

ИССЛЕДОВАНИЕ МАЗЕРОВ OH и H₂O В ОБЛАСТИ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ G 188.946+0.886

© 2016 г. Н. Т. Ашимбаева¹, П. Колом^{1,2}, Е. Е. Лехт^{1*},
М. И. Пашенко¹, Г. М. Рудницкий¹, А. М. Толмачев³

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П.К. Штенберга

²Медонская обсерватория, Медон, Франция

³Пуцинская радиоастрономическая обсерватория Астрокосмического центра
Физического института им. П.Н. Лебедева РАН, Пушкино

Поступила в редакцию 18.01.2016 г.

Приведены результаты наблюдений источника мазерного радиоизлучения в линиях молекулы гидроксила OH G 188.946+0.886 на радиотелескопе Обсерватории Нансэ (Франция) и в линии H₂O на $\lambda = 1.35$ см на радиотелескопе РТ-22 Обсерватории в Пушкино (Россия). Впервые обнаружена эмиссионная деталь в сателлитной линии 1720 МГц основного состояния молекулы OH. Лучевая скорость детали, $V_{LSR} = 3.6$ км с⁻¹, имеет “синее” смещение относительно интервала скоростей излучения в главных линиях OH 1665 и 1667 МГц, который составляет 8–11 км с⁻¹. Это указывает на вероятную связь наблюдаемой детали в линии 1720 МГц с “синим” крылом биполярного истечения, наблюдаемого в этой области в линии CO. По зеемановскому расщеплению в линиях 1665 и 1720 МГц оценена величина магнитного поля для трех деталей (0.90 и 0.8 мГс для 1665 МГц и 0.25 мГс для 1720 МГц). Не обнаружено излучения и (или) поглощения в другой сателлитной линии OH 1612 МГц. Обнаружены три цикла активности мазера H₂O. Переменность имеет квазипериодический характер. Наблюдается общая тенденция уменьшения активности мазера. Некоторые скопления мазерных пятен H₂O могут образовывать организованные структуры, например, цепочки и другие формы.

Ключевые слова: звездообразование, мазеры, магнитное поле, индивидуальные объекты (G 188.946+0.886).

DOI: 10.7868/S0320010816100028

ВВЕДЕНИЕ

Источник мазерного излучения OH G 188.946+0.886 (названный в некоторых работах G 188.94+0.89 или G 188.95+0.89) расположен вблизи эмиссионной туманности Sh2-247 в ассоциации Gem OB1 на расстоянии около 2 кпк. В этой области размещено несколько плотных сгустков молекулярного газа, наблюдаемых в линиях молекулы CO (¹²CO, ¹³CO и C¹⁸O), и скопление большого числа инфракрасных объектов (Шимойкура и др., 2013). Источник, вероятно, связан с инфракрасным объектом IRAS 06058+2138, или AFGL 5180 (Гош и др., 2000). Он отстоит на 95'' от компактного источника радиоконтинуума на 1.1 мм G 188.949+0.915 (Данхэм и др., 2010).

Ядро молекулярного облака в Sh2-247 наблюдалось в молекулярных линиях CS (Шимойкура и др., 2013) и NH₃ (Шрейер и др., 1996). В этой области наблюдается биполярный поток в линии ¹²CO $J = 1-0$ на $\lambda = 2.6$ мм, обнаруженный Снеллом и др. (1988).

Источник G 188.946+0.886 как мазер H₂O на длине волны $\lambda = 1.35$ см впервые наблюдали Батчелор и др. (1980). Эти же авторы отметили, что в линии OH 1665 МГц было обнаружено излучение при наблюдениях в Парксе. Однако эти данные так и остались неопубликованными. Позже источник был достаточно подробно изучен в линии H₂O на $\lambda = 1.35$ см (см., например, Ой и др., 2010). Обнаружены два скопления мазерных деталей, разнесенных по склонению на 20''.

*Электронный адрес: lekht@sai.msu.ru

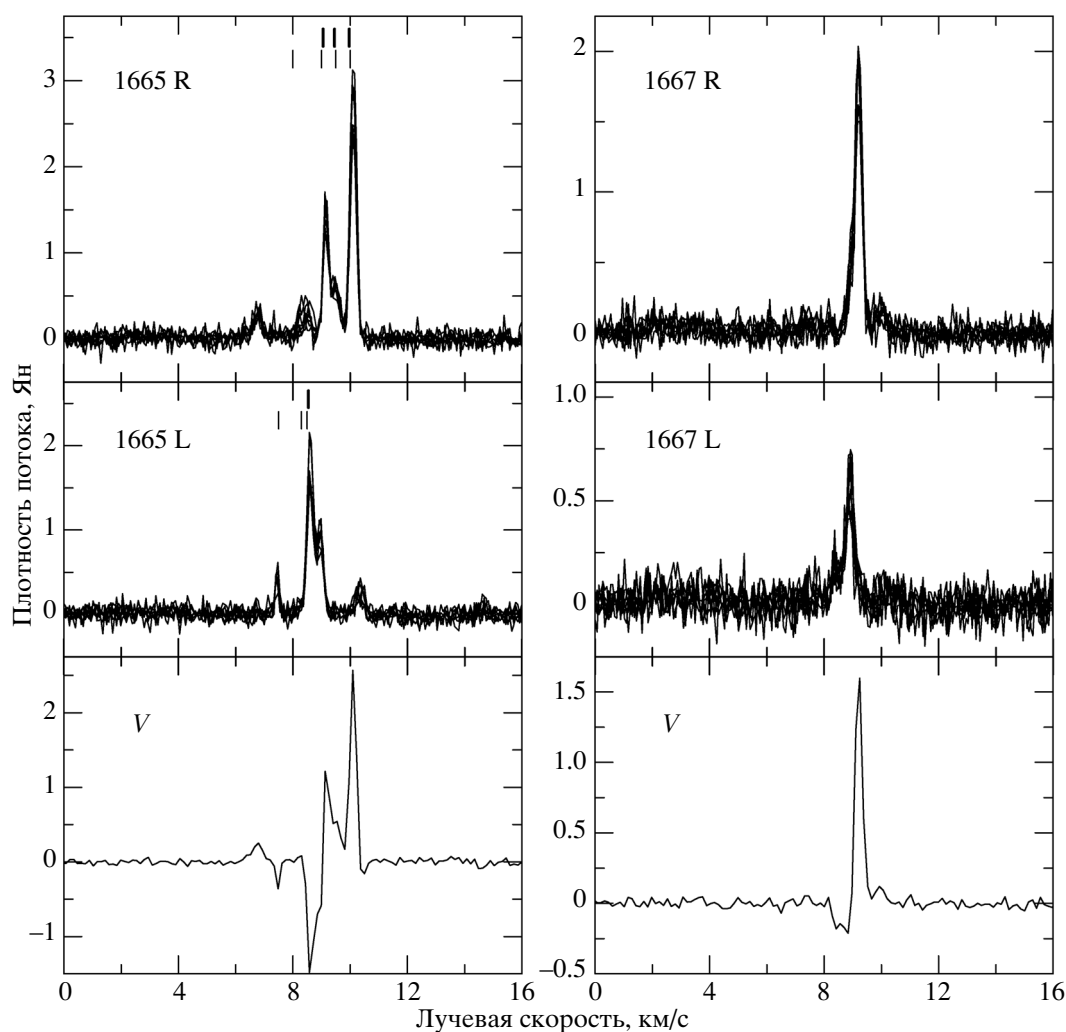


Рис. 1. Наложения спектров мазерного излучения ОН в G188.946+0.886 в главных линиях ОН 1665 и 1667 МГц в правой (R) и левой (L) круговых поляризациях и параметр Стокса V. Отрезками тонких и жирных вертикальных линий нанесены положения эмиссионных деталей, обнаруженных Кёмпе и др. (1989) и Аргон и др. (2010) соответственно.

Кёмпе и др. (1989) наблюдали источник G 188.946+0.886 в Нансэ и обнаружили его в линиях 1665 и 1667 МГц; но в линии 1720 МГц излучение не было обнаружено. Они также показали, что имеются два мазера ОН, которые расположены вдоль линии прямых восхождений и разделены угловым расстоянием ~ 2 –2.5 угл. мин.

В августе 1991 г. Аргон и др. (2000) составили карту G188.946+0.886 по результатам наблюдений в линии ОН 1665 МГц с угловым разрешением $2''.17 \times 1''.36$. На карте видны четыре неразрешенные компоненты излучения со 100-процентной круговой поляризацией в интервале скоростей $V_{\text{LSR}} = 8.54$ –9.97 км/с в области пространства $\approx 0''.1$. При расстоянии до источника 2 кпк это составляет 200 а.е. Согласно Аргон и др. (2000)

главная линия ОН 1665 МГц в G 188.946+0.886 находится в направлении $\alpha = 06^{\text{h}}08^{\text{m}}53^{\text{s}}33$, $\delta = +21^{\circ}38'29''.0$ (J2000). С ним совпадает основное скопление мазерных деталей H_2O (Ой и др., 2010).

В G 188.946+0.886 были проведены поиски излучения в линиях Λ -удвоения в возбужденных вращательных состояниях ОН: $^2\Pi_{1/2}$, $J = 1/2$ на 4.7 ГГц (Коэн и др., 1991; Шимчак и др., 2000) и $^2\Pi_{3/2}$, $J = 5/2$ на 6 ГГц (Бодри и др., 1997). Во всех случаях результаты были отрицательными.

Отметим также, что мазер G 188.946+0.886 относится к классу II метанольных мазеров, что типично для областей формирования массивных звезд (см., например, Фонтани и др., 2010; ван дер Вальт, 2011). Ван дер Вальт исследовал переменность мазерного излучения G 188.95+0.89 в линии

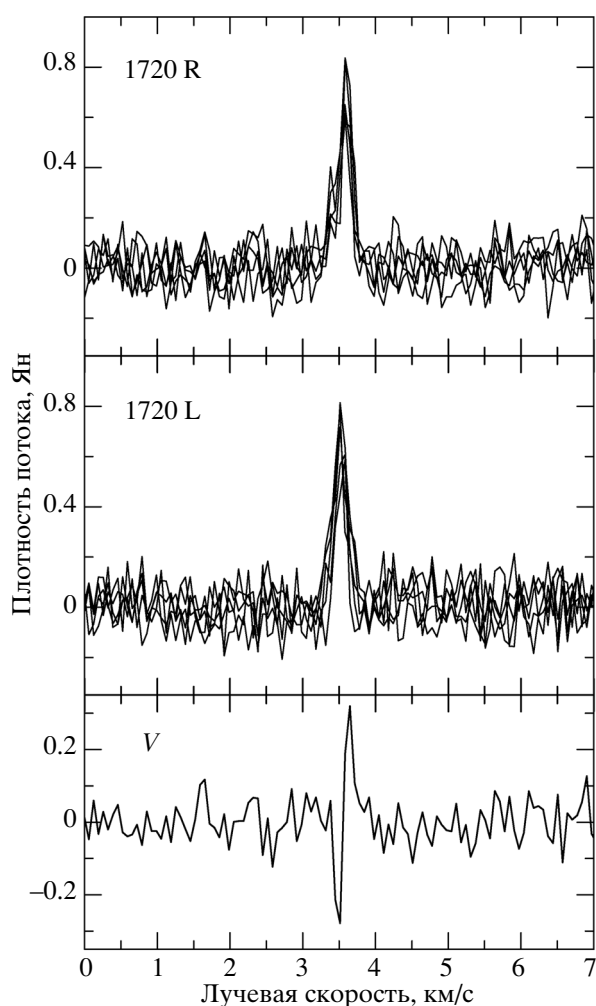


Рис. 2. Наложения спектров мазерного излучения OH в G188.946+0.886 в спутниковых линиях OH 1720 МГц в правой (R) и левой (L) круговых поляризациях и параметр Стокса V.

метанола $2_0 - 3_{-1} E$ 12.1786 ГГц. На промежутке времени январь 1999 г. — январь 2008 г. найдены регулярные вариации мазерной детали на лучевой

Наблюдения в линиях OH

№ п/п	Эпоха наблюдений	1612 МГц	1665 МГц	1667 МГц	1720 МГц
1	05.12.2011		+	+	
2	02.05.2013	0	+	+	+
3	02.06.2013	0	+	+	+
4	15.10.2013		+	+	+
5	07.07.2014		+	+	+
6	13.03.2015		+	+	+
7	01.12.2015		+	+	+

скорости 10.659 км с^{-1} с периодом 404 дня. Периодические вариации мазерного излучения метанола объясняются переменностью фонового радиоизлучения в континууме на частоте мазерного перехода.

НАБЛЮДЕНИЯ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ ДАННЫХ

В 2007–2013 гг. на радиотелескопе в Нансэ (Франция) мы уже проводили обзор мазерных источников в областях звездообразования (SFRs) на длине волны $\lambda = 18 \text{ см}$. Наблюдения были осуществлены в четырех линиях Λ -удвоения радиолинии основного вращательного состояния $^2\Pi_{3/2}$, $J = 3/2$ молекулы OH (1612, 1665, 1667 и 1720 МГц). На склонении источника G 188.946+0.886 ($\delta = 21^\circ$) размеры диаграммы направленности телескопа по половинной мощности на 18 см равны $3'5 \times 19'$ по прямому восхождению и склонению, соответственно. Приемная система радиотелескопа позволяет получить одновременно четыре параметра Стокса поляризованного излучения. Чувствительность телескопа 1.4 Ян/К , а порог обнаружения при времени интегрирования 10 мин составляет около 0.2 Ян по уровню 3σ . С помощью 8192-канального автокорреляционного спектрометра можно получить профили одновременно двух спектральных линий в двух линейных и двух круговых поляризационных модах в каждой из линий. В наших наблюдениях разрешение по лучевой скорости составило 0.07 км с^{-1} . Детально процесс наблюдений и методику обработки можно найти в наших предыдущих работах (см., например, Пашенко и др., 2009; Колом и др., 2012). Обзор (мониторинг) объектов SFRs продолжается по настоящее время.

Наблюдения источника G 188.946+0.886 в главных линиях 1665 и 1667 МГц были выполнены для семи эпох в обеих круговых и в линейных поляризациях (таблица). Символы “+” и “–” означают присутствие или отсутствие сигнала соответственно. Пустые места в колонках означают отсутствие наблюдений. Ввиду того, что во все эпохи наблюдений профили главных линий менялись очень слабо (за исключением излучения на 8.5 км с^{-1}), на рис. 1 представлены наложения спектров для правой и левой круговых поляризаций для главных линий 1665 и 1667 МГц. Затем были получены усредненные спектры для каждой поляризации и параметр Стокса V. По горизонтальной оси отложены лучевые скорости относительно местного стандарта покоя. Двойными стрелками показан масштаб вертикальных осей в Янских. Отрезками тонких и жирных вертикальных линий нанесены положения эмиссионных деталей, которые наблюдали ранее Кёмпе и др. (1989) и Аргон и др. (2000) соответственно.

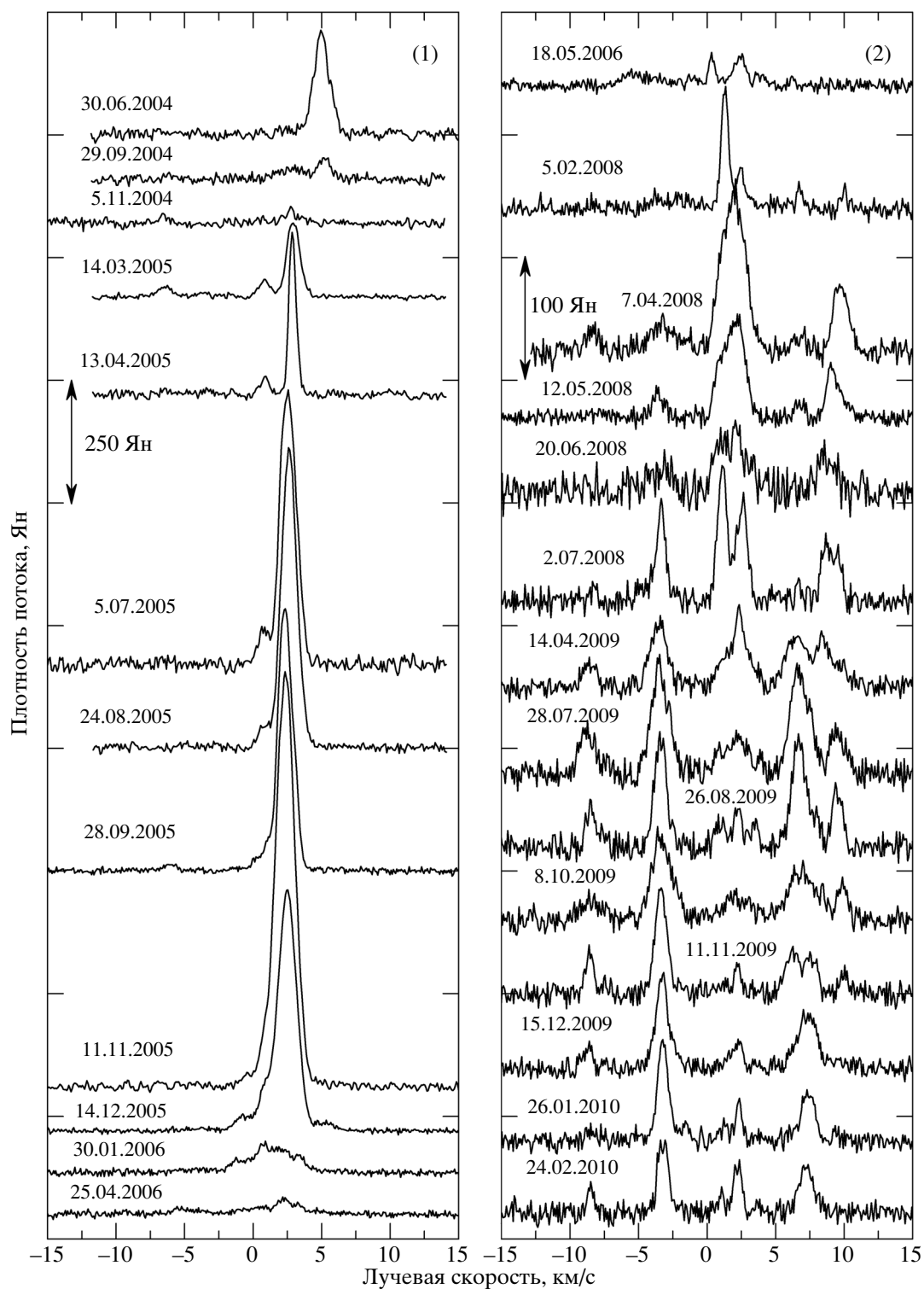


Рис. 3. Спектры мазерного излучения H_2O в G188.946+0.886 на $\lambda = 1.35$ см. Двойными вертикальными стрелками показана цена деления. Приведены эпохи наблюдений.

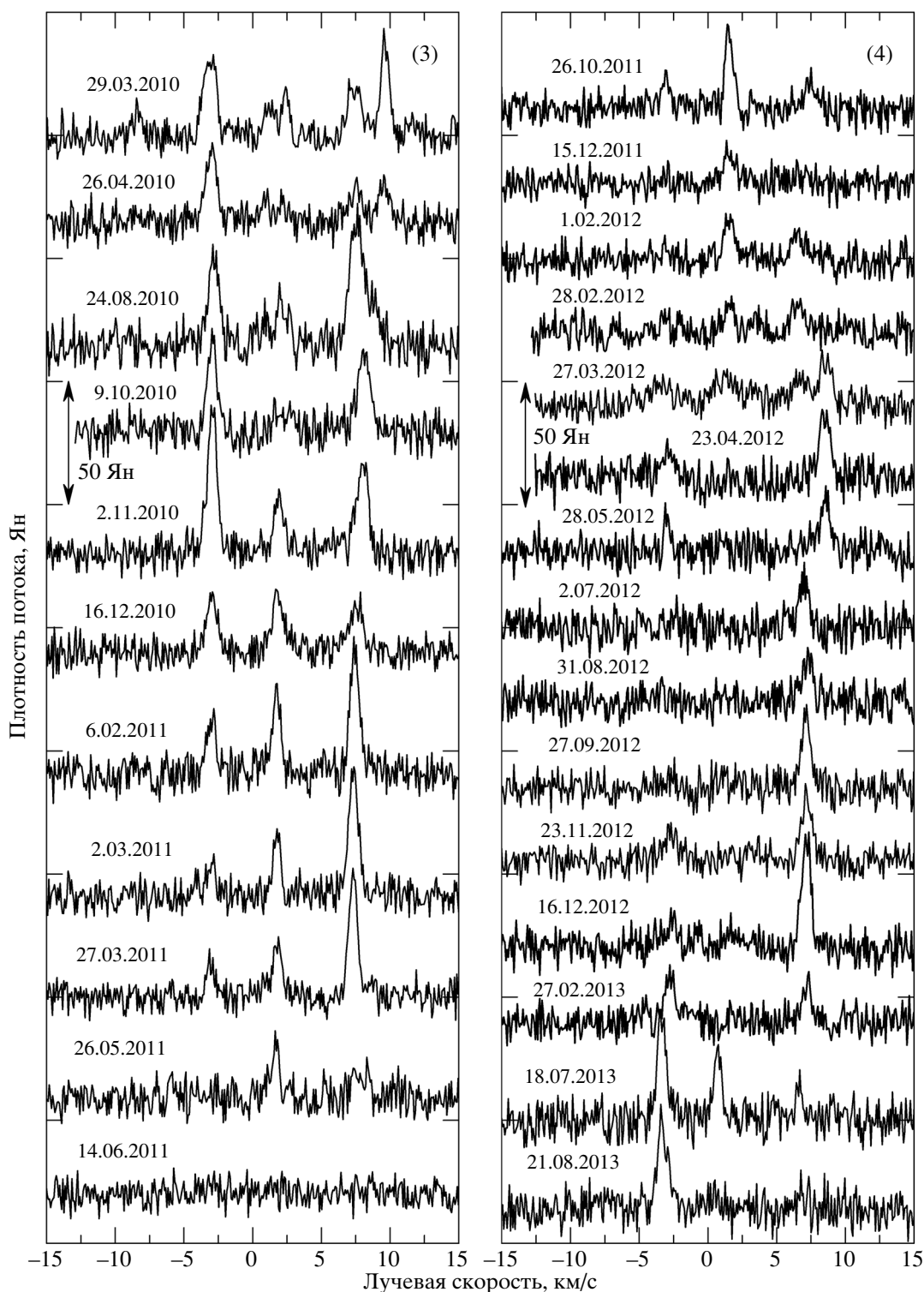


Рис. 3. Продолжение.

На рис. 2 в аналогичном виде представлены результаты наших наблюдений в спутниковой линии OH 1720 МГц для эпох 1–6.

Наблюдения в линии водяного пара 1.35 см были выполнены на 22-м радиотелескопе ПРАО. Для

анализа сигнала использовался 2048-канальный автокорреляционный приемник. Спектральное разрешение составило 0.0822 км с^{-1} . Чувствительность телескопа составляет 25 Ян/К. Мониторинг был выполнен с июня 2004 г. по ноябрь 2015 г. С

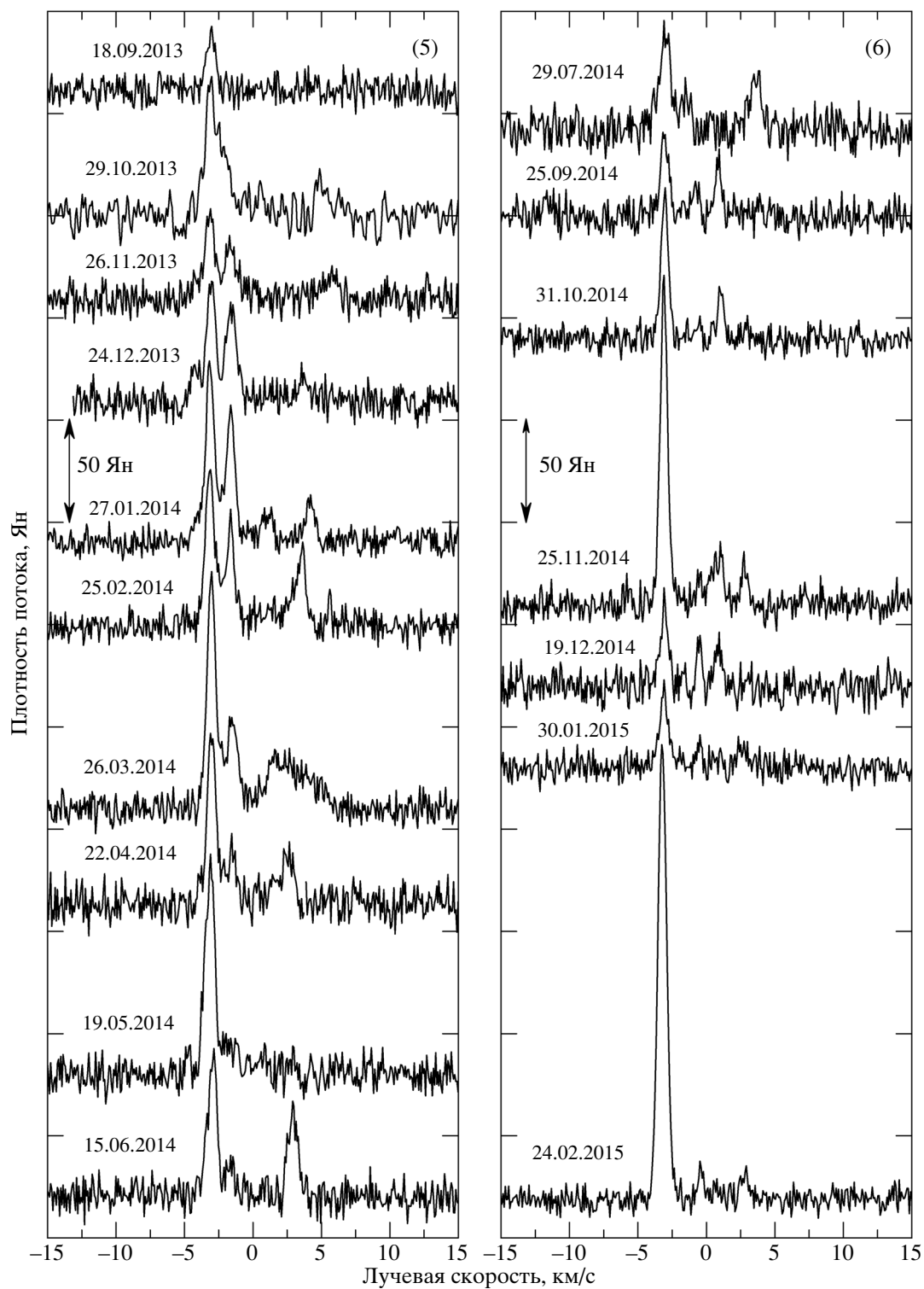


Рис. 3. Продолжение.

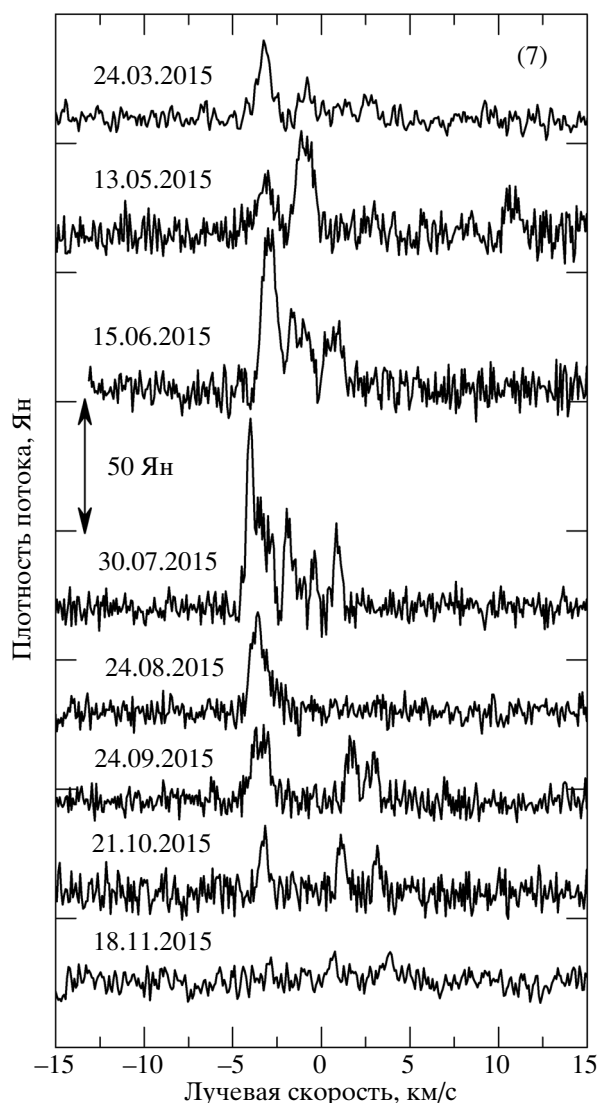


Рис. 3. Окончание.

середины 2006 г. до конца 2007 г. наблюдения не проводились по техническим причинам.

На рис. 3 даны спектры H₂O, полученные в направлении G 188.946+0.886 ($\alpha = 06^{\text{h}}08^{\text{m}}53^{\text{s}}33$, $\delta = +21^{\circ}38'29''0$ для эпохи J2000.0). По горизонтальной оси отложены лучевые скорости относительно местного стандарта покоя. Двойными стрелками показан масштаб вертикальных осей в янских. Спектры были скорректированы за поглощение сигнала в земной атмосфере.

ДИСКУССИЯ

До того, как мы начали многолетний мониторинг работ, посвященных изучению источника G 188.946+0.886 в линиях OH, было очень мало. Наблюдалось в основном излучение в главной

линии OH 1665 МГц. В другой главной линии 1667 МГц была обнаружена лишь одна эмиссионная деталь на $V_{\text{LSR}} = 9 \text{ км с}^{-1}$ в правой круговой поляризации (Кёмпе и др., 1989). Излучение наблюдалось в узком интервале лучевых скоростей от 7 до 11 км с⁻¹. Эмиссионные детали находятся в области 200 а.е., которая проецируется на часть биполярного потока, имеющего красное смещение. В обеих спутнических линиях 1612 и 1720 МГц излучения не было обнаружено.

Для поиска пар линий — возможных кандидатов зеемановского расщепления — приведем критерии, рассмотренные в работах Рейда и др. (1980) и Фиш и др. (2003). Из наблюдений источника W3OH в линиях OH была сделана оценка размера мазерного пятна как $\sim(1-2) \times 10^{14} \text{ см}$ ($\sim 10 \text{ а.е.}$). Также считается, что следствием расщепления яв-

ляются пары деталей с противоположными круговыми поляризациями. Расстояние между деталями каждой пары менее 10^{15} см (<70 а.е.), т.е. много меньше инструментальной диаграммы направленности. Кроме того, рассматривались детали с близкими лучевыми скоростями (разница скоростей <1 км с^{-1}).

В G 188.946+0.88 вся область излучения ОН имеет размер <200 а.е., и все эмиссионные детали находятся внутри этой области. При большом числе мазерных пятен и более или менее равномерном распределении пятен ОН условие <70 а.е. будет выполняться.

Излучение в главных линиях 1665 и 1667 МГц

Мы подтвердили существование всех эмиссионных деталей, обнаруженных ранее Кёмпе и др. (1989) и Аргон и др. (2000) в линии 1665 МГц. Кроме того, обнаружены новые эмиссионные детали в обеих главных линиях.

На рис. 4 приведены усредненные спектры ОН в линии 1665 МГц в правой и левой круговых поляризациях. Стрелками отмечены эмиссионные детали, для которых составлена карта по результатам VLA наблюдений (Аргон и др., 2000). Для поиска пар зеемановского расщепления мы ввели еще один критерий: подобие спектров в правой и левой круговых поляризациях в некотором интервале лучевых скоростей, но с небольшим смещением по скорости.

Согласно рис. 1 и 4, можно выделить две пары деталей для линии 1665 МГц с противоположными круговыми поляризациями: 9.15(R) и 8.62(L); 9.5(R) и 9.0(L). Символы (R) и (L) означают принадлежность деталей к правой и левой круговым поляризациям. Расщепление составило 0.53 ± 0.02 и 0.50 ± 0.02 км с^{-1} , что соответствует величине продольного магнитного поля 0.88 ± 0.04 и 0.83 ± 0.04 мГс соответственно. Поскольку лучевые скорости деталей в правой поляризации выше, чем в левой (в обеих парах), то продольное магнитное поле направлено от нас.

Сателлитная линия 1720 МГц

Мы впервые обнаружили излучение в направлении на G 188.946+0.88 в сателлитной линии ОН 1720 МГц на лучевой скорости 3.6 км с^{-1} . Краткое сообщение было опубликовано в работе Колома и др. (2013). Отметим основные свойства этого излучения:

1. В правой и левой круговых поляризациях потоки одинаковые.

2. Линии очень узкие. Ширина линии составляет около 180–200 м с^{-1} . Имеется небольшая асимметрия (правое крыло более крутое, чем левое). Она связана с двойной структурой линии, что наиболее четко проявилось в спектре от 1 декабря 2015 г.

3. Имеется сдвиг по лучевой скорости между положениями максимумов в левой и правой круговых поляризациях, равный 65 ± 5 м с^{-1} .

4. Параметры Стокса U и Q равны нулю, что свидетельствует об отсутствии линейной поляризации.

В спектре 1 декабря 2015 г. произошли существенные изменения структуры линии: ширина линии увеличилась до 0.4 км с^{-1} , а центр линии сместился на 0.1 км с^{-1} в сторону меньших скоростей. При этом величина потока в максимуме уменьшилась в два раза. Интересно, что интегральный поток при этом не изменился.

Обнаруженное нами излучение на 1720 МГц является мазерным ввиду узости линии. Если принять температуру, откуда исходит это излучение, равной 60 К, то тепловая ширина линии должна быть около 1 км с^{-1} . Следовательно, имеется существенное сужение линии. Узость линии также указывает на отсутствие каких-либо микротурбулентных движений в области генерации излучения 1720 МГц.

Скорее всего, излучение в обеих круговых поляризациях исходит из одной конденсации, так как лучевые скорости почти совпадают и ширины линий одинаковые. А скорости излучения в сателлитной линии 1720 МГц и главных линиях сильно отличаются (~ 5.6 км с^{-1}). Известно, что главные линии требуют радиативной накачки, а сателлитная линия 1720 МГц требует столкновительной накачки. Все это может быть аргументом в пользу того, что области генерации мазерного излучения в главных линиях (1665 и 1667 МГц) и сателлитной линии 1720 МГц не совпадают.

Как и мазеры ОН 1665 и 1667 МГц, мазеры 1720 МГц оказались широко распространены в областях звездообразования звезд (SFR) (Касуэлл, 1999, 2004; Литовченко и др., 2012). Как полагают, они тоже возбуждаются ударной волной, хотя требуют несколько иных физических условий, а именно более высокой плотности газа, чем в областях сверхновых звезд (SNR).

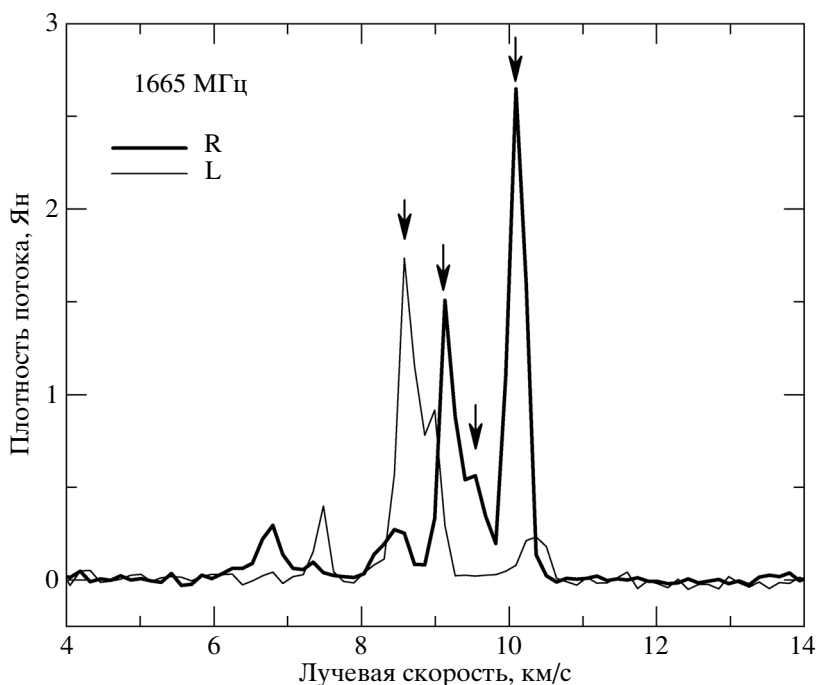


Рис. 4. Усредненные спектры OH главной линии 1665 МГц для круговых поляризаций. Стрелками отмечены детали, для которых имеются VLA-наблюдения (Аргон и др., 2000).

Согласно Снеллу и др. (1988), линия CO в направлении Sh2-247 имеет двухпиковую структуру. Пик с синим смещением имеет скорость $\approx 4.2 \text{ км с}^{-1}$. Вероятнее всего, наблюдаемое излучение в линии 1720 МГц связано с “синим” крылом биполярного молекулярного истечения от молодого звездного объекта G 188.946+0.88.

В спутниковых линиях, как и в главных, при наличии магнитного поля возможно расщепление линии на компоненты с противоположными круговыми поляризациями. В линии 1720 МГц коэффициент расщепления составляет $0.236 \text{ (км с}^{-1})/\text{мГц}$. Наблюдаемому расщеплению $0.060 \pm 0.005 \text{ км с}^{-1}$ соответствует величина продольного магнитного поля $0.25 \pm 0.02 \text{ мГц}$, которое направлено от нас.

Мазерное излучение H₂O

Ой и др. (2010) наблюдали мазер H₂O в направлении IRAS 06058+2138 для 11 эпох (2006–2008 гг.) на интерферометрической системе VERA (VLBI Exploration of Radio Astrometry). Они обнаружили, что излучение исходит из двух источников, MM1 и MM2. Основные детали (MM1) расположены в области 20×20 миллисекунд ($40 \times 40 \text{ а.е.}$). Никакой крупномасштабной упорядоченной структуры не просматривается. Для четырех деталей измерены годичный параллакс и собственные движения. Среднее собственное движение мазерных

деталей составило $\sim 2 \text{ мс}$. При расстоянии до мазерного источника около 2 кпк это соответствует скорости движения деталей $\sim 20 \text{ км с}^{-1}$.

Другой источник (MM2) расположен на $20''$ южнее MM1. В нем обнаружены два компонента на скоростях 0.43 и -3.77 км с^{-1} , являющиеся основной деталью с потоком около 10 Ян.

На рис. 5 показана переменность лучевой скорости основных эмиссионных деталей мазерного излучения H₂O. Положения деталей нанесены разными символами в зависимости от величины потока. Большинство деталей имеют тенденцию располагаться вдоль некоторых направлений, что указывает на имеющиеся закономерности их эволюции. Это аппроксимировано прямыми пунктирными линиями, которые для удобства пронумерованы. Назовем их конфигурациями. Конфигурация 4 имеет две ветви, *a* и *b*. Крестиками показаны положения деталей из наблюдений Ой и др. (2010). Вверху жирными стрелками показаны положения основных максимумов интегрального потока, а тонкими — вторичных максимумов. Для полноты картины мы нанесли треугольниками и звездочками эмиссионные детали, наблюдавшиеся в 1976 и 1977 гг. (Батчелор и др., 1980) и в 1987 г. (Коморетто и др., 1990) соответственно.

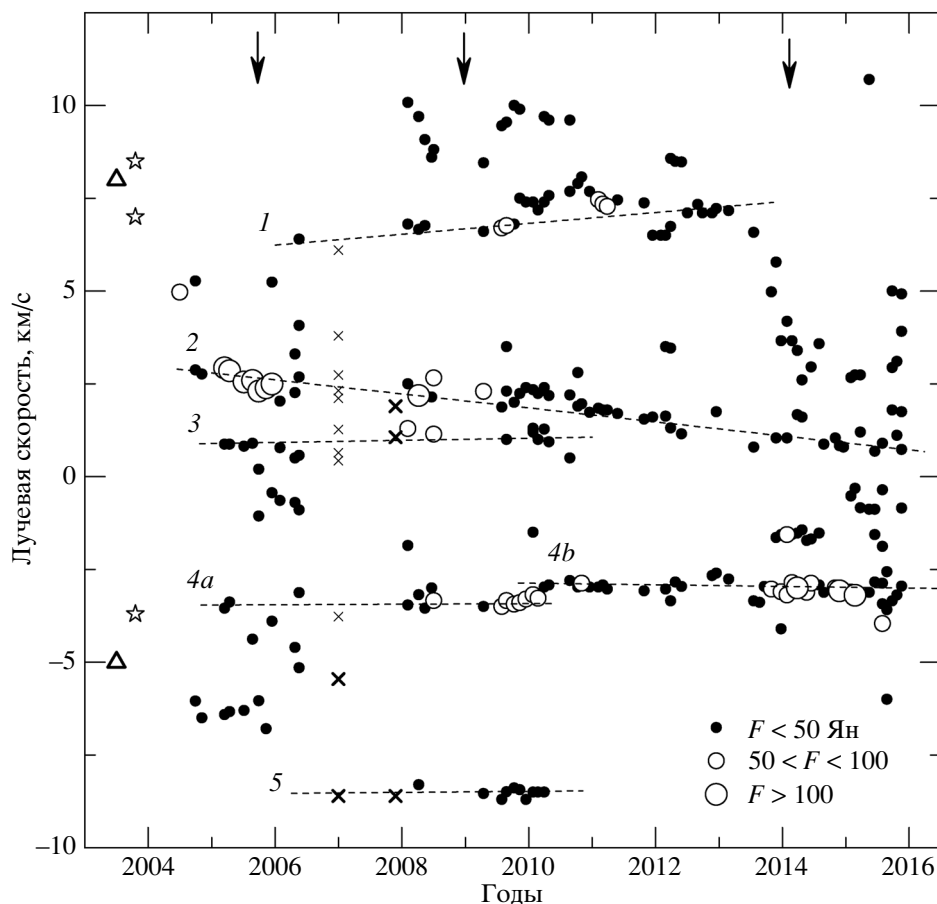


Рис. 5. Переменность лучевой скорости основных эмиссионных деталей мазерного излучения H_2O в G188.946+0.886. В зависимости от величины потока положения деталей нанесены разными символами. Положения максимумов потоков деталей с близкими лучевыми скоростями (дрейф максимумов) аппроксимированы прямыми пунктирными линиями и пронумерованы. Крестиками показаны положения деталей из наблюдений Ой и др. (2010). Жирными крестиками показаны детали, для которых измерены собственные движения и годичный паралакс. Вверху жирными стрелками показаны положения основных максимумов интегрального потока, а тонкими — вторичных максимумов. Слева треугольниками и звездочками нанесены детали на эпохи 1976 и 1977 гг. (Батчелор и др., 1980), а звездочками — на эпоху 1987 г. (Коморетто и др., 1999).

Нанесенные на рис. 5 детали из работы Ой и др. (2010) хорошо вписываются в конфигурации, выделенные пунктирными линиями. Таким образом, можно сказать, что мазерные детали, кроме собственного движения, имеют также дрейф по лучевой скорости. Максимальный дрейф составил $0.18 \text{ (км с}^{-1}\text{)}/\text{год}$ (конфигурация 2). Конфигурация 4 может быть отождествлена с источником ММ2 (Ой и др., 2010).

Важным параметром мазерной активности является интегральный поток. Переменность этого параметра для мазера H_2O показана на рис. 6. Тонкой линией изображен интегральный поток для конфигурации 4 (интервал скоростей от -3.8 до -1.5 км с^{-1}), а жирной — для всего остального спектра. Выделены три цикла активности мазера:

I, *II* и *III*. Для каждого из них указана лучевая скорость наиболее интенсивной эмиссионной детали. График дополнен точкой (светлый кружок), полученной из наблюдений Ой и др. (2010).

3.3.1. Эволюция отдельных деталей. Самая сильная вспышка произошла в 2004 г., причем лучевая скорость уменьшалась скачками с 3.1 до 2.6 км с^{-1} (конфигурация 2 на рис. 5). По характеру эволюции профиля линии мы выделили три компонента этой структуры. Задержки между максимумами потоков компонентов составили 0.34 и 0.21 года. Накачка мазера происходит распространяющейся от звезды ударной волной. Существование ударной волны в источниках данного типа получили Ристорчелли и др. (2005) на основании данных по

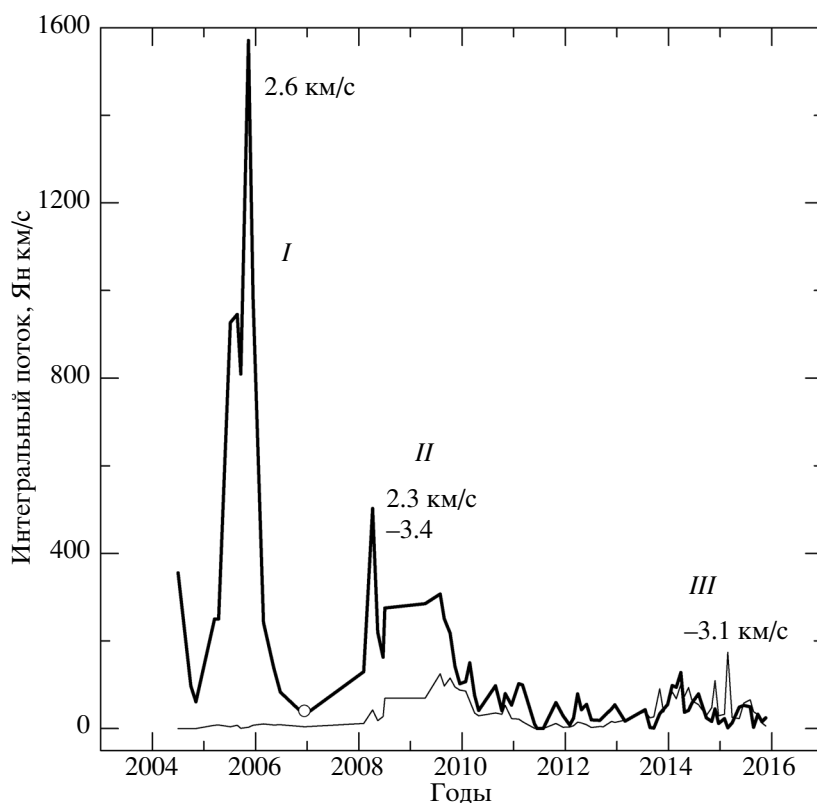


Рис. 6. Переменность интегрального потока H₂O в G188.946+0.886 для интервала скоростей от -3.8 до -1.5 км/с (тонкая линия) и для всего остального спектра (жирная линия). Циклы активности пронумерованы и для каждого из них указаны лучевые скорости наиболее интенсивных эмиссионных деталей. Светлым кружком нанесена точка согласно данным Ой и др. (2010).

субмиллиметровому излучению воды. Путем моделирования этих данных Кауфман и Нейфелд (1996) показали, что предпочтительней является ударная волна типа C-shock со скоростью порядка $12\text{--}15$ км с⁻¹. Примем значение 15 км с⁻¹. Тогда полученным из наблюдений задержкам соответствует расстояние между деталями (в направлении, перпендикулярном фронту ударной волны) 1.1 и 0.6 а.е., а полная протяженность цепочки может быть около 2 а.е.

Достаточно стабильная конфигурация 4 имеет две ветви, *a* и *b*. Переход от одной к другой происходил в 2009–2010 гг. с плавным изменением лучевой скорости от -3.45 до -2.85 км с⁻¹. Причем существенных изменений ширины линии не происходило, что свидетельствует о реальном дрейфе излучения по скорости. Подтверждением является то, что дрейф происходил в период вспышки, когда поток превышал 50 Ян. Анализ данной конфигурации показывает, что она состоит из нескольких деталей с близкими лучевыми скоростями в интервале $\sim(1.5\text{--}2)$ км с⁻¹.

Излучение в интервале скоростей $6.2\text{--}8.6$ км с⁻¹ имеет сложный характер эволюции (конфигурация 1). Можно выделить регулярный дрейф от 6.3 до 7.3 км с⁻¹. В период 2009–2013 гг. происходили сложные вариации лучевой скорости, напоминающие синусоидальные с периодом ~ 3 года. Это может быть следствием некоторой упорядоченной структуры скопления мазерных деталей. Размер скопления можно оценить как и в случае цепочки в конфигурации 2. Принимая период 3 года, получим ~ 10 а.е. Подобный вид эволюции излучения от скопления деталей наблюдался в источнике W75N VLA 2 (Лехт и др., 2007).

3.3.2. Переменность интегрального потока.

Рассмотрим сначала основную кривую переменности интегрального потока H₂O в G 188.946+0.886 (жирная линия на рис. 6). Переменность имеет квазипериодический характер. Наблюдается чередование периодов высокой и низкой активности мазера. Назовем их циклами активности мазерного излучения H₂O. Первый из них (II) самый сильный. Он же самый короткий по продолжительности

активной фазы излучения. Самый продолжительный — второй. И, наконец, в течение третьего цикла наблюдалась самая низкая активность. Временные интервалы между максимумами составляют 3.3 и 5.3 года.

Как мы установили выше, излучение H_2O в районе скорости -3 км с^{-1} отождествляется с источником ММ2. Однако, начиная с 2008 г., кривые переменности интегрального потока для источников ММ1 и ММ2 становятся подобными. Вряд ли это случайное совпадение. Вполне возможно, что в этом интервале скоростей имеются детали, принадлежащие ММ1. Подтверждением может быть сложная структура спектров H_2O , начиная с середины 2014 г., а также то, что конфигурация 4 имеет две ветви. В этом случае кривая переменности интегрального потока для ММ2 на самом деле будет являться суперпозицией потоков обоих источников в интервале скоростей от -3.8 до -1.5 км с^{-1} .

Отметим, что в первом цикле активности наиболее сильной была деталь 2.4 км с^{-1} (конфигурация 1), во втором сначала 2.4 , а затем -3.4 км с^{-1} . В третьем цикле наиболее сильное излучение было на скорости -3.1 км с^{-1} . Таким образом, наблюдалось смещение максимума активности в сторону меньших лучевых скоростей. Эта тенденция подтверждается более ранними наблюдениями, согласно которым более интенсивным было излучение на скорости около 8 км с^{-1} . (Батчелор и др., 1980; Коморетто и др., 1990).

Кроме того, от цикла к циклу снижалась мазерная активность в целом и всех эмиссионных деталей. С 2015 г. появление деталей в спектрах имело хаотический характер (см. рис. 3, панель 7 и рис. 5). Все это может быть следствием уменьшения уровня накачки мазера.

В зависимости от физических параметров среды, где возникает мазерное излучение H_2O , возможно распространение двух типов ударных волн: C-shocks и J-shocks. Скорость первой ~ 15 , а второй $> 45 \text{ км с}^{-1}$. Как мы уже отмечали, скорость собственного движения мазерных деталей в G 188.946+0.886 составляет $\sim 20 \text{ км с}^{-1}$ (Ой и др., 2010). При ударной волне типа C-shocks удаляющиеся мазерные детали не будут поддерживаться накачкой от центрального объекта. Вполне возможно, что при следующей сильной волне будут излучать новые детали, и спектр будет иметь другой вид. Можно также допустить, что имеются разные физические условия, и присутствуют оба типа волн,

например, как в источнике W75N (Суркис и др., 2011).

Во введении мы отмечали о существовании переменности метанольного мазера в направлении G 188.946+0.886 в промежутке времени январь 1999 г. — январь 2008 г. с периодом 404 дня (ван дер Вальт, 2011). Интервал нашего мониторинга в линии H_2O (2004–2015 гг.) лишь частично перекрывается по времени. Мы наблюдали ярко выраженный максимум интегрального потока в линии H_2O в конце 2005 г. и продолжительный подъем мазерного излучения в 2008–2009 гг. Периодичности с периодом ~ 400 дней не отмечено. К тому же интервал лучевых скоростей мазерных деталей H_2O ($-7 \dots +10 \text{ км с}^{-1}$) почти не перекрывается с интервалом скоростей основных мазерных деталей CH_3OH ($+9 \dots +12 \text{ км с}^{-1}$) (Касуэлл и др., 1993). Вероятно, мазерное излучение H_2O и CH_3OH исходит из пространственно разделенных областей, и говорить о корреляции их вариаций не приходится.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы приводим результаты мониторинга в линиях молекул гидроксила и водяного пара источника G 188.946+0.886, связанного с областью активного звездообразования. При интерпретации наших данных мы также использовали наблюдения этого источника другими авторами, выполненные с высоким угловым разрешением. Приводим основные результаты, полученные в настоящей работе.

1. Обнаружены новые эмиссионные детали в спектрах ОН в главных линиях 1665 и 1667 МГц в обеих круговых поляризациях.

2. Мониторинг показал, что излучение ОН слабо меняется со временем.

3. Впервые обнаружено излучение в направлении на G 188.946+0.886 в спутливой линии ОН 1720 МГц. Ширина линии составляет 0.18 км с^{-1} . Вероятно, это излучение связано с “синим” крылом биполярного молекулярного истечения СО от молодого звездного объекта G 188.946+0.88.

4. Найдены три пары компонентов Зеемановского расщепления. В главной линии ОН 1665 МГц — это 9.15(R)/8.62(L) и 9.5(R)/9.0(L). Здесь R и L означают принадлежность деталей к правой и левой круговым поляризациям соответственно. Величина продольного магнитного поля составляет ~ 0.9 и $\sim 0.8 \text{ МГс}$. В спутливой линии 1720 МГц расщепление детали 3.6 км с^{-1}

составило 0.065 км с^{-1} , что соответствует величине магнитного поля $\sim 0.25 \text{ мГс}$. Для всех трех пар продольное магнитное поле направлено от наблюдателя.

5. Мониторинг в линии H₂O показал существование квазипериодического характера переменности мазерного излучения (три цикла активности) с интервалами между максимумами 3.3 и 5.2 года. Наблюдается общая тенденция уменьшения активности мазера.

6. Отдельные мазерные детали H₂O могут образовывать организованные структуры типа цепочек протяженностью $\sim 2 \text{ а.е.}$ и других типов, вдоль которых имеется регулярное изменение лучевой скорости.

Для установления связи между биполярным излучением, источниками мазерного излучения OH в главных линиях и сателлитной линии 1720 МГц и мазерами H₂O представляет большой интерес проведение многоволновых наблюдений VLBI и продолжение мониторинга.

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аргон и др. (A.L. Argon, M.J. Reid, and K.M. Menten), *Astrophys. J. Suppl. Ser.* **129**, 159 (2000).
2. Бодри и др. (A. Baudry, J.F. Desmurs, T.L. Wilson, and R.J. Cohen), *Astron. Astrophys.* **325**, 255 (1997).
3. Батчелор и др. (R.A. Batchelor, J.L. Caswell, W.M. Goss, R.F. Haynes, S.H. Knowles, and K.J. Wellington), *Austr. J. Phys.* **33**, 139 (1980).
4. Ван дер Валт (D. J. van der Walt), *Astron. J.* **141**, 152 (2011).
5. Гош и др. (S.K. Ghosh, K.V.K. Iyengar, A.D. Karnik, T.N. Rengarajan, S.N. Tandon, and R.P. Verma), *Bull. Astron. Soc. India* **28**, 515 (2000).
6. Данхэм и др. (M.K. Dunham, E. Rosolowsky, N.J. Evans II, C.J. Cyganowski, J. Aguirre, J. Bally, C. Battersby, E.T. Bradley, D. Dowell, M. Drobach, A. Ginsburg, J. Glenn, P. Harvey, M. Merello, W. Schlingman, Y.L. Shirley, G.S. Stringfellow, J. Walawender, and J.P. Williams), *Astrophys. J.* **717**, 1157 (2010).
7. Касуэлл и др. (J.L. Caswell, F.F. Gardner, R.P. Norris, K.J. Wellington, W.H. McCutcheon, and R.S. Peng), *MNRAS* **260**, 425 (1993).
8. Касуэлл (J.L. Caswell), *MNRAS* **308**, 683 (1999).
9. Касуэлл (J.L. Caswell), *MNRAS* **349**, 99 (2004).
10. Кауфман, Нейфелд (M.J. Kaufman and D.A. Neufeld), *Astrophys. J.* **456**, 250 (1996).
11. Кёмпе и др. (C. Kömpe, G. Joncas, A. Baudry, and J.G.A. Wouterloot), *Astron. Astrophys.* **221**, 295 (1989).
12. Колом П., Лехт Е.Е., Пашченко М.И., Рудницкий Г.М., *Астрон. журн.* **89**, 811 (2012) [P. Colom, E.E. Lekht, M.I. Pashchenko, G.M. Rudnitskii, *Astron. Rep.* **56**, 731 (2012)].
13. Колом и др. (P. Colom, E.E. Lekht, M.I. Pashchenko, and G.M. Rudnitskii), *Astron. Tsirkulyar* **1602**, 1 (2013).
14. Коморетто и др. (G. Comoretto, F. Palagi, R. Cesaroni, M. Felli, A. Bettarini, M. Catarzi, G. P. Curioni, P. Curioni, S. Di Franco, C. Giovanardi, M. Massi, F. Palla, D. Panella, E. Rossi, N. Speroni, and G. Tofani), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **84**, 179 (1990).
15. Коэн и др. (R. J. Cohen, M.R.W. Masheder, and R.N.F. Walker), *MNRAS* **250**, 611 (1991).
16. Лехт Е.Е., Слыш В.И., Краснов В.В., *Астрон. журн.* **84**, 1070 (2007) [E.E. Lekht, V.I. Slysh, V.V. Krasnov, *Astron. Rep.* **51**, 967 (2007)].
17. Литовченко И.Д., Баяндина О.С., Алакоз А.В., Вальтц И.Е., Ларионов Г.М., Муха Д.В., Набатов А.С., Коноваленко А.А., Захаренко В.В., Алексеев Е.В., Николаенко В.С., Кулишенко В.Ф., Одинцов С.А., *Астрон. журн.* **89**, 593 (2012) [I.D. Litovchenko, O.S. Bayandina, A.V. Alakoz, I.E. Val'tss, G.M. Larionov, D.V. Mukha, A.S. Nabatov, A.A. Konovalenko, V.V. Zakharenko, E.V. Alekseev, V.S. Nikolaenko, V.F. Kulishenko, S.A. Odintsov, *Astron. Rep.* **56**, 536 (2012)].
18. Масванганье и др. (J.P. Maswanganye, D.J. van der Walt, S. Goedhart, and M.J. Gaylard), *MNRAS* **456**, 4335 (2016).
19. Ой и др. (C.S. Oh, H. Kobayashi, M. Honma, T. Hirota, K. Sato, and Y. Ueno), *Publ. Astron. Soc. Japan* **62**, 101 (2010).
20. Пашченко М.И., Рудницкий Г.М., Колом П., *Астрон. журн.* **86**, 587 (2009) [M.I. Pashchenko, G.M. Rudnitskii, P. Colom, *Astron. Rep.* **53**, 541 (2009)].
21. Рейд и др. (M.J. Reid, A.D. Haschick, B.F. Burke, J.M. Moran, K.J. Johnston, and G.M. Swenson, Jr.), *Astrophys. J.* **239**, 89 (1980).

22. Ристорчелли и др. (I. Ristorcelli, E. Falgarone, F. Schöier, S. Cabrit, M. Gerin, Ph. Baron, U. Frisk, J. Harju, Å. Hjalmarson, A. Klotz, S. Larsson, R. Liseau, and L. Pagani), IAU Symp. **235**, 227P (2005).
23. Снелл и др. (R.L. Snell, Y.-L. Huang, R. Dickman, and M.J. Claussen), *Astrophys. J.* **325**, 853 (1988).
24. Суркис и др. (G. Surcis, W.H.T. Vlemmings, S. Curiel, K.B. Hutawarakorn, J.M. Torrelles, and A.P. Sarma), *Astron. Astrophys.* **527**, A48 (2011).
25. Фиш и др. (V.L. Fish, M.J. Reid, and A.L. Argon), *Astrophys. J.* **596**, 328 (2003).
26. Фонтани и др., (F. Fontani, R. Cesaroni, and R.S. Fujiyama), *Astron. Astrophys.* **517**, A56 (2010).
27. Шимойкура и др. (T. Shimoikura, K. Dobashi, H. Saito, T. Matsumoto, F. Nakamura, A. Nishimura, K. Kimura, T. Onishi, and H. Ogawa), *Astrophys. J.* **768**, 72 (2013).
28. Шимчак и др. (M. Szymczak, A.J. Kus, and G. Hrynek), *MNRAS* **312**, 211 (2000).
29. Шрейер и др. (K. Schreyer, Th. Henning, C. Kömpe, and P. Harjunpää), *Astron. Astrophys.* **306**, 267 (1996).