

РОССИЙСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК  
ФИЗИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. П.Н. ЛЕБЕДЕВА  
АСТРОКОСМИЧЕСКИЙ ЦЕНТР

На правах рукописи

Любченко Стелла Юрьевна

**“Мазерные конденсации на краю зон III”**

Специальность 01.03.02 — астрофизика и радиоастрономия

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени  
кандидата физико-математических наук

Москва — 2008

Работа выполнена в Астрокосмическом центре Физического института им. П.Н. Лебедева РАН

**Научный руководитель:**

доктор физико-математических наук  
И.Е. Вальтц

**Официальные оппоненты:**

доктор физико-математических наук И.И. Зинченко (ИПФ РАН)  
кандидат физико-математических наук Г.М. Рудницкий (ГАИШ МГУ)

**Ведущая организация:**

Институт астрономии РАН (ИНАСАН)

Защита состоится 13 октября 2008 г. в 16:15 на заседании Диссертационного совета Д002.023.01 Физического института им. П.Н. Лебедева РАН по адресу: 119991, Москва, Ленинский проспект, д. 53.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Физического института им. П.Н. Лебедева РАН.

Автореферат разослан                      сентября 2008 г.

Ученый секретарь  
Диссертационного совета  
д.ф.-м.н.

Ю.А. Ковалев

## Общая характеристика работы.

**Актуальность темы.** Звезды образуются в плотных молекулярных облаках. Молодые объекты, находящиеся на дозвездной стадии эволюции, обычно настолько глубоко погружены в плотную газопылевую среду, что об их наличии в области звездообразования можно судить лишь по косвенным признакам. Протозвезды влияют на состояние окружающего их родительского молекулярного облака. Облако нагревается, ионизируется, расширяется, распадается на отдельные фрагменты. Естественно, что молекулярное облако неоднородно по плотности, и эволюция плотных и разреженных фрагментов происходит по-разному. Спектр масс протозвезд также весьма разнообразен: от маломассивных типа Т Тау ( $0.1-3M_{\odot}$ ) до гигантов в несколько десятков солнечных масс. От массы протозвезды в наибольшей степени зависит эволюция окружающей среды. Спектр масс протозвезд, спектр плотности неоднородностей молекулярных облаков и время динамического взаимодействия между облаком и протозвездой определяют видимую морфологию области звездообразования. Обычно во всех областях звездообразования видны такие побочные продукты эволюции, как темные глобулы, объекты Хербига-Харо, в инфракрасном диапазоне – холодные пылевые сгустки (дальний инфракрасный диапазон), горячие пылевые коконы (ближний инфракрасный диапазон), в непрерывном спектре радиодиапазона – ультракомпактные III зоны, а в радиотолниях – мощные разлеты молекулярного вещества в виде биполярных потоков и плотные молекулярные ядра, в которых формируется сильное неравновесное (мазерное) излучение на различных молекулах – OH, H<sub>2</sub>O, CH<sub>3</sub>OH, а также тепловое излучение в линиях более сложных молекул. Этим объектам и уделяется наибольшее внимание при изучении эволюции областей звездообразования. Правдоподобность сценария развития области звездообразования сильно зависит от того, насколько однородными и полными будут данные о физическом состоянии вещества в перечисленных выше молекулярных объектах, а также от того, насколько точно можно оценить их локализацию в облаке, т.е. степень их взаимной связи и связи с протозвездой.

Радиоспектроскопические исследования областей звездообразования, содержащих плотные газопылевые сгустки, в которых выживают различные молекулярные соединения, являются очень перспективными для получения сведений о физическом состоянии дозвездного вещества. Радиотолнии, излучаемые такими сгустками, относятся к разным возрастным, динамическим, тепловым и эволюционным фазам межзвездной материи, поэтому параметры, получаемые из наблюдений различных молекул, дают возможность для вос-

становления картины физических условий в областях формирования звезд. Некоторые молекулы в дозвездных конденсациях воспринимают воздействие интенсивного излучения от соседних - уже сформировавшихся - молодых звезд или динамическое сжатие со стороны истекающего от звезды потока вещества как фактор, перестраивающий распределение населенностей уровней. Результатом таких воздействий является неравновесное (мазерное) излучение этих молекул, которое всегда ассоциируется с протозвездными объектами. Мазерное излучение в областях звездообразования наблюдается и на сложной органической молекуле  $\text{CH}_3\text{OH}$  (метанол).

Метанольные мазеры делятся на два класса [1], [2], – главным образом, по типу накачки переходов молекулы: столкновительный для метанольных мазеров I класса Лис [3] и радиативно-столкновительный для метанольных мазеров II класса (см., например, [4] и ссылки в этой работе). Данных по метанольным мазерам II класса гораздо больше, чем по метанольным мазерам I класса. Во-первых, их больше по количеству – метанольных мазеров I класса известно около 160 штук [5], в то время как метанольных мазеров II класса – более 500 [6]. Во вторых, они ярче (поток самого яркого метанольного мазера I класса M8E в пике линии на частоте 44 ГГц составляет около 500 Ян - [7], в то время как самый яркий метанольный мазер II класса G9.62+0.20 имеет в пике линии 5000 Ян [8]. Эти оценки достаточно объективны: метанольные мазеры II класса формируются примерно в тех же областях звездообразования, что и метанольные мазеры I класса [5], т.е. их яркость не является следствием их более близкого расположения к земному наблюдателю. В-третьих, спектры метанольных мазеров II класса более богаты: они занимают больший интервал скоростей и имеют больше спектральных деталей. В четвертых, исследовать пространственную структуру метанольных мазеров II класса проще, поскольку их самые яркие линии излучаются на достаточно низкой частоте 6.7 ГГц (самая яркая линия метанольных мазеров I класса формируется на частоте 44 ГГц). Приемниками на частоту 6.7 ГГц оборудован интерферометр в Наррабрай (Австралия) (см., например, [9]) и все телескопы, объединенные в Европейскую сеть EVN (см., например, [10]), в настоящее время их устанавливают также и на VLA (США). На 44 ГГц работает только одна решетка VLA, которой недоступны многие источники южного полушария [11], [12].

Считается, что метанольные мазеры II класса формируются на краю III-зон на таких предельных расстояниях, на которых позволительно выживать столь сложной молекуле. Хотя это утверждение в настоящее время не вызывает сомнений, многочисленные наблюдательные данные позволяют суще-

ственно уточнить эту модель.

В молекуле метанола имеется множество разрешенных переходов, и, естественно, изучение метанольных мазеров проводится на многих частотах, соответствующих этим переходам. Многочастотные исследования очень выгодны с точки зрения получения однородной информации о тех фрагментах молекулярных облаков, в которых формируются мазеры.

Наличие таких данных одновременно и упрощает, и усложняет процесс их изучения. Другими словами, хотя по метанольным мазерам II класса и накоплен большой наблюдательный материал, он недостаточно однороден и потому не является очень простым в анализе и интерпретации. Изложенными выше факторами определяются те проблемы, которые решаются в диссертации.

### **Цель диссертационной работы.**

Основная цель диссертационной работы – систематизация и анализ многочисленных многочастотных данных наблюдений метанольных мазеров II класса для уточнения характеристик модели этих мазеров, механизма накачки и условий их возникновения с привлечением, по возможности, данных по мазерам ON, которые формируются в тех же газо-пылевых конденсациях.

**Структура и объем диссертации.** Работа состоит из введения, двух глав, заключения, списка литературы, таблиц и рисунков. Объем работы составляет 185 страниц, в том числе 53 рисунка и 11 таблиц. Список цитируемой литературы содержит 123 наименования.

### **Краткое содержание диссертации.**

Во **Введении** представлено описание диссертационной работы, ее цели и задачи, новизна научной работы, ее научная и практическая ценность, личный вклад автора, апробация работы, публикации по теме диссертации, ее структура и объем.

В **Главе 1** представлены результаты изучения метанольных мазеров.

Мы начали наши исследования с проведения сравнительного анализа спектров метанольных линий классического источника II класса W48, в котором наблюдается весь известный набор линий метанола II класса (наиболее важные из них:  $5_1 - 6_0A^+$  (6.7 ГГц),  $2_0 - 3_{-1}E$  (12.2 ГГц),  $J_1 - (J + 1)_0A^+$  (107 ГГц),  $2_1 - 3_0A^+$  и  $J_0 - J_{-1}E$  (157 ГГц)) и не наблюдаются линии I класса. Мазер W48 содержит две мазерные конденсации на скоростях  $\sim 41$  км/с и  $\sim 45$  км/с. Было обнаружено, что интенсивность линии  $2_0 - 3_{-1}E$  (12.2 ГГц) изменяется не в фазе с изменением интенсивности линии  $5_1 - 6_0A^+$

(6.7 ГГц), а именно: интенсивность линии  $5_1 - 6_0A^+$  (6.7 ГГц) больше на скорости  $\sim 41$  км/с, чем на скорости  $\sim 45$  км/с, в то время как интенсивность линии  $2_0 - 3_{-1}E$  (12.2 ГГц) больше на скорости  $\sim 45$  км/с, чем на скорости  $\sim 41$  км/с. Все остальные линии II класса в этом источнике демонстрируют то же поведение, что и линия  $2_0 - 3_{-1}E$  (12.2 ГГц). Указанный факт противоречит современным представлениям об интенсивностях мазерных линий в различных переходах метанола: согласно модельным расчетам, интенсивности всех линий II класса должны меняться в фазе.

Эффект, обнаруженный в спектре мазера W48, подтвержден на большой выборке объектов, составленной в обзоре [9]. По однородным данным наблюдений метанольных мазеров II класса, представленных в этой работе, был проведен сравнительный анализ плотностей потоков в линиях излучения на частотах 6.7 ГГц (переход  $5_1 - 6_0A^+$ ) и 12.2 ГГц (переход  $2_0 - 3_{-1}E$ ). Для наглядности все мазерные линии были объединены в три группы: группа I содержит спектральные детали линий наиболее ярких в переходе  $5_1 - 6_0A^+$  (6.7 ГГц), группа II содержит спектральные детали линий сравнительно более ярких в переходе  $2_0 - 3_{-1}E$  на частоте 12.2 ГГц, группа III, в свою очередь, содержит спектральные детали, для которых скорости максимумов излучений обеих линий совпадают. Была определена следующая зависимость для источников, принадлежащих группе II и группе III:

$$\log S_{6.7} = (0.79 \pm 0.05) \times \log S_{12.2} + (0.79 \pm 0.05).$$

Зависимость для спектральных деталей группы I не совпадает с вышеприведенной формулой и отклонения от линейной зависимости в этой группе значительно выше. Предложено ввести определение двух подклассов метанольных мазеров II класса: мазеры подкласса IIa, в которых существуют условия, благоприятствующие накачке мазеров на частоте 6.7 ГГц, и мазеры подкласса IIb, которые включают в себя мазеры на частоте 12.2 ГГц и мазеры на частоте 6.7 ГГц, возникающие при одних и тех же физических условиях.

С целью проверки поведения отдельных спектральных деталей на разных частотах в источниках метанольного мазерного излучения II класса проведен анализ 30 четырехчастотных профилей метанольных линий. Исследовались данные на частотах 6.7, 12.2, 107 и 157 ГГц. Показано, что метанольные мазерные линии II класса на частотах 6.7 ГГц и 12.2 ГГц во многих спектрах наблюдаются в виде двух скоплений. Эти скопления мазерных линий расположены по обе стороны от тепловых метанольных линий, наблюдающихся на частотах 107 ГГц и 157 ГГц. Во избежание влияния возможного усиления в тепловых линиях метанола на частотах 107 и 157 ГГц аналогичный анализ был сделан для 80 источников, содержащих мазеры на частоте 6.7 ГГц

и излучающих в заведомо тепловой линии CS. Исследование относительного распределения мазерных линий метанола и тепловых линий CS подтвердило вывод о расположении мазерных линий в двух скоплениях по обе стороны от тепловой детали на основе более богатой статистики. Высказано предположение, что два скопления мазерных линий соответствуют двум краям кеплеровского диска, а тепловое излучение метанола, также как и линии CS, формируется в плотных молекулярных ядрах, центры которых совпадают с центрами этих дисков.

На основе изучения спектров метанольных мазеров и их тонкой пространственной структуры определены массы 13 протозвезд как центральных тел протопланетных околозвездных дисков. В основе расчетов использовалась гипотеза о том, что метанольные мазерные линии II класса формируются на краях кеплеровского диска, а тепловое излучение метанола и CS – в коконе протозвезды, представляющей собой центр этого диска, что дает информацию о скорости протозвезды и скоростях метанольных мазерных конденсаций относительно центра. В большинстве исследованных областей звездообразования значения масс протозвезд получились в пределах, допустимых для дисков вокруг массивных OB-звезд, и хорошо согласуются с результатами расчетов, выполненных в работах других авторов на основе гипотезы о градиентах скоростей мазерных деталей. Высказано предположение о "триплетной" структуре метанольных спектров, в которых две крайние линии – это линии мазера II класса, а центральный компонент – это линия мазера I класса или тепловая линия метанола. Правомерность используемых гипотез основана на том факте, что совпадение областей мазерного излучения с областями излучения плотного молекулярного газа в линии CS в два раза выше (около 100%), чем с ультракомпактными HII-зонами (50%), что необходимо принимать во внимание при построении моделей протопланетных дисков и областей звездообразования.

Проведено детальное исследование области звездообразования с двойным мазерным источником в созвездии Norma, в котором наблюдается сложная картина спектрального распределения мазерных линий и пространственного распределения мазерных сгустков. Показано, что мазерные конденсации могут обращаться вокруг некоторого объекта, скрытого плотным молекулярным коконом, и скорости мазерных деталей могут представлять собой кеплеровские скорости движения по орбитам. При этом кокон, излучающий в тепловых линиях метанола и CS, является центром масс в системе "мазерные источники - плотное молекулярное ядро". Скорость линии CS или тепловых линий метанола является указанием на месторасположение центра масс системы.

Если мазерное излучение формируется в атмосфере протопланеты, источник в созвездии Norma представляет собой двойную протозвезду с двойной протопланетной системой. В рамках такой гипотезы удалось определить массы протозвезд -  $13\odot$  и  $38\odot$ .

**Глава 2** посвящена анализу некоторых данных по мазерам ОН.

Проведена обработка данных РСДБ-наблюдений компактного мазера ОН в W75N на системе VLBA, выполненных в рамках подготовки исследований наблюдений с наземно-космическим интерферометром. Наблюдения на VLBA проводились с высоким угловым и частотным разрешением во всех 4-х линиях ОН (1612, 1665, 1667 и 1720 МГц). W75N – это область звездообразования, в которой имеются ультракомпактные HII-зоны, а также мазеры ОН, H<sub>2</sub>O и метанола. Наши карты, полученные на VLBA, показывают, что большинство мазерных пятен вытянуто приблизительно в одном и том же направлении, и эта вытянутость может быть внутренним свойством мазера. Мазеры расположены в тонком диске, вращающемся вокруг O-звезды, которая является возбуждающей звездой для ультракомпактной зоны VLA1. Лучевая скорость мазерных пятен варьируется по диску в пределах от  $3.7 \text{ км с}^{-1}$  до  $10.9 \text{ км с}^{-1}$ . Диаметр диска – 4000 а.е. Отдельные группа мазерных пятен связана с ультракомпактной HII-зоной VLA2.

Проведена обработка данных наблюдений и картографирования 8 известных мазеров ОН в областях звездообразования в Галактической плоскости, выполненных с помощью компактной решетки ATCA, расположенной в Наррабрай (Австралия). Для каждой мазерной детали получены поток, скорость на луче зрения и абсолютные координаты мазерных деталей для всех исследованных источников. Результаты представлены в виде таблиц, спектров и карт. Анализ спектров показал, что в четырех источниках из 8 (G345.01+1.79, M8E, G9.62+0.20, G23.01-0.41) преобладает излучение в линии 1665 МГц, в трех - в линии 1667 МГц (*IRAS*17463 31.28, G34.26+0.15, W48). В источнике L379|RS3 поток в этих линиях примерно одинаков. Для всех источников получены абсолютные координаты мазерных деталей. Мазеры *IRAS*17463-3128, L379|RS3, а также W48 на частоте 1667 МГц картографированы впервые.

Проанализированы наблюдательные данные, полученные на космическом радиотелескопе "HALCA" в L-диапазоне с целью определения источника помех, принимаемых космическим радиотелескопом. Основной источник помех идентифицирован с линией связи (Земля – космос) с кораблей на геостационарные спутники Международной Морской Спутниковой службы (INMARSAT). Для определения нежелательных помех от INMARSAT пред-



ложен простой критерий. Этот критерий может использоваться для планирования будущих наблюдений в L-полосе.

Рассмотрены модели радиочастотных помех (РЧП), которые могут оказывать вредное воздействие на радиоастрономические наблюдения. Для иллюстрации воздействия РЧП было использовано компьютерное моделирование сигналов различных типов радиослужб. Был смоделирован амплитудно-модулированный (АМ) сигнал, использующийся в радиовещании, и сигнал, модулированный с помощью псевдослучайной бинарной последовательности (М-последовательности). Мы приняли к рассмотрению реальные характеристики сигнала ГЛОНАСС (радионавигационная спутниковая служба). В случае АМ сигнала можно сделать вывод, что его воздействие ограничивает чувствительность радиоастрономических измерений. При исследовании характеристик сигнала ГЛОНАСС, напротив, было доказано, что шумовые свойства М-последовательности соответствуют свойствам шумовой реализации. Следовательно, при соблюдении разработчиками системы ГЛОНАСС соответствующих технических требований внеполосные излучения этой службы не будут заметным образом ограничивать возможности радиоастрономических наблюдений.

В заключении суммируются результаты, которые выносятся на защиту диссертации.

### **На защиту выносятся следующие результаты:**

1. **Установлено соотношение между плотностями потоков в самых сильных метанольных линиях  $5_1-6_0A^+$  (6.7 ГГц) и  $2_0-3_{-1}E$  (12.2 ГГц):  $\log S_{6.7} = (0.79 \pm 0.05) \times \log S_{12.2} + (0.79 \pm 0.05)$ .**
2. **Предложено определение двух подклассов метанольных мазеров II класса, а именно, подкласс IIa, который имеет специальные условия, благоприятствующие излучению мазеров на частоте 6.7 ГГц, и подкласс IIb без предпочтительных условий накачки для какой-либо частоты.**
3. **Высказано предположение о "квазитриплетной" структуре метанольных спектров. Основой такой гипотезы стал вывод о совпадении скоростей тепловой линии CS, тепловых метанольных линий на частотах 107 ГГц и 157 ГГц и линий метанольных мазеров I класса на частоте 44 ГГц. Показано, что мазерные линии II класса на частотах 6.7 ГГц и 12.2 ГГц расположены по обе стороны от**

тепловых деталей и наблюдаются в виде двух скоплений, которые можно интерпретировать как два края кеплеровского диска.

4. В рамках гипотезы о кеплеровском характере скоростей метанольных мазерных линий II класса и скорости тепловых линий как скорости центрального тела в кеплеровском диске определены размеры дисков и массы 13 протозвезд.
5. В результате обработки данных РСДБ-наблюдений компактного мазера OH в W75N на системе VLBA показано, что мазеры расположены в тонком диске, вращающемся вокруг O-звезды по кеплеровской орбите и связаны с ультракомпактной зоной VLA1. Лучевая скорость мазерных пятен варьируется по диску в пределах от  $3.7 \text{ км с}^{-1}$  до  $10.9 \text{ км с}^{-1}$ . Диаметр диска – 4000 а.е. Отдельная группа мазерных пятен связана с ультракомпактной III-зоной VLA2.
6. В результате обработки данных наблюдений 8 мазеров OH (G345+1.79, IRAS17463-3128, M8E, G9.62+0.20, L379IRS3, G23.01-0.41, G34.26+0.15 и W48), которые проводились с использованием компактной интерферометрической решетки ATCA, расположенной в Наррабрай, Австралия на частотах двух главных линий OH 1665 МГц и 1667 МГц получены спектры источников, и – по результатам картографирования – абсолютные координаты мазерных компонентов. Проведено сравнение спектральной и пространственной структуры мазеров OH и метанольных мазеров. Мазеры IRAS17463-3128, L379IRS3, а также W48 на частоте 1667 МГц картографированы впервые.
7. Проанализированы помехи, полученные на космическом телескопе HALCA, в L-диапазоне. Отождествлен источник помех, которым оказалась коммуникационная служба INMARSAT. Получена частотно-временная зависимость уровня помех от положения космического радиотелескопа на орбите.
8. С целью оценки уровня внеполосного излучения выполнено численное моделирование спектральных свойств радиочастотного сигнала радионавигационной службы ГЛОНАСС. Показано, что при наблюдении

разработчиками системы ГЛОНАСС соответствующих технических требований внеполосные излучения этой службы не будут заметным образом ограничивать возможности радиоастрономических наблюдений в непрерывном спектре.

**Апробация результатов.** Результаты и положения, которые выносятся на защиту, докладывались на следующих семинарах и конференциях:

1. международный симпозиум MAC N196 “Preserving the Astronomical Sky”, 1998, Вена, Австрия;
2. международная конференция “High Mass Star Formation: an Origin in Clusters?”, 2000, Вольтерра, Италия;
3. международный симпозиум MAC N206 “Cosmic Masers: from Protostars to Black Holes”, 2001, Мангаратиба, Бразилия;
4. 34-я научная конференция американского Лунно-планетного Института, 2003, Хьюстон, США;
5. XIX-я конференция парижского Института Астрофизики “Extrasolar Planets: Today and Tomorrow”, 2003, Париж, Франция;
6. астрономическая конференция ВАК-2004 “Горизонты Вселенной”, 2004, Москва, Россия;
7. рабочая группа американского Лунно-планетного Института “Chondrites and the Protoplanetary Disk”, 2004, Гавайи, США;
8. международный симпозиум MAC N227 “Massive Star Birth: a Crossroads of Astrophysics”, 2005, Ачиреале, Италия;
9. международный симпозиум “Астрономия 2005 – современное состояние и перспективы”, 2005, Москва, Россия.

10. международная научная конференция "Астрономия и астрофизика начала XXI века",  
2008, Москва, Россия.
11. ежегодные отчетные сессии Астрокосмического центра ФИАН.

**Научная новизна** работы состоит в анализе и оригинальной интерпретации большого количества многочастотных наблюдательных данных по метанольным мазерам II класса.

Впервые использовались полные спектры в каждом мазерном источнике с учетом всех различимых на уровне шумов деталей (т.е. на уровне  $3\sigma$ ), что увеличивает выборку мазерных компонентов и обеспечивает более высокую статистическую значимость полученных результатов.

Впервые установлено, что между плотностями потоков в наиболее ярких линиях II класса  $5_1 - 6_0A^+$  (6.7 ГГц) и  $2_0 - 3_{-1}E$  (12.2 ГГц) существует зависимость.

Впервые удалось установить, что в классификацию метанольных мазеров можно добавить два подкласса, для которых в диссертации дано определение.

Впервые высказана гипотеза о "квазитриплетной" структуре спектров метанольных мазеров II класса с центральным компонентом на скорости тепловых метанольных линий и двумя скоплениями мазерных линий, формирующихся на краях кепплеровских дисков, что позволило более точно определить размеры этих дисков и по-новому рассчитать массы вкрапленных в них протозвезд.

Для некоторых источников ОН впервые проведены интерферометрические наблюдения и определены абсолютные координаты мазерных компонентов.

Все результаты диссертации являются новыми. Они отражают решения поставленных задач и сведены в разделе "Основные результаты, которые выносятся на защиту".

### **Научная и практическая ценность работы.**

Научная и практическая ценность исследований, представленных в диссертации и обозначенных в пункте "новизна" заключается в том, что на них могут базироваться новые эксперименты. В частности, найденная зависимость между плотностями потоков в метанольных линиях, полученная по данным для источников южного полушария, стимулирует проведение подобных одновременных исследований мазеров на частотах 6.7 ГГц и 12.2 ГГц в Северном полушарии с расчетом ожидаемых потоков в линиях. Этот вывод

особенно важен в ситуации с засилием телевизионного вещания на частоте 12.2 ГГц и позволяет вести научные исследования избирательно по времени и координатам, а не в формате "слепых" обзоров. На частоте 12.2 ГГц излучение метанольных мазеров II класса является вторым по яркости после частоты 6.7 ГГц, что принципиально для их изучения. Подготовлена соответствующая программа для таких наблюдений в перспективе.

В процессе работы автором освоена методика обработки интерферометрических данных, которая используется в исследовании мазеров.

С точки зрения практической ценности следует особо выделить результат, полученный автором в прикладной работе, посвященной анализу помех на космическом телескопе HALCA. Сформулированы ограничения по частотам и положению на орбите для работы космического радиотелескопа "Радио-астрон" в L-диапазоне.

Показано также, что при соблюдении разработчиками системы ГЛОНАСС соответствующих технических требований внеполосные излучения этой службы не будут ограничивать заметным образом возможность проведения радиоастрономических наблюдений в L-диапазоне.

### **Личный вклад автора в совместные работы.**

Все работы из списка публикаций по теме диссертации выполнены в соавторстве.

В статьях 4,8,11,12 и 16, посвященных изучению метанольных спектров, автор диссертации принимала непосредственное участие на всех этапах работы, а именно, в постановке задачи, анализе данных, интерпретации результатов, формировании гипотез, доказательстве их правомочности на основе исследуемого материала и в написании текстов статей.

В статье 6, посвященной изучению одного из самых мощных мазеров ОН W75N, автор принимала участие в обработке данных наблюдений и построении карты источника.

В работе, посвященной изучению пространственной структуры мазеров ОН, вся обработка интерферометрических данных, построение карт и получение абсолютных координат компонентов мазеров проведена автором самостоятельно, равно как и интерпретация результатов.

Работы, посвященные анализу помех в космических исследованиях, выполнены автором самостоятельно.

Во всех работах автор принимала участие в написании текстов статей. В список основных положений, вынесенных на защиту, включены только те выводы и результаты, в получении которых вклад автора был наибольшим,

или, по крайней мере, равным вкладу других авторов.

### Публикации по теме диссертации.

Основное содержание диссертации отражено в 19 публикациях:

1. Slysh V.I., Migenes V., Val'tts I.E., **Lyubchenko S.Yu.** et al.,  
*"Magnetized disk around an O star"*,  
 International Conference *"High mass star formation: an origin in clusters?"*,  
 2000, May 31 - June 3, Volterra, Italy. Abstract book, p. 99.
2. Migenes V., Slysh V.I., Val'tts I.E., **Lyubchenko S.Yu.** et al.,  
*"Total Linear Polarization in the OH Maser W75 N: VLBA Polarization Structure"*,  
 199-th Meeting of the American Astronomical Society,  
 2001, Bulletin of the Astronomical Society, **34**, 562.
3. **Lyubchenko S.Yu.**, Popov M.V.,  
*"Origin of Major L-band Interference received by HALCA Space Radio Telescope"*,  
 Proc. of the IAU Symposium *"Preserving the Astronomical Sky"*, eds. R.J. Cohen & W.Y. Sullivan III,  
 2001, **196**, 335-340.
4. Вальтц И.Е., **Любченко С.Ю.**,  
*"Исследование метанольных мазерных конденсаций II класса в области звездообразования W48"*,  
 2002, Астрон. Ж. **79**, 328-344.
5. **Lyubchenko S.Yu.**, Val'tts, I. E.,  
*"Study of the Emission Properties of Class II Methanol Maser Lines"*,  
 2002, Astron. & Astrophys. Transactions **21**, 63-64.
6. Slysh V.I., Migenes V., Val'tts I.E., **Lyubchenko S.Yu.** et al.,  
*"Total Linear Polarization in the OH Maser W75 N: VLBA Polarization Structure"*,  
 2002, Astrophys. J. **564**, 317-326.
7. Val'tts I.E., **Lyubchenko S.Yu.**,  
*"Unusual properties of the methanol maser emission in W48"*,  
 IAU Symposium N206 *"Cosmic Masers: From Proto-Stars to Black Holes"* held March 5-10, 2001 in Angra dos Reis, Rio de Janeiro, Brazil,  
 2002, PASP, San Francisco, eds. V. Migenes & M. Reid, ISBN 1583811125,  
**206**, 167.

8. Вальтц И.Е., Любченко С.Ю.,  
*"Метанольное излучение в далеких протопланетных дисках"*,  
2003, Астрон. Ж. **80**, 68-79.
9. Val'tts I.E., Lyubchenko S.Yu.,  
*"Methanol maser condensations in W 48"*,  
2003, CDS, *VizieR* – Astronomical Databases On-Line Catalog Service, Cat  
no. 80790328V.
10. Val'tts I.E., Lyubchenko S.Yu.,  
*"The Mass of Double Protostar with Protoplanetary Systems in Norma"*,  
34-th Annual Lunar and Planetary Science Conference of LPI, Houston, held  
March 17-21, 2003, League City, Texas, USA, Abstract no. 1030,  
2003, <http://www.lpi.usra.edu>, LPI Contributions no. 1156, ISSN 0161-  
5297.
11. Вальтц И.Е., Любченко С.Ю.,  
*"Определение массы протозвезд с метанольными протопланетными  
дисками"*,  
2004, Астрон. Ж. **81**, 234-243.
12. Вальтц И.Е., Любченко С.Ю.,  
*"Статистический анализ метанольных мазерных групп"*,  
2004, Астрон. Ж. **81**, 918-924.
13. Val'tts I.E., Lyubchenko S.Yu.,  
*"Protoplanetary Systems in Distant Star-forming Regions as Seen in Maser  
Lines"*,  
XIX-th IAP Colloquium *"Extrasolar Planets: Today and Tomorrow"*, held 30  
June-4 July, 2003, Institut D'Astrophysique de Paris, France,  
2004, ASP Conference Proceedings, eds. J-Ph. Beaulieu, A. Lecavelier des  
Etangs & C. Terquem, ISBN 1-58381-183-4, **321**, 329.
14. Val'tts I.E., Lyubchenko S.Yu., Slysh V.I.,  
*"Distant Extrasolar Protoplanets in Nursery Proplyds and Mass  
Determination of Protostars"*,  
Workshop on *"Chondrites and the Protoplanetary Disk"*,  
2004, Nov. 8-11, Kauai, Hawaii, USA, Abstract no. 9001.

15. **Любченко С.Ю.**, Вальтц И.Е.,  
*"Определение масс протозвезд"*,  
Всероссийская астрономическая конференция ВАК-2004 *"Горизонты Вселенной"*,  
2004, 3-10 мая, Москва, Россия, Тезисы докладов, стр. 159.
16. Вальтц И.Е., **Любченко С.Ю.**,  
*"Метанольные пропиды с двойной протопланетной системой в созвездии Наугольника"*,  
2005, Астрон. Ж. **59**, 355-367.
17. Val'tts I.E. **Lyubchenko S.Yu**,  
*"Protoplanetary disks around massive stars as seen in methanol"*,  
IAU Symposium 227 *"Massive Star Birth: a Crossroads of Astrophysics"*,  
2005, May 16-20, Acireale, Italy, Abstract book, p. 213.
18. **Любченко С.Ю.**, Вальтц И.Е.,  
*"Исследование закономерностей в распределениях интенсивностей метанольных мазеров II класса"*,  
Международный симпозиум *"Астрономия 2005 - современное состояние и перспективы"*,  
2005, 1-6 июня, Москва, Россия, Труды Государственного Астрономического Института им. П.К. Штернберга, стр. 80.
19. **Любченко С.Ю.**, Алакоз А.В., Вальтц И.Е., Слыш В.И.,  
*"Исследование пространственной структуры мазеров OH в Южном полушарии на интерферометре АТСА"*,  
Международная научная конференция *"Астрономия и астрофизика начала XXI века"* изд. ГАИШ, АстроО под ред. В.М. Чепуровой и др.,  
2008, 1-5 июля, Москва, Россия, Тезисы докладов, ISBN 5-9900318-1-5, стр. 77.



## Список литературы

- [1] W. Batrla, H.E. Matthews, K.M. Menten, C.M. Walmsley, *Nature* **326**, 49 (1987).
- [2] K.M. Menten, *Proc. of the Third Haystack Observatory Conference on Atoms, Ions and Molecules*, Ed. (A.D. Hashick, P.T.P. Ho, *Astronomical Society of the Pacific Conference Series*) **16**, P.119, (1991).
- [3] R.M. Lees, *ApJ* **184**, 763 (1973).
- [4] A.M. Sobolev, D.M. Cragg, P.D. Godfrey, *A&A* **324**, 211 (1997).
- [5] И.Е. Вальтц, Г.М. Ларионов, *Астрон. Ж.* **84**, 579 (2007).
- [6] M.R. Pestalozzi, V. Minier, R.S. Booth, *A&A* **432**, 737 (2005).
- [7] V.I. Slysh, S.V. Kalenskii, I.E. Val'tts, R. Otrupcek, *MNRAS* **268**, 464 (1994).
- [8] K.M. Menten, *ApJ* **380**, L75 (1991).
- [9] J.L. Caswell, R.A. Vaile, S.P. Ellingsen *et al.*, *MNRAS* **272**, 96 (1995).
- [10] V. Minier, R.S. Booth, J.E. Conway, *A&A* **362**, 1093 (2000).
- [11] L. Kogan, V. Slysh, *ApJ* **497**, 800 (1998).
- [12] S. Kurtz, P. Hofner, C.V. Álvarez, *ApJSS* **155**, 149 (2004).