

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ М.В. ЛОМОНОСОВА

Государственный астрономический институт
им. П.К. Штернберга

На правах рукописи

УДК 524.387

Муницын Виталий Анатольевич

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОБЛАСТЕЙ
ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ НА ОСНОВЕ
МНОГОЛЕТНЕГО МОНИТОРИНГА МАЗЕРОВ
ВОДЯНОГО ПАРА**

Специальность 01.03.02 — астрофизика и радиоастрономия

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата физико-математических наук

Москва — 2007

Работа выполнена в отделе радиоастрономии Государственного астрономического института им П.К. Штернберга Московского государственного университета имени М.В. Ломоносова (ГАИШ МГУ)

Научный руководитель:

Доктор физико-математических наук

Лехт Евгений Евгеньевич
(ГАИШ МГУ, отдел
радиоастрономии)

Официальные оппоненты:

Член-корреспондент РАН,
доктор физико-математических наук

Слыш Вячеслав Иванович
(АКЦ ФИАН)

Кандидат физико-математических наук

Сурдин Владимир Георгиевич
(ГАИШ МГУ, отдел изучения
Галактик и переменных звезд)

Ведущая организация:

Институт астрономии Российской академии наук

Защита состоится 23 мая 2007 г. в 14 ч. 00 мин на заседании Диссертационного совета по астрономии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, шифр Д 501.001.86

Адрес: 119992, Москва, Университетский проспект, 13.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга МГУ (Москва, Университетский проспект, 13)

Автореферат разослан 17 апреля 2007 г.

Ученый секретарь
Диссертационного совета
кандидат физ.-мат. наук

АЛЕКСЕЕВ С.О.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы

Одной из актуальных проблем, стоящих перед современной астрофизикой, является понимание процессов образования звезд и исследование ранних стадий эволюций звезд. Такие протозвездные области не наблюдаются в видимом диапазоне электромагнитных волн из-за большой оптической толщины в плотной околозвездной газопылевой оболочке.

Одним из косвенных индикаторов процессов образования звезд на ранней стадии эволюции является мазерное излучение молекул, входящих в состав плотных газопылевых облаков, в которых происходит формирование молодых звезд ОВ-класса

Мазерное излучение в линии водяного пара ($\lambda = 1.35$ см, что соответствует вращательному переходу 6_{16} и 5_{23}) идет от конденсаций, возникающих, вероятно, в плотных расширяющихся оболочках ($r \sim 10^{15}$ см) областей Н II. Об этом говорит совпадение их пространственного положения с источниками радиоизлучения [1]. Когда область Н II расширяется до $r \sim 10^{17}$ см, то явление мазерного H_2O излучения спустя $\sim 5 \times 10^4$ лет исчезает.

H_2O – мазерное излучение очень чувствительно к физическим процессам звездообразования и это позволяет по характеру переменности параметров излучения делать предположения о природе явлений. Выявить характер временных изменений позволяет метод длительного многолетнего мониторинга мазерных источников.

Переменность мазерного излучения имеет сложный характер, связанный с нестационарными физическими процессами, протекающими на ранней стадии образования звезды. Например, аккреция вещества на протозвезду может вызвать осцилляции с периодом в несколько лет или даже в десятки лет. Переменность отдельных компонентов спектра H_2O может быть связана с неоднородностями в окружающей оболочке. В некоторых случаях оболочка склонна трансформироваться в течение 10^4 – 10^5 лет своей эволюции в другие структуры, имеющие вращение вокруг центральной звезды: тороид, кольцо, или кеплеровский диск [2].

Исследуемые мазерные источники NGC 7538 N, NGC 7538 S и W31(2) связаны с областями звездообразования, расположенными в вытянутых гигантских комплексах плотных молекулярных облаков нашей Галактики. Если мазеры H_2O в NGC 7538 связаны с областями Н II, окру-

жающие одиночные протозвезды, то источник W31(2) связан с группой молодых формирующихся звезд ОВ класса.

Накопленные спектры в линии водяного пара, полученные в ходе длительного (более двадцати лет) мониторинга, позволяют провести обработку и выявить параметры переменности излучения во времени, проанализировать результаты и изложить возможную интерпретацию (выявить структуры и сформировать модели мазерных источников)

Цель диссертационной работы

Целью данной работы явилось следующее:

1. Обработка наблюдательного материала (спектров), полученного в ходе длительного мониторинга.
2. Исследование и анализ мазерного излучения.
3. Поиск и выявление определенных закономерностей.
4. Интерпретация результатов обработки и анализа (формирование модельного представления о динамике излучения и о структуре областей, где локализуются мазерные источники).

Основные положения, выносимые на защиту

В NGC 7538 N было получено следующее:

1. Долгопериодическая переменность интегрального потока имеет период 13 лет и, по-видимому, связана с квазипериодической активностью звезды в сверхкомпактной области Н II на ранней стадии ее эволюции.

2. Выявлена триплетная структура спектров. Обнаружена антикорреляция боковых участков триплетной структуры спектров и корреляция компонентов центральной и боковой групп. Это говорит о том, что имеется единый источник возбуждения мазерных пятен – центральная звезда в сверхкомпактной области Н II вблизи IRS 1. Эмиссионные детали могут образовывать пространственно компактные группы. Наиболее предпочтительной моделью мазера водяного пара в NGC 7538, связанного с IRS 1, может быть протопланетный диск, который является сильно неоднородным. Высокоскоростное биполярное истечение вещества из ядра сверхкомпактной области Н II, имеющее направление север–юг, могло привести к возбуждению излучения на некоторых скоростях в центральной части спектра H₂O. Отсутствие антикорреляции потоков компонента на $V_{LSR} = -46.5$ км/с с центральным или другим боковым позволяет

предположить, что пятно на этой лучевой скорости расположено в высокоскоростном истечении газа от центральной звезды.

3. Обнаружена структура типа вращающегося неоднородного вихря с периодом вращения около 1.6 года. Регулярный дрейф скорости вихря может быть следствием его орбитального движения в протопланетном диске.

4. Обнаружены структуры мазерных пятен типа цепочек, которые вероятнее всего ориентированы в радиальном (или близком к нему) направлении к протозвезде и имеют градиент лучевой скорости. Цепочка на -58 км/с насчитывает не менее 15 звеньев. Шаг цепочки оценивается как ≤ 1.5 а.е. Цепочки могут располагаться в околозвездном диске шириной $\sim 10^{15}$ см.

В NGC 7538 S было получено следующее:

1. Обнаружена и исследована отдельная вспышка мазерного излучения H_2O . Обнаружены два цикла активности мазера NGC 7538 S продолжительностью ~ 4 и ~ 3 года. Предполагается, что они связаны с циклической активностью центрального источника – массивной протозвезды O-класса.

2. Обнаружены периодические вариации потоков нескольких компонентов H_2O с различными периодами, от 0.9 до 2 лет. Многочисленные скачки V_{LSR} (0.1–0.3 км/с) и быстрые вариации потоков основных компонентов естественно объясняются наличием неоднородностей в среде. Такие неоднородности могут располагаться вдоль радиальных направлений, образуя при этом упорядоченные структуры в виде волокон или цепочек. Средняя протяженность такой структуры оценивается в 6–8 а.е.

3. Эмиссионные детали в спектрах H_2O разделяются на четыре спектральные группы. Более или менее коррелированные вариации потоков могут быть аргументом в пользу того, что все эти группы расположены компактно в NGC 7538 S. Сравнение с картой пятен [3] привело к заключению, что данное излучение может исходить из области, отождествляемой со скоплением мазерных пятен, которое находится в центре вытянутой структуры. Вероятнее всего это скопление связано с массивным вращающимся диском.

4. Наиболее вероятной моделью может быть модель центральной протозвезды с околозвездным фрагментированным диском и с сильным биполярным потоком. Мазерные пятна могут быть расположены в ком-

пактных группах в диске и иметь структуру неоднородных волокон или цепочек.

В W31(2) было получено следующее:

1. Не обнаружен долгопериодический компонент переменности интегрального потока. Наличие скопления звезд, вероятно, привело к размыванию долгопериодической переменности, которую может иметь каждая из звезд в отдельности. Вспышечный циклический характер со средним периодом около 1.9 года естественнее всего объясняется суперпозицией активности всех звезд скопления, в котором может находиться 5–6 звезд.

2. Обнаружены две мощные вспышки с интервалом между максимумами 12 лет (1985–1986 и 1998–1999 гг.). С учетом разницы в расстояниях видно, что мазер H_2O в W31(2) по энергетике мало уступает мазеру в Орионе KL, поток излучения от которого во время супервспышек достигал 6.7×10^6 Ян и 4.6×10^6 Ян, соответственно.

3. Выявлены организованные структуры разного масштаба. Мазерные пятна сосредоточены в двух крупномасштабных скоплениях. Внутри них пятна распределены организованными группами среднего масштаба. Сами мазерные пятна могут иметь упорядоченные структуры типа волокон.

4. Обнаружены явления, которые объясняются существованием крупномасштабных турбулентных (вихревых) движений группы мазерных пятен, либо внутри самой группы пятен. Таким образом, малый размер УСН II области и сравнительно большое время ее жизни могут быть объяснены не только тепловым движением окружающего газа, но и наличием добавочного давления, которое может возникать, например, вследствие крупномасштабных турбулентных движений газа на границе области.

5. Изменения центра скорости V_c с периодом 31–33 года естественнее всего связано с процессом аккреции вещества на скопление ОВ-звезд. Представлена модель, в которой такие изменения V_c связаны с вращением уплощенного, неоднородного сгустка вещества (диска), внутри которого находится скопление звезд. Вращение такой структуры может привести к модуляции излучения, а само её существование позволяет сделать предположение, что звезды скопления могут иметь вращение относительно общего центра масс. При таком вращении возможны небольшие пространственные (в плоскости вращения) перемещения анизотро-

пии УФ–излучения звезд, которые могут привести к последовательному увеличению излучения скоплений мазерных пятен.

Научная новизна

Результаты диссертации, выносимые на защиту, являются новыми и получены впервые. В ходе работы над материалами наблюдений были получены новые результаты, проливающие свет на природу и характер процессов и в областях звездообразования и, частично, в мазерном излучении. Результаты по W31(2) обновлены, опираясь на спектральные данные последних 10–15 лет. По этому источнику выявлены новые интересные особенности, ранее не обнаруженные, уточнена модель. По источникам мазерного излучения в области NGC 7538 результаты обработки и выводы абсолютно новые.

Научная и практическая ценность

Сами спектры многолетнего мониторинга мазерных источников уже представляют собой большую ценность. Полученные результаты и выводы позволяют глубже прояснить природу процессов формирования звезд, эволюции ранней стадии жизни протозвезды до выхода на главную последовательность, индикатором которых является мазерное излучение H_2O . В частности, на примере двух разных источников накачки (в NGC 7538 – одиночные протозвезды, в W31(2) – группа молодых звезд OB–класса) были найдены интересные особенности и закономерности, присущие исследуемым объектам. Это дает более широкое понимание о картине и "географии" локализации мазерных конденсаций в плотных молекулярных облаках.

Практическую ценность представляют собой не только результаты исследований, но и подход, и методики обработки данных длительного мониторинга мазерных источников.

Апробация.

Основные материалы диссертации докладывались:

– на Всероссийской астрономической конференции "Горизонты Вселенной", МГУ, ГАИШ, 3–10 июня 2004 г. (Москва, Россия);

– на Международном симпозиуме “Астрономия–2005: состояние и перспективы развития”, МГУ, ГАИШ, 1–6 июня 2005 г. (Москва, Россия).

Результаты работы изложены в одиннадцати публикациях: Астрономический журнал – 5, Письма в Астрономический журнал – 2, Труды ГАИШ (тезисы докладов) – 4.

Личный вклад автора

– Проведена обработка спектров мазерного излучения H_2O , которые были исправлены за поглощение.

– Получены и проанализированы полный поток излучения и центростремительные скорости. Выделены отдельные компоненты и проведен анализ их эволюции.

– Проведена интерпретация полученных результатов.

– Развита методология многоточечных наблюдений (дискретное сканирование) двойных источников. Применение такого метода наблюдений позволило определить принадлежность эмиссионных деталей спектра H_2O . В направлении области NGC 7538, наблюдаются две основные мазерные группы – северная (N) и южная (S). Разнесены они друг относительно друга на расстояние 0.4^s по α и $1'19''$ по δ и попадают одновременно в диаграмму направленности радиотелескопа РТ–22, которая равна $2.6'$.

В NGC 7538 N

– Обнаружена долгопериодическая переменность полного потока с периодом в 13 лет.

– Выявлена триплетная структура спектров. Обнаружена антикорреляция боковых участков триплетной структуры спектров и корреляция компонентов центральной и боковой групп.

– Выявлены различные структуры мазерных пятен.

В NGC 7538 S

– Обнаружены два цикла активности мазера NGC 7538 S продолжительностью ~ 4.5 и ~ 2.5 г.

– Обнаружены периодические вариации потоков нескольких компонентов H_2O с различными периодами, от 0.9 до 2 лет.

В W31(2)

– Обнаружены две мощные вспышки с интервалом между максимумами 12 лет. Не обнаружен долгопериодический компонент. Наличие вспышек со средним периодом около двух лет позволяет принять модель

центрального источника в виде скопления звезд, в котором может находиться 5–6 звезд.

– Обнаружен дрейф центроида скоростей, который аппроксимируется полиномом третьей степени с периодом 31–33 г.

– В периоды сильных вспышек обнаружена корреляция между потоками излучения спектральных компонентов с близкими лучевыми скоростями.

– Обнаружено последовательное возбуждение излучения отдельных деталей в порядке возрастания или убывания их лучевых скоростей, что свидетельствует об упорядоченной структуре области, где локализованы мазерные пятна.

– Обнаружено воздействие друг на друга (сближение и последующий разлет) двух сильных эмиссионных деталей на близких лучевых скоростях.

– Обнаружены вариации V_{LSR} отдельных компонентов H_2O

Автор данной диссертационной работы проводил наблюдения в 1994–1997 годах, и данные наблюдений включены в материал настоящей работы.

СТРУКТУРА ДИССЕРТАЦИИ

Структура и объем работы

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и списка литературы. Объем работы составляет 141 страницу, и содержит 49 рисунков и одну таблицу. Список цитируемой литературы содержит 153 ссылки.

Содержание диссертации

Во Введении раскрывается актуальность исследования областей звездообразования, освещены основные моменты мазерного излучения, приведены характеристики диссертации (цель, новизна и актуальность, структура диссертации, апробация).

В Главе 1 в компактной форме изложена аппаратура и методика наблюдений, с помощью которых был получен наблюдательный материал (спектры). Наблюдения мазерного излучения H_2O были проведены на радиотелескопе РТ–22 Пуцинской Радиоастрономической Обсерватории Физического института им. Лебедева, Пушино, в период с 1981 по

2005 г. [4].

В Главе 2 приведена методика обработки данных. Обработка полученных при наблюдениях спектров проходила в два этапа. На первом этапе было проведено следующее: коррекция базовой линии спектра, построение шкалы лучевых скоростей, перевод антенной температуры в значения плотности потока с учетом поглощения в атмосфере Земли. После этого уже исследовались параметры мазерного излучения.

Было исследовано следующее:

- Интегральная плотность потока.
- Средневзвешенная лучевая скорость или центрострел скорости.
- Наложение спектров.
- Средние спектры.
- Отдельные участки спектра.

Также было проведено:

- Выделение компонент и вычисление их параметров.
- Выделение основных максимумов.
- Применение статистических методов обработки данных.

Описана методология многоточечных наблюдений. Это связано с решением проблемы принадлежности и разделения спектров двух близких мазерных источников в области NGC 7538 – северного (N) и южного (S).

В Главе 3 дается описание структуры области звездообразования NGC 7538. Представлены результаты обработки данных, анализ и выводы по наблюдениям NGC 7538. Мазерные конденсации H₂O локализованы вблизи IRS 1 (NGC 7538 N) и IRS 11 (NGC 7538 S), расстояние до которых оценивается приблизительно 2.8 кпк. Структура ультракомпактных образований H II в IRS 1 достаточно сложна (двухкомпонентная конфигурация, биполярный поток, диск) [5]. В NGC 7538 S мазерные пятна H₂O имеют то же положение, что OH мазеры и сверхкомпактная область H II, являющаяся источником возбуждения мазерных пятен. Пятна образуют вытянутую структуру, направленную в сторону ИК-источника IRS 11 и удаленную от него на 10'' (0.15 пк).

Анализ мониторинга источника NGC 7538 N с 1981 г. по 2005 г. показал наличие долгопериодической переменности потока мазерного излучения H₂O с периодом около 13–14 лет. Данный вид переменности мазерного излучения характеризует состояние активности мазера H₂O в целом и может быть связан с циклической переменностью молодой звезды на

ранней стадии ее эволюции, когда процесс формирования звезды имеет нестационарный характер. Обнаружение двух циклов мазерной активности в источнике NGC 7538 IRS 1 подтверждает результаты теоретических исследований, согласно которым светимость звезды в процессе ее формирования на раннем этапе эволюции может иметь вариации с периодом порядка 5–10 лет [6]. В течение всего мониторинга 1981–2003 гг. наблюдалось восемь вспышек продолжительностью от 0.3 до 2 лет. Причиной вспышек может звездный ветер от центра активности, физические движения мазерных конденсаций, разные свойства среды локализации мазеров, турбулентные движения газа.

Изменения центроида скоростей ассоциируются со вспышками как отдельных эмиссионных деталей, так и групп деталей. Появление, а также исчезновение излучения на краях спектра H_2O было вызвано антикорреляцией потоков излучения между этими участками спектров. Такой характер изменения центроида скоростей может быть связан с биполярным истечением, либо с геометрией NGC 7538 N IRS 1.

Выявлена триплетная структура спектров. Интерес к триплетным спектрам вызван тем, что такие спектры могут формироваться в кеплеровском диске, наблюдаемом с ребра. Обнаружена антикорреляция излучения компонентов триплетной структуры спектра. Выявлена антикорреляция излучения деталей с близкими лучевыми скоростями. Это может говорить о существовании компактных групп мазеров в расширяющейся оболочке или в кеплеровском диске. А вот обнаруженная антикорреляция излучения у компонентов с большой разницей лучевых скоростей возможна только в кеплеровском диске.

Предпочтительной моделью мазера водяного пара в NGC 7538, связанного с IRS 1, может быть кеплеровский сильно неоднородный протопланетный диск. Высокоскоростное биполярное истечение вещества из ядра сверхкомпактной области II, имеющее направление север–юг, могло привести к возбуждению излучения на некоторых скоростях в центральной части спектра H_2O .

Выделение компонентов и анализ их параметров выявили определенные структуры и явления. Обнаружена структура типа вращающегося неоднородного вихря с периодом вращения около 1.6 г. Регулярный дрейф скорости вихря может быть следствием его орбитального движения в протопланетном диске. Причиной существования вихря могут быть турбулентные движения вещества в среде.

Обнаружены структуры мазерных пятен типа цепочек, которые вероятнее всего ориентированы в радиальном (или близком к нему) направлении к протозвезде и имеют градиент лучевой скорости. Шаг цепочек ~ 1.6 а.е. Количество звеньев от 4 до 15. Цепочки могут располагаться в околозвездном диске шириной $\sim 10^{15}$ см.

Для исследования мазерного излучения в NGC 7538 S были использованы данные мониторинга периода 1993–2005 гг. Была обнаружена и исследована вспышка мазерного излучения H_2O в 1998–2005 гг. в диапазоне V_{LSR} от -57 до -52 км/с. В данном участке спектра переменность интегрального потока ($F_{\text{инт}}$) имеет циклический вид. Наблюдались два цикла активности. Переменность $F_{\text{инт}}$ носит вспышечный характер, динамика которого связана с быстрыми вариациями потоков многих деталей. Общую картину переменности $F_{\text{инт}}$ можно связать с существованием циклической активности центрального источника в сверхкомпактной области Н II. Переменность центроида скоростей имеет синусоидальный вид с периодом около двух лет и определяется совокупностью вспышечной активности всех деталей.

Выделение компонентов и анализ их параметров выявили периодические вариации потоков нескольких компонентов H_2O с различными периодами, от 0.9 до 2 лет. Мазерные пятна в области NGC 7538 S могут иметь сложные, но достаточно упорядоченные образования – например, неоднородные волокна (цепочки). Шаг такой цепочки составляет ~ 2 а.е., а полная длина порядка 6–8 а.е.

Согласно [3], мазерные пятна, связанные с областью NGC 7538 S, образуют вытянутую структуру. Излучение на -54.8 км/с отождествлено нами с одним из пятен данной структуры, находится в ее центре и проецируется точно на протозвезду, т.е. находится на пересечении массивного диска и биполярного потока. Наиболее вероятной моделью с учетом [7, 8] может быть модель центральной протозвезды с околозвездным фрагментированным диском и с сильным биполярным потоком. Мазерные пятна могут быть расположены в компактных группах в диске и иметь структуру в виде неоднородных волокон или цепочек.

В Главе 4 дается описание структуры области звездообразования W31(2). Представлены результаты, анализ и выводы по наблюдениям мазера H_2O в этой области. Данный объект содержит компактную область ионизованного водорода, ассоциируемую с группой инфракрасных источников. Два компонента ядра облака представляют собой ультра-

компактные области Н II диаметром $D < 0.1$ пк, имеющие электронную плотность $n_e > 10^4 \text{ см}^{-3}$. Исследования в линиях молекул NH_3 , H_2CO и C^{34}S дают основание предполагать существование гравитационного коллапса и аккреции в ядре вращающегося облака [9]. Обнаружено сплюсщенное, вращающееся аккреционное молекулярное течение. Однако, аккреционное течение в W31(2) не образует аккреционного диска. Необычная структура области приводит к мысли о существовании иного механизма образования скоплений массивных звезд, чем через аккреционные диски [10].

Мазерные конденсации располагаются в непосредственной близости от сверхкомпактной Н II-области, образованной скоплением ОВ-звезд. В W31(2) нами не обнаружено ярко выраженного компонента долгопериодической переменности, который наблюдался в ряде мазеров H_2O , связанных с областями звездообразования. Наличие скопления звезд, вероятно, привело к размыванию долгопериодической переменности, которую может иметь каждая из звезд в отдельности. В основном, переменность потока носила вспышечный циклический характер в коридоре амплитуд порядка $600 \text{ Ян} \times \text{км/с}$ со средним периодом около 1.9 года. Такой цикл переменности естественнее всего объясняется суперпозицией вспышечной активности всех звезд скопления, при которой вспышки следуют непрерывно одна за другой.

Две сильные вспышки (1985–1986 и 1998–1999 гг.) с интервалом около 12 лет, которые можно назвать супервспышками, могут быть проявлением активности одной ближайшей звезды, входящей в скопление ОВ-звезд. Наиболее подходящим объяснением наблюдаемого характера переменности потока, лучевой скорости и формы линии первой супервспышки является модель наложения двух движущихся (в картинной плоскости) мазерных пятен на луче зрения, которые имеют близкие лучевые скорости. Такое наложение может иметь место при существовании крупномасштабных турбулентных (вихревых) движений с участием группы мазерных пятен, либо внутри самой группы пятен. Это подтверждает вывод о том, что малый размер УС Н II области и сравнительно большое время ее жизни не могут быть объяснены только тепловым движением окружающего газа [12]. Требуется наличие добавочного давления, которое может возникать, например, вследствие турбулентных движений газа на границе области. Таким образом, турбулентные движения играют большую роль в эволюции области W31(2).

Анализ вариаций максимумов спектров, а также использование статистических методов анализа, позволил выявить структурные образования различных масштабов. Обнаружены два скопления групп мазерных пятен, что согласуется с наблюдениями [10], согласно которым мазерные пятна сосредоточены в двух скоплениях. Это хорошо вписывается в модель сложной области W31(2), в которой мазер H₂O локализован на границе УСН II, расположенной во вращающемся ядре [10]. Упорядоченные структуры среднего масштаба сформированы группами мазерных пятен. Мелкомасштабная структура – это сами мазерные пятна, которые могут иметь форму в виде вытянутых неоднородных волокон, в которых имеется градиент лучевой скорости.

С учетом всех имеющихся данных за период 1972–2003 гг. кривая дрейфа центроида хорошо аппроксимируется полиномом третьей степени с периодом 31–33 г. Такой характер переменности центроида скоростей предпочтительнее всего связать с нестационарной аккрецией вещества на область Н II [11]. Поскольку в W31(2) сферического вида аккреционный поток уплощается к УСН II, естественно предположить, что скопление ОВ-звезд может быть сплюснутым. Существование вращающегося ядра позволяет сделать предположение – звезды скопления могут иметь вращение относительно общего центра масс. Нами сделано предположение, что скопление звезд окружено неоднородным уплощенным сгущением аккреционного газа, при вращении которого возможна модуляция излучения звезд с периодом порядка 32 года.

В Заключении проведено сравнение полученных результатов обработки данных и выводов по исследуемым в данной работе H₂O-мазерным источникам NGC 7538 и W31(2). Сделаны оценка результатов исследования и проведено некоторое обобщение.

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

1. Е.Е. Лехт, В.А. Муницын, А.М. Толмачев “Многолетний мониторинг мазера водяного пара в направлении NGC 7538: 1981–1992 гг.”, *Астрономический журнал*, 2003, том 80, с. 909–918.

2. Е.Е. Лехт, В.А. Муницын, А.М. Толмачев “Многолетний мониторинг мазера водяного пара в направлении NGC 7538: 1993–2003 гг.”, *Астрономический журнал*, 2004, том 81, с. 224–233.

3. Е.Е. Лехт, В.А. Муницын, А.М. Толмачев “Мониторинг мазера H_2O в W31(2) в период 1981–2003 гг.” *Астрономический журнал*, 2005, том 82, с. 50–63.
4. Е.Е. Лехт, В.А. Муницын, А.М. Толмачев “Вспышки мазера H_2O в W31(2)” *Письма в астрономический журнал*, 2005, том 31, с. 350–362.
5. В.А. Муницын “Вспышка мазера H_2O в NGC 7538 S”, *Письма в астрономический журнал*, 2006, том 32, с. 613–619.
6. Е.Е. Лехт, Н.А. Силантьев, В.В. Краснов, В.А. Муницын “Эволюция излучения мазера H_2O в G10.6–0.4” *Астрономический журнал*, 2006, том 83, с. 716–725.
7. Е.Е. Лехт, В.А. Муницын, А.М. Толмачев “Структуры типа цепочек в H_2O -мазере NGC 7538 N”, *Астрономический журнал*, , 2007, том 84, с. 30–40.
8. В.А. Муницын, Е.Е. Лехт, А.М. Толмачев “Мониторинг мазера водяного пара в NGC 7538 в период 1981–2003 гг.” *Всероссийская астрономическая конференция ВАК-2004 “Горизонты Вселенной”, Тезисы докладов. Труды ГАИШ*, 2004, том LXXV, с. 160.
9. Е.Е. Лехт, В.А. Муницын, А.М. Толмачев “Результаты 23-летних наблюдений мазера H_2O в области W31(2)” // *Всероссийская астрономическая конференции ВАК–2004 “Горизонты Вселенной”, Тезисы докладов. Труды ГАИШ*, 2004, том LXXV, с. 131.
10. Е.Е. Лехт, В.А. Муницын, А.М. Толмачев “Структуры типа цепочек в водяном мазере NGC 7538 N”, *Восьмой съезд Астрономического общества и Международный симпозиум “Астрономия–2005: состояние и перспективы”, Тезисы докладов. Труды ГАИШ*, 2005, том LXXVIII, с. 71.
11. В.А. Муницын “Вспышки мазера H_2O в NGC 7538 S” *Восьмой съезд Астрономического общества и Международный симпозиум “Астрономия–2005: состояние и перспективы”, Тезисы докладов. Труды ГАИШ*, 2005, том LXXVIII, с. 79.

ЛИЧНЫЙ ВКЛАД АВТОРА В РАБОТАХ В СОАВТОРСТВЕ

Во всех статьях и докладах, приведенных выше (кроме авторской публикации) опубликованы результаты обработки данных наблюдений, полученных автором. Также автором сформулированы выводы и интерпретация некоторых полученных результатов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стром С.Е. // Образование звезд и ранние стадии звездной эволюции // На переднем крае астрофизики // под ред. Ю. Эвретта / М., Мир, с. 106 (1979).
2. Genzel, R., Downes, D., Moran, J.M., et al. // Structure and kinematics of H₂O sources in clusters of newly-formed OB stars // *Astron. Astrophys.*, 66, p. 13 (1978).
3. Kameya, O., Morita, K.I., Kawabe, R., Ishiguro, M. // New H₂O masers in the NGC 7538 region // *Astrophys. J.*, 355, p. 562 (1990).
4. Сороченко Р.Л., Берулис И.И., Гусев В.А. и др. // Аппаратурный комплекс для спектральных исследований на радиотелескопе РТ-22 ФИАН // Труды ФИАН, 159, с. 50 (1985).
5. Gaume, R.A., Johnston, K.J., Nguyen, H.A., et al // NGC 7538 IRS 1 – Subarcsecond resolution recombination line and ¹⁵NH₃ maser observations // *Astrophys. J.*, 376, p. 608 (1991).
6. Yorke, H.W., Krugel, E. // The dynamical evolution of massive protostellar clouds // *Astron. Astrophys.*, 54, p. 183 (1977).
7. Torrelles, J.M., Patel, N.A., Anglada, G., et al. // Evidence for Evolution of the Outflow Collimation in Very Young Stellar Objects // *Astrophys. J.*, 598, L115 (2003).
8. Sandell, G., Wright, M., Goss, W.M. // High angular resolution observations of the high-mass protostar NGC 7538 S // *A.A.S.*, 205, p. 98.02 (2004).
9. Guilloteau, S., Forveille, T., Baudry, A., et al // H₂CO and excited OH toward G10.6-0.4 – Another rotating disk? // *Astron. Astrophys.*, 202, p. 189 (1988).
10. Sollins, P.K., Ho, P.T.P. // The Molecular Accretion Flow in G10.6–0.4 // *Astrophys. J.*, 630, p. 987 (2005).
11. Ho, P.T.P., Haschick, A.D. // Molecular clouds associated with compact H II regions. III - Spin-up and collapse in the core of G10.6-0.4 // *Astrophys. J.*, 304, p. 501 (1986).
12. Xie, T., Mundy, L.G., Vogel, S.N., Hofner, P. // On Turbulent Pressure Confinement of Ultracompact H II Regions // *Astrophys. J.*, 473, L131 (1996).