ИССЛЕДОВАНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ И СВЕРХБЫСТРЫХ ФЛУКТУАЦИЙ ПОТОКА ИСТОЧНИКОВ МАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ЛИНИИ ВОДЯНОГО ПАРА НА ДЛИНЕ ВОЛНЫ 1.35 см НА РТ-22 КРАО И РТ-22 ПРАО

А. Е. Вольвач[1], В. А. Самодуров[2], А. М. Толмачев[2], Л. Н. Вольвач[1], И. А. Субаев[2], Г. М. Рудницкий[3], М. И. Пащенко[3]

[1] *Научно-исследовательский институт Крымская астрофизическая обсерватория 98680 Ялта, п.Кацивели, ул. Шулейкина, 1, РТ-22, Украина*
e-mail: volvach@ukrpost.ua

[2] *Пущинская радиоастрономическая обсерватория АКЦ ФИАН, Россия*

[3] *Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга МГУ, Россия*

С целью объединения и координации научно-исследовательских работ между НИИ КрАО (Украина), ПРАО АКЦ ФИАН (Россия) и ГАИШ МГУ (Россия) в области спектральной радиоастрономии с помощью 22-м радиотелескопа НИИ КрАО и 22-м радиотелескопа ПРАО проведены исследования переменности мазерных источников в линии водяного пара на длине волны 1.35 см. Проведен мониторинг около 100 объектов со спектральным разрешением 0.1 км/с. Разработана методика наблюдений для обнаружения сверхбыстрых флуктуаций потока галактических источников мазерного излучения в линии водяного пара на длине волны 1.35 см на масштабах от нескольких минут до часа. С 2002 по 2008 гг. проведены наблюдения около 40 мазерных источников. Обнаружены ясные свидетельства наличия такого рода переменности в нескольких источниках (Cep A, W43M3, W49N, W33B). Замечено, что данная переменность проявляет себя не всегда, а лишь в определенных состояниях конкретных космических мазеров H_2O. Наиболее интересно поведение источника Cep A – объект способен всего за сутки переходить из состояния относительной стабильности в состояние переменности в десятки процентов в отдельных деталях на масштабах десятков минут. Обсуждаются возможные причины переменности, среди которых как внутренние процессы в самих источниках, идущие в областях с характерным масштабом порядка 0.1 а.е., так и внешние (вплоть до теоретической возможности резонансного воздействия гравитационных волн от галактических объектов на область мазерного излучения).

ВВЕДЕНИЕ

С помощью РТ-22 КрАО (НИИ Крымская астрофизическая обсерватория, Украина) первые наблюдения источников мазерного излучения в линии водяного пара на волне 1.35 см и в линии гидроксила на длине волны 18 см были начаты более 20 лет назад. В последние несколько лет в НИИ КрАО поставлена задача проведения на радиотелескопе РТ-22 многочастотных наблюдений мазерных источников: от дециметрового до миллиметрового диапазонов длин волн. Такой широкий диапазон позволяет изучать практически все известные космические мазеры [1–3].

Начиная с 1979 г. на радиотелескопе РТ-22 ПРАО (ПРАО АКЦ ФИАН, Россия) объединенной группой ГАИШ и ПРАО АКЦ ФИАН проводятся регулярные спектральные наблюдения большой выборки объектов мазерного излучения в линии водяного пара на волне 1.35 см [4, 6]. Начиная с 2005 г. проводятся регулярные наблюдения мазерного излучения в линии гидроксила на длине волны 18 см [5].

С целью объединения и координации наблюдений и получения новых научных результатов достигнута договоренность о проведении совместных регулярных спектральных наблюдениях мазерных источников на РТ-22 КрАО и РТ-22 ПРАО.

С момента открытия космических мазеров в линии водяного пара сообщается о результатах поиска сверхбыстрых флуктуаций потока галактических источников мазерного излучения в линии водяного пара на длине волны 1.35 см. На сегодняшний день известны:

1) многолетние циклы изменения потока мазерных источников H_2O;
2) вспышечная активность на масштабах месяцев;
3) изменения потоков спектральных деталей на масштабах дней;
4) сверхбыстрая переменность (на масштабах порядка часа и менее).

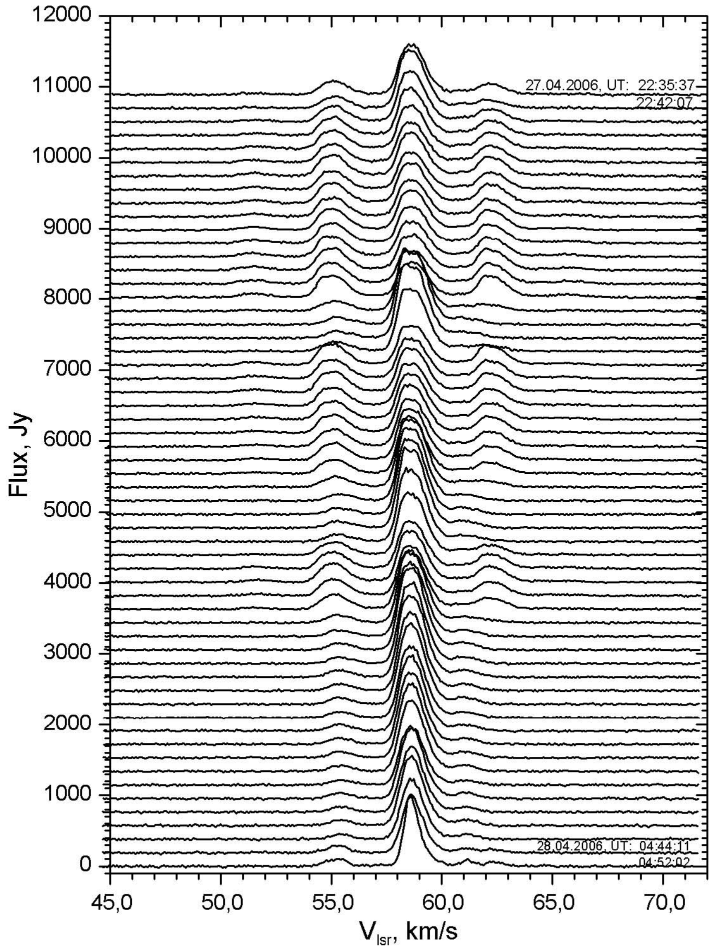

Рис. 1. Наблюдения W33B, 58 спектров, экспозиции по 6 мин 30 с, на дату 27–28 апреля 2006 г. (UT с 22:35:37 по 04:52:02). Заметны фазовые переходы вида спектра – из состояния сильной центральной детали в состояние с хорошо заметными боковыми линиями

Последний тип переменности впервые открыт для внегалактических мегамазеров, а именно для источника в неправильной галактике IC 10, который менял поток в два раза на протяжении часа [7]. Нами была поставлена задача обнаружить сходные процессы в излучении галактических мазерных источников H_2O на волне 1.35 см.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПОИСКА СВЕРХБЫСТРЫХ ФЛУКТУАЦИЙ

Проведены наблюдения около 30 источников с экспозициями 1.5–12 мин и с числом сканов для каждого не менее 10. Источники отбирались по критерию: максимальный поток в линии не менее 100 Ян.

Для слабых источников выборки на РТ-22 нельзя достигнуть точности лучшей чем 5% на экспозициях (временах накопления) менее 5 мин. Их можно использовать лишь для поиска переменности на масштабах часа. Однако, если в изменениях их потока содержится периодическая составляющая (например, в несколько минут, что может указывать на воздействие гравитационных волн от тесных двойных звезд на мазерное излучение) ее все же можно найти при помощи специальной обработки длинного ряда наблюдений.

Для источников с яркими деталями (W49N, Ori A, Cep A, W3OH, W51M, VY CMa, IRAS 16293-2422) достигнуты точности до 0.1% на экспозициях вплоть до 1.5 мин.

Некоторые источники в избранных линиях продемонстрировали очевидную переменность 10–30% и даже более на характерных временах от 10 мин до 2–3 часов – W33B, Cep A, W43M3 – в отдельных сессиях (см. рис. 1–2, 5, 6), которая не всегда связана с изменениями потока ввиду изменения позиционных углов при сильной поляризованности деталей спектра. Поскольку в ряде случаев изменения очень резкие, буквально в течение 5–10 мин, при этом меняется даже форма линий.

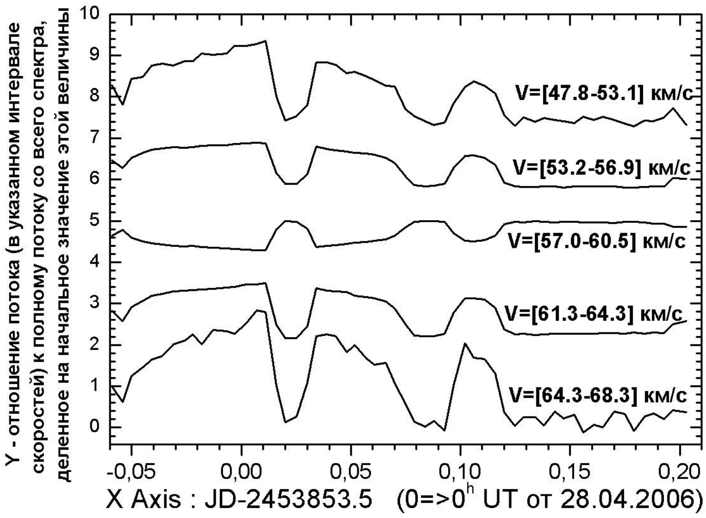

Рис. 2. Изменение относительных весов спектральных деталей для W33B на 27–28 апреля 2006 г.

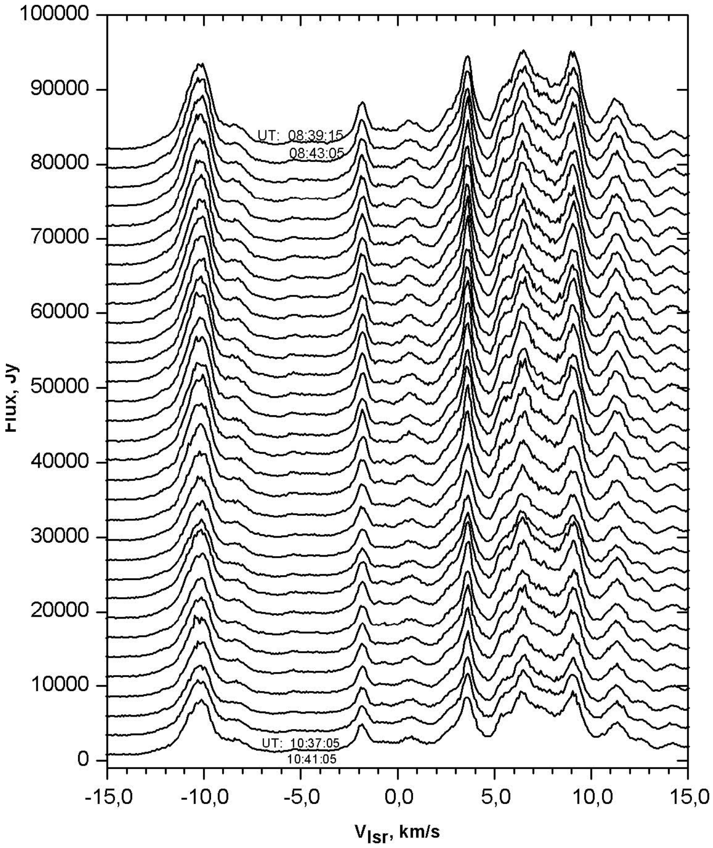

Рис. 3. Наблюдения W49N, 32 спектра, экспозиции по 4 мин на 23 марта 2006 г. (UT с 8:39:15 по 10:41:05). Заметно легкое "дрожание" форм и относительной интенсивности отдельных деталей спектра (при этом они имеют очень большие потоки, ошибки измерений которых пренебрежимо малы относительно масштабов рисунка)

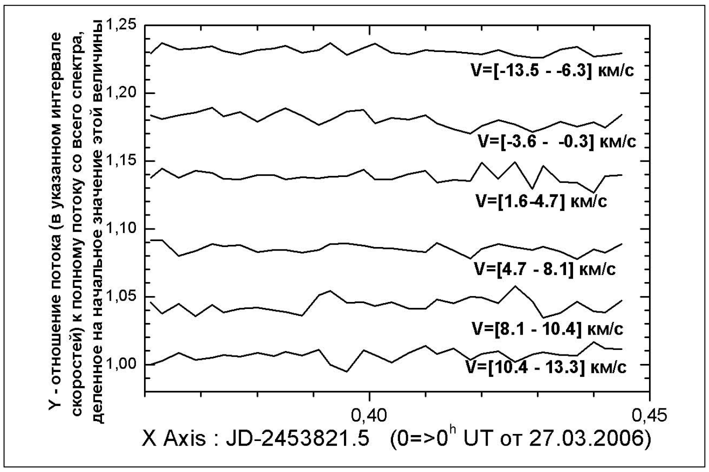

Рис. 4. Изменение относительных весов спектральных деталей для W49N на 27 марта 2006 г. (ошибка измерений 0.001)

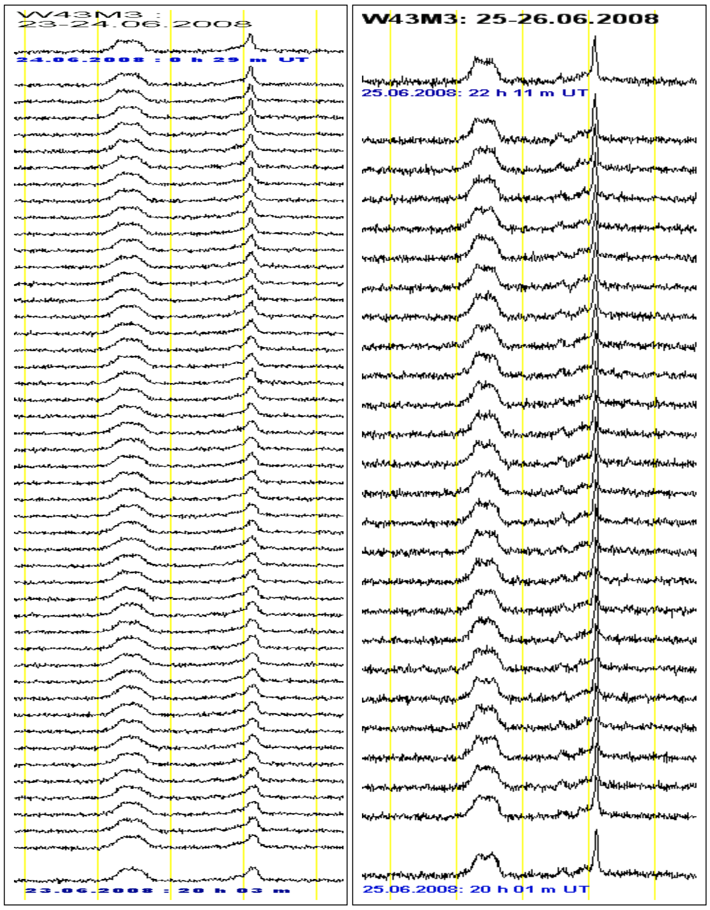

Рис. 5. Наблюдения источника W43M3 два дня подряд, примерно в одно и то же время. В первой серии заметен рост правой детали на несколько десятков процентов всего за 3.5 часа (причем сам переход осуществился примерно за час), при этом она сузилась. Вторая серия показала стабильность спектра – спектр на протяжении двух часов демонстрировал примерно ту же самую форму деталей, которая была достигнута сутки назад (хотя правая деталь стала еще посильнее и поуже)

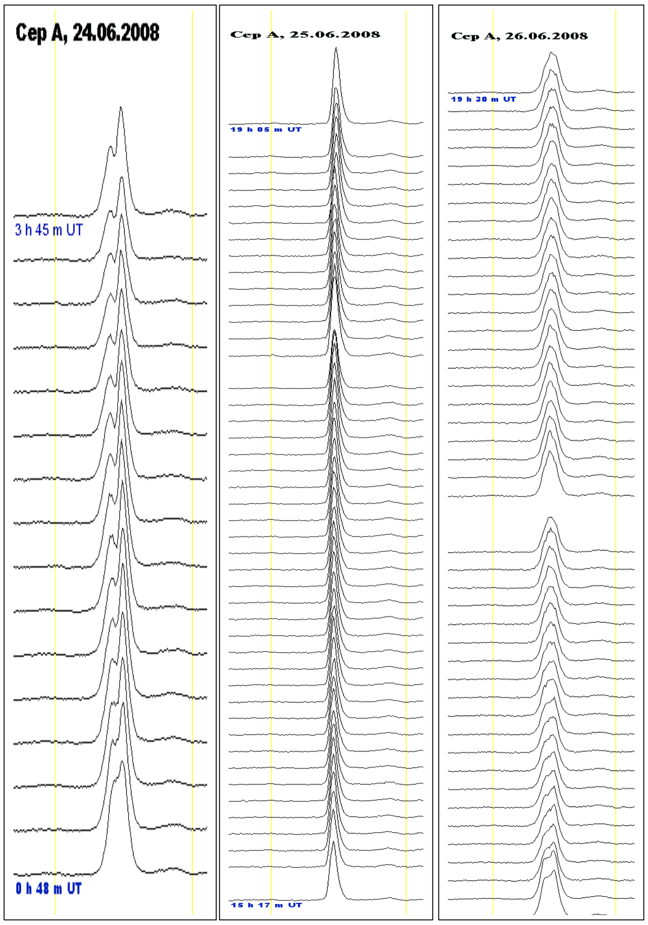

Рис. 6. Наблюдения источника Cep A три дня подряд, примерно в одно и то же время. Заметны сильные изменения не только от серии к серии, но и внутри серий от 24 и 26 июня. При этом видно, что существуют и периоды стабильности (серия от 25 июня 2008 г.). Заметно, что изменчивость деталей, по-видимому, обеспечивается со взаимным перемещением и усилением мазерного излучения при наложении деталей

Метод в качестве побочного результата дает возможность оценить величину линейной поляризации деталей спектра и из сравнительного корреляционного анализа поведения деталей – их пространственную взаимосвязь.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ПЕРЕМЕННОСТИ

За период 1994–2007 гг. проведен мониторинг около 300 источников мазерного излучения в линии водяного пара на волне 1.35 см и порядка 40 источников в линии гидроксила на длине волны 18 см при помощи радиотелескопов РТ-22 ПРАО и РТ-22 КрАО.

В данной работе представлены спектры и проведен анализ их вариаций за период 1994–2007 гг. для источников мазерного излучения в линии водяного пара на волне 1.35 см: WB 652, GGD 4, V391 Cyg, DR Cyg, IRAS 22480+6002. В таблице 1 приведены основные характеристики наблюдаемых источников.

Таблица 1. Основные данные о наблюдательных источниках

Источник	α (1950)	δ (1950)	$V_{\rm LSR}$ (км/с)	Flux$_{peak}$ (Jy)
WB 652	05 27 31	33 45 12	–12.0 ... +4.0	$\sim$ 100
GGD 4	05 37 21.8	23 49 24	–3.0 ... +10.0	$\sim$ 10 ... 1000
V391 Cyg	19 39 26	48 40 26	–30.0 ... –17.0	$\sim$ 50
DR Cyg	20 41 47	37 59 02	+5.5 ... +18.5	$\sim$ 10
IRAS 22480+6002	22 48 01	60 02 01	–70.0 ... –44.0	$\sim$ 30

WB 652 (AFGL 5142).
Обнаружено, что космический мазер в данной области звездообразования ведет себя на представленном временном отрезке довольно стабильно. Наблюдается устойчивая группа спектральных деталей в интервале лучевых скоростей от –10.0 до +3.0 км/с с потоком порядка нескольких десятков Ян в линии.

Из анализа вариаций потоков на разных участках спектра найдено, что левая часть спектра на оси лучевых скоростей в 2001–2004 гг. изменяла свой поток в противофазе с потоком с правой половины спектра. В то время как поток от правой зоны спектра рос (от –3.3 до +1.5 км/с), поток от левой зоны спектра падал (от –9.5 до –3.4 км/с). Такая антикорреляция потоков достаточно типична, например, для диско- и торообразных структур вокруг молодых звезд. Другое возможное объяснение – что данное излучение порождено двумя биполярными струями от молодой звезды. Но отсутствие сильных смещений спектральных деталей позволяет предположить, что в данном случае мы скорее всего имеем дело с торообразной структурой около молодой звезды диаметром несколько десятков а. е., в которой возникло явление конкуренции за накачку излучения между противоположно движущимися к нам частями газово-пылевого тора (рис. 7).

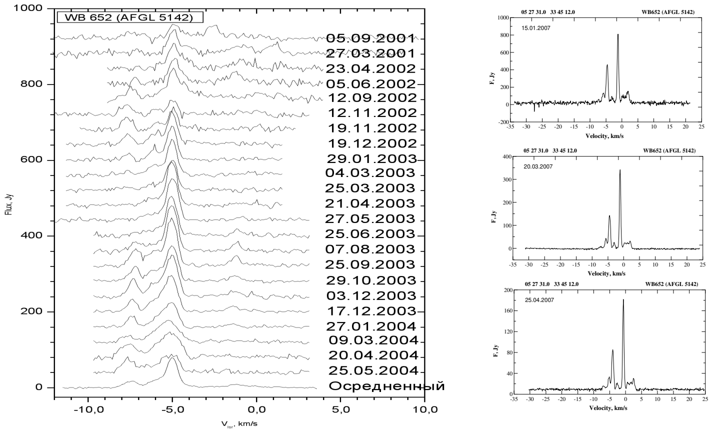

Рис. 7. Спектр источника WB 652

GGD 4.
Космический мазер в данной области звездообразования ведет себя на представленном временном отрезке крайне нестабильно. Большую часть времени он демонстрирует достаточно слабый поток порядка нескольких десятков Ян в линии либо полное отсутствие наблюдаемого потока излучения (т. е. ниже 5 Ян). Однако в 2003 г. данный источник отметился неожиданно мощной вспышкой до 1000 Ян потока в линии (рис. 8).

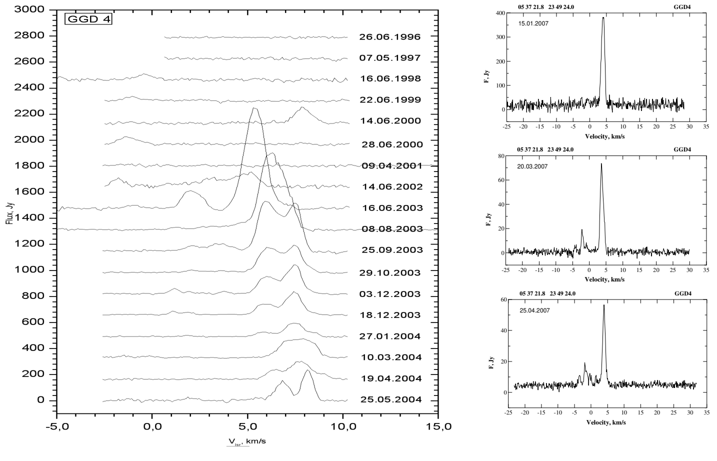

Рис. 8. Спектр источника GGD 4

Причем заметно, что вспышка, возникнув в мощной детали в зоне лучевых скоростей $\sim +5.5$ км/с (июнь 2003 г.), привела к распадению ее на группу и устойчивое смещение ее в зону $\sim +7.5$ км/с (конец мая 2004 г.). Наиболее адекватное объяснение этому можно дать, если считать, что данная вспышка происходит в мощной струе вещества с излучающими ускоряющимися мазерными конденсациями.

V391 Cyg.

Космический мазер для данной звезды позднего спектрального класса показывает переменный поток порядка в диапазоне 30–80 Ян в линии на скорости $V_{\mathrm{LSR}} = 23.1$ км/с. Приблизительный период изменения потока составляет порядка 500 суток, причем поведение потока в линии водяного мазера хорошо повторяет (с некоторой задержкой в 50–100 дней) поведение блеска данной переменной звезды в оптике. Главная деталь спектра обычно устойчиво разлагается на две гауссианы, которые, наиболее вероятно, порождаются излучением с противоположных частей газово-пылевой оболочки вокруг данной звезды позднего спектрального класса (рис. 9).

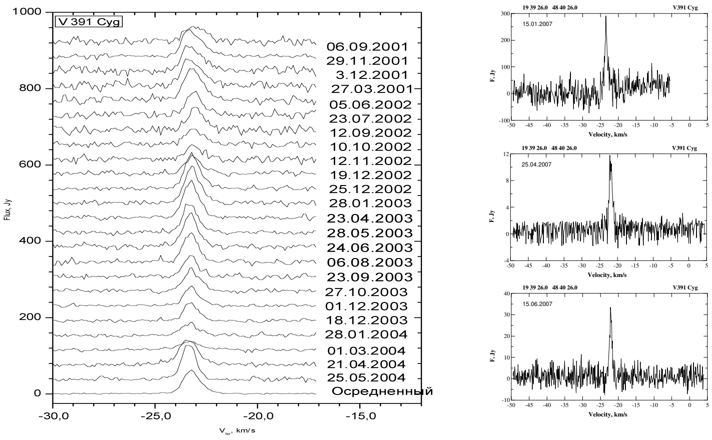

Рис. 9. Спектр источника V391 Cyg

IRAS 22480+6002.

Космический мазер (в литературных данных чаще всего принято считать, что это случай мазера в звезде позднего спектрального класса) ведет себя на представленном временном отрезке достаточно стабильно. Мы наблюдали 2 устойчивых группы спектральных деталей на интервале лучевых скоростей от –64.0 до –45.0 км/с с потоком порядка 20 Ян в линиях. Судя по накопленным данным, эти группы спектральных деталей демонстрируют антикорреляцию поведений спектральных потоков. Это служит свидетельством того, что их излучение порождается одной и той же физически связанной областью (рис. 10).

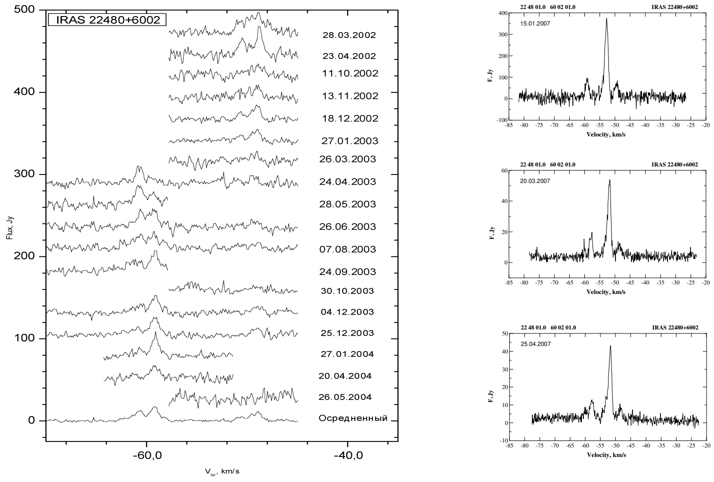

Рис. 10. Спектр источника IRAS 22480+6002

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведен анализ вариаций спектров источников мазерного излучения в линии водяного пара на волне 1.35 см: WB 652, GGD 4, V391 Cyg, DR Cyg, IRAS 22480+6002 за период 1994–2007 гг.

Начало совместной работы двух радиотелескопов: РТ-22 ПРАО АКЦ ФИАН (г. Пущино, Россия) и РТ-22 КрАО (НИИ Крымская астрофизическая обсерватория, Украина) позволило объединить ряды данных по мазерным источникам двух обсерваторий, что позволяет значительно повысить эффективность научной работы. Распределение времени наблюдений между двумя научно-исследовательскими группами с целью мониторинга всех доступных для наблюдений мазерных источников позволило более тщательно откалибровать ряды наблюдений и рассматривать их как единый комплекс.

Разработана методика наблюдений для обнаружения сверхбыстрых флуктуаций потока. С 2002 по 2008 гг. был проведен ряд серий наблюдений около 40 мазерных источников. Среди них выделены несколько, которые показали такую переменность. Обсуждаются возможные причины переменности, среди которых как внутренние процессы в самих источниках, идущие в областях с характерным масштабом порядка 0.1 а. е., так и внешние (вплоть до теоретической возможности резонансного воздействия гравитационных волн от галактических объектов на область мазерного излучения). Обнаружены ясные свидетельства наличия такого рода переменности в нескольких источниках (Cep A, W43M3, W49N, W33B). Такая переменность проявляет себя не всегда, а лишь в определенных состояниях конкретных космических мазеров H_2O. Наиболее интересно поведение Cep A в некоторых сериях наблюдений – он способен всего за сутки переходить из состояния относительной стабильности в состояние переменности в десятки процентов в отдельных деталях на масштабах десятков минут.

[1] *Вольвач А. Е., Матвеенко Л. И., Нестеров Н. С.* Спектрально-поляриметрические наблюдения линии H_2O (1.35 см) в Орионе KL // Изв. Крымской астрофиз. обсерв. – 1995. –**89**. – P. 108–110.

[2] *Вольвач А. Е., Стрепка И. Д., Нестеров Н. С., Никитин П. С.* Спектрально-поляриметрический приемник для автоматизированных наблюдений мазерных источников в линии водяного пара на волне 1.35 см // Изв. Крымской астрофиз. обсерв. – 2002. – **98**. – P. 157–161.

[3] *Вольвач А. Е., Вольвач Л. Н., Стрепка И. Д., Шульга В. М.* Наблюдения на РТ-22 КрАО молекулярных мазеров // Изв. Крымской астрофиз. обсерв. – 2007. – **103**. – P. 65–74.

[4] *Рудницкий Г. М., Лехт Е. Е., Пащенко М. И., и др.* Наблюдения водяных мазеров на РТ-22 в Пущино // Труды Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. – 2005. – **LXXVIII**. – P. 61.

[5] *Самодуров В. А., Коваленко А. В., Логвиненко С. В., и др.* Регулярные наблюдения космических мазеров в линиях гидроксила (1665, 1667 МГц) на РТ-22 (ПРАО АКЦ ФИАН): первые результаты // Труды Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга. – 2005. – **LXXVIII**. – P. 79.

[6] *Rudnitskij G. M., Pashchenko M. I., Lekht E. E., et al.* Twenty-Six Year Monitoring of Water Masers // Astrophysical masers and their environments: IAU Symp. 242, 12 to 16 March 2007, Alice Springs, Australia.