

УДК 524.5

НАУЧНЫЕ ЗАДАЧИ И ВОЗМОЖНОСТИ ИЗУЧЕНИЯ ПРОТЯЖЕННЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОБЛАКОВ НА РТ-70

А. С. Ходжаев¹, И. И. Зинченко²

Приведены параметры и описание перспективных объектов для наблюдения с помощью строящегося на плато Суффа (Узбекистан) радиотелескопа миллиметрового диапазона РТ-70. Рассматриваются возможные задачи для их исследования с помощью РТ-70 и оцениваются необходимые для этого временные затраты. Дается краткое сравнение планируемых характеристик РТ-70 с параметрами других крупных радиотелескопов миллиметрового диапазона длин волн.

Ключевые слова: радиотелескоп РТ-70, молекулярные облака (МО), радиоизлучение, молодые звёздные скопления и ассоциации.

Введение. Радиотелескоп РТ-70 на плато Суффа при достижении запланированных технических характеристик должен стать одним из крупнейших в мире радиоастрономических инструментов, работающих на коротких миллиметровых волнах. Основные планируемые характеристики телескопа можно посмотреть на сайте <http://asclebedev.ru/index.php?dep=16&suffa=2>. Одной из приоритетных задач для РТ-70-Суффа будет изучение звездообразования и материнских молекулярных облаков (далее МО, см., напр., http://astrin.uz/ru/news/conference/sem_270818.php). При помощи РТ-70 мы должны больше узнать о морфологической структуре и кинематике областей звездообразования, чтобы лучше понять процесс звездообразования, провести исследование излучения молодых звезд (или их околозвездных оболочек, аккреционных и протопланетных дисков) на миллиметровых волнах, глубокий поиск новых протозвездных и дозвездных ядер в звездообразующих МО, провести общий анализ звезд до Главной Последовательности и молодых звёздообразных объектов (а также плотных ядер

¹ АИ АН РУз – Астрономический институт им. Улугбека Академии наук Республики Узбекистан, 100052 Узбекистан, Ташкент, ул. Астрономическая, д. 33; e-mail: hojaev@yahoo.com.

² ИПФ РАН – Федеральное государственное бюджетное научное учреждение “Федеральный исследовательский центр Институт прикладной физики Российской академии наук”, 603950 Россия, Нижний Новгород, ул. Ульянова, 46; e-mail: zin@iaprass.ru.

и сгустков) на предмет их физических свойств и кинематики. На основе наблюдений в оптике, на миллиметровых волнах и в других диапазонах с использованием таких баз данных, как Gaia EDR3, 2MASS, Chandra, Spitzer, IPHAS и т.д., можно будет определить основные физические параметры (такие как общая и локальная [включая плотные ядра и сгустки] масса, плотность, температура, вращение, химический состав и т. д.) различных МО [особенно гигантских МО] и их систем в Галактике Млечный Путь и внегалактических, чтобы оценить вероятность звездообразования внутри них и провести их динамическое моделирование, а также рассмотреть их влияние на структуру и динамику галактик. Ниже приведены несколько более или менее изученных объектов с МО для проверки возможностей РТ-70, а также для их более глубокого и детального изучения, чем имеющиеся к настоящему времени. Сравнение возможностей РТ-70 с другими инструментами при решении рассматриваемых здесь задач приведено в разделе “Задачи”.

Вероятные объекты для тестирования и решения научных задач.

Молекулярные темные облака в созвездиях Тельца и Возничего (TDC). Карта комплекса TDC показана на рис. 1. TDC содержит большое количество, около $(3 \div 4) \times 10^4 M_\odot$, молекулярного газа. Всесторонние исследования в линиях CO, ^{13}CO и OH подтверждают наличие нитевидных сгущений (филаментов), наблюдаемых в оптическом и ближнем ИК-диапазоне (см., напр., [1]). Эти филаменты имеют длину от $\sim 20'$ до $\sim 25'$ (от ~ 0.8 до ~ 1.0 пк) с соотношением длины к ширине $\simeq 6:1$. Внутри этих сгущений радионаблюдения выявляют плотные сгустки и ядра молекулярного газа с массой $1 \div 100 M_\odot$. Наблюдения в линиях C^{17}O , C^{18}O , CS и NH_3 демонстрируют тонкую структуру ядер, включая свидетельства турбулентности на малых масштабах (см., напр., [2]). В TMC-1/L1534, благодаря, в частности, высокой плотности, формируются сложные органические и неорганические молекулы. Обнаружение за 25 последних лет C_3O , HCN [10], HC_3N , HC_5N , HCCNC, CH_2CN , CH_3CN , H_2C_6 , C_3H_2 , HDCS, C_8H - и других молекул показывает, что ядра облаков могут иметь богатый химический состав до образования околозвездных дисков и планет.

Комплекс молодого рассеянного звёздного скопления NGC 2264 в созвездии Единорог.

Распределение объектов комплекса вокруг NGC 2264 в проекции на небесную сферу мы привели на рис. 2. Комплекс МО, связанный с NGC2264, был обнаружен Кратчер и др. [3]. Множественные компоненты МО наблюдались в линиях OH, NH_3 , HCN и CS (см., напр., [4]). Кратчер и др. [3] определили вириальную массу комплекса МО $3 \times 10^4 M_\odot$ по скоростям отдельных фрагментов облака. Блитц [5] идентифицировал 2 больших МО

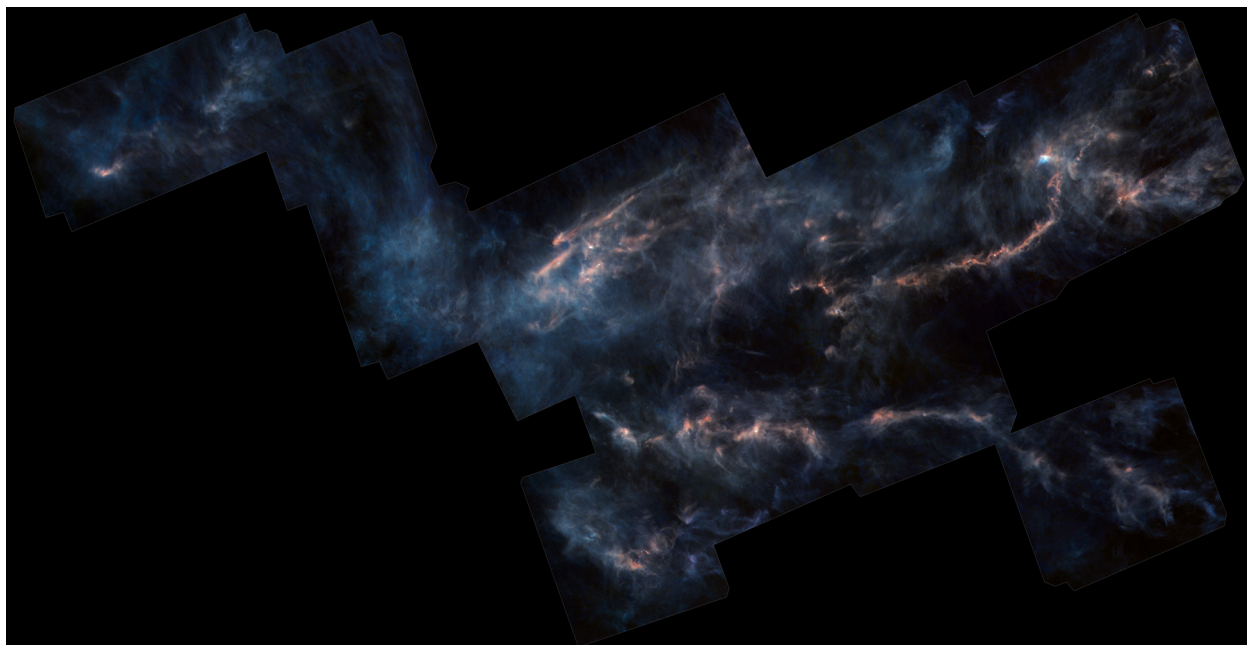


Рис. 1: Карта распределения газовой-пылевой материи в TDC (© *Herschel Space Observatory / European Space Agency*): координаты центра карты $RA(J2000) = 04^h41.0^m$, $Dec(J2000) = +25^\circ52'$, расстояние от Солнца $D = 140 - 145$ пк. Это четырехцветное изображение объединяет наблюдения обсерватории Гершеля на 160 мкм (синий), 250 мкм (зеленый), 350 мкм (промежуточный между зеленым и красным) и 500 мкм (красный), и охватывает $13.8^\circ \times 7.3^\circ$; север находится сверху, а восток – слева.

с узкой перемычкой из газа между ними. На основе наблюдений NH_3 , CS , CO и $C^{18}O$ с использованием 11-метровой антенны NRAO на г. Китт-Пик и 43-метровой антенны NRAO в Грин-Бэнк, Шварц и др. [6] определили некоторые физические параметры МО. Таубер и др. [7] обнаружили три сгустка МО, наблюдаемые в переходах ^{12}CO и ^{13}CO (3–2) с помощью субмиллиметровой обсерватории Калифорнийского технологического института, а Оливер и др. [8] с помощью 1,2-метрового радиотелескопа миллиметрового диапазона Гарвард-Смитсоновского Центра Астрофизики идентифицировали 20 МО с массой $100 \div 5.2 \times 10^4 M_\odot$ и 6 дугообразных молекулярных структур в этой области, которые могут быть связаны с остатком вспышки Сверхновой звезды или ударной волной от взорванной газовой оболочки, что означает, что звездообразование в области было инициировано мощным взрывом Сверхновой. Кроме того, два биполярных выброса были обнаружены при CS картировании [9].

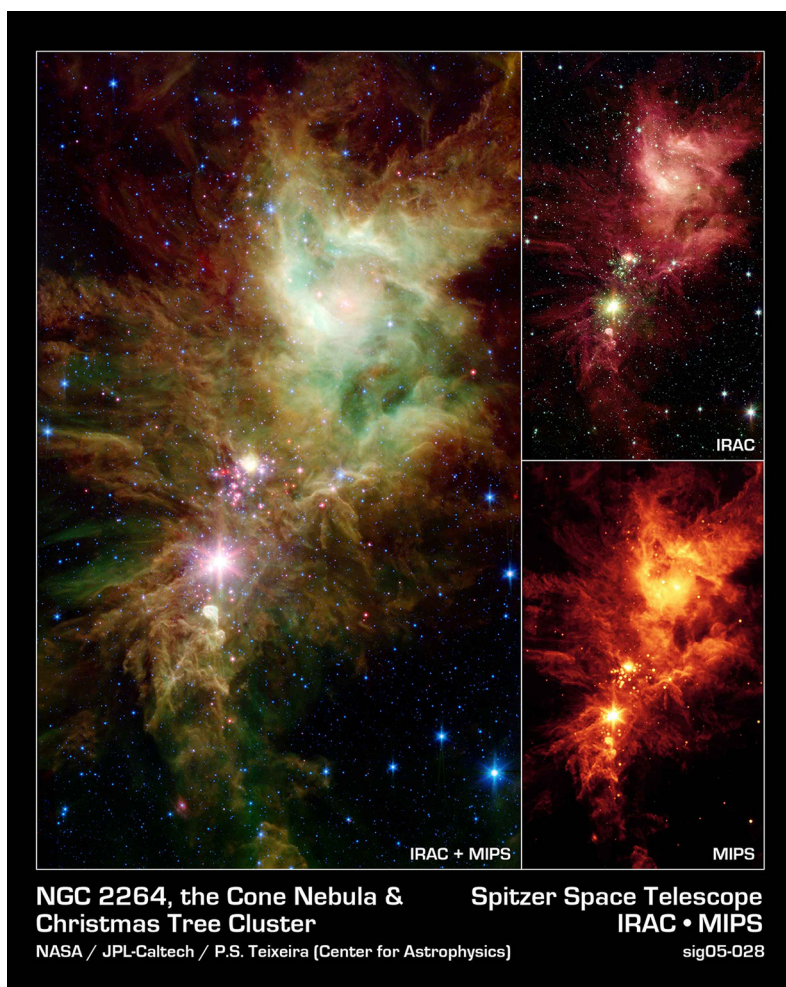


Рис. 2: Распределение газовой-пылевой материи в области NGC 2264 (©P.S. Teixeira – Harvard & Smithsonian Center for Astrophysics / Jet Propulsion Laboratory – California Institute of Technology / Spitzer Space Telescope / National Aeronautics and Space Administration): расстояние комплекса от Солнца $D \approx 800$ пк; координаты центра в каждой из панелей рисунка $RA(J2000) = 6^h41^m0$, $Dec(J200) = +9^\circ53'$. Изображения получены на космическом телескопе Спитцер: верхняя правая панель – с помощью Инфракрасной матричной камеры IRAC на четырёх длинах волн одновременно (3.6 мкм, 4.5 мкм, 5.8 мкм и 8 мкм); нижняя правая панель – с помощью Многополосного фотометра для Спитцера MIPS в диапазонах 24 мкм, 70 мкм, 160 мкм; левая панель – комбинация двух правых изображений, видимые размеры на карте около $20'$ в направлении север-юг.

Вард-Томпсон и др. [10] наблюдали область IRS1 внутри комплекса в Единороге в миллиметровом и субмиллиметровом континууме ($1.3 \text{ мм} \div 350 \text{ мкм}$), используя 7-элементную решетку болометров на 30-метровом телескопе IRAM и детектор UKT14 на телескопе Джеймса Клерка Максвелла (JCMT) на Мауна-Кеа. На полученных картах была обнаружена гряда яркого миллиметрового излучения, а также скопление 5 источников с массами $10 \div 50 M_{\odot}$. Уильямс и Гарленд [31] нашли доказательства явления крупномасштабного коллапса в исследуемой области со скоростью падения материи 0.3 км/с .

Четыре источника были идентифицированы с помощью интерферометра NMA и 45-метрового телескопа в обсерватории Нобейма [12]. Один источник большого биоплярного выброса был идентифицирован как глубоко погружённый в облако источник с использованием интерферометра IRAM, расположенного на Плато де Бюр, на волне 3 мм в переходе CS (2–1) [13]. Хэдден и др. [14] с помощью телескопа Генриха Герца и 12-метрового телескопа миллиметрового диапазона ARO идентифицировали несколько эмиссионных ядер в континууме и построили их спектрально-энергетическое распределение для определения их плотности, массы, светимости и температуры. Перетто и др. [15] идентифицировали 12 и 15 компактных источников континуума миллиметрового диапазона (типичный диаметр 0.04 пк и масса $2 \div 41 M_{\odot}$) в пределах соответственно двух массивных ядер МО. Они пришли к выводу, что в настоящее время формируется протозвезда большой массы ($10 \div 20 M_{\odot}$).

В результате наблюдений с помощью антенной решетки SMA в субмиллиметровом диапазоне было обнаружено плотное скопление из 7 протозвезд класса 0 с диаметрами порядка 600 а.е. и массами от 0.4 до $1.2 M_{\odot}$ в области 20×20 минут дуги [16]. Кроме того, Цукер и др. [17] сделали точные расчеты расстояния до 6 МО в данной области.

Область звездообразования в созвездии Лисичка (VulOB1, NGC6820 + Sh 2-86, NGC6823). Карта объектов комплекса звездообразования в Лисичке в проекции на небесную сферу показана на рис. 3.

В этой области расположена звездная ассоциация молодых горячих гигантов VulOB1, молодое рассеянное звездное скопление NGC6823, галактическая отражательная туманность NGC6820. NGC6820 и NGC6823 погружены в большую слабую эмиссионную туманность Н II Шарплесс 2-86. Всю область туманности часто называют NGC 6820 (см. CDS).

Ходжаев и др. [18] идентифицировали в общей сложности 20 кандидатов в звёзды класса Хербига Ae/Be и 40 звёзд типа Т Тельца, то есть звёзды, не достигшие Главной



Рис. 3: Распределение в картинной плоскости газовой-пылевой материи в области звездообразования в Лисичке (©Herschel Space Observatory / European Space Agency & Herschel infrared Galactic Plane Survey / National Aeronautics and Space Administration): координаты центра области звездообразования $RA(J2000) = 19^h42^m27.92^s$, $Dec(J2000) = +23^\circ05'14.7''$, расстояние области звездообразования от Солнца $D \approx 1800$ пк. Изображение получено на космическом телескопе Гершель (ранее Телескоп дальнего инфракрасного и субмиллиметрового диапазонов *FIRST*) в пяти различных инфракрасных длинах волн с помощью Фотодетекторной матричной камеры и спектрометра *PACS* (в 2 диапазонах: 60–85/85–130 мкм и 130–210 мкм) и Приёмника спектральных и фотометрических изображений *SPIRE* (в 3 диапазонах: 250, 350 и 500 мкм); угловые размеры области звездообразования = $30' \times 40'$.

последовательности на эволюционной диаграмме Герцшпрунга-Рессела, малых ($\leq 2M_\odot$) и средних ($2 \div 8M_\odot$) масс, указывающих на экстремальную молодость комплекса продолжающийся процесс звездообразования в нём. В комплексе есть также очень компактное погружённое в облако скопление Cr 404 и рассеянное скопление Bochum 1 [19], состоящее из 8 звезд спектрального класса O-B [20]. К настоящему времени в VulOB1

идентифицированы порядка 100 звезд типов О-В и А [21]; комплекс также содержит столбчатые структуры Vul P11, Vul P12 [22].

Поначалу в области было обнаружено 3 МО в окрестностях остатка Сверхновой [23], затем Ад и др. [24] удалось выявить 11 МО, а Мивиль-Дешен и др. [25] дополнили список МО области ещё 30 объектами. Чжанг и др. [26] наблюдали 27 ядер в линиях ^{12}CO , ^{13}CO и C^{18}O $J=1-0$ с помощью 13.7-метрового телескопа обсерватории Пурпурной Горы и получили среднюю температуру 13.44 К, полную массу МО $214.0 M_{\odot}$. Эти наблюдательные факты указывают на богатство комплекса в Лисичке молекулярно-облачным материалом, представляющим возможные (потенциальные) очаги для протозвёзд.



Рис. 4: Распределение в картинной плоскости газовой-пылевой материи в области Комплекса молодого рассеянного скопления NGC 6705 в Щите (© osservatorio AAB, Monte San Pietro, Bologna): координаты центра карты $RA(J2000) = 18^h51^m05.0^s$, $Dec(J2000) = -06^{\circ}16'12''$, расстояние от Солнца $D \approx 1877$ пк. Изображение получено в полосе V, видимые размеры области на карте $6^{\circ} \times 4^{\circ}$ угловой диаметр скопления NGC 6705 = $22.8'$ (север – слева, запад – сверху).

Комплекс молодого рассеянного скопления NGC 6705 в созвездии Щита. Распределение объектов комплекса вокруг NGC 6705 в проекции на небесную сферу приведено на рис. 4. Пять отдельных МО были обнаружены Мивиль-Дешен и др. [25], 5 сгустков МО были обнаружены Ад и др. [24], 1 МО было открыто и изучено несколькими группами исследователей (см., напр., [27]).

Задачи. Мы полагаем, что наблюдения комплекса TDC на радиотелескопе РТ-70-Суффа позволят практически проверить реальные возможности оборудования на известных объектах. Рассматривая наблюдения на РТ-70, мы ориентируемся прежде всего на 3 мм “окно прозрачности” атмосферы. Этот диапазон представляется наиболее подходящим для исследований протяженных облаков на этом радиотелескопе. В нем сосредоточены многие наиболее информативные спектральные линии, легко наблюдаемые в холодных облаках.

С точки зрения технической реализации и условий астроклимата на плато Суффа он также является предпочтительным. Ожидаемая ширина диаграммы направленности (ДН) РТ-70 на волне 3 мм примерно $10''$, что соответствует линейному размеру ~ 1000 а.е. на расстоянии 100 пк и ~ 10000 а.е. (~ 0.05 пк) на расстоянии 1 кпк. С таким пространственным разрешением, гораздо лучшим по сравнению с тем, которое ранее использовалось при исследованиях этих объектов на больших масштабах, мы могли бы обнаруживать новые ядра и сгустки в TDC, в комплексах звездообразования в созвездиях Лисичка, Единорог, Щит и многих других, исследовать тонкую структуру молекулярного газа, волокна, молекулярные выбросы и потоки, наблюдать их в линиях других молекул, изучать условия для иерархической фрагментации, получить основные параметры звездообразования в комплексах, особенно время свободного падения, скорости падения в ядрах и другие физические характеристики, в частности, проверить соответствие наблюдаемых параметров критериям Джинса. Наблюдая комплексы с помощью РТ-70 в различных молекулярных переходах можно будет проводить также и астрохимические исследования компактных объектов разного типа, например, горячих ядер, включая поиск новых молекул в межзвёздной среде.

Такие исследования могут проводиться и с помощью других существующих и строящихся крупных радиотелескопов, работающих в этом диапазоне. К ним относятся 50-м Большой Миллиметровый Телескоп (LMT) в Мексике [28], 64-м радиотелескоп на Сардинии (SRT) [29], 100-м радиотелескоп обсерватории Грин Бэнк (GBT) [30], а также строящийся в Китае 110-м радиотелескоп QTT [31]. По эффективной площади на волне 3 мм (~ 2000 м²) РТ-70 значительно превосходит LMT и SRT, но уступает GBT и, ве-

роятно, будет уступать QTT. В то же время планируемая точность поверхности РТ-70 намного лучше, чем у трех последних инструментов и несколько лучше, чем достигнуто у LMT. Это обеспечит более высокий коэффициент использования основного лепестка ДН, что весьма существенно, особенно для протяженных источников. Таким образом, эффективность РТ-70 для решения рассматриваемых здесь задач будет по крайней мере не хуже, а скорее всего лучше, чем у перечисленных выше других крупных радиотелескопов миллиметрового диапазона длин волн. Хотя суммарная эффективная площадь антенн комплекса ALMA (Большая миллиметровая/субмиллиметровая решетка в Атакамe) больше, чем у РТ-70, этот интерферометр, как и другие, плохо подходит для исследования протяженных источников.

Оценка возможностей наблюдений. Требуемая чувствительность при наблюдениях в относительно сильных линиях с яркостной температурой не менее ~ 1 К составляет ~ 0.3 К при спектральном разрешении ~ 1 км/с. Такое разрешение позволит детектировать линии, типичная ширина которых в этих объектах $\sim 1\text{--}3$ км/с, хотя оно и недостаточно для исследования профилей линий и для регистрации более узких линий. При шумовой температуре системы ~ 100 К, коэффициенте использования основного лепестка ДН 50%, при длине волны 3 мм, требуется около 3 с на пиксель. Принятое значение шумовой температуры системы лучше, чем на сайте РТ-70, поскольку основано на современных значениях шумовой температуры приемников этого диапазона [32]. Ожидаемая ширина ДН РТ-70 на этой волне около $10''$. Тогда для получения полной (по Найквисту) карты площадки в 1 квадратную угловую минуту с учетом калибровок и проверок наведения потребуется около 10 мин. На 1 квадратный градус уйдет месяц непрерывных наблюдений. Эти оценки относятся к однолучевому приемнику. Стоит отметить, что в темных холодных облаках ширина линий может быть заметно меньше, чем 1 км/с, и тогда потребуется более высокое спектральное разрешение (оптимальная полоса интегрирования для детектирования линии примерно равна ее ширине). Требуемое время накопления при той же чувствительности в спектральном канале обратно пропорционально спектральному разрешению. Величина коэффициента использования основного лепестка ДН в спецификациях РТ-70 отсутствует и принятое нами значение является довольно консервативным. При достижении плановых значений точности поверхности этот коэффициент может быть заметно выше, до $\sim 80\%$. В этом случае время накопления уменьшится примерно в 2.5 раза.

Радикальное сокращение времени наблюдений протяженных источников при сохранении требований к чувствительности и угловому разрешению возможно при исполь-

зовании матричных приемников с достаточно большим числом элементов. При этом оптическая схема должна обеспечивать необходимое поле зрения. Подобный подход используется в таких проектах, как CCAT [33] и AtLAST [34]. Оптическая схема РТ-70 также предусматривает достаточно большое поле зрения. Надо отметить, что разработка матричных гетеродинных приемников с числом элементов больше, чем ~ 10 , представляет собой очень сложную и пока не решенную техническую проблему. В начале эксплуатации РТ-70 можно сузить задачи: протестировать только 1-2 источника и провести более тщательные и точные исследования в разумно выбранных областях.

Заключение. Радиотелескоп миллиметрового и субмиллиметрового диапазона РТ-70 на Суффе должен стать одним из самых мощных инструментов для радиоастрономии и астрофизики миллиметровых волн после завершения его строительства. Глубокое и комплексное изучение тонкой структуры и основных физических свойств галактических и внегалактических МО, особенно с активным звездообразованием, очевидно, будет одной из основных научных задач для телескопа. Реализация данной исследовательской программы потребует подготовки квалифицированных местных специалистов на основе широкого международного сотрудничества.

Работа выполнена при поддержке гранта Министерства инновационного развития Республики Узбекистан и Департамента науки и технологий Индии в рамках международного узбекско-индийского проекта UZB-Ind-2021-99, а также в рамках госзадания ИПФ РАН (тема № 0030-2021-0005). В настоящей статье использованы базы данных CDS (<http://cdsportal.u-strasbg.fr/>) и система астрофизических данных SAO/NASA ADS (<https://ui.adsabs.harvard.edu/>). Авторы благодарны анонимным рецензентам за полезные замечания и советы.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] P. F. Goldsmith, M. Heyer, G. Narayanan, et al., ApJ **680**, 428 (2008). DOI: 10.1086/587166.
- [2] J. Jijina, P. C. Myers, F. C. Adams, ApJS **125**, 161 (1999). DOI: 10.1086/313268.
- [3] R. M. Crutcher, W. I. Hartkopf, P. T. Giguere, ApJ **226**, 839 (1978). DOI: 10.1086/156664.
- [4] L. J. Rickard, P. Palmer, D. Buhl, B. Zuckerman, ApJ **213**, 654 (1977). DOI: 10.1086/155197.

- [5] L. Blitz, Study of Molecular Complexes Accompanying MON OB1 MON OB2 and CMA OB1, Ph.D. Thesis Columbia Univ., NY (1979). <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/1979PhDT...4B/>.
- [6] P. R. Schwartz, H. A. Thronson, S. F. Odenwald, et al., *ApJ* **292**, 231 (1985). DOI: 10.1086/163152.
- [7] J. A. Tauber, D. C. Lis, P. F. Goldsmith, *ApJ* **403**, 202 (1993). DOI: 10.1086/172194.
- [8] R. J. Oliver, M. R. W. Mashedier, P. Thaddeus, *A&A* **315**, 578 (1996).
- [9] K. Schreyer, F. P. Helmich, E. F. van Dishoeck, T. Henning, *A&A* **326**, 347 (1997).
- [10] D. Ward-Thompson, R. Zylka, P. G. Mezger, A. W. Sievers, *A&A* **355**, 1122 (2000).
- [11] J. P. Williams, C. A. Garland, *ApJ* **568**, 259 (2002). DOI: 10.1086/338837.
- [12] M. Nakano, K. Sugitani, K. Morita, *PASJ* **55**, 1 (2003). DOI: 10.1093/pasj/55.1.1.
- [13] K. Schreyer, B. Stecklum, H. Linz, T. Henning, *ApJ* **599**, 335 (2003). DOI: 10.1086/379141.
- [14] A. S. Hedden, C. K. Walker, C. E. Groppi, H. M. Butner, *ApJ* **645**, 345 (2006). DOI: 10.1086/504026.
- [15] N. Peretto, P. Andre, A. Belloche, *A&A* **445**, 979 (2006). DOI: 10.1051/0004-6361:20053324.
- [16] P. S. Teixeira, L. A. Zapata, C. J. Lada, *ApJ* **667**, L179 (2007). DOI: 10.1086/522494.
- [17] C. Zucker, J. S. Speagle, E. F. Schlafly, et al., *A&A* **633**, A51 (2020). DOI: 10.1051/0004-6361/201936145.
- [18] A. S. Hojaev, W. P. Chen, H. T. Lee, *A&AT* **22**, 99 (2003). DOI: 10.1080/1055679031000124448.
- [19] E. Bica, C. Bonatto, C. M. Dutra, *A&A* **489**, 1129 (2008). DOI: 10.1051/0004-6361:200810236.
- [20] R. K. S. Yadav, R. Sagar, *BASI* **31**, 87 (2003).
- [21] H. M. Shi, J. Y. Hu, *A&AS* **136**, 313 (1999). DOI: 10.1051/aas:1999217.
- [22] E. L. Chapin, P. A. R. Ade, J. J. Bock, et al., *ApJ* **681**, 428 (2008). DOI: 10.1086/58854.
- [23] J.-L. Xu, J.-J. Wang, *A&A* **543**, A24 (2012). DOI: 10.1051/0004-6361/201219072.
- [24] P. A. R. Ade, N. Aghanim, M. Arnaud, (Planck Collaboration), *A&A* **594**, A28 (2016). DOI: 10.1051/0004-6361/201525819.
- [25] M.-A. Miville-Deschênes, N. Murray, E. J. Lee, *ApJ* **834**, 57 (2017). DOI: 10.26093/cds/vizier.18340057.
- [26] S. Zhang, J. Yang, Y. Xu, et al., *ApJS* **248**, 15 (2020). DOI: 10.3847/1538-4365/ab879a.

- [27] C. M. Dutra, E. Bica, A&A **383**, 631 (2002). DOI: 10.1051/0004-6361:20011761.
- [28] D. Hughes, F. P. Schloerb, I. Aretxaga, et al., A&A **608**, A40 (2017). DOI: 10.1051/0004-6361/201630243.
- [29] K. O’Neil, The Green Bank Observatory – Current Status. 32nd URSI GASS Proceedings (2017) [https://www.ursi.org/proceedings/procGA17/papers/Paper_J14-2\(1087\).pdf](https://www.ursi.org/proceedings/procGA17/papers/Paper_J14-2(1087).pdf)
- [30] N. Wang, Introduction for QTT Project, 2019 URSI Asia-Pacific Radio Science Conference (AP-RASC), 2019, pp. 1-2. DOI: 10.23919/URSIAP-RASC.2019.8738609.
- [31] P. Yagoubov, T. Mroczkowski, V. Belitsky, et al., A&A **634**, A46 (2020). DOI: 10.1051/0004-6361/201936777.
- [32] T. Herter, N. Battaglia, K. Basu, et al., BAAS **51**, 213 (2019).
- [33] P. Klaassen, T. Mroczkowski, S. Bryan, et al., BAAS **51**, 58 (2019).

Поступила в редакцию 10 мая 2021 г.

После доработки 27 июля 2021 г.

Принята к публикации 28 июля 2021 г.

Публикуется по рекомендации оргкомитета 1-ой “Московской Международной конференции по миллиметровой и субмиллиметровой астрономии”, 12–16 апреля 2021, АКЦ ФИАН.