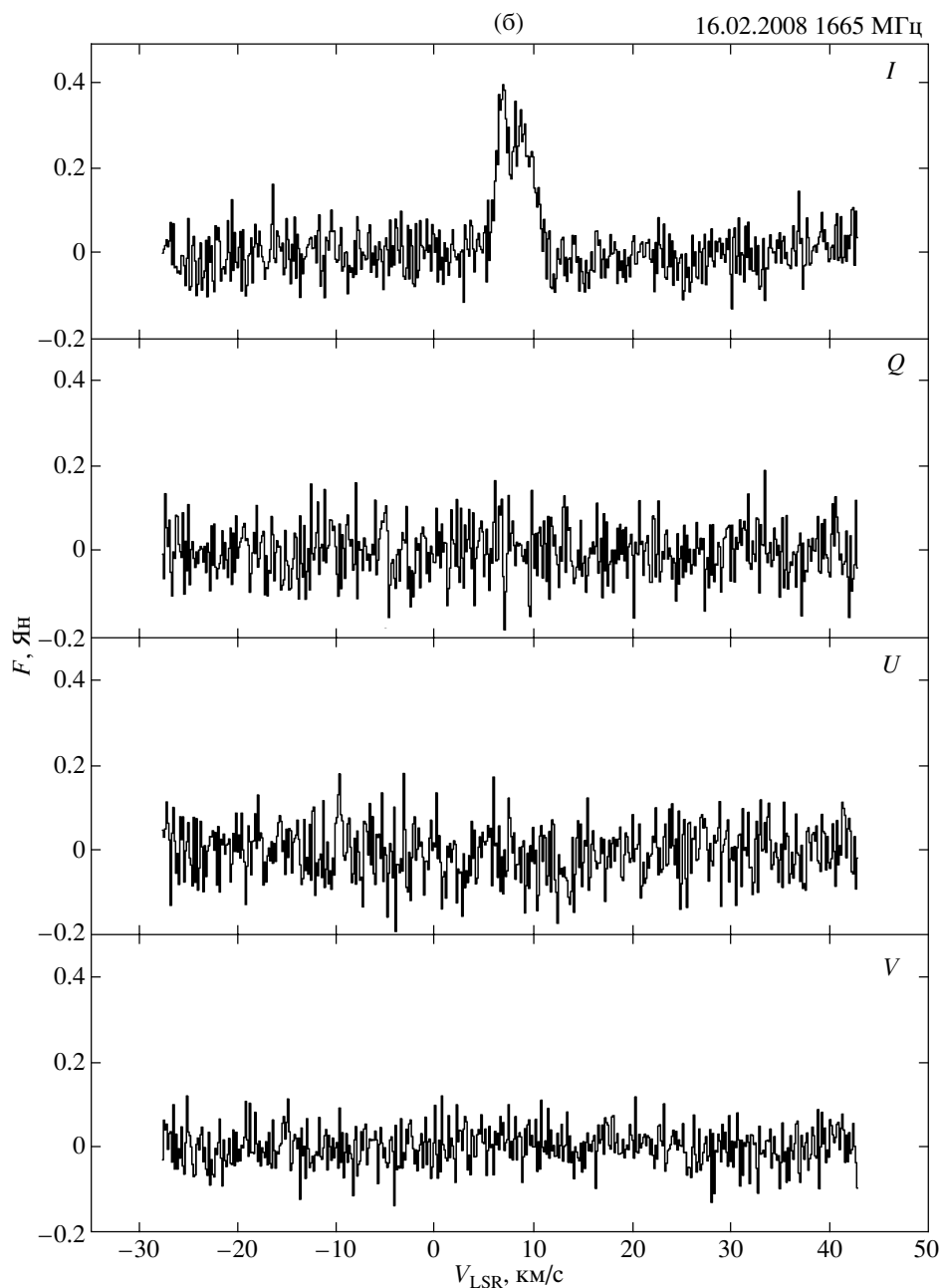


Рис. 3. Окончание

на лучевой скорости $V_{\text{LSR}} = 9 \text{ км/с}$ с плотностью потока в максимуме 35 Ян. Однако 13 февраля измеренная плотность потока детали оказалась заметно ниже — около 15 Ян. Повторные наблюдения, проведенные 10 апреля 2008 г., дали отрицательный результат. Не было обнаружено излучения H_2O , верхний предел на плотность потока в линии составляет 15 Ян. На профиле линии H_2O , полученном 14 мая 2008 г., излучение H_2O появилось вновь: присутствовала эмиссия на $V_{\text{LSR}} = 7 \text{ км/с}$ с плотностью потока около 15 Ян.

В сочетании с данными наблюдений в линии H_2O других авторов [14–18] это указывает, что мазер H_2O IRAS 05338–0624 (так же, как и мазер OH) относится к числу наиболее сильно меняющихся мазеров.

4. ОБСУЖДЕНИЕ И ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обнаружен новый источник мазерного излучения OH, связанный с молодым звездным объектом IRAS 05338–0624 в молекулярном облаке L1641N. Наши наблюдения в линиях OH и H_2O ,

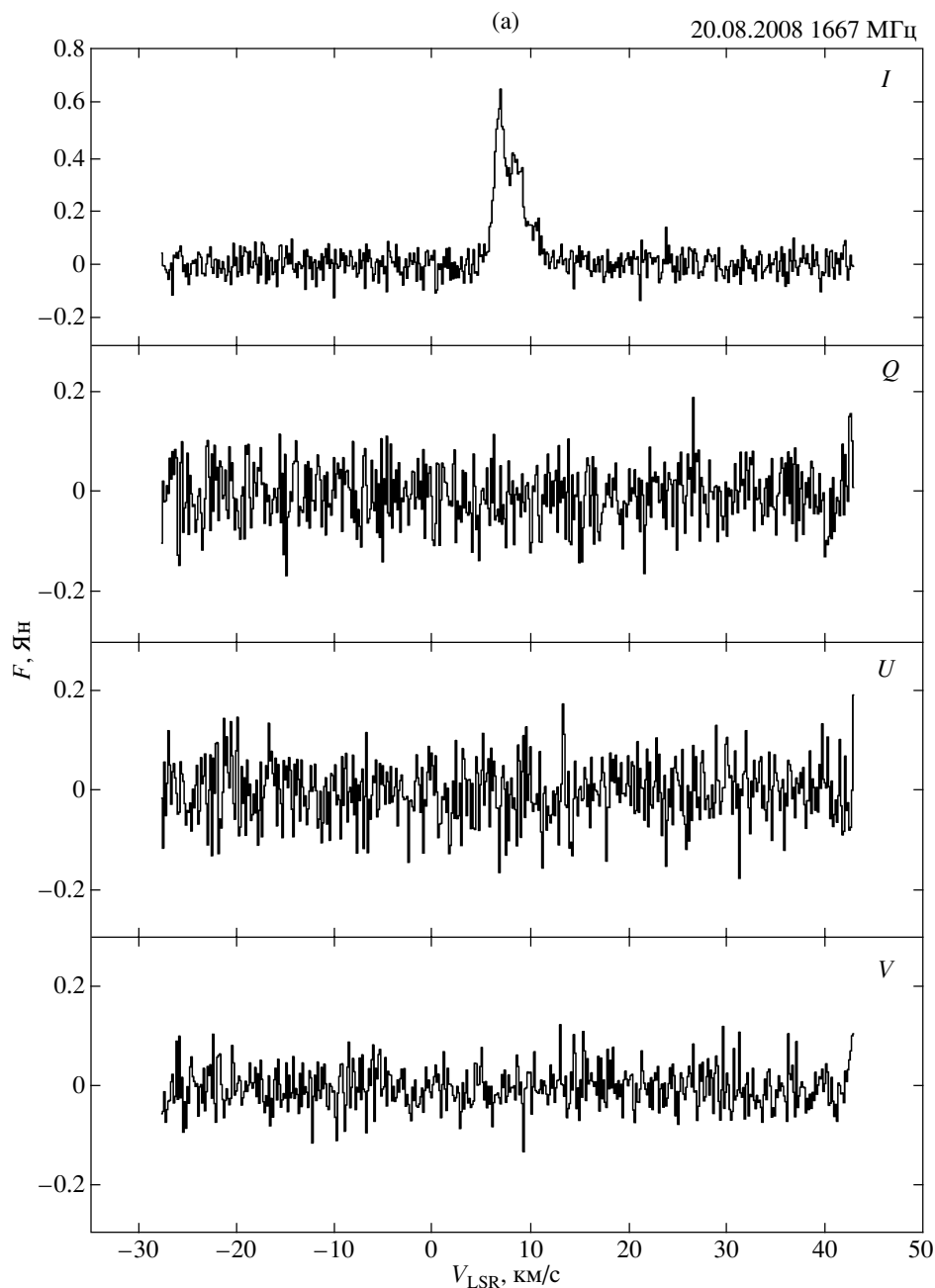


Рис. 4. То же, что на рис. 3, для 20 августа 2008 г.

а также литературные данные по этому объекту показали быстрые изменения излучения в линиях обеих молекул. Полученные нами результаты по переменности мазеров OH и H₂O в объекте IRAS 05338–0624 согласуются с другими данными, указывающими на молодость источника. Согласно [19], низкая светимость объекта в дальней ИК-области спектра характерна для ранней стадии эволюции молодых звездных объектов малых масс. В то же время мазеры, связанные с такими объектами, оказываются очень нестабильными во времени [15].

В работе [20] объект L1641N (IRAS 05338–0624) классифицирован как протозвезда класса 0/1, находящаяся в стадии аккреции оболочки на центральный объект. Простая структура профилей мазерных линий OH и H₂O в виде узких одиночных эмиссионных деталей характерна для маломассивных протозвездных объектов. По оценкам, приведенным в [20], возраст IRAS 05338–0624 порядка десятков (возможно, сотен) тысяч лет. Конечная масса формирующейся звезды составляет $(2-4)M_{\odot}$, при том, что нынешняя масса газо-пылевой оболочки, окру-

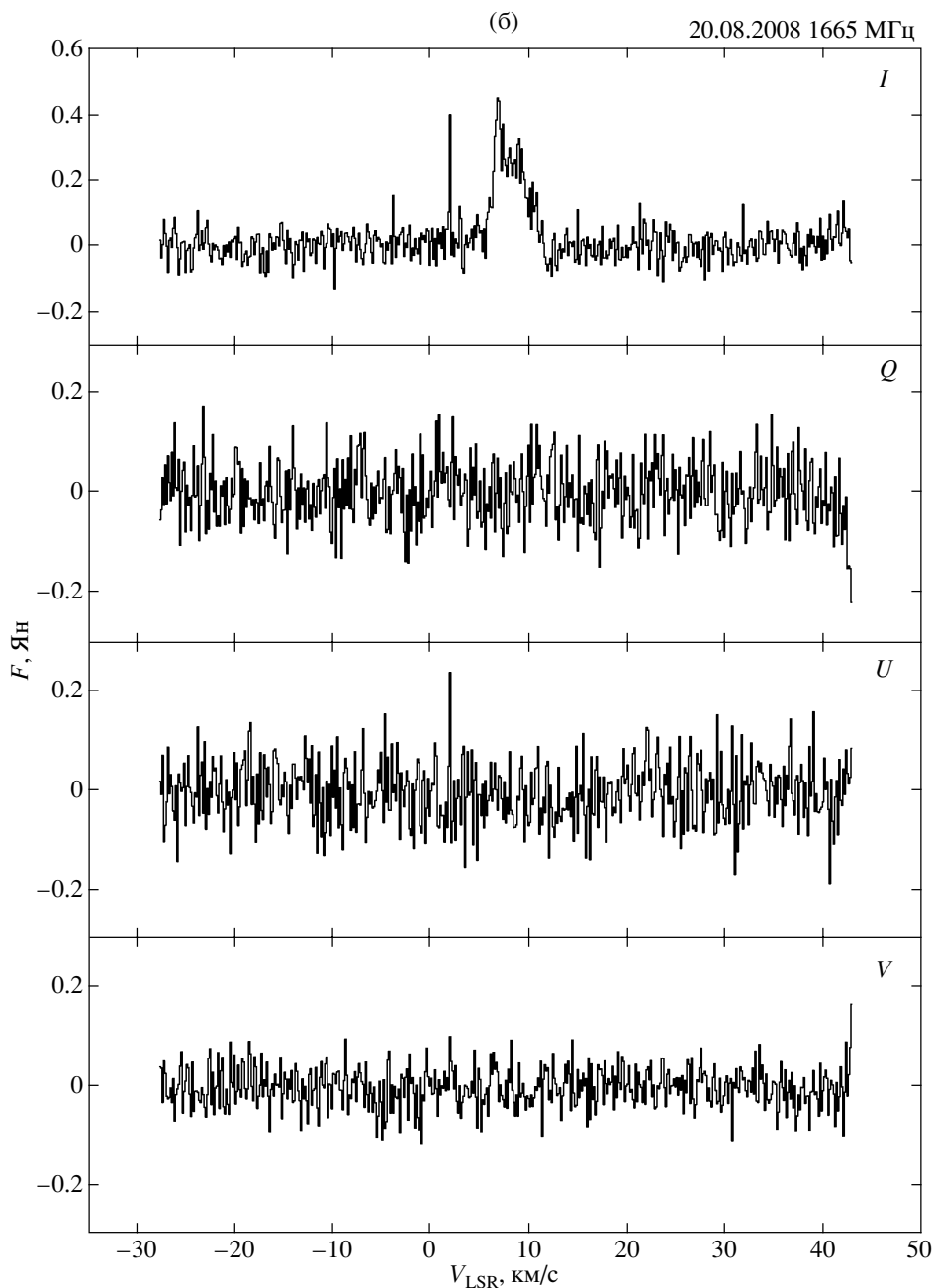


Рис. 4. Окончание

жающей протозвезду, оценивается в $\sim 3M_{\odot}$ [20]. Следовательно, протозвезде в IRAS 05338–0624 еще предстоит набрать значительную часть своей массы путем аккреции.

Быстрая переменность мазера OH/H₂O IRAS 05338–0624 говорит о нестационарности физических процессов на этой стадии эволюции в ближайшем окружении источника, в частности, о возможных быстрых изменениях интенсивности звездного ветра. Излучение H₂O имеет место на скоростях $V_{\text{LSR}} = 7\text{--}9$ км/с, близких к лучевой

скорости окружающего молекулярного облака. Излучение OH имеет лучевую скорость $V_{\text{LSR}} = 2$ км/с и, вероятно, возникает в газе, оттекающем от молодого объекта в сторону наблюдателя. Интересно отметить изменение моды поляризации мазера OH 1665 МГц. В январе 2008 г. поляризация была почти 100%-ной правой круговой, что соответствует магнитному полю, направленному вдоль луча зрения [12]. В августе 2008 г. поляризация сменилась на горизонтальную линейную поляризацию, т.е. вектор магнитного поля был

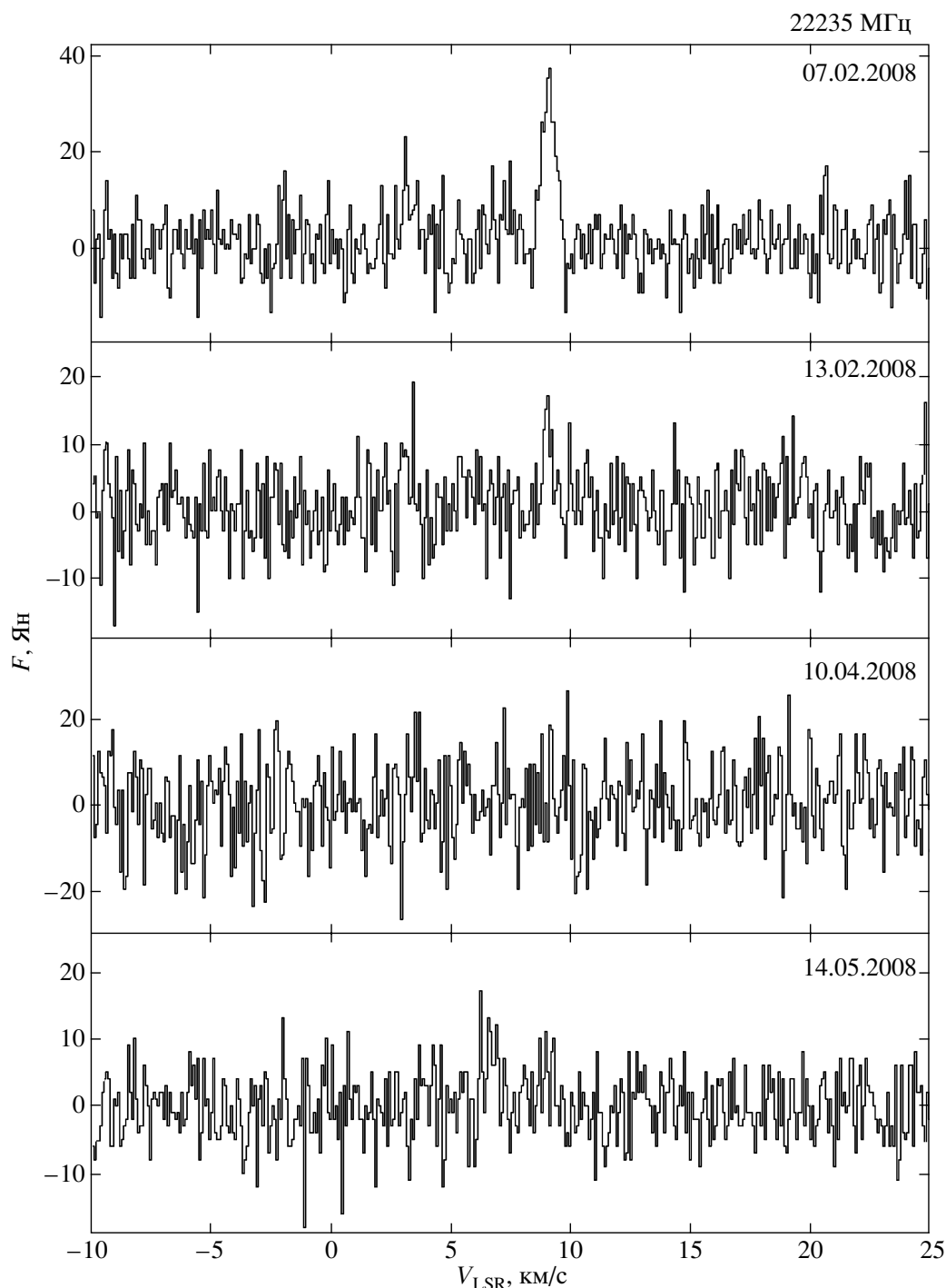


Рис. 5. Профили линии H_2O 22235 МГц, полученные на радиотелескопе РТ-22 в Пушчино в феврале—мае 2008 г.

примерно перпендикулярен лучу зрения. Такой поворот магнитного поля в области генерации мазерного излучения ОН мог быть вызван сильной турбулентностью в ближайшем окружении протозвезды.

Отметим также примерное соответствие по времени возрастаний плотности потока в линиях ОН и H_2O в январе—феврале и мае—августе 2008 г.:

это могло иметь место в связи с одними и теми же эпизодами активности центрального объекта. Параллельный мониторинг мазера IRAS 05338—0624 в линиях ОН и H_2O необходимо продолжить.

Авторы благодарят сотрудников Радиоастрономической обсерватории Нансэ и Пушинской радиоастрономической обсерватории за помощь в

Результаты наблюдений объекта IRAS 05338–0624 в линии $\text{H}_2\text{O } \lambda = 1.35 \text{ см}$

Дата	Плотность потока, Ян	Лучевая скорость, км/с	Ссылка
1990/02	<2.1	—	[16]
1990/04	<8.1	—	[16]
1990/10/30	<5.5	—	[17]
1991/01/22	12.1	8.6	[14]
1991/10	<4.5	—	[16]
1992/05/29	<15	—	*
1992/07/16	<1	—	[15]
1992/10/29	2	9.7	[15]
1992/11/28	2	11.1	[15]
	5	5.0	[15]
	2	6.9	[15]
	14	10.5	[15]
1992/12/27	3	24.5	[15]
	65	0.3	[15]
	25	4.2	[15]
	23	6.3	[15]
1998/02/26	10	7.5	[15]
	<0.08	—	[18]
1998/06/01	<0.27	—	[18]
2008/02/07	35	9	*
2008/02/13	15	9	*
2008/04/10	<15	—	*
2008/05/14	15	7	*

Примечание. В последней колонке звездочка обозначает данную работу.

проведении наблюдений. Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (код проекта 06-02-

16806). Наблюдения в Пушино проведены при поддержке Минобрнауки РФ на установке “Радиотелескоп РТ-22” (регистрационный номер 01-10).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. M. Elitzur, *Astronomical Masers* (Dordrecht: Kluwer, 1992).
2. J. P. McMullin, L. G. Mundy, and G. F. Blake, *Astrophys. J.* **437**, 305 (1994).
3. B. A. Wilking, L. G. Mundy, J. H. Blackwell, and J. E. Howe, *Astrophys. J.* **345**, 257 (1989).
4. B. A. Wilking, J. H. Blackwell, and L. G. Mundy, *Astron. J.* **100**, 758 (1990).
5. Y. Fukui, H. Takaba, T. Iwata, and A. Mizuno, *Astrophys. J. (Letters)* **325**, L13 (1988).
6. G. M. Larionov, I. E. Val’tts, A. Winnberg, *et al.*, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **139**, 257 (1999).
7. T. Stanke and J. P. Williams, *Astron. J.* **133**, 1307 (2007).
8. В. И. Слыш, Р. Бачиллер, И. И. Берулис и др., *Астрон. журн.* **71**, 37 (1994).
9. С. В. Каленский, В. Г. Промыслов, А. Виннберг, *Астрон. журн.* **84**, 48 (2007).
10. I. E. Val’tts, S. P. Ellingsen, V. I. Slysh, *et al.*, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **310**, 1077 (1999).
11. M. Szymczak and E. Gérard, *Astron. and Astrophys.* **423**, 209 (2004).
12. R. D. Davies, in: *Galactic Radio Astronomy*, Proc. IAU Symp. № 60, Maroochydore, Queensland, Australia, 3–7 September, 1973, eds F. J. Kerr and S. C. Simonson (Dordrecht-Holland, Boston: Reidel, 1974), p. 275.
13. V. I. Slysh, A. M. Dzura, I. E. Val’tts, and E. Gérard, *Astron. and Astrophys. Suppl. Ser.* **106**, 87 (1994).
14. D. Xiang and B. E. Turner, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **99**, 121 (1995).
15. M. J. Claussen, B. A. Wilking, P. J. Benson, *et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **106**, 111 (1996).
16. P. Persi, F. Palagi, and M. Felli, *Astron. and Astrophys.* **291**, 577 (1994).
17. M. Felli, F. Palagi, and G. Tofani, *Astron. and Astrophys.* **255**, 293 (1992).
18. R. S. Furuya, Y. Kitamura, A. Wootten, *et al.*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **144**, 71 (2003).
19. J. Brand, R. Cesaroni, G. Comoretto, *et al.*, *Astron. and Astrophys.* **407**, 573 (2003).
20. D. Froebrich, *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **156**, 169 (2005).