

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКАН**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ИМЕНИ МИРЗО УЛУГБЕКА**

*На правах рукописи
УДК 524.7*

РЫБКИНА КСЕНИЯ ФЁДОРОВНА

**Комплексное исследование областей звездообразования в
нашей Галактике**

5A140401 – Астрономия

Диссертация на соискание академической степени магистра

Научные руководители:

к.ф.-м.н., доц. А.С.Ходжаев

к.ф.-м.н., доц. Т.А.Ахунов

Ташкент – 2014

ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ГЛАВА 1. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИКИ	8
§1.1. Морфологическая классификация галактик	8
§1.2. Строение Галактики.	15
§1.3. Дисковая подсистема Галактики.	23
ГЛАВА 2. МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЛАСТЕЙ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ	33
§2.1. Процессы звездообразования в Галактике.	33
§2.2. Исследование ОСЗ в нашей Галактике.	41
§2.3. Каталоги ОСЗ, наблюдаемые в нашей Галактике	49
ГЛАВА 3. СВОДНЫЙ КАТАЛОГ ОСЗ	55
§ 3.1. Постановка задачи.	55
§3.2. Создание сводного каталога ОСЗ в нашей Галактике	56
§3.3. Статистика и анализ каталога ОСЗ	60
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	66
ЛИТЕРАТУРА	67
ПРИЛОЖЕНИЕ	70

ВВЕДЕНИЕ

Актуальность темы. Актуальность данной темы продиктована тем, что перед современной астрофизикой стоит проблема понимания процессов образования звезд и исследования ранних стадий их эволюции. Развитие наблюдательных технологий в астрономии, использование космических аппаратов, теоретические исследования механизмов рождения протозвездных сгустков способствовали накоплению огромного массива наблюдательного материала, что помогает астрономам не только глубже проникнуть в детали процессов, протекающих в этих объектах, но и понять структуру и эволюцию нашей Галактики в целом. Интерес, как теоретиков, так и наблюдателей, к проблемам, связанным с образованием звезд, сделал эту область исследований одной из самых активно развивающихся областей сегодняшней астрономии.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Диссертационная работа выполнена в рамках гранта ЦНТ и ККРНТ РУз “Гравитационные линзы и коллапсирующие галактики: наблюдательно-экспериментальные и теоретические проблемы” (тема Ф-2.2.1).

Цели и задачи исследований. Цель данной работы состоит в комплексном исследовании областей звездообразования (ОЗ) в нашей Галактике. Задачами исследований являются: сбор наблюдательных данных по ОЗ, каталогизация этих данных, статистический анализ физических параметров, поиск закономерностей между этими параметрами, изучить распределения областей современного звездообразования (ОСЗ) в нашей Галактике.

Объект и предмет исследования. Объектом исследования данной работы являются ОСЗ нашей Галактике. Предметами исследований являются каталоги областей звездообразования.

Методы исследований. Основными методами исследований являются статистический анализ наблюдательных данных.

Научная новизна работы. Впервые создан сводный каталог областей современного звездообразования. Проведен его статистический анализ, получены результаты по наличию мазеров в ОСЗ.

Практическое применение полученных результатов. Результаты исследований носят фундаментальный характер. Они будут служить основой дальнейшего исследования физики областей звездообразования и молодых звезд, а также как исходные данные в изучении структуры и эволюции Галактики.

Основные результаты выполненной работы. В результате выполнения магистерской диссертации были получены следующие результаты: создан сводный каталог ОСЗ в нашей Галактике, проведен его статистический анализ, получены результаты по наличию мазеров, инфракрасных источников, туманностях и других индикаторов звездообразования, распределение ОСЗ в Галактике.

Краткое обобщенное заключение и предложения. Всестороннее развитие наблюдательной и теоретической астрофизики ставит перед астрономами все новые задачи, помогая им яснее понимать процессы, происходящие в небесных объектах. Это же касается и объектов исследования данной диссертации. Дальнейшие исследования в этой области позволят полнее исследовать физические и кинематические особенности областей современного звездообразования, получить более общую картину пространственного распределения ОСЗ в Галактике, еще глубже понять саму нашу Галактику и многое другое.

Научная и практическая значимость результатов исследования.

Исследование системы молекулярных и газовой-пылевых облаков галактик, где они до сих пор наблюдались, позволит существенно продвинуться в изучении проблем происхождения не только изучаемых систем молекулярных и газовой-пылевых облаков галактик, но и самих галактик и их крупномасштабных структур, а также прогнозировать новые процессы в их эволюции.

Реализация результатов. Созданный каталог наблюдательных данных по молекулярным и газопылевым облакам будут основой для дальнейших исследований в этой области. Результаты данной работы являются частью результатов фундаментального гранта «Исследование физики и эволюции галактических и внегалактических молекулярных и газопылевых облаков», выполняемого на кафедре «Астрономии и физики атмосферы» Национального университета Узбекистана.

Опубликованность результатов работы. Основные результаты диссертации опубликованы в 3 научных статьях в сборниках трудов республиканских конференций – «Физика фанининг ривожиди истеъдодли ёшларни ўрни» в 2013 и 2014 годах (РИАК-VI и РИАК-VII). Кроме того, результаты докладывались на научных семинарах кафедры астрономии и физики атмосферы Национального университета Узбекистана.

Список опубликованных работ:

1. К.Ф.Рыбкина, Б.Мухитдинов, А.С.Ходжаев // Предварительный анализ крупных областей звездообразования в нашей Галактике.// Республиканская научно-практическая конференция «Место одарённой молодёжи в развитии науки» - РИАК-VI, Ташкент, 2013, с. 156
2. Рыбкина К.Ф. // Создание сводного каталога локальных областей звездообразования в нашей Галактике // Республиканская научно-практическая конференция «Место одарённой молодёжи в развитии науки» - РИАК-VII, Ташкент, 2014, с. 202
3. Рыбкина К.Ф., А.С.Ходжаев. // Создание и анализ сводного каталога областей современного звездообразования в нашей Галактике //Региональная научно-практическая конференция молодых учёных и студентов города Ташкента и Ташкентской области под девизом « XXI век-век интеллектуального поколения » IV точные и технические науки, Ташкент 2014, с. 35

Личный вклад автора. Постановка задачи принадлежит научному руководителю. Автор диссертационной работы самостоятельно собрала все данные для каталога, систематизировала их, провела их статистический анализ. Опубликованные статьи в сборниках конференций были написаны совместно. В этих работах автор собирала данные, выполнила статистическую обработку и участвовала в обсуждениях.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, трех глав и 9 параграфов, заключения, списка использованной литературы из 42 наименований и приложения сводного каталога ОСЗ в Галактике. Полный объем диссертации 69 страницы, объем основного текста 56 страниц, включая 14 рисунков ,3 таблицы.

Основное содержание диссертации

Во Введении диссертации обосновывается актуальность работы, формулируются цели и задачи исследования, опубликованность результатов и краткое содержание диссертации. Дается общая характеристика диссертации с указанием его краткого содержания.

В первой главе описывается строение и эволюция галактики, их классификация, состав дисковой подсистемы. В первом параграфе данной главы приводятся строение Галактике. Второй параграф представляет собой классификацию и типы Галактик. В третьем параграфе описывается строение и состав дисковой подсистемы нашей Галактике.

Во второй главе рассказывается об методах исследования областей современного звёздообразования в нашей Галактике. В первом параграфе описывается постановка задачи для данных исследований. Во втором параграфе дается литературный обзор по процессам звёздообразования в Галактике. В третьем параграфе рассказывается об исследованиях областей звёздообразования в нашей Галактике, подробно описывается об открытиях учёных в этой области.

Третья глава посвящена созданию сводного каталога по ОСЗ. В первом параграфе приводятся каталоги по областям звездообразования, которые наблюдаются в нашей Галактике. Во втором параграфе описывается создание сводного каталога по ОСЗ. В третьем параграфе приводятся результаты статистического анализа по сводному каталогу.

В Заключении приводятся выводы и перечисляются основные результаты, полученные в этой диссертации:

1. Создание сводного каталога по областям современного звездообразования в нашей Галактике.
2. Были получены статистически значимые данные по наличию мазеров OH, H₂O, CH₃OH, а также IRAS источников, изученных к настоящему моменту ОСЗ нашей Галактике.
3. Проведён статистический анализ по количеству распределения различных индикаторов ОСЗ.
4. Построено распределение ОСЗ по галактическим координатам.

ГЛАВА 1. СТРОЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ ГАЛАКТИКИ

§1.1. Морфологическая классификация галактик.

Галактика — гигантская, гравитационно-связанная система из звёзд и звёздных скоплений, межзвёздного газа и пыли, и тёмной материи. Все объекты в составе галактики участвуют в движении относительно общего центра масс [1]. Галактики — чрезвычайно далёкие астрономические объекты. Расстояние до ближайших из них принято измерять в мегапарсеках, а до далёких — в единицах красного смещения z . К началу 1990-х годов насчитывалось не более 30 галактик, в которых удалось увидеть отдельные звёзды, и все они входили в Местную группу. После запуска космического телескопа «Хаббл» и ввода в строй 10-метровых наземных телескопов число галактик, в которых удалось различить отдельные звёзды, резко возросло.

Галактики отличаются большим разнообразием: среди них можно выделить сфероподобные эллиптические галактики, дисковые спиральные галактики, галактики с перемычкой (баром), линзовидные, карликовые, неправильные и т. Д. Поэтому было предложено разделить Галактики по классам.

Морфологическая классификация галактик — система разделения галактик на группы по визуальным признакам, используемая в астрономии. Существует несколько схем разделения галактик на морфологические типы. Наиболее известная была предложена Эдвином Хабблом, и впоследствии развита Жераром де Вокулером и Аланом Сендиджем.

Попытки классифицировать галактики начались одновременно с обнаружением первых туманностей со спиральным узором Лордом Россом в 1845-50 гг. Впрочем, в то время господствовала теория, согласно которой все туманности принадлежат нашей Галактике. То, что ряд туманностей имеет негалактическую природу, было доказано лишь Э.Хабблом в 1924

году [1]. Таким образом, галактики классифицировали также, как и галактические туманности. Шепли предложил классификацию, в которой попытался учесть возникающие трудности с классификацией слабых галактик.

Все галактики в гарвардской классификации были разделены на 5 классов:

Класс А — галактики ярче 12^m

Класс В — галактики от 12^m до 14^m

Класс С — галактики от 14^m до 16^m

Класс D — галактики от 16^m до 18^m

Класс E — галактики от 18^m до 20^m

Более тусклые галактики были не доступны для наблюдений в Гарвардской обсерватории, но, при необходимости система могла быть расширена дальше. Приведенную систему некоторое время активно использовали в Гарвардской обсерватории, однако она была вытеснена более удачной классификацией Хаббла

Последовательность Хаббла — это морфологическая классификация, модифицированная им же в 1936 году [2], известная под названием Камертон Хаббла, поскольку традиционная иллюстрация этой последовательности имеет сходство с этим инструментом (рис.1).

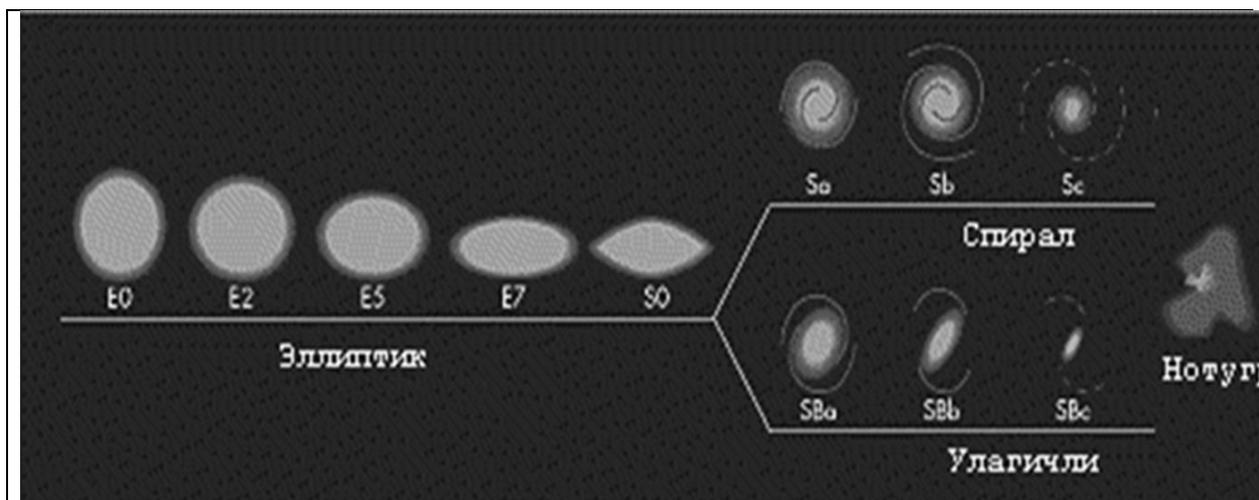


Рис 1. Камертон Хаббла.

В своей классификации Хаббл разделил все галактики на 3 обширных класса, основываясь на их внешнем виде на фотографических пластинках, экспонированных в синем (В) фильтре.

Эллиптические галактики имеют гладкую эллиптическую форму (от сильно сплюснутых, до почти круглых) без отличительных деталей с равномерным уменьшением яркости от центра к периферии. Они обозначаются буквой E и цифрой, которая является индексом сплюснутости галактики. Так, круглая галактика будет иметь обозначение E0, а галактика, у которой одна из больших полуосей вдвое больше другой, E5. Значения « индекса сплюснутости » вычисляется по формуле $10 \times \left(1 - \frac{b}{a}\right)$ где a и b большая и малая полуоси видимого эллипса. Форма наиболее сплюснутых E-галактик - E7 заметно отличается от эллипса. Эллиптические галактики состоят из старых звёзд и практически полностью лишены газа.

Спиральные галактики

Спиральные галактики состоят из уплощенного диска из звезд и газа, в центре которого находится сферическое уплотнение, называемое балджем, а также обширного сферического гало. В плоскости диска формируются яркие спиральные рукава, состоящие преимущественно из молодых звезд, газа и пыли. Хаббл разделил все известные спиральные галактики на нормальные спирали (обозначаются символом S) и спирали с баром (SB), которые в отечественной литературе часто называют галактиками с перемычкой или пересеченными. В нормальных спиралях спиральные ветви тангенциально отходят от центрального яркого ядра и простираются на протяжении одного оборота. Число ветвей может быть различно: 1, 2, 3,... но чаще всего встречаются галактики только с двумя ветвями. В зависимости от того, являются ли спиральные рукава плотно закрученными или клочковатыми, или же по соотношению размеров ядра и балджа, добавляют символы a, b или c. Так для галактик Sa характерен

большой балдж и туго закрученная регулярная структура, а для галактик Sc — небольшой балдж и клочковатая спиральная структура [3]. К подклассу Sb относят галактики, которые по какой-либо причине нельзя отнести к одному из крайних подклассов: Sa или Sc.

Неправильные или иррегулярные галактики — галактика, лишенная как вращательной симметрии, так и значительного ядра. Неправильные галактики отличаются разнообразием форм, обычно небольшими размерами и обилием газа, пыли и молодых звёзд. Обозначаются — I. В силу того, что форма неправильных галактик твёрдо не определена, как неправильные галактики часто классифицировали пекулярные галактики. Галактики слишком тусклые, чтобы их можно было классифицировать, Хаббл обозначил символом Q.

В 1936 году был добавлен класс Линзовидных галактики, которые имеют то же строение, что и спиральные, но в них отсутствует спиральная структура. Обозначаются S0. Если линзовидную галактику видно сбоку, то она отличается от эллиптической более сильным сжатием и наличием тёмного пылевого слоя.

Дело Хаббла продолжил его коллега А. Сендидж, который в 1961 году закончил пересмотр последовательности Хаббла. Основные новшества обновленной последовательности Хаббла:

Добавлен класс линзовидных галактик (S0 и SB0). Эти галактики являются переходным классом от эллиптических к спиральным. Они характеризуются наличием яркого, хорошо выделяющегося ядра и более менее однородного диска, или линзы, с резкой границей, погружённые в диффузную оболочку, прослеживающуюся далеко за границы диска. Спиральные ветви отсутствуют.

Галактики S0 делят на два типа:

S0(1) — не имеющие структуры в диске и оболочке (NGC 1201, NGC 1332);

S0(2) — имеющие зачаточную структуру в оболочке в форме темных областей и колец.

Кроме того выделяется переходный класс S0/a. У галактик такого класса в оболочке наблюдают зарождающуюся спиральную структуру. В галактиках SB0 виден бар, пересекающий линзу; иногда широкий и неясный, иногда узкий и резкий. В оболочке может сформироваться кольцо. Хаббл разделил эти галактики на 3 группы:

SB0 (1) — яркие линзы с широким и неясным баром, окруженные большой, тусклой, бесструктурной оболочкой .

SB0 (2) — слабый широкий бар и одно кольцо в оболочке .

SB0 (3) — хорошо видимый бар и кольца.

Многие из галактик ранее классифицированные как SBa были перенесены в класс SB0. Определение класса SBa стало более строгим: галактики этого класса обладают гладким баром и линзой и слабо развитыми туго смотанными спиральными рукавами.

Произведено разделение пересеченных спиралей на группы (в группы вошли галактики классов SBa и SBb):

Рукава галактик начинаются от края кольца, пересеченного баром;

Рукава галактик начинаются на концах баров.

Сендидж также разделил на группы обыкновенные спирали:

галактики, у которых спиральные рукава начинаются на внешнем краю кольца;

галактики, у которых спиральные рукава начинаются из ядра.

Для спиральных галактик низкой поверхностной яркости со сложной, клочковатой структурой и слабо выраженным ядром введены обозначения Sd и SBd для обыкновенных и пересеченных соответственно. Для неправильных галактик, в которых удалось выявить подобие спиральной структуры, ввели обозначение Sm.

Введен класс карликовых эллиптических галактик (dE), открытых Шепли в 1938 году[5] в созвездиях Скульптор и Печь. Эти галактики

обладают всеми морфологическими свойствами обычных эллиптических галактик, за исключением их крайне низкой поверхностной яркости. В целом, последовательность Хаббла охватывает большое многообразие галактик: от эллиптических, в которых нет газа и пыли, нет звездообразования и главная составляющая — старые звезды, через линзовидные и спиральные галактики, в которых по мере разрушения структуры увеличивается доля газа, пыли и молодых звезд, к неправильным галактикам, в которых поддерживается высокий темп звездообразования за счет большого числа пыли. Сам Хаббл считал эту последовательность эволюционной, что не нашло подтверждения в дальнейшем.

На сегодняшний день последовательность Хаббла наиболее востребована для классификации галактик как профессионалами, так и любителями астрономии.

Система де Вокулёра была предложена в 1959 году. Основным недостатком классификации Хаббла де Вокулёр считал то, что разделение спиральных галактик на обладающих и не обладающих баром недостаточно хорошо отражает существующий диапазон морфологических особенностей спиралей. В частности де Вокулёр указывал на такие структурные особенности спиральных галактик, как кольца и балджи.

В основе своей системе де Вокулёр сохранил хаббловское разделение галактик на эллиптические, линзовидные, спиральные и неправильные. Классификация эллиптических галактик не претерпела изменений. Основные изменения затронули классификацию спиральных, и в меньшей степени линзовидных и неправильных галактик.

В результате накопления достаточно большой статистики оказалось, что галактик с баром примерно такое же количество, что и галактик без бара. Поэтому, называть галактики без бара нормальными (англ. normal spirals) не совсем корректно. Де Вокулёр стал называть их простыми (англ. ordinary spirals) и обозначил SA, в то время как спиральные галактики с

баром (англ. barred spirals) сохранили свое обозначение SB. Таким образом простые спирали стали не более нормальными, чем спирали с барами. Галактики, обладающие свойствами как SA, так и SB, отнесены к переходному классу SAB. Те спиральные галактики, которые невозможно точно классифицировать (в силу плохого разрешения, сильного наклона к лучу зрения и др.) обозначены просто S. Такие же изменения постигли линзовидные галактики: галактики без бара получили обозначение SA0, галактики с баром — SB0, переходный тип — SAB0. Обозначение S0 осталось за галактиками, которые не удалось классифицировать (рис.2).

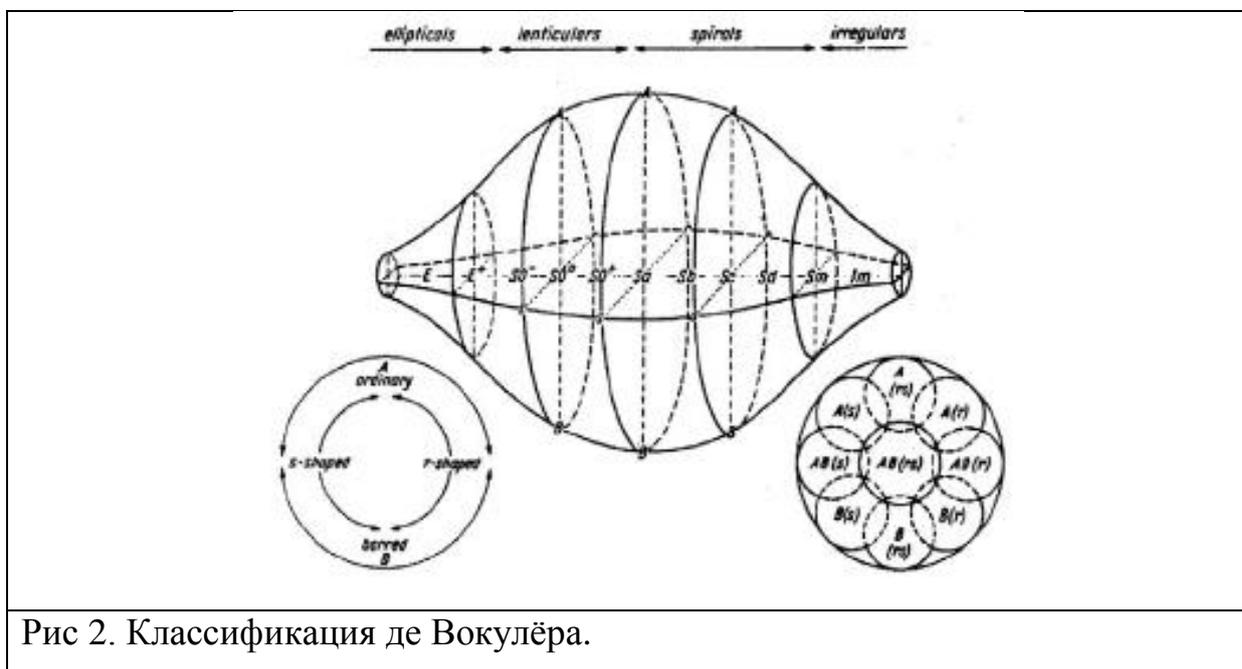


Рис 2. Классификация де Вокулёра.

Указанные семейства спиральных и линзовидных галактик обладают в той или иной форме структурой, которая по де Вокулёру может принимать спиральный или кольцеобразный вид (кольцо вокруг центра галактики, от которого отходят спиральные ветви). Кольцеобразные разновидности галактик получили индекс (r), а спиральные (s). Для переходных разновидностей вводилось обозначение (rs). В кольцеобразных галактиках кольца могут быть внутренние и внешние. Для внешних колец вводился индекс (R).

§1.2. Строение Галактики.

Форма нашей Галактики напоминает круглый сильно сжатый диск. Как и диск, Галактика имеет плоскость симметрии, разделяющую её на две равные части и ось симметрии, проходящую через центр системы и перпендикулярную к плоскостям симметрии. Но у всякого диска есть точно обрисованная поверхность - граница. У нашей звездной системы такой чётко очерченной границы нет, также как нет чёткой верхней границы у атмосферы Земли. В Галактике звёзды располагаются тем теснее, чем ближе данное место к плоскости симметрии Галактики и чем ближе оно к её плоскости симметрии. Наибольшая звёздная плотность в самом центре Галактики. Здесь на каждый кубический парсек приходится несколько тысяч звёзд, т.е. в центральных областях Галактики (в балдже) звёздная плотность во много раз больше, чем в окрестностях Солнца. При удалении от плоскости и оси симметрии звёздная плотность убывает, причём при удалении от плоскости симметрии она убывает значительно быстрее. По этому если бы мы условились считать границей Галактики те места, где звёздная плотность уже очень мала и составляет одну звезду на 100 пс, то очерченное этой границей тело было бы сильно сжатым круглым диском. Если границей считать область, где звёздная плотность ещё меньше и составляет одну звезду на 10 000 пс, то снова очерченной границей тело будет диском примерно той же формы, но только больших размеров. По этому нельзя вполне определённо говорить о размерах Галактики. Если всё-таки границами нашей звёздной системы считать места, где одна звезда приходится на 1 000 пс пространства, то диаметр Галактики приблизительно равен 30 000 пс, а её толщина 2 500 пс. Таким образом, Галактика - действительно сильно сжатая система: её диаметр - в 12 раз больше толщины.

Количество звёзд в Галактике огромно. По современным данным оно превосходит сто миллиардов, т.е. примерно в 25 раз превосходит число жителей нашей планеты. Существование газа в пространстве между

звёздами впервые было обнаружено по присутствию в спектрах звёзд линий поглощения, вызываемых межзвёздным кальцием и межзвёздным натрием. Эти кальций и натрий заполняют всё пространство между наблюдателем и звездой и со звездой непосредственно не связаны. После кальция и натрия было установлено присутствие кислорода, калия, титана и других элементов, а также некоторых молекулярных соединений: циана, углеводорода и др. Плотность межзвёздного газа можно определить по интенсивности его линий. Как и следовало ожидать, она оказалась очень малой. Плотность межзвёздного натрия, например, близ плоскости Галактики, где он наиболее плотен, соответствует одному атому на 10 000 см пространства. Долгое время не удавалось обнаружить межзвёздный водород, хотя в звёздах он самый обильный газ. Это объясняется особенностями физического строения атома водорода и характером поля излучения Галактики. Близ плоскости Галактики один атом водорода приходится на 2-3 см³ пространства. Это значит, что плоскость всей газовой материи около плоскости Галактики составляет $5-8 \cdot 10^{25}$ см³, масса газа и других элементов ничтожно мала. Распределён межзвёздный газ неравномерно, местами образуя облака с плотностью в десятки раз выше средней, а местами создавая разрежения. При удалении от плоскости Галактики средняя плотность межзвёздного газа быстро падает. Общая его масса в Галактике составляет 0,01-0,02 общей массы всех звёзд. Звёзды - горячие гиганты, излучающие большое количество ультрафиолетовых квантов, ионизируют вокруг себя межзвёздный водород в значительной области. Размер зоны ионизации в очень большой степени зависит от температуры и светимости звезды. Вне зон ионизации почти весь водород находится в нейтральном состоянии. Таким образом, все пространство Галактики можно разделить на зоны ионизированного водорода и где водорода неионизирован. Датский астроном Стремгрен теоретически показал, что постепенного перехода от области, где водород практически весь ионизирован, к области, где он нейтрален, нет.

Кроме газа в пространстве между звездами имеются пылинки. Средняя плотность пылевой материи Галактики примерно в 100 раз меньше общей массы газа и в 5000- 10 000 раз меньше общей массы всех звезд. Поэтому динамическая роль пыли в Галактике весьма незначительна. В Галактике пылевая материя сильнее поглощает голубые и синие лучи, чем желтые и красные. В некотором отношении туман, в который погружена Галактика, существенно отличается от тумана, который мы наблюдаем на Земле. Отличие состоит в том, что вся масса пылевой материи имеет крайне неоднородную структуру. Она не распределена гладким слоем, а собрана в отдельные облака различной формы и размеров. Поэтому поглощение света в Галактике носит пятнистый характер. Пылевая и газовая материи в Галактике обычно перемешаны, но пропорции их в различных местах различны. Встречаются газовые облака, в которых пыль преобладает(рис 3).

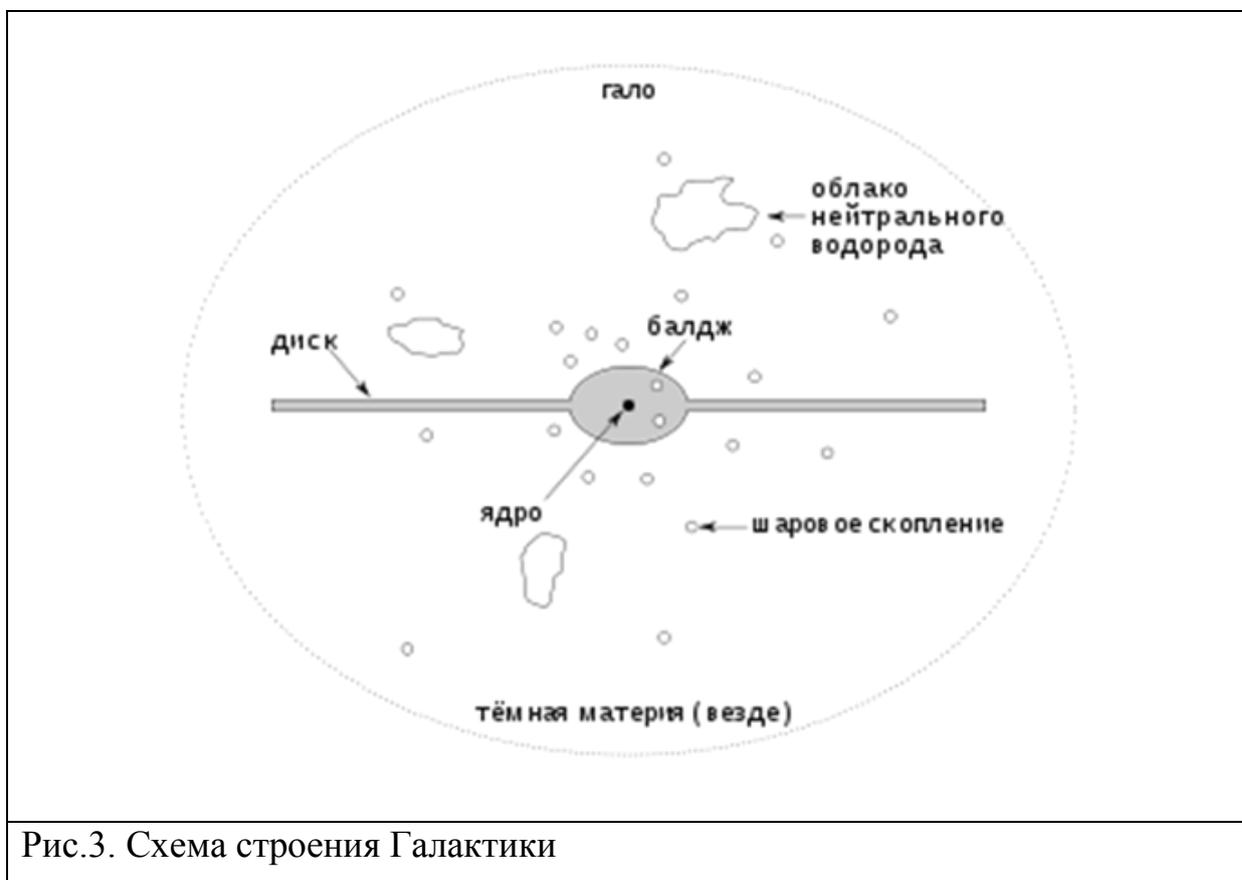


Рис.3. Схема строения Галактики

Истинные размеры Галактики были установлены только в XX в. Оказалось, что она является значительно более плоским образованием, чем предполагали ранее. Диаметр галактического диска превышает 100 тыс. световых лет, а толщина - около 1000 световых лет. Из-за того что Солнечная система находится практически в плоскости Галактики, заполненной поглощающей материей, очень многие детали строения Млечного Пути скрыты от взгляда земного наблюдателя. Однако их можно изучать на примере других галактик, сходных с нашей. Так, в 40-е гг. XX столетия, наблюдая галактику М 31, больше известную как туманность Андромеды, немецкий астроном Вальтер Бааде заметил, что плоский линзообразный диск этой огромной галактики погружен в более разреженное звездной облако сферической формы - гало. Звезды галактического диска были названы населением I типа, а звезды гало - населением II типа.

Как показывают современные исследования, два вида звездного населения отличаются не только пространственным положением, но и характером движения, а также химическим составом. Эти особенности связаны в первую очередь с различным происхождением диска и сферической составляющей.

Гало. Границы нашей Галактики определяются размерами гало. Радиус гало значительно больше размеров диска и по некоторым данным достигает нескольких сот тысяч световых лет. Центр симметрии гало Млечного Пути совпадает с центром галактического диска. Состоит гало в основном из очень старых, неярких мало массивных звезд. Они встречаются как поодиночке, так и в виде шаровых скоплений, которые могут включать в себя более миллиона звезд. Возраст населения сферической составляющей Галактики превышает 12 млрд. лет. Его обычно принимают за возраст самой Галактики. Характерной особенностью звезд гало является чрезвычайно малая доля в них тяжелых

химических элементов. Звезды, образующие шаровые скопления, содержат металлов в сотни раз меньше, чем Солнце.

Звезды сферической составляющей концентрируются к центру Галактики. Центральная, наиболее плотная часть гало в пределах нескольких тысяч световых лет от центра Галактики называется "балдж" ("утолщение"). Звезды и звездные скопления гало движутся вокруг центра Галактики по очень вытянутым орбитам. Из-за того что вращение отдельных звезд происходит почти беспорядочно, гало в целом вращается очень медленно.

Диск. По сравнению с гало диск вращается заметно быстрее. Скорость его вращения не одинакова на различных расстояниях от центра. Она быстро возрастает от нуля в центре до 200-240 км/с на расстоянии 2 тыс. световых лет от него, затем несколько уменьшается, снова возрастает примерно до того же значения и далее остается почти постоянной. Изучение особенностей вращения диска позволило оценить его массу. Оказалось, что она в 150 млрд. раз больше массы Солнца. Население диска очень сильно отличается от населения гало. Вблизи плоскости диска концентрируются молодые звезды и звездные скопления, возраст которых не превышает нескольких миллиардов лет. Они образуют так называемую плоскую составляющую. Среди них очень много ярких и горячих звезд.

Ядро. Одной из самых интересных областей Галактики считается ее центр, или ядро, расположенное в направлении созвездия Стрельца. Видимое излучение центральных областей Галактики полностью скрыто от нас мощными слоями поглощающей материи. Поэтому его начали изучать только после создания приемников инфракрасного и радиоизлучения, которое поглощается в меньшей степени. Для центральных областей Галактики характерна сильная концентрация звезд: в каждом кубическом парсеке вблизи центра их содержатся многие тысячи. Расстояния между звездами в десятки и сотни раз меньше, чем в окрестностях Солнца.

Помимо большого количества звезд в центральной области Галактики наблюдается около ядерный газовый диск, состоящий преимущественно из молекулярного водорода. Его радиус превышает 1000 световых лет. Ближе к центру отмечаются области ионизованного водорода и многочисленные источники инфракрасного излучения, свидетельствующие о происходящем там звездообразовании. В самом центре Галактики предполагается существование массивного компактного объекта - черной дыры массой около миллиона масс Солнца. В центре находится также яркий радиоисточник Стрелец А, происхождение которого связывают с активностью ядра.

Спиральные ветви. Одним из наиболее заметных образований в дисках галактик, подобной нашей, являются спиральные ветви (или рукава). Они и дали название этому типу объектов - спиральные галактики. Спиральная структура в нашей Галактике очень хорошо развита. Вдоль рукавов в основном сосредоточены самые молодые звезды, многие рассеянные звездные скопления и ассоциации, а также цепочки плотных облаков межзвездного газа, в которых продолжают образовываться звезды. В спиральных ветвях находится большое количество переменных и вспыхивающих звезд, в них чаще всего наблюдаются взрывы некоторых типов сверхновых. Галактическое магнитное поле, пронизывающее весь газовый диск, также сосредоточено главным образом в спиральных.

Спиральные рукава Млечного Пути в значительной степени скрыты от нас поглощающей материей. Подробное их исследование началось после появления радиотелескопов. Они позволили изучать структуру Галактики по наблюдениям радиоизлучения атомов межзвездного водорода, концентрирующегося вдоль длинных спиралей. По современным представлениям, спиральные рукава связаны с волнами сжатия, распространяющимися по диску галактики. Проходя через области сжатия, вещество диска уплотняется, а образование звезд из газа становится более интенсивным. Причины возникновения в дисках

спиральных галактик такой своеобразной волновой структуры не вполне ясны.

Место Солнца в Галактике. В окрестностях Солнца удастся проследить участки двух спиральных ветвей, удаленных от нас примерно на 3 тыс. световых лет. По созвездиям, где обнаруживаются эти участки, их называют рукавом Стрельца и рукавом Персея. Солнце находится почти посередине между этими спиральными ветвями. Правда, сравнительно близко от нас, в созвездии Ориона, проходит еще одна, не столь явно выраженная ветвь, считающаяся ответвлением одного из основных спиральных рукавов Галактики. Расстояние от Солнца до центра Галактики составляет 23-28 тыс. световых лет. Это говорит о том, что Солнце расположено посередине между центром и краем диска. Вместе со всеми близкими звездами Солнце вращается вокруг центра Галактики со скоростью 200-220 км/с, совершая оборот примерно за 200 млн. лет. Значит, за все время своего существования Земля облетела вокруг центра Галактики не более 30 раз. Скорость вращения Солнце вокруг центра Галактики практически совпадает с той скоростью, с которой в данном районе движется волна уплотнения, формирующая спиральный рукав. Такая ситуация в общем неординарна для Галактики: спиральные ветви вращаются с постоянной угловой скоростью, как спицы колеса, а движение звезд, как мы видели, подчиняется совершенно иной закономерности. Поэтому почти все звездное население диска то попадает внутрь спиральных ветвей, то выходит из них. Единственное место, где скорости звезд и рукавов совпадают, - это так называемая коротационная окружность. Именно вблизи нее и располагается Солнце!

Для Земли это обстоятельство крайне благоприятно. Ведь в спиральных ветвях происходят бурные процессы, порождающие мощное излучение, губительное для всего живого. И никакая атмосфера не могла бы от него защитить. Но наша планета существует в относительно спокойном месте

Галактики и в течение сотен миллионов и миллиардов лет не испытывала катастрофического влияния космических катаклизмов.

Галактические расстояния. При изучении нашей Галактики астрономы сталкиваются с серьезной проблемой: Солнце находится почти точно в плоскости Млечного Пути, где сосредоточены межзвездный газ и пыль, поглощающие свет далеких звезд. Поэтому мы видим лишь часть галактического диска, не далее нескольких килопарсек от Солнца. Особенно сложно "пробиться" с помощью оптического телескопа к центру Галактики, чтобы изучить его строение и измерить расстояние до него. Для астрономов это очень важная величина, задающая масштаб всех прочих расстояний в Галактике. Без нее невозможно определить скорость вращения и массу Галактики, расстояния до далеких звезд, скоплений и туманностей.

Сначала астрономам даже неясно было, в каком направлении расположен центр Галактики. Впервые это направление "нащупал" в 1917 г. американский астроном Харлоу Шепли. Он предположил, что шаровые звездные скопления, населяющие гало Галактики и поэтому видимые на больших расстояниях, симметрично распределены вокруг галактического центра. Заметив, что шаровые скопления в основном видны в направлении созвездий Скорпиона, Змееносца и Стрельца, Шепли понял, что где-то там и находится центр Млечного Пути.

В 40-х гг. инфракрасные телескопы, значительно менее чувствительные к межзвездному поглощению, чем оптические, указали на большую концентрацию звезд в созвездии Стрельца. А позднее радиотелескопы, которым пыль вообще не помеха, зафиксировали в этом созвездии мощный радиоисточник Стрелец А. Он-то и совпадает с центром Галактики.

Теперь следовало определить расстояние до него. Шепли по распределению шаровых скоплений оценил его 12-16 кпк. При этом он полагал, что Солнце находится на краю галактического диска, диаметр

которого, следовательно, около 30 кпк. Главным фактором неопределенности был учет межзвездного поглощения: по сей день расстояния до некоторых шаровых скоплений известны с ошибкой до 50%. Шли годы, и появлялись новые оценки расстояний до звезд и звездных скоплений. Расхождения в оценках были довольно существенные. Каждый исследователь, занимающийся этой проблемой, находил свое значение и предпочитал использовать именно его.

Но если у каждого астронома свой "мерный шест" в руках, то нет никакого взаимопонимания. Чтобы как-то исправить это положение, в 1963 г. астрономическое сообщество договорилось принять единые значения важнейших величин, характеризующих размеры Галактики (R_0) и скорость ее вращения в районе орбиты Солнца (V_0). Было решено придерживаться значений $R_0=10$ кпк и $V_0=250$ км/с. В 1985 г. Генеральная ассамблея Международного астрономического союза рекомендовала использовать новые значения: $R_0=8,5$ кпк и $V_0=220$ км/с. Однако далеко не все астрономы согласны с тем, что они точнее старых. Каждый год публикуется три-четыре работы по измерению и результаты колеблются от 7 до 11 кпк.

Разумеется, астрономы не всегда будут принимать условные значения важнейших величин, характеризующих Галактику. Грандиозные антенные системы - межконтинентальные радиоинтерферометры - уже сейчас позволяют получать очень высокое разрешение - до $0,001''$. Что позволит более точно измерить R_0 .

§1.3. Дискосая подсистема Галактики .

Структура спиральных галактик, которые составляют около половины всех галактик, обладает двумя особенностями. Во-первых, по форме - они напоминают мелкую тарелку, толщина которой не превышает 1 % диаметра. Во-вторых, вещество в спиральных галактиках, по всей видимости, сосредоточено преимущественно в спиральных ветвях.

Спиральные галактики представляют собой тонкие диски, состоящие из звезд и газа, с небольшим ядром в центре. Они состоят как бы из двух отдельных подсистем: сферической и дисковой. Сферическая подсистема по своим свойствам похожа на эллиптическую галактику. Дисковая подсистема сильно сжата и, наряду со старыми звездами, содержит сравнительно молодые, а также межзвездный газ и пыль (5—10 % общей массы). Звезды диска и облака газа вращаются вокруг центра галактики со скоростью 150—300 км/с.

Самые плотные и массивные облака газа и самые молодые яркие звезды (которые начали светить лишь недавно — несколько десятков миллионов лет назад) сосредоточены в спиральных ветвях, протянувшихся от ядра к периферии галактики. Спиральные ветви бывают и с широко открытыми двумя-четырьмя спиральными ветвями, и со многими ветвями или же с почти концентрическими дугами.

Дисковая часть Галактики образуется благодаря тороидальной топологии пространства первого модуля. В результате квантования этого пространства сформировалось множество подпространств, каждое из которых так же имеет тороидальную топологию. Все они вложены внутрь первого тора по матрешечному типу. В центре каждого тора по окружности большого радиуса циркулирует поступающая энергия, которая идет на создание пространства и материи звезд и звездных систем. Такая система торов порождает материальный плоский диск, состоящий из множества звездных систем, вращающихся в одном направлении. Все вещество, образующееся в дисковой части Галактики, приобретает единую плоскость и направление вращения.

В центре Галактики находятся два центральных тела, одно из которых является телом причины подсистемы гало (черная дыра), другое — телом причины подсистемы диска (белая дыра), которые также вращаются относительно друг друга.

В дисковой части Галактики образуются хроно оболочки внутренних подсистем, которые являются подпространствами следствий. В каждом из этих подпространств образуется собственное тело следствия, которое представляет собой звезду или звездную систему, вращающуюся вокруг тела причины, т.е. центра Галактики, в котором находится белая дыра. Орбиты самых ближайших к белой дыре звезд являются окружностями, потому что энергия, поступающая в хроно оболочки этих звезд, циркулирует по окружностям. Если хроно оболочки первого модуля находятся за границей вращения тела белой дыры вокруг черной дыры, то энергия будет циркулировать не по окружности, а по эллипсу, в одном из фокусов которого находится тело причины (черная дыра), в другом – тело следствия (белая дыра). Соответственно топология пространства изменится, тор примет более сложную форму, и вместо окружности, которую описывает большой радиус тора, у нас будет эллипс.

Поскольку дисковая подсистема Галактики погружена в сферическую подсистему, то между ними посредством времени происходит дополнительное взаимодействие. Влияние одной подсистемы на другую и приводит к тому, что на циркулирующую энергию в дисковой подсистеме накладывается момент вращения, присутствующий в сферической части. Хотя это и не очень интенсивный вращающий момент, но все-таки он вносит свою лепту в общую картину, в результате чего торы разворачиваются на небольшой угол относительно друг друга. Соответственно эллипсы вращения энергии тоже будут смещаться на такой же угол поворота относительно друг друга, образуя спиральную структуру.

Образование вращающегося диска и образование спиральных рукавов – это структуры совершенно разной природы. Вращающийся диск – это система материальных тел, образующихся в ходе преобразования времени. А спиральные рукава – это энергетическая структура пространства, показывающая, в какой его области выделение энергии

происходит интенсивнее всего. Поэтому главным свойством волнового спирального узора является его однородное вращение, как единой системы пространств, образуемых торами. Следовательно, и картина спирального узора вращается вся как единое целое с постоянной угловой скоростью. Хотя диск галактики вращается дифференциально, потому что он формировался в разных условиях и каждая его часть находится на своем этапе эволюции. Но сам диск по отношению к спиральным рукавам вторичен, первична именно энергетическая структура спиралей, которая задает темп всему звёздо-образовательному процессу диска. Именно по этой причине спиральный узор обозначается столь четко и ясно и сохраняет на всем протяжении диска галактики полную регулярность, никак не искажаемую дифференциальным вращением диска.

Образование звезд происходит по всему диску примерно одинаково, поэтому плотность звезд будет зависеть от того, насколько плотно располагаются между собой хроно оболочки. Не смотря на то, что в рукавах звездообразование происходит более интенсивно, плотность звезд здесь не должна сильно отличаться от других областей диска, хотя повышенная амплитуда энергии и заставляет инициироваться хроно оболочки, находящиеся в менее выгодных условиях. Астрономические наблюдения показывают, что плотность звезд в спиральных рукавах не так уж велика, они расположены там лишь немного гуще, чем в среднем по диску, – всего процентов на 10, не больше.

Чтобы рукава четко очерчивались молодыми звездами, требуется достаточно высокая скорость превращения газа в звезды и, кроме того, не слишком большая длительность эволюции звезды на ее начальной яркой стадии. И то, и другое выполняется для реальных физических условий в галактиках, благодаря повышенной интенсивности потока времени, выделяющегося в рукавах. Продолжительность начальной фазы эволюции ярких массивных звезд меньше времени, за которое рукав заметно сместится при своем общем вращении. Эти звезды светят около десяти

миллионов лет, что составляет всего пять процентов от периода вращения Галактики. Но по мере того как звезды, очерчивающие спиральный рукав, сгорают, вслед за ними формируются новые светила и связанные с ними туманности, сохраняя неизменным спиральный рисунок.

Повышенная интенсивность выделения энергии вдоль рукавов Галактики сказывается на том, что здесь в основном сосредоточены самые молодые звёзды, многие рассеянные звёздные скопления и ассоциации, а также цепочки плотных облаков межзвёздного газа, в которых продолжают образовываться звёзды. В спиральных ветвях находится большое количество переменных и вспыхивающих звёзд, в них чаще всего наблюдаются взрывы некоторых типов сверхновых[3]. В отличие от гало, где какие-либо проявления звёздной активности чрезвычайно редки, в спиральных ветвях продолжается бурная жизнь, связанная с непрерывным переходом вещества из межзвёздного пространства в звёзды и обратно

Молекулярное облако, иногда называемое также звёздная колыбель (в случае, если в нём рождаются звёзды), — тип межзвёздного облака, чья плотность и размер позволяют в нём образовываться молекулам, обычно водорода (H_2). Молекулярный водород трудно зарегистрировать при помощи инфракрасных или радионаблюдений, поэтому для определения наличия H_2 используют другую молекулу - CO (монооксид углерода). Соотношение между светимостью CO и массой H_2 , как полагают, остаётся постоянным, хотя есть причины сомневаться в правдивости этого в некоторых галактиках

В пределах нашей галактики количество молекулярного газа составляет менее одного процента объёма межзвёздной среды. В то же время это самая плотная ее составляющая, включающая примерно половину всей газовой массы в пределах галактической орбиты Солнца. Большая часть молекулярного газа содержится в молекулярном кольце между 3,5 и 7,5 килопарсек от центра галактики (Солнце находится в 8,5 килопарсек от центра) [5].

Крупномасштабные карты распределения угарного газа в нашей галактике показывают, что положение этого газа коррелирует с её спиральными рукавами [6]. То, что молекулярный газ находится в основном в спиральных рукавах не согласуется с тем, что молекулярные облака должны формироваться и распадаться в короткий промежуток времени — меньше 10 миллионов лет — времени, которое требуется для вещества, чтобы пройти через область рукава [7].

Если брать вертикальное сечение, молекулярный газ занимает узкую среднюю плоскость галактического диска с характерной шкалой высот, Z , приблизительно 50—75 парсек, много тоньше чем тёплый атомный ($Z=130—400$ пк) и тёплый ионизированный ($Z=1000$ пк) газовые компоненты межзвёздной среды [5]. Области H II являются исключениями для ионизированного газового распределения, поскольку сами представляют собой пузыри горячего ионизированного газа, созданного в молекулярных облаках интенсивной радиацией, испущенной молодыми массивными звездами и поэтому у них приблизительно такое же вертикальное распределение как у молекулярного газа.

Это гладкое распределение молекулярного газа усреднено по большим расстояниям, однако мелкомасштабное распределение газа очень нерегулярно и большей частью он сконцентрирован в дискретных облаках и комплексах облаков [5].

Типы молекулярных облаков

Гигантские молекулярные облака : Обширные области молекулярного газа с массами $10^4—10^6$ солнечных масс называется гигантскими молекулярными облаками (ГМО). Облака могут достигнуть десятков парсек в диаметре и иметь среднюю плотность $10^2—10^3$ частиц в кубическом сантиметре (средняя плотность вблизи Солнца — одна частица в кубическом сантиметре). Подструктура в пределах этих облаков состоит из сложных переплетений нитей, листов, пузырей, и нерегулярных глыб [7]. Самые плотные части нитей и глыб называют «молекулярными

ядрами», а молекулярные ядра с максимальной плотностью (больше 104—106 частиц в кубическом сантиметре), соответственно, «плотными молекулярными ядрами». При наблюдениях молекулярные ядра связывают с угарным газом, а плотные ядра — с аммиаком. Концентрация пыли в пределах молекулярных ядер обычно достаточна, чтобы поглощать свет от дальних звёзд таким образом, чтобы они выглядели как тёмные туманности [9].

Маленькие молекулярные облака: Изолированные гравитационно связанные маленькие молекулярные облака с массами меньше чем несколько сотен масс Солнца называют глобулой Бока [10]. Самые плотные части маленьких молекулярных облаков эквивалентны молекулярным ядрам, найденным в гигантских молекулярных облаках и часто включаются в те же самые исследования [11].

Высокоширотные диффузные молекулярные облака: В 1984 году IRAS идентифицировал новый тип диффузного молекулярного облака [12]. Они были диффузными волокнистыми облаками, которые видимы при высокой галактической широте (выглядывающий из плоскости галактического диска). У этих облаков была типичная плотность 30 частиц в кубическом сантиметре [13].

Мазерный эффект (в космосе): Это явления связано с усилением интенсивности проходящего через космическую среду радиоизлучения за счёт индуцированного испускания резонансных фотонов возбуждёнными молекулами среды. Для М. э. необходимо, чтобы число молекул среды, находящихся на верхнем резонансном уровне энергии, превосходило число молекул, находящихся на нижнем уровне. Только при такой, инверсной, населённости уровней индуцированное испускание фотонов будет преобладать над их поглощением и проходящее сквозь среду излучение будет не ослабляться, а усиливаться. Однако инверсия населённости невозможна при равновесном Больцмана распределении. Поэтому нужна непрерывная энергетическая накачка молекул, переводящая их с нижнего

на верхний уровень. В отличие от спонтанного (самопроизвольного) излучения, индуцированное (стимулированное) излучение молекул характеризуется тем же направлением распространения, той же частотой и поляризацией, что и исходное, индуцирующее излучение. Этим обусловлены характерные особенности мазерного излучения [14]. Интенсивность излучения космических мазеров соответствует аномально высокой яркостной температуре, до 10^{13} - 10^{15} К. В нашей и в соседних галактиках обнаружено неск. сотен космич. мазеров. Их можно разделить на два основных типа: 1) мазеры, ассоциирующиеся с молодыми (возраст 10^5 лет) горячими ОВ-звёздами (а возможно, и с протозвёздами), излучение которых осуществляет накачку; 2) мазеры, связанные с сильно проэволюционировавшими холодными звёздами большой светимости.

Мазеры 1-го типа находятся в областях звездообразования, на периферии плотных газовой-пылевой комплексов, в непосредственной близости от ультра компактных зон НШ и источников ИК-излучения. Рассеянное звёздное скопление: оно представляет собой группу звёзд (числом вплоть до нескольких тысяч), образованных из одного гигантского молекулярного облака и имеющих примерно одинаковый возраст. В нашей Галактике открыто более чем 1100 рассеянных скоплений, но предполагается, что их гораздо больше [15]. Звёзды в таких скоплениях связаны друг с другом относительно слабыми гравитационными силами, поэтому по мере обращения вокруг галактического центра скопления могут быть разрушены из-за близкого прохождения возле других скоплений или облаков газа, в этом случае образующие их звёзды становятся частью обычного населения галактики; отдельные звёзды также могут быть выброшены в результате сложных гравитационных взаимодействий внутри скопления [16]. Типичный возраст скоплений — несколько сотен миллионов лет. Рассеянные звёздные скопления обнаружены только в спиральных и неправильных галактиках, где происходят активные процессы звездообразования [17].

Образование рассеянного скопления начинается с коллапса части гигантского молекулярного облака, холодного плотного облака газа и пыли массой во много тысяч раз больше массы Солнца. Такие облака имеют плотность от 10^2 до 10^6 молекул нейтрального водорода на см^3 , при том что звездообразование начинается в частях с плотностью большей 10^4 молекул/ см^3 . Как правило, только 1—10 % объёма облака превышает такую плотность [18]. До коллапса такие облака могут сохранять механическое равновесие благодаря магнитным полям, турбулентностям и вращению [19].

Существует много факторов, которые могут нарушить равновесие гигантского молекулярного облака, что приведёт к коллапсу и началу процесса активного звездообразования, в результате которого может возникнуть рассеянное скопление. К таковым относятся: ударные волны от близких сверхновых, столкновение с другими облаками, гравитационные взаимодействия. Но даже в отсутствие внешних факторов некоторые части облака могут достигнуть условий, когда они станут нестабильны и подвержены коллапсу [19]. Коллапсирующий регион облака испытывает иерархическую фрагментацию на более мелкие участки (включая относительно плотные области, известные как инфракрасные тёмные облака), что в итоге приводит к рождению большого количества (до нескольких тысяч) звёзд. Такой процесс звездообразования начинается в оболочке из коллапсирующего облака, которая скрывает протозвёзды из вида, хотя и позволяет производить инфракрасные наблюдения [18]. Считается, что в галактике Млечный Путь одно новое рассеянное скопление образуется раз в несколько тысяч лет [20].

Интенсивные процессы рассеяния газа, которые как образуют, так и уничтожают многие звёздные скопления при рождении, оставляют свой отпечаток на морфологической и кинематической структурах галактик [21]. Большинство вновь образованных рассеянных скоплений обладают численностью от 100 звёзд и массой от 50 солнечных. Самые большие

скопления могут иметь массу до 10^4 солнечных, что очень близко к массам шаровых скоплений [18]. В то время как рассеянные и шаровые звёздные скопления представляют собой совершенно разные образования, внешний вид наиболее разреженных шаровых и самых богатых рассеянных скоплений может не так уж сильно отличаться. Некоторые астрономы считают, что в основе образования этих двух типов скоплений лежит один и тот же механизм, с той разницей, что условий, необходимых для формирования очень богатых шаровых скоплений — численностью в сотни тысяч звёзд, — в нашей Галактике больше не существует [22].

ГЛАВА II МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЛАСТЕЙ ЗВЕЗДООБРАЗОВАНИЯ.

§2.1. Процессы звёздообразования в Галактике.

В Нашей Галактике около 70% звёзд рождается сейчас в спиральных рукавах, 10% - в пространстве между рукавами (тоже в галактической плоскости), 10% - в районе центра Галактики, 10% - в гало вне галактической плоскости [23]. Это означает, что интенсивность звездообразования в спиральных рукавах почти в 30 раз выше, чем в межрукавном пространстве, т.к. рукава занимают лишь около 20% объёма галактического диска. Так как эти же рукава составляют не более 1% объёма всей Галактики, можно сказать, что звездообразование в них происходит в 70 раз (или, что корректнее, примерно в 100 раз) интенсивнее, чем в Галактике в целом, в 200-250 раз интенсивнее, чем в Галактике без учёта рукавов, а также в 700 раз (или примерно в 1000 раз) интенсивнее, чем в гало вне галактической плоскости. Наверное, читатель понимает, что цифры эти приблизительные, т.к. спиральные рукава не резко переходят в межрукавное пространство, а галактический диск столь же не резко - в пространство вне галактической плоскости [23]. Наибольшая интенсивность звездообразования наблюдается на расстоянии от 3,5 до 6,5 килопарсеков от центра Галактики, т.е. в "кольце звездообразования", расположенном внутри солнечной орбиты. Это кольцо представляется нам как область Млечного Пути, протянувшаяся на 60 градусов в обе стороны от центра Галактики [23].

В пределах спиральных рукавов очаги звездообразования тоже распределены неравномерно. Они образуют комплексы размером 200-500 парсеков, в которых особенно много молодых звёзд, областей ионизированного водорода и плотных молекулярных облаков межзвёздной среды.

Отдельные очаги звездообразования, как уже говорилось, находятся и вне спиральных рукавов, хотя там их гораздо меньше. Так, например, в редких случаях встречаются "независимые" плотные и массивные молекулярные облака, и звёзды рождаются в них с той же интенсивностью, как и в спиральных рукавах [23]. Они могут быть на расстояниях до 15-20 килопарсеков от центра Галактики и на высотах до 1-2 килопарсеков от плоскости Галактики.

Признаками звездообразования являются:

1. массивные звёзды;
2. окружающие их эмиссионные туманности, т.е. туманности, выпускающие струи газа (и то, и другое хороший индикатор для соседних галактик, но не для плоскости Млечного Пути из-за поглощения света);
3. инфракрасное излучение пыли, нагретой горячими звёздами (видно и в плоскости Нашей Галактики);
4. радиоизлучение компактных областей ионизированного водорода (областей H II), возникающее при образовании нейтральных атомов из частиц с противоположными зарядами (радиорекомбинационное излучение);
5. радиоизлучение газопылевых дисков вокруг формирующихся и новорожденных звёзд;
6. доплеровское расщепление молекулярных линий во вращающемся диске вокруг таких звёзд;
7. доплеровское расщепление молекулярных линий тонких быстрых струй (джетов), вырывающихся из этих дисков (с их полюсов) со скоростью примерно 100 км/с;
8. наличие ассоциаций, скоплений и звёздных комплексов с массивными звёздами (массивные звёзды почти всегда рождаются большими группами);

9. общее увеличение светимости галактики в далёком инфракрасном диапазоне из-за наличия там массивных звёзд;
10. наличие крупных молекулярных облаков (индикатор охлаждения и уплотнения межзвёздной среды, т.е. готовности её к формированию звёзд, хотя и не индикатор звездообразования);
11. наличие глобул (тоже индикатор готовности к звездообразованию).

Но звёзды малых масс нередко формируются поодиночке, а потому заметить их удаётся на расстоянии не более 1 килопарсека от Солнца, т.е. перечисленные индикаторы имеют отношение, в основном, к массивным звёздам или к смешанным группам [23].

Неравномерность и иерархичность в распределении молодых звёзд связаны с аналогичными характеристиками облачной структуры межзвёздной среды. Так, например, звёздные скопления связаны со своими предшественниками - ядрами гигантских молекулярных облаков, а звёздные облака и комплексы в сотни парсеков - с комплексами гигантских молекулярных облаков, объединёнными в недрах сверх облаков нейтрального водорода (H I).

Предположений о различных вариантах формирования протозвезд из молекулярного облака существует много. Основные этапы возможного варианта эволюции можно представить в следующем виде. Гигантское молекулярное облако первоначально является устойчивым .

На первой стадии эволюции, когда преобладает аккреция, в результате какого-либо спускового механизма (фронт ионизации, столкновения облаков, вспышки сверхновых) [26] начинается процесс сжатия облака под действием сил гравитации. Возникающая гравитационная неустойчивость Джинса разбивает среду облака на фрагменты, сжатие которых протекает далее независимо [27]. Фрагменты, которые вследствие возрастания плотности вещества становятся уже непрозрачными с характерными массами $1M_{\odot}$, можно назвать

протозвездами [27, 28]. Вообще, с учетом различных эффектов в ходе фрагментации и аккреции вещества возможно образование звезд с массами в диапазоне 0.1-100 Мс [29].

На второй стадии возникает сильный звездный ветер, который может подавлять аккрецию. При этом размеры, температуры, и светимости оболочек массивных протозвезд становятся подобными сверхгигантам поздних классов. Излучение массивной протозвезды нагревает пыль в окружающем ее "плацентарном коконе", от которой, в свою очередь, нагревается газ. На данной стадии такие протозвезды могут наблюдаться как погруженные в газопылевые облака ИК-источники.

На третьей стадии, когда эффективная температура молодой звезды в возрасте $\sim 10^4$ лет достигает значений, характерных для звезд В-класса, возникают компактные зоны НИ и СИ [26]. По мере роста светимости происходит перестройка окружающей ее оболочки, которая зависит также от темпа аккреции. Звездный ветер и растущее давление излучения останавливают аккрецию вещества, и газопылевой "кокон" протозвездной оболочки начинает распадаться на отдельные, газопылевые образования. Освещаемые молодой звездой, они наблюдаются как объекты Хербига-Аро.

Мазерные источники НГО возникают, вероятно, в плотных расширяющихся оболочках ($r \sim 10^{15}$ см) областей НИ. Об этом говорит совпадение их пространственного положения с источниками радиоизлучения [27]. Когда область НИ расширяется до $r \sim 10^{17}$ см, то явление мазерного Н₂Оизлучения спустя $\sim 5 \times 10^4$ лет исчезает. Конденсации ОН мазеров расположены на больших расстояниях, и когда фронт ионизации достигнет этих мазеров, область НИ станет оптически тонкой, и будет развиваться как протяженная область Н И. К возрасту $\sim 10^6$ лет большинство звезд, эволюционируя к главной последовательности, наблюдаются как члены ОВ-ассоциации [26]. Вновь родившаяся ОВ-ассоциация [26] порождает ударный фронт, распространяющийся вглубь

молекулярного облака, и дает толчок к дальнейшему звездообразованию [30]. Вероятно, что образование ОВ-групп представляет собой упорядоченный, систематический процесс, который начинается на одном конце массивного молекулярного облака и захватывает затем весь его объем в виде последовательных вспышек звездообразования.

Области бурного звездообразования обнаруживаются:

1. в ядрах крупных галактик;
2. на концах спиральных рукавов (гигантские межгалактические области ионизированного водорода диаметром до 1 килопарсека и иногда с 1000 молодых звёзд классов О и В;
3. на периферии неправильных галактик;
4. в карликовых галактиках в качестве единственного очага звездообразования (Н II-галактики).

Звездообразование, как теперь выяснено, тесно связано с глобулами и ядрами гигантских молекулярных облаков, а поэтому поговорим о них подробнее.

Глобулы открыты в середине 20 в, они обнаружилились на фоне светлых туманностей [23]. Это компактные и почти шаровидные тёмные туманности размером от 5 до 50 тысяч астрономических единиц [24], т.е. очень маленькие объекты в галактических масштабах. Звёздный свет ослабляется ими в десятки и сотни раз [36]. Чем больше глобула, тем меньше света она поглощает. Значит, глобулы эволюционируют в сторону сжатия и уплотнения, т.е. коллапсируют, хотя, как позднее выяснилось, всё не так просто. Поэтому глобулы рассматривались в качестве "прото протозвёзд". Теперь мы знаем, что иногда глобулы долгое время остаются в стабильном состоянии [23]. В настоящее время выяснено, что глобулы рассеяны по всему Млечному Пути, но концентрируются в областях, где много тёмных туманностей. Всего в Галактике должно быть около 30 000 крупных глобул. Размеры крупных глобул часто бывают от 0,5 до 1,5 парсека, а массы от 10 до 140 солнечных, хотя недавно были открыты и

мини глобулы, из которых звёзды возникнуть не могут. Так как внутри глобул нет горячих звёзд, они теплее снаружи, где нагреваются звёздным светом и космическими лучами. Гравитационная энергия глобул обычно близка к кинетической энергии газовых потоков и к энергии теплового движения молекул. По-видимому, энергия магнитного поля в глобулах тоже способствует их стабильности (магнитное поле не затухает, т.к. звёздное излучение извне проникает в глобулу, поддерживая ионизацию газа). Движение газовых потоков, давление газа и магнитное поле долгое время удерживают глобулы от сжатия. Но если какая-нибудь сторонняя сила (например, свет недавно родившейся яркой звезды) чуть-чуть сожмёт глобулу, то её прозрачность уменьшится и магнитное поле начнёт затухать. Это может привести к коллапсу глобулы и образованию нескольких звёзд. На поверхности глобул иногда видны РИМЫ - ободки и выступы из ионизированного газа. Они возникают под влиянием соседних ярких звёзд и являются признаком нарушения стабильности. Стимулированное звездообразование протекает активней, чем самопроизвольное. Волна сжатия может пройти 0,1 парсека примерно за 10 тысяч лет, в результате чего звездообразование охватит значительную часть глобулы. Происхождение глобул не выяснено, но, вероятно, они связаны с разрушением более массивных облаков [23].

Гигантские молекулярные облака (гмо) - это особый класс молекулярных облаков, тоже ответственных за звездообразование. Подробное их описание приведено в сводном конспекте о галактиках, и сейчас достаточно сказать, что размеры этих образований составляют от 10 до 50 парсеков, а массы - до миллиона и более солнечных, т.е. они несоизмеримо больше глобул. В Галактике их до 6000. Среди них различаются:

Холодные гмо (5-10 градусов Кельвина, во всём галактическом диске);

Тёплые гмо (11-30 К, только в рукавах). С очагами звездообразования связаны именно тёплые ГМО.

Звездообразование происходит в их ядрах, или конденсациях. Конденсации дают начало звёздным агрегатам - скоплениям, ассоциациям, кратным звёздам и т.д. Ядра бывают в сотни раз плотней облака в целом. Инфракрасный спектр некоторых ядер указывает, что внутри них уже появилась молодая звезда или протозвезда. Иногда ядра бывают двойными, что говорит о гравитационной фрагментации. Такие ядра - предшественники двойных звёздных скоплений [23].

Коллапс небольшого молекулярного облака (или, точнее, его маленькой части) может привести к формированию либо одиночной звезды, либо двойной или кратной системы, либо звезды с протопланетным диском. Это зависит от массы облака, но ещё больше - от вращательного момента. При малом моменте возникнет одиночная звезда без планет, при среднем - планетная система (много вещества выбрасывается центробежной силой в протопланетный диск), а при большом - звёздная система (происходит фрагментация облака) [23].

Недавно звездообразование открыто и во внегалактическом пространстве [25]: см. описание скопления галактик в созвездии Девы в конспекте о звёздных системах. Но, конечно, это бывает в исключительных случаях. Газа в упомянутом галактическом скоплении много и между галактиками.

Какое-то время полагали, что по мере звездообразования меняются условия в родительском облаке, из-за чего в несколько разное время рождаются звёзды разной массы. Это означает, что разно размерные звёзды в пределах одного очага звездообразования должны иметь чуть-чуть разный возраст.

Проверить это трудно, т.к. родительские газопылевые облака, как правило, скрывают от астрономов первые этапы жизни звёзд. Но, если звездообразование очень интенсивное, взрывообразное, то родительское облако разрушается быстрее, обнажая более ранние стадии звездообразования. К сожалению, областей взрывного звездообразования вблизи нас мало.

Оказалось, что, вопреки теоретическим прогнозам, мало массивные звёзды формируются вместе с массивными в едином эпизоде звездообразования [23]. Вопрос о том, что влияет на массу рождающихся звёзд, остался открытым.

Пока астрономы не нашли эмпирического объяснения факту одновременного рождения звёзд разного размера, могу предложить следующую умозрительную гипотезу. Наверное, в глобулах и ядрах молекулярных облаков, наряду с упорядоченным движением молекул газа вокруг общего центра масс и совсем хаотическим тепловым движением, имеется также вихревое движение газа (турбулентность). Оно порождается самыми разными причинами, но, в основном, гравитационным воздействием соседних объектов (звёзд, облаков), а также их излучением, если это звёзды. Развивается же оно по своим собственным законам, формируя сложную систему вихрей. Когда происходит обособление уплотнений, дающих начало отдельным звёздам, каждое такое уплотнение имеет свои размеры и своё вращение, унаследованные от вихревых газовых струй.

Звездообразование может быть спонтанным и стимулированным (инициированным, индуцированным), хотя граница между ними иногда условна. Волна звездообразования может распространяться по вытянутому молекулярному облаку, пересекать спиральный рукав (у внутреннего края, куда втекает газ и где он уплотняется, звёзды моложе, чем у внешнего края, где эволюция массивных звёзд заканчивается), иметь хаотический характер (в неправильных галактиках), приводить к вспышке звездообразования с возникновением галактического ветра. Взаимодействие массивной звезды с межзвёздной средой происходит через излучение (с формированием зоны Стремгrena, где газ ионизирован и обжимает уплотнения), звёздный ветер и взрыв в конце эволюции. Вокруг группы сверхновых образуется единая расширяющаяся сверх оболочка [23].

Вокруг молодой звезды образуется плотная область молекулярного газа, которая по градиенту плотности быстрее всего расширяется в сторону ближайшего края родительского облака. Там появляется выпуклость, которая стремительно расширяется и выбрасывает в межоблачное пространство поток горячего газа. Это модель шампанского [23]. Считается, что в Нашей Галактике за год формируется около дюжины новых звезд.

§2.2. Исследование ОСЗ в нашей Галактике .

Многие учёные и астрономы занимаются изучением и исследованием областей звездообразования. Большой вклад внесли Ефремов, Амбарцумян, Шевченко, Аведисова и т.д.

В.А. Амбарцумяном были сделаны два важнейших не только для астрофизики, но и для всего естествознания выводы:

1. Звездообразование в Галактике продолжается и в настоящее время.
2. Рождение звезд происходит группами.

Эти выводы не зависят ни от предположений о механизме образования звезд, который в те годы не был установлен с уверенностью, ни от природы источников звездной энергии. Они базируются на сделанном В.А. Амбарцумяном открытии нового вида звездных скоплений, названных им звездными ассоциациями.

До обнаружения звездных ассоциаций астрономам были известны в Галактике звездные группировки двух типов — открытые (или рассеянные) скопления и шаровые скопления. В открытых скоплениях концентрация звезд не очень значительна, но все же они выделяются на фоне звездного поля Галактики. Скопление другого типа — шаровое — отличается высокой степенью концентрации звезд и при недостаточно хорошем разрешении представляется единым телом. Такое скопление состоит из сотен тысяч звезд, создающих достаточно сильное

гравитационное поле, которое удерживает его от быстрого распада. Оно может существовать долгое время — порядка 10 миллиардов лет. В открытом скоплении насчитывается несколько сотен звезд и, хотя оно представляет собой гравитационно связанную систему, эта связь не очень прочная. Скопление может распасться, как показали сделанные В.А. Амбарцумяном расчеты, за несколько сотен миллионов лет.

Звездная ассоциация является пространственной группировкой звезд, принадлежащих к определенному типу (относительно редких). Парциальная плотность таких звезд (концентрация на единицу площади небесной сферы) в ассоциации велика, но она меньше средней плотности всех звезд в данной области небесной сферы. В.А. Амбарцумян обратил внимание на распределение переменных звезд типа Т Тельца, которых в то время насчитывалось всего несколько десятков. Эти звезды, характеризующиеся необычными, крайне нерегулярными изменениями блеска и присутствием эмиссионных линий в спектрах, не свойственным их спектральному классу (G или K), образуют несколько групп, занимающих небольшие участки небесной сферы. Вероятность того, что в такие группы, названные Т-ассоциациями, звезды типа Т Тельца собрались случайно, совершенно ничтожна, и поэтому следует считать, что все они образовались в этих группах.

Звезды — члены ассоциации практически не связаны друг с другом силой тяготения, но испытывают гравитационное воздействие других звезд, находящихся в этой области, в результате которого ассоциация распадается. Составляющие ее звезды рассеиваются среди звезд поля. Вычисление времени, за которое Т-ассоциация должна распасться, привело к заключению о том, что оно не превосходит нескольких миллионов лет. Следовательно, возраст наблюдаемых звезд типа Т Тельца должен быть того же порядка, то есть они очень молоды по сравнению с Солнцем.

Так как светимость звезд типа Т Тельца невелика, то в 40-е годы можно было наблюдать только те из Т-ассоциаций, которые находятся

достаточно близко от Солнца. В.А. Амбарцумян нашел, что за время существования Галактики могло образоваться около миллиона Т-ассоциаций. Точное количество звезд, содержащихся в ассоциации, установить затруднительно, поскольку наряду со звездами типа Т Тельца в ней могут быть звезды и других типов, например так называемые объекты Хербига-Аро, "орионовы переменные" и другие. Однако можно полагать, что в Т-ассоциациях образовались сотни миллионов находящихся в Галактике звезд.

В.А. Амбарцумяном были выделены также группы звезд-гигантов высокой температуры, относящихся к спектральному классу О, которые были названы им О-ассоциациями. По своей численности в Галактике такие звезды сильно уступают звездам типа Солнца и карликам. Они наблюдаются в значительном количестве лишь благодаря своей большой светимости, позволяющей увидеть даже те из них, которые находятся на больших расстояниях от Земли. У них наблюдается тенденция к группированию, хотя не столь отчетливо выраженная, как у звезд типа Т Тельца. Тем не менее, В.А. Амбарцумян показал на основе тех же соображений и расчетов, которые были использованы при изучении Т-ассоциаций, что они являются сравнительно молодыми объектами. Тем самым был подтвержден аналогичный вывод о звездах класса О, полученный по расчетам энергетики термоядерных реакций. Вместе с тем, В.А. Амбарцумяном было впервые установлено, что и гиганты класса О рождаются группами — по-видимому, вместе со звездами меньшей светимости. Последнее обстоятельство подтверждается тем, что в некоторых из О-ассоциаций содержится значительное количество звезд типа Т Тельца.

В.А. Амбарцумяном была отмечена связь Т-ассоциаций с диффузными газовыми туманностями. Этот наблюдательный факт сыграл в дальнейшем существенную роль в развитии теоретических представлений о том, как образуются звезды.

Открытия В.А. Амбарцумяна вначале были встречены некоторыми астрономами с недоверием и вызвали ряд дискуссий. Однако исследования звездных ассоциаций и процесса звездообразования в них, проводившиеся как отечественными, так и зарубежными астрономами, подтвердили правильность основных выводов, к которым пришел В.А. Амбарцумян, и большую ценность их для звездной космогонии.

Ефремов в своё время пришёл к выводам: Что в межзвездной среде выделенного, характерного размера для облаков газа не существует, объекты меньшего размера представляют собой плотные участки более крупных облаков. Иерархия размеров начинается с плотных ядер молекулярных облаков размером в доли парсека и простирается до сверхоблаков, поперечник которых достигает 1 кпс, что соответствует толщине газового диска галактик.

Звездообразование, идущее в газовых облаках разного масштаба, также должно быть иерархическим, приводящим к появлению вложенных друг в друга звездных группировок разного размера. Действительно, 90% группировок наиболее молодых звезд - ОВ-ассоциаций (их размеры в среднем 30-100 пс, возраст около 10 млн. лет) -находятся внутри гигантских звездных комплексов, имеющих возраст 100 млн. лет и размер до 1 кпс, а внутри самих ассоциаций выделяются меньшие области продолжающегося ныне звездообразования [31].

Иерархической структуре молодых звездных группировок, существование которой обнаружено нами около 20 лет назад, полное объяснение дает современная теория звездообразования в турбулентной фрактально структурированной газовой среде. Подтверждается эта теория и найденной недавно зависимостью между расстоянием друг от друга и различием возрастов молодых звездных скоплений в ближайшей к нам галактике - Большом Магеллановом Облаке. С увеличением взаимного расстояния между скоплениями растет различие их возрастов, которое можно рассматривать как длительность звездообразования в области

размером, соответствующим расстоянию между скоплениями. Это отвечает теоретическим ожиданиям для звездообразования в турбулентном газе: в меньших облаках оно должно идти быстрее, чем в больших, ибо совершается во временной шкале, характерной для развития турбулентности в межзвездной среде. Сосредоточенные в звездных комплексах ОВ-ассоциаций также подчиняются этому закону, и более крупные ассоциации имеют больший возраст, звездообразование в них началось раньше. Кажущееся расширение звездных ассоциаций, признаки которого служили обоснованием странной идеи образования звезд при взрывном распаде невидимых сверхплотных тел, нашло естественное объяснение [32].

Таким образом, принадлежность нашей системы Млечного Пути к классу галактик с волновыми спиральными рукавами, управляемыми гравитацией, а не газодинамическими процессами, ныне можно считать доказанной.

Вопрос о том, являются ли волновые спиральные рукава областями стимулированного звездообразования, относится к числу спорных. Не исключено, что активное звездообразование идет в них просто потому, что в рукавах много газа, но в пересчете на единицу массы газа темп звездообразования здесь такой же, как и вне рукавов. Однако существуют звездно-газовые структуры, в которых заведомо происходит стимулированное звездообразование. Мы имеем в виду огромные (диаметр до 1 кпс и более) водородные пузыри -сфероидальные области пониженной плотности нейтрального водорода (HI), иногда окруженные более плотным газом и молодыми звездами. Они известны под названием сверх оболочек, в некоторых галактиках их насчитывают десятками. Круговая форма указывает, что сверх оболочки образовались в результате давления на окружающий газ источников, располагавшихся в их центрах. В областях меньшего размера, называемых просто оболочками, такой источник часто виден - это группа молодых звезд, самые массивные из

которых уже взорвались как сверхновые или же воздействовали на газ своим звездным ветром.

Вопрос о происхождении сверх оболочек остается открытым. В нашей Галактике К. Хейлес обнаружил II гигантских сверх оболочек без видимых звездных группировок внутри. Он заключил, что "хотя они и могли быть образованы взрывами большого количества сверхновых II типа, отсутствие корреляции с распределением крайних объектов населения I (молодых и массивных звезд - прародителей этих сверхновых. - Ю. Е.) явно говорит против этой возможности... Агент, ответственный за их происхождение, может быть неизвестным видом астрономических объектов" [31]. Большинство теоретиков до последнего времени полагало, что для таких заявлений нет оснований. Даже ассоциация, содержащая несколько десятков массивных звезд, спустя 50-80 млн. лет (таков возраст гигантских сверх оболочек, оцениваемый по скорости их расширения) может стать малозаметной.

и размерам сверх оболочки можно судить о параметрах скопления. По возрасту, которое могло бы ее породить, и таким путем проверить "стандартную модель" происхождения сверх оболочек. Как это ни странно, проверка была осуществлена лишь недавно. К. Роуд с коллегами провели тщательные поиски скоплений внутри сверх оболочек нейтрального водорода в неправильной галактике Но II [34]. Только в шести из 44 сверх оболочек они нашли скопления, число звезд в которых и возраст соответствуют предположению, что они содержали в свое время достаточное количество массивных звезд, чтобы породить эти сверх оболочки. Не обнаружены скопления и внутри самых больших сверх оболочек, которые к тому же (как и сверх оболочки в нашей Галактике) находятся на периферии галактики, где вообще нет или очень мало молодых массивных звезд. Однако вблизи многих галактик гигантских газовых облаков нет. Высокоскоростные облака водорода вокруг нашей Галактики оказались очень протяженными (в среднем 25 кпс в

поперечнике) и далекими объектами [35]. Облака, сравнимые по размеру с целой галактикой, не могут создать сверх оболочку размером в сотни парсек.

С развитием радио- и ИК-астрономии стало возможным заглянуть в "колыбель" звезды, т.к. газ и пыль в радио- и ИК-диапазонах прозрачны

Космический телескоп «Хаббл» — автоматическая обсерватория на орбите вокруг Земли, названная в честь Эдвина Хаббла. Телескоп «Хаббл» — совместный проект НАСА и Европейского космического агентства; он входит в число Больших обсерваторий НАСА. Размещение телескопа в космосе даёт возможность регистрировать электромагнитное излучение в диапазонах, в которых земная атмосфера непрозрачна; в первую очередь — в инфракрасном диапазоне. Благодаря отсутствию влияния атмосферы, разрешающая способность телескопа в 7—10 раз больше, чем у аналогичного телескопа, расположенного на Земле.

В последние годы астрономы большое внимание уделяют исследованиям межзвездных плотных и гигантских молекулярных облаков. Большая роль в обнаружении и исследовании этих образований принадлежит методу спектральной радиоастрономии, поскольку в оптической области спектра поглощение волн в облаках может составлять десятки звездных величин, вследствие чего внутренние части этих областей недоступны для наблюдений методами оптической астрономии, а в инфракрасном диапазоне они доступны лишь отчасти.

Исследования показали, что во многих более подробно исследованных случаях плотные облака содержат области активного звездообразования. Они получили название Области современного звездообразования (ОСЗ). В результате главным образом применения спектральных методов радиоастрономии оказалось возможным распространить исследования на наиболее ранние стадии формирования звезд.

Газо-пылевой комплекс туманности Ориона (ассоциация Орион OB1) является наиболее известным и изученным очагом звездообразования. Он расположен между спиральными рукавами Персея и Стрельца. Известная туманность Клейнмена-Лоу (KL) в этой ассоциации находится на расстоянии < 0.2 пк от звезд Трапеции Ориона. Она содержит в себе группу инфракрасных источников. Инфракрасная светимость KL достигает $10^5 L$, а линейный размер меньше 0.05 пк. В окрестностях инфракрасных источников расположены мазеры водяного пара и гидроксила, которые являются хорошими индикаторами звездообразования. Таким образом, нет сомнений, что область KL является областью звездообразования, где именно в настоящее время происходит интенсивный процесс формирования звезд.

Если газо-пылевой комплекс туманности Ориона представляет собой OB-ассоциацию, находящуюся в меж рукавном пространстве, то источник W3 (ассоциация Кассиопея OB6) является представителем очага звездообразования, связанным со спиральным рукавом. Он представляет большой комплекс газа и пыли, расположенный в рукаве Персея.

Представляет интерес подробнее изучить вопрос о взаимоотношениях областей современного звездообразования, характерные линейные размеры которых измеряются долями одного парсека, с OB-ассоциациями, размеры которых измеряются десятками парсек. При этом следует учитывать, что OB-ассоциации неустойчивы и по динамическим причинам должны распадаться (иногда линейная скорость расширения может достигать 10 км/с) за время порядка одного десятка миллионов лет [31].

Помимо советских учёных, ОЗ занимались многие зарубежные авторы:

1. Звёздное формирование в галактиках с большим красным смещением-
P. Santini, A. Fontana, A. Grazian, et al.

2. Star formation in the chandra deep field south: observations confront simulations M. Damen¹, N.M. Forster-Schreiber, M. Franx, I. Labbe et al.
 3. The global schmidt law in star-forming galaxies. Robert c. Kennicutt, jr.
 4. Trigonometric parallaxes of massive star-forming regions. VI. Galactic structure, fundamental parameters, and noncircular motions M. J.Reid, K. M. Menten, X.W. Zheng, et al.
 5. Star formation in the early universe: beyond the TIP of the iceberg N.R.Tanvir, A.J.Levan, A.S. Fruchter, J.P.U. Fynbo, et al.
- и многие другие.

§2.3. Каталоги ОСЗ, наблюдаемые в нашей Галактике.

В базе данных CDS в Страсбурге , SIMBAD , Vizer находятся основные каталоги по ОСЗ .

Самый крупный и наиболее полный каталог по ОСЗ в нашей Галактике является каталог Аведисовой .Этот каталог областей звездообразования в Галактике содержит координаты и потоки молодых объектов в радио-и инфракрасном, а также данные о лучевых скоростей рекомбинации и молекулярные линии, для более трех тысяч областях звездообразования. В дополнение к фотометрическим и кинематическим данным, мы представляем информацию о диффузных и отражающих туманностей, темные и молекулярные облака и другие объекты, связанные с молодыми звездами. Каталог состоит из двух частей. Основными каталожных листов областях звездообразования в порядке галактической долготы и дополняется аналогичной информации для областей звездообразования в комплексах ,темные облака с большими угловыми размерами, которые ближе всего к Солнцу. В нашем предварительном исследовании каталога данных с использованием формальной классификации областях звездообразования, мы разделили эти объекты на несколько классов и охарактеризовал их как населенных преимущественно

массивные или звезд малой массы на ранней или поздней стадии формирования звезды процесса.

Полуширина на широте распределения внутри галактического диска для $3000 < L < 600$ соответствую по 0,30.

L-V диаграмме строится для ОЗ внутри Галактике $-70^{\circ} < L < 70^{\circ}$. Кинематическая плотность волны показывает две спиральные модели с наклоном угла 9° и длиной амплитуды со скоростью возмущения в регионе Лимбланда внутри резонанса ($R = 2-4$ кпк) имея возможность удовлетворительно рассказывать основные свойства в этой диаграмме в галактическом радиусе $R 7-7,7$ кпк. Для $R > 7.5$ кпк двойное расширение возможно в спиральных(рис 4).

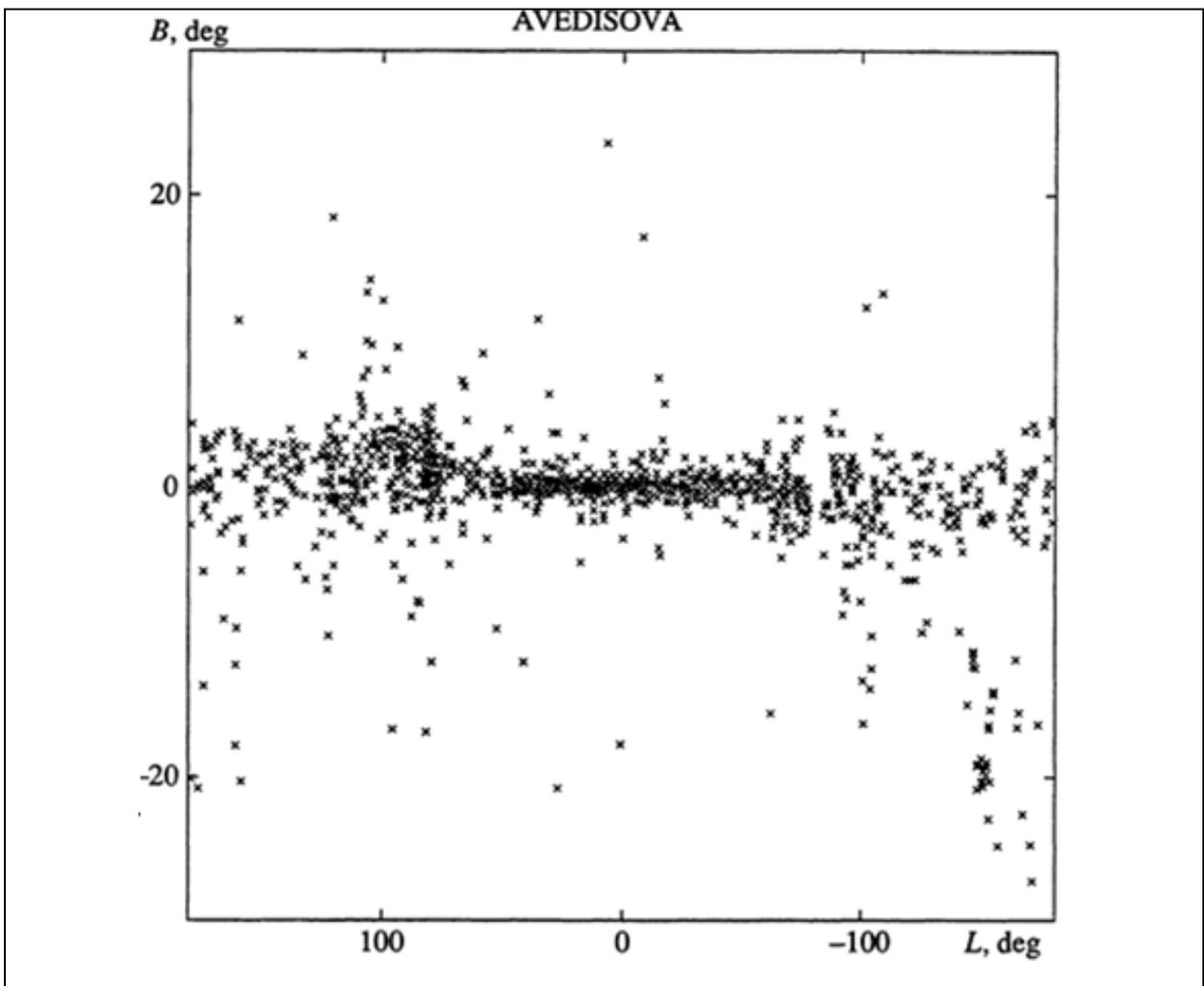


Рис 4. Распределение ОЗ у Аведисовой в Галактической плоскости.

Каталог Аведисовой включает основные кинематические и фотометрические наблюдения характеризующие ОЗ наблюдаются по всей Галактике, а именно , в радио и ИК диапазоне.

Областями звёздообразования в своё время занимался Шевченко , он составил список из 49 ОЗ [36],(рис.5).

номер	центр	размер	тип	радиосточник	тёмное облако	о-ассоциация	Т-ассоциация	IRS	MRS	области HII	скопление	г,кпк
1 Cas	0h.39m-61°0	0.7	IV	?	1290	Cas IV (8)	NGC 225 (5/5)			IC 1795, 1805	Mel 115 NGC 1027 Markar 6	1,2 ?
2 Cas	2.21+61.50	1	III	W3	1359-62, 1365-69	Cas OB6(27)	?	есть	OH, H2S, H2O			0.9
3 Cas	2.50+60.30	1.5	IV	W5	1375-6	Cas XII	IC 1848(?)			IC 1848	IC 1848	1.0
1 Per A	3.35+31.30	2.5x3	II+III		1472, 1468, 1470	Per OB(10)	T2 Per (16/16) NGC 333 (3/3)	есть	H2O	IC 348 , 1+3 слабые туманности	IC 348 , NGC 1333 Gingrich	0,38
1 Per B	3.62+36.0	3	II-III		1473 ?					NGC 1499		
2 Per	4.23+35.10	0.5	II		1482		T3 Per (1/3) T1 Tau (15/15) T2 Tau (12/12) T3 Tau (49/49) T1 Aur (12/15)	лк На 101 и др.		NGC 1579+2 спутника		0.8
1 Tau	4.34+26.0	12	II		H-271 , 273 , 278 282-3 , 285-6, 291	нет		2 , есть	OH , HCO	IC 2087 IC 359 + 20 компактных слабых тум-й Sh 288		0.17
1 Aur A	5.10+37.24	0.1	II		H-288		T2 Aur (0/15)			IC 405 , NGC 1931	IC 410?	
1 Aur B	5.12+34.10		1 III	W8	H-281	Aur OB1 (8)				Sh 235 , M 1-82		
2 Aur	5.37+36.39				1525?	Aur OB 1 (7)						
1 Ori A	5.32-5.30	2x5	II	W10	1640-1	О-В-звёзды M 42(10)	T2 Ori (266/450)	ОМС -1 ОМС -1	OH , H2O H2S	M 42 , NGC 1977+6 тум-й IC 424, 426, 428	NGC 1976-7 , 1980-81	0.4
1 Ori B	5.32-1.30	5	II+III	12	1630	Ori OB(52)	T3 Ori(98/102) T8 Ori (45/5)	ОМС - NGC2024 есть	OH OH	IC 434 , NGC 2024	NGC 2024 M 78 Cr 70	0.8
1 Ori C	5.32+10.0	5	IV		E, F, G	ОВЗ звёзды Cr 69 и окрестностей (20)	T1 Ori (48/49) T4 Ori (27/28) T7 Ori (15/15)	?	?	S 153	Cr 69	0.4

Рисунок 5. Фрагмент списка ОЗ у Шевченко.

	Glon	Glat	RAJ2000	DEJ2000	Jmag	e	Hmag	e	ksmag	e	3/6mag	e	4/5 mag	e	5/8mag
1	174.1595	-0.0907	05 30 36.61	+33 49 18.9							14.945	0.013	14.597	0.015	14.330
2	174.1877	-0.1085	05 30 36.79	+33 47 18.7							14.672	0.014	14.345	0.011	13.975
3	174.1660	-0.0893	05 30 37.98	+33 49 02.2							11.907	0.006	11.530	0.005	11.264
4	174.2082	-0.1080	05 30 40.18	+33 46 18.2							15.257	0.016	14.343	0.011	13.485
5	174.1807	-0.0817	05 30 42.14	+33 48 32.8							15.162	0.035	14.426	0.036	13.428
6	174.1853	-0.0838	05 30 42.36	+33 48 15.1	12.523	0.023	11.502	0.022	10.905	0.019	9.896	0.002	9.407	0.002	8.877
7	174.1755	-0.0761	05 30 42.67	+33 48 59.7							14.783	0.012	14.573	0.015	14.510
8	174.2184	-0.1013	05 30 43.39	+33 46 00.8							13.813	0.014	13.143	0.014	12.439
9	174.1880	-0.0736	05 30 45.26	+33 48 26.9							14.450	0.031	13.467	0.021	12.687
10	174.1971	-0.0763	05 30 46.06	+33 47 54.2	12.467	0.026	11.303	0.026	10.350	0.022	8.462	0.014	7.806	0.010	5.900
11	174.2054	-0.0809	05 30 46.26	+33 47 20.2							13.489	0.014	12.706	0.011	12.089
12	174.2043	-0.0769	05 30 47.05	+33 47 31.5	14.889	0.039	13.744	0.037	13.163	0.032	11.996	0.011	11.568	0.010	11.113
13	174.1876	-0.0660	05 30 47.04	+33 48 43.3							14.041	0.019	13.631	0.016	13.510
14	174.2342	-0.0964	05 30 47.10	+33 45 23.1							15.551	0.032	15.094	0.027	14.676
15	174.1571	-0.0456	05 30 47.11	+33 50 55.4	12.920	0.023	12.725	0.024	12.615	0.023	12.610	0.004	12.201	0.005	12.821
16	174.2025	-0.0737	05 30 47.53	+33 47 43.3			14.903	0.084	13.580	0.055	11.908	0.020	10.881	0.025	10.359
17	174.2053	-0.0747	05 30 47.74	+33 47 32.9			14.544	0.067	13.481	0.042	12.402	0.024	11.900	0.021	11.405
18	174.1961	-0.0684	05 30 47.78	+33 48 13.0							11.712	0.010	10.483	0.008	9.731
19	174.2006	-0.0706	05 30 47.98	+33 47 54.9					13.923	0.079	11.716	0.041	10.504	0.056	9.772
20	174.1946	-0.0664	05 30 48.04	+33 48 21.4					14.354	0.084	12.906	0.033	12.009	0.037	11.112
21	174.2111	-0.0775	05 30 47.98	+33 47 10.0	15.174	0.045	14.210	0.044	13.702	0.039	13.059	0.005	12.827	0.005	12.496
22	174.2060	-0.0728	05 30 48.31	+33 47 34.6							14.149	0.040	13.612	0.050	12.972
23	174.1991	-0.0681	05 30 48.33	+33 48 04.6							13.683	0.111	12.278	0.071	11.535
24	174.2087	-0.0741	05 30 48.41	+33 47 23.8							14.799	0.045	14.283	0.044	13.709
25	174.1682	-0.0457	05 30 48.85	+33 50 21.7					14.769	0.100	13.923	0.009	13.229	0.006	12.869
26	174.2049	-0.0689	05 30 49.08	+33 47 45.7							12.087	0.008	10.958	0.010	10.315
27	174.1974	-0.0635	05 30 49.19	+33 48 18.8							13.976	0.026	13.054	0.027	12.327
28	174.2068	-0.0696	05 30 49.21	+33 47 38.5			15.284	0.090			14.097	0.036	13.716	0.052	13.283
29	174.2248	-0.0795	05 30 49.69	+33 46 24.7							14.108	0.014	13.335	0.010	12.595
30	174.2082	-0.0682	05 30 49.78	+33 47 36.9							14.808	0.030	14.606	0.042	14.454

Рисунок 6. Каталог по наблюдениям телескопа Спитцер .(QUI)

Космический телескоп им. Лаймана Спитцера (далее — просто «Спитцер») — одна из Великих обсерваторий НАСА. Этот инфракрасный (ИК) инструмент с зеркалом диаметром 85 сантиметров работает на орбите с 2003 года. «Спитцер» способен проводить наблюдения космических объектов в широком диапазоне длин волн — от 3 до 160 микрон (1 микрон — одна миллионная часть метра); для сравнения: человеческий глаз может воспринимать свет с длиной волны меньше 0,8 микрон. А поскольку инфракрасный свет не может пробиться сквозь толщу земной атмосферы, его могут принимать только специальные камеры, помещенные за ее пределами, в открытом космосе, — то есть на космическом телескопе.

ИК-диапазон очень информативен. В нем можно увидеть облака межзвездного газа и пыли, в которых рождаются новые звезды, определить массы этих облаков, плотность и температуру газа в них. Без этой информации невозможно понять где, как и с какой скоростью образуются звезды. Сложные молекулы, в том числе органические, излучают в ИК-диапазоне. Проводя наблюдения в этом диапазоне, астрономы пытаются найти всё более и более сложные молекулы, в частности простейшие аминокислоты. Конечная цель этих поисков — разгадать загадку появления жизни на Земле. Кроме того, межзвездная пыль, поглощающая ультрафиолетовый свет звезд, частично прозрачна для ИК-излучения, исходящего от них. Благодаря этому астрономы могут увидеть очень далекие объекты и изучать не только появление жизни и рождение звезд, но и рождение самой Вселенной.

Изображение, полученное «Спитцером», превосходит по качеству все когда-либо полученные инфракрасные изображения, поскольку чувствительность инструментов «Глимпис» и «Мипсгал» (то есть способность детектировать даже слабое излучение) беспрецедентно высока, угловой размер этого изображения не имеет аналогов в своем классе

Данные «Спитцера» — это не только потрясающе интересное изображение. Все снимки будут использованы для поиска ответов на фундаментальные научные вопросы: как образуются массивные звезды (звезды малой массы здесь просто не видны), сколько спиральных рукавов имеет Млечный Путь, с какой скоростью в нем идет процесс звездообразования и многие другие. А поскольку в настоящее время ни у НАСА, ни у кого бы то ни было еще нет планов по созданию космического ИК-телескопа.

Существует еще много различных каталогов по ОЗ в галактиках:

1. Каталог Спитцер (Цю +, 2008 г.) содержит 417 ОСЗ большой массы .
2. uvby-бета фотометрии в областях звездообразования (Terraneira + 1994)
3. Вымирание в областях звездообразования (МакКлюр, 2009)
(В) Спектральная информация типа для всего образца (34 строк)
4. К-диапазон образов областях звездообразования (Longmore +, 2009)
5. Оптические спектры в областях звездообразования (Pan +, 2004)
6. Массивные областей звездообразования в 1,2 мм (+ Beuther, 2002)
7. MSX 8.3um потоков областях звездообразования (Кремер +, 2003)
8. Поляризации вокруг областях звездообразования (Таргон +, 2011)
9. Промежуточной массы областях звездообразования (Arvidsson +, 2010 г.)
10. Спектры трех близлежащих областях звездообразования (Фурлан +, 2009)
11. Звездообразования комплексов в Галактике (Russeil +, 2003)
12. Подробный состав и лучевые скорости звездообразования комплексов
13. IRAS Галактической областях звездообразования. II. (Codella + 1995)

14. Массивные областях звездообразования радиолиний (Sanchez-
Монжа +, 2013)
15. BGPS. VII. Массивные областях звездообразования (+ Данхэм,
2011)
16. Звездообразования в галактиках (Firmani + 1994)

Глава III. Сводный каталог ОСЗ.

§3.1. Постановка задачи

В местах наиболее интенсивного звездообразования могут возникать физически связанные друг с другом сгущения дозвездной материи, из которых в процессе эволюции диска Галактики формируются звёзды, особенно их много в галактической плоскости и в спиральных рукавах. Вот почему образование звёзд может продолжаться и в наши дни. О наличии в Галактике некоторых областей звездообразования отмечено в предыдущем параграфе. Однако до сих пор полностью не изучены все области звездообразования в нашей Галактике.

Проблем изучения областей звездообразования достаточно много. Одна из них – отсутствие до сих пор полного каталога ОСЗ. Существует каталоги [36,39-42] и множество других, в которых указываются некоторые области звездообразования ; часть из них были перечислены во втором параграфе. Но в этих каталогах отмечено лишь небольшое количество ОСЗ. Отсюда видно, что до сих пор исследователи ОСЗ мало внимания уделяли для создания сводного общего каталога ОСЗ в нашей Галактике. В данной работе выполнен статистический анализ по каталогам [36,39-42], и на основе имеющихся данных был создан сводный каталог ОСЗ в нашей Галактике.

Результаты исследования ОСЗ весьма необходимы при создании теории эволюции и строения Галактики. Как видно из сказанного, проблема поиска ОСЗ в нашей Галактике довольно сложна и требует индивидуального подхода в решении этой задачи. Вот почему исследование ОСЗ является и по сей день актуальной и требует соответствующего внимания и разработки ее основ.

Исходя из этого передо мной была поставлена цель комплексного исследования областей звездообразования в нашей Галактике. Для достижения этой цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Создание сводного каталога по областям современного звёздообразования в нашей Галактике.
2. Произвести статистический анализ физических параметров сводного каталога.
3. Провести статистический анализ по количеству распределения различных индикаторов ОСЗ.
4. Построить распределение ОСЗ по галактическим координатам.

§3.2. Создание сводного каталога ОСЗ в нашей Галактике.

Процесс звездообразования протекает в плотных конденсациях или ядрах, образующихся внутри облаков в результате спонтанных флуктуаций плотности или же триггерного механизма. Физико-химическое состояние этих ядер определяет начальные условия звездообразования [37].

Развитие техники инфракрасной астрономии и радиоастрономии, использование космических аппаратов позволили значительно расширить число обнаруженных локальных областей звездообразования и гораздо глубже вникнуть в детали процессов, протекающих на этих ранних стадиях. И для эффективного изучения как процессов звездообразования в Галактике в частности, так и для решения проблем физики и эволюции Галактики в целом необходима наиболее полная перепись и систематизация известных на настоящий момент областей звездообразования (ОЗ) [38].

В работе были использованы результаты оригинальных астрономических наблюдений, собранных в базе CDS в Страсбурге, с использованием интерфейсов - SIMBAD и Vizer. Были использованы также научные статьи с библиографической базы данных --NASA|ADS . В результате поисков по базам данных были получены результаты наблюдений ОСЗ, включая последние опубликованные результаты.

За базовую совокупность данных был взят каталог [39], состоящий из 3335 крупных ОСЗ, включающих в себя 66867 отдельных источников –

индикаторов звездообразования и протозвёзд. Этот каталог ОСЗ в Галактике содержит координаты и потоки молодых объектов в радио- и инфракрасном диапазоне, а также данные о лучевых скоростях, рекомбинации и молекулярных линиях, для более чем трех тысяч ОСЗ. В дополнение к фотометрическим и кинематическим данным, также содержится информация о диффузных и отражающих туманностях, темных и молекулярных облаках и других объектах, которые связаны с молодыми звездами. Основной каталог находится в электронном формате на ресурсе <http://www.strasbg.-u.fr/pub/cats>.

Данные в электронных каталогах были транслированы из оригинального формата HTML и ASCII в среду MS EXCEL . В результате последовательного микширования каталогов базовый был дополнен и к каталогу [39] были добавлены каталоги [40-42].

В результате последовательного микширования каталогов базовый был дополнен 1052 объектами : 417 объектами из [40] , 481 из [41] , 154 из [42]. Таким образом общее число ЛОЗ в этих данных оказалось 67919.

По итогам микширования общего сводного каталога , были получены следующие статистические данные : Из каталога [39] 1379 объектов совпадают по своим координатам с 417 из каталога [40] , 154 из [42] , 481 из [41]

Таким образом, в результате полученных данных по другим ОСЗ, был создан сводный общий каталог(рис.7).

В каталоге [39] из более 3000 тысяч ОЗ 836 совпали по координатным данным с ОЗ из каталогов [40-42]. Остальные 2164 ОЗ у других авторов не наблюдались .

Full	_Glon	_Glat	_RAJ2000	_DEJ2000	nSFR	GLON	GLAT	Name	Comp	Band	Ref	RA.icrs	_DE.icrs
33606	118.1250	+5.0097	00 01 13.74	+67 24 42.0	118.41+4.68	118.110	анр.00		A(West)	02 июл		74022 00 01 13.736	+67 24
163	117,6	+2,3	00 01 20.10	64 39 06									
33609	118.1273	+4.9039	00 01 27.90	+67 18 30.0	118.41+4.68	118.110	анр.00	CO		115.27		74070 00 01 27.898	+67 18
33730	118.4128	+5.1073	00 03 58.65	+67 33 41.9	118.41+4.68	118.601	6.1060	00013+671		12		86012 00 03 58.651	+67 33
164	118,4	+4,7	00 04 37.10	67 09 32									
33711	118.6667	+6.1331	00 04 37.93	+68 36 58.8	118.41+4.68	118.600	6.1000	CO	doud 114	110.21		97008 00 04 37.934	+68 36
33497	117.7745	-3.6428	00 11 30.85	+58 49 43.0	117.54-3.57	117.775	-3.6430			14.965		83061 00 11 30.850	+58 49
167	121,8	+21,0	00 12 12.10	83 47 07									
56	173.4677	+2.4426	05 39 09.99	+35 46 27.1									
2	173,4746	2,4418	05 39 10,85	+35 46 04,7									
57	173.4960	+2.4255	05 39 10.15	+35 44 28.2									
40154	173.4844	+2.4337	05 39 10.39	+35 45 19.2	173.37+2.55	173.484	фев.40			2700		89075 05 39 10.388	+35 45
40186	173.4844	+2.4337	05 39 10.39	+35 45 19.2	173.37+2.55	173.484	фев.40	CO		220.4		89075 05 39 10.388	+35 45
58	173.4882	+2.4315	05 39 10.41	+35 45 03.5									
4	173,486	2,4357	05 39 11,12	+35 45 18,2									
40178	173.4787	+2.4402	05 39 11.10	+35 45 49.2	173.37+2.55	173.484	фев.40	NH3	outflow	23.694		97003 05 39 11.103	+35 45
40205	173.4789	+2.4406	05 39 11.23	+35 45 49.2	173.37+2.55	173.482	фев.60	CS		97.98096		1003 05 39 11.233	+35 45
59	173.4852	+2.4368	05 39 11.27	+35 45 22.6									
60	173.5113	+2.4213	05 39 11.50	+35 43 33.7									
61	173.4889	+2.4357	05 39 11.58	+35 45 09.2									
62	173.4717	+2.4465	05 39 11.58	+35 46 22.2									
40109	173.2897	+2.5611	05 39 11.70	+35 59 16.2	173.37+2.55	173.290	фев.10	05358+355		100		86012 05 39 11.699	+35 59
212	173,4	-0,2	05 28 08,60	34 23 41									
40047	172.5855	+0.3437	05 28 08.63	+35 22 26.1	172.97-1.31	172.590	0.3400	NGC 1907		0.6563		70008 05 28 08.630	+35 22
39903	171.0440	+1.8998	05 30 21.62	+37 31 05.6	171.04+1.90	171.044	январ.00	CO		115.27		89083 05 30 21.623	+37 31
1	174.1595	-0.0907	05 30 36.61	+33 49 18.9									
2	174.1877	-0.1085	05 30 36.79	+33 47 18.7									
3	174.1660	-0.0893	05 30 37.98	+33 49 02.2									
4	174.2082	-0.1080	05 30 40.18	+33 46 18.2									
5	174.1807	-0.0817	05 30 42.14	+33 48 32.8									
6	174.1853	-0.0838	05 30 42.36	+33 48 15.1									
7	174.1755	-0.0761	05 30 42.67	+33 48 59.7									
40741	174.2667	-0.1336	05 30 43.27	+33 42 31.8	174.19-0.08	174.270	-0.1300	CO	doud_27	110.20		98024 05 30 43.274	+33 42
8	174.2184	-0.1013	05 30 43.39	+33 46 00.8									
40739	174.1891	-0.0807	05 30 43.73	+33 48 09.8	174.19-0.08			RAFGL 514		27.анр		83057 05 30 43.731	+33 48
40740	174.1891	-0.0807	05 30 43.73	+33 48 09.8	174.19-0.08			RAFGL 514		19.анр		83057 05 30 43.731	+33 48
9	174.1880	-0.0736	05 30 45.26	+33 48 26.9									
40757	174.1965	-0.0781	05 30 45.52	+33 47 52.6	174.19-0.08	174.197	-0.0780	HH190		0.6563		98066 05 30 45.524	+33 47
7356	016.9958	+0.9074	18 18 28.06	-13 42 57.5	16.80+0.75	17.000	0.9200			5.0		68009 18 18 28.059	-13 42
35	16,8	+0,8	18 18 28,50	-13 56 21									
7368	017.0055	+0.9099	18 18 28.65	-13 42 22.4	16.80+0.75	17.005	0.9100	18156-134		100		86012 18 18 28.647	-13 42
7941	018.5649	+1.6577	18 18 47.93	-11 58 44.0	18.68+1.97	18.890	январ.00	RCW 167		0.6562		70008 18 18 47.932	-11 58
19	15,182	-0,1588	18 18 48,13	-15 49 05,7									
8071	018.8319	+1.8002	18 18 48.06	-11 40 34.9	18.68+1.97	18.870	январ.00			1.408		90070 18 18 48.064	-11 40
7331	016.9473	+0.7383	18 18 59.21	-13 50 19.2	16.80+0.75	16.940	0.7500			5.0		68009 18 18 59.208	-13 50
106	010.8422	-2.5360	18 18 59.59	-20 45 53.8									
6284	014.4667	-0.5955	18 18 59.73	-16 39 18.3	14.46-0.65	13.860	-0.4200	OH-A		1.667		79071 18 18 59.727	-16 39
107	010.8464	-2.5403	18 19 01.08	-20 45 47.7									
6430	014.6771	-0.4912	18 19 01.63	-16 25 13.2	14.67-0.47					4.875		78000 18 19 01.630	-16 25
6432	014.6771	-0.4912	18 19 01.63	-16 25 13.2	14.67-0.47					10		89050 18 19 01.630	-16 25
108	010.8262	-2.5552	18 19 02.02	-20 47 17.2									
7264	016.9765	+0.7403	18 19 02.17	-13 48 43.0	16.80+0.75	16.810	0.7000			0.960		60002 18 19 02.175	-13 48
6305	014.4467	-0.6186	18 19 02.46	-16 41 01.1	14.46-0.65	14.447	-0.6190	18161-164		12		86012 18 19 02.463	-16 41
109	010.8323	-2.5569	18 19 03.13	-20 47 00.9									
7327	016.9553	+0.7224	18 19 03.61	-13 50 20.9	16.80+0.75	16.940	0.7500			4.875		78000 18 19 03.608	-13 50
110	010.8616	-2.5443	18 19 03.81	-20 45 06.3									
6433	014.6818	-0.5005	18 19 04.23	-16 25 14.0	14.67-0.47	14.682	-0.5000	18161-162		100		86012 18 19 04.230	-16 25
8079	018.9032	+1.7626	18 19 04.41	-11 37 52.7	18.68+1.97	18.903	январ.30	18162-113		12		86012 18 19 04.409	-11 37
111	010.8579	-2.5493	18 19 04.51	-20 45 26.8									
4005	010.8255	-2.5692	18 19 05.10	-20 47 43.1	10.86-2.60	10.821	-2.5770	GM 75		0.6563		77071 18 19 05.099	-20 47
6466	014.8932	-0.3920	18 19 05.33	-16 10 58.9	14.89-0.41	14.893	-0.3920	CO		115.27		82029 18 19 05.330	-16 10

Рисунок 7.Сводный каталог по ОСЗ.

Таблица 1.

каталог	Avedisova	Qiu	Russeil	Beuther
Кол-во сов-х	1379	417	481	154
ЛОЗ	836	9	351	70
Кол-во ОЗ				

В итоге был получен сводный (общий) каталог совпадающих локальных ОЗ, который включает в себя более 2431 крупных ОСЗ (фрагмент каталога в таблице 1).

Full	_Glon	_Glat	_RAJ2000	_DEJ2000	nSFR	GLON	GLAT	Name	Comp	Band	Ref	_RA.icrs	_DE.icrs	
33606	118.1250	+5.0097	00 01 13.74	+67 24 42.0	118.41+4.68	118.110						74022	00 01 13.736	+67 24 41.959
163	117,6	+2,3	00 01 20.10	64 39 06										
164	118,4	+4,7	00 04 37.10	67 09 32										
33711	118.6667	+6.1331	00 04 37.93	+68 36 58.8	118.41+4.68	118.600	6.1000	CO	doud_114	110.21	97008	00 04 37.934	+68 36 58.849	
167	121,8	+21,0	00 12 12.10	83 47 07										
33689	118.9143	+2.9839	00 12 30.38	+65 33 05.5	118.41+4.68	118.914	фев.40	HB326=M; H15(TT)	0.6563		88049	00 12 30.380	+65 33 05.473	
33732	119.5789	+3.6401	00 18 02.76	+66 17 39.3	118.41+4.68	119.580	мар.00	C	анр.17		69009	00 18 02.756	+66 17 39.308	
165	119	-1,1	00 18 22.40	61 31 09										
33833	119.3839	+1.2767	00 19 04.24	+63 55 31.0	119.38+1.28			CB 2	globula	0.6463	88011	00 19 04.238	+63 55 30.977	
33932	120.4684	+2.7502	00 27 39.61	+65 30 29.4	120.14+3.06	120.468	фев.00	CO		115.27	89083	00 27 39.615	+65 30 29.938	
166	120,4	+2,0	00 27 40.30	64 45 17										
34523	122.6049	+1.6419	00 48 23.96	+64 30 42.1	122.60+1.64	122.605	янв.20		B,<S>	14.9649	96009	00 48 23.958	+64 30 42.065	
168	122,6	+0,1	00 48 31.00	62 58 12										
34492	122.5955	-0.7971	00 48 33.92	+62 04 21.9	122.44-0.78	122.596	-0.7970	00455+614	C	100	86012	00 48 33.920	+62 04 21.904	
169	122,7	+2,1	00 49 14.80	64 58 15										
34535	122.7032	+2.3349	00 49 15.48	+65 12 20.3	122.70+2.33			S 181		0.6563	82004	00 49 15.480	+65 12 20.304	
34696	123.0930	-6.3000	00 52 36.04	+56 34 17.1	123.13-6.27	123.093	-6.3000		A	4.995	78023	00 52 36.042	+56 34 17.146	
170	123,1	-6,3	00 52 39.10	56 34 17										
34794	123.1095	-6.3574	00 52 43.04	+56 30 50.0	123.13-6.27	123.109	-6.3570			04.авг	91051	00 52 43.043	+56 30 50.033	
35061	123.9664	-1.8686	00 59 57.97	+60 59 09.6	123.97-1.87			S 185		0.6563	70008	00 59 57.974	+60 59 09.573	
171	124	-1,9	01 00 14.10	60 57 13										
35049	123.9665	-1.7504	01 00 14.86	+61 06 11.3	123.89-1.77	123.997	-1.7500	00571+605		100	86012	01 00 14.862	+61 06 11.264	
35250	124.8965	+0.3219	01 08 50.17	+63 07 38.1	124.89+0.33	124.896	0.3220			4.995	78023	01 08 50.170	+63 07 38.142	
172	124,9	+0,3	01 08 51.20	63 06 19										
173	132,1	-0,7	02 07 41.90	60 48 25										
35882	132.2003	-0.9999	02 07 46.12	+60 29 27.4	132.18-0.72	132.200	-1.0000	CO	doud_3	115.27	96046	02 07 46.121	+60 29 27.356	
37008	134.4530	+0.1319	02 28 10.42	+60 49 16.6	134.45+0.13	134.453	0.1320	CO	L_1365	115.27	89083	02 28 10.417	+60 49 16.634	
175	134	+1,3	02 28 12.60	62 04 27										
37041	134.2049	+0.7850	02 28 14.01	+61 31 11.5	134.76+0.96	134.205	0.7850	02244+611		100	86012	02 28 14.009	+61 31 11.522	
37118	135.2994	+1.0996	02 37 42.41	+61 23 35.2	134.76+0.96	135.300	1.1000	CO	doud_25	115.27	96046	02 37 42.407	+61 23 35.237	
177	134,3	+3,6	02 38 26.50	64 05 03										
37303	136.2611	-0.4405	02 39 50.04	+59 35 47.3	136.26-0.42	136.261	-0.4400	02360+592		100	86012	02 39 50.042	+59 35 47.257	
37278	136.0895	+2.1196	02 47 20.36	+61 59 37.2	136.09+2.10	136.090	2.1200	CO		115.27	82004	02 47 20.359	+61 59 37.225	
178	136,1	+2,1	02 47 20.90	61 58 17										
37280	136.1203	+2.0589	02 47 21.13	+61 55 32.2	136.09+2.10	136.130	2.0400			0.6563	90032	02 47 21.130	+61 55 32.183	
37830	137.7767	-0.9557	02 48 50.31	+58 29 27.6	137.78-0.96	137.777	-0.9560	02450+581		12	86012	02 48 50.307	+58 29 27.638	
180	137,8	-1	02 48 51.10	58 26 28										
37822	137.7850	-0.9594	02 48 53.00	+58 29 02.5	137.78-0.96					0.6563	93020	02 48 53.004	+58 29 02.507	
37358	136.3839	+2.2653	02 50 08.11	+61 59 47.1	136.45+2.53	136.384	фев.50	CS		97.981	96005	02 50 08.108	+61 59 47.123	
179	137,4	+0,2	02 50 08.90	59 41 41										
37345	136.3845	+2.2689	02 50 09.23	+61 59 58.1	136.45+2.53	136.385	фев.90	H2O-E		22.235	93090	02 50 09.226	+61 59 58.069	
37573	137.2148	+1.4910	02 53 27.79	+60 55 58.2	137.57+1.08	137.215	янв.10	02495+604		12	86012	02 53 27.786	+60 55 58.246	
183	138,5	-3	02 53 31.30	55 53 39										
37382	136.5388	+2.8946	02 53 44.45	+62 29 24.6	136.45+2.53	136.539	фев.50	02497+621		100	86012	02 53 44.449	+62 29 24.554	
35883	133.4906	+8.9862	02 54 35.71	+69 17 35.8	133.44+9.07	133.491	авг.60	CO		115.27	89083	02 54 35.712	+69 17 35.814	
174	133,5	+9,0	02 54 45.60	69 18 05										
37517	137.6013	+1.0931	02 54 47.95	+60 24 10.2	137.57+1.08					0.6563	90032	02 54 47.949	+60 24 10.230	
176	134	+10,0	03 05 14.70	69 56 31										
37817	137.6907	+3.8779	03 06 37.13	+62 48 34.2	137.69+3.88			S 200		0.6563	82004	03 06 37.126	+62 48 34.231	
37990	140.1008	+1.8290	03 15 11.00	+59 49 11.5	140.59+1.91	140.101	янв.90	CO		115.27	89083	03 15 10.997	+59 49 11.546	
184	140	+2,0	03 15 12.70	60 01 06										
38013	139.9902	+2.0900	03 15 31.28	+60 06 00.5	140.59+1.91	139.990	2.0900	CO		115.27	82004	03 15 31.276	+60 06 00.470	
37970	139.9004	+2.6002	03 17 04.50	+60 34 52.4	139.96+2.59	139.900	фев.00	CO	doud_49	115.27	96046	03 17 04.504	+60 34 52.436	
186	142,5	-1,5	03 17 21.50	55 43 37										
37991	140.1562	+2.2669	03 17 24.13	+60 09 47.3	140.59+1.91	140.156	фев.70	G.CN 4		0.6563	82062	03 17 24.126	+60 09 47.324	
38252	143.3185	-2.0305	03 20 13.72	+54 50 29.6	143.51-1.86	143.320	-2.0400			анр.76	86072	03 20 13.724	+54 50 29.556	
182	138,5	+5,5	03 20 14.70	63 46 43										
38073	141.1396	+1.5036	03 20 44.30	+58 59 33.2	141.14+1.50	141.140	янв.40	03167+584		100	86012	03 20 44.303	+58 59 33.193	
38250	143.5826	-1.7770	03 22 43.58	+54 54 41.2	143.51-1.86	143.660	-1.8300			1.415	71000	03 22 43.577	+54 54 41.227	
187	143,6	-1,8	03 22 44.40	54 52 58										
38261	143.6711	-1.8753	03 22 52.06	+54 46 50.7	143.51-1.86	143.670	-1.8800			2.695	90098	03 22 52.064	+54 46 50.743	
185	142	+1,0	03 24 09.80	58 06 05										
38268	143.8164	-1.5739	03 24 51.75	+54 57 10.0	143.51-1.86	143.816	-1.5740			анр.89	93025	03 24 51.753	+54 57 10.041	
38095	141.6795	+3.2349	03 31 53.57	+60 07 47.5	141.68+3.23	141.680	мар.50	CO		115.27	89083	03 31 53.565	+60 07 47.465	
181	138	+8,5	03 32 21.60	66 32 29										
38350	144.6688	-0.7139	03 33 10.13	+55 10 51.6	144.67-0.71	144.669	-0.7140	03293+550		100	86012	03 33 10.130	+55 10 51.591	
39552	158.8522	-12.4430	03 55 36.97	+37 16 09.7	160.00-12.31	160.330	-12.6100	CS	B	147	78020	03 55 36.974	+37 16 09.654	
190	149,5	-1,5	03 55 38.60	51 36 35										
38387	145.7790	+2.9752	03 55 44.60	+57 25 44.5	145.78+2.98			S 204		0.6563	82004	03 55 44.596	+57 25 44.537	
38393	145.7844	+3.0171	03 55 58.45	+57 27 27.7	145.78+2.98	145.784	3.0170	03519+571		12	86012	03 55 58.449	+57 27 27.681	
188	145,8	+3,0	03 55 58.80	57 26 04										
38555	148.4987	-0.1991	03 56 04.76	+53 14 59.9	148.54-0.24	148.700	-0.1200			янв.42	80042	03 56 04.758	+53 14 59.899	
189	148,5	-0,2	03 56 04.90	53 14 54										
38543	148.5395	-0.2364	03 56 07.72	+53 11 42.7	148.54-0.24			S 205		0.6563	70008	03 56 07.716	+53 11 42.711	
39550	159.6453	-12.5969	03 58 01.27	+36 38 34.6	160.00-12.31	160.330	-12.6100	CO		115.27	78020	03 58 01.273	+36 38 34.640	

§3.3. Статистика и анализ каталога ОСЗ.

Нами был произведён сравнительный анализ локализации по галактическим координатам ОСЗ и были получены следующие результаты: из каталога [39], который содержит в себе координаты и потоки молодых объектов в радио-и инфракрасном, а также данные о лучевых скоростях рекомбинации и молекулярные линии, для более трех тысяч областей звездообразования. В дополнение к фотометрическим и кинематическим данным, мы представляем информацию о диффузных и отражающих туманностях, темные и молекулярные облака и другие объекты, связанные с молодыми звездами. Каталог состоит из двух частей. Основными каталожными листами областей звездообразования в порядке галактической долготы и дополняется аналогичной информацией для областей звездообразования в комплексах темные облака с большими угловыми размерами, которые ближе всего к Солнцу. Основной каталог находится на <http://www.strasbg.-u.fr/pub/cats>. В нашем предварительном исследовании каталога данных с использованием формальной классификации областей звездообразования, мы разделили эти объекты на несколько классов и охарактеризовали их как населенных преимущественно массивные или звезд малой массы на ранней или поздней стадии формирования звезды процесса. Где 1379 объектов совпадают по своим координатам с 417 из каталога [40], 154 из [41], 481 из [42].

Было также рассмотрено также наличие различных типов мазерных источников в ОСЗ и были получены следующие результаты приведенные в таблице 2.

В данной таблице показано какое количество мазеров различного типа содержится в ОСЗ. Как оказалось, у большинства ОСЗ они отсутствуют.

Сравнение баз данных по ОСЗ в [39] и [36] показало совпадение 77 ОСЗ в обеих базах. Добавив данные из [36] в [39], мы рассмотрели наличие мазеров в этих 77 ОСЗ, а также их распределение по

галактической долготы. Статистические данные по OH, H₂O, CH₃OH мазерам представлены в Таблице 2 и Рисунках 1-2. На рисунке 1-2 по оси абсцисс отложена галактическая долгота l, по оси ординат число мазеров.

Таблица 2.

Мазеры(число)	CH ₃ OH	H ₂ O	OH
0	2812	2754	2869
1	286	375	280
2	73	57	55
3	33	17	12
4 и больше	27	27	17

Из рассмотренных 77 ОСЗ, 20 ОСЗ не содержат мазеров OH, 23 ОСЗ содержат по 1, 10 ОСЗ по 2, 12 ОСЗ от 3 до 10, 8 ОСЗ от 10 до 20, и в одной ОСЗ (AV3 [9]) - 27 мазеров OH. В случае H₂O мазеров: 11 ОСЗ не содержат мазеров H₂O, 21 ОСЗ содержат по 1, 12 ОСЗ содержат от 2 до 5 мазеров, 14 ОСЗ от 5 до 10, 11 ОСЗ от 10 до 20, 7 ОСЗ от 20 до 48 мазеров H₂O. Анализ по наличию CH₃OH мазеров показал: у 37 ОСЗ не содержатся CH₃OH мазеров, 9 ОСЗ содержат по 1, 10 ОСЗ от 2 до 5, 10 ОСЗ от 5 до 15, 8 ОСЗ от 15 до 30, 2 ОСЗ более 50 мазеров CH₃OH.

Таблица 3. Статистика наличия мазеров в 77 ОСЗ.

мазеры	O H	CH ₃ O H	H ₂ O	OH + H ₂ O	OH+ H ₂ O+CH ₃ O H	OH+CH ₃ O H	H ₂ O+CH ₃ O H
число	58	41	65	50	37	37	39

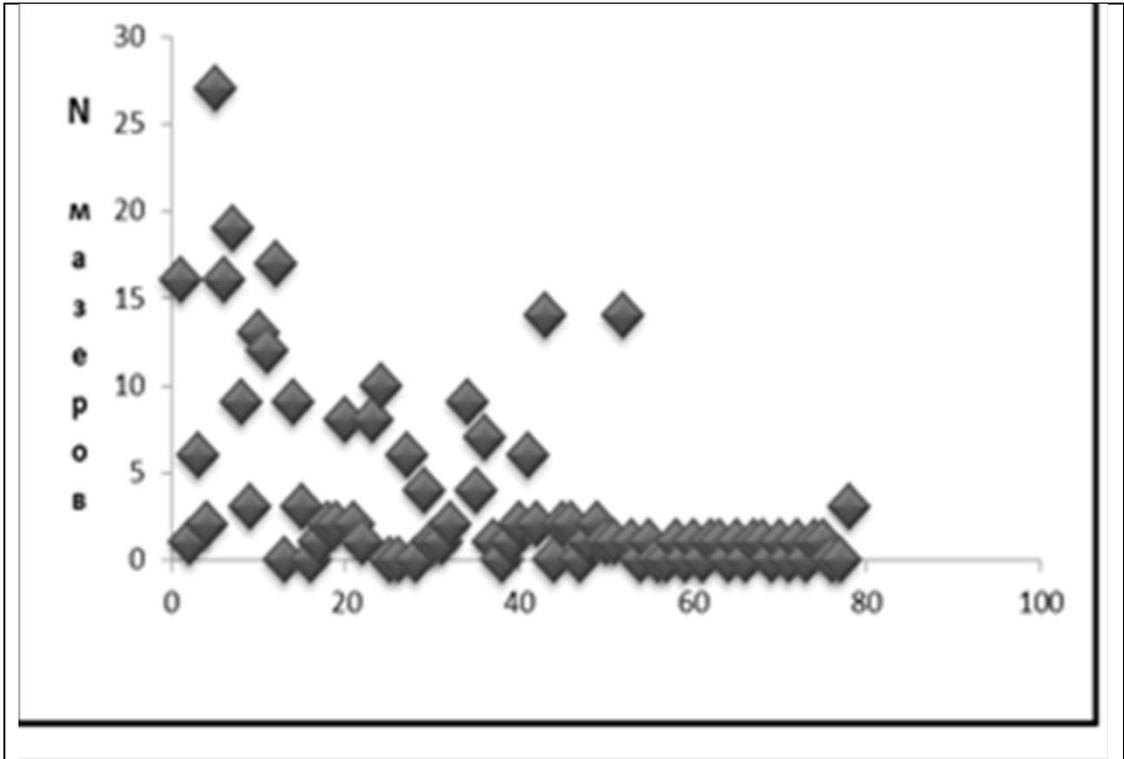


Рис . 9 Распределение ОН маэров по *b*.

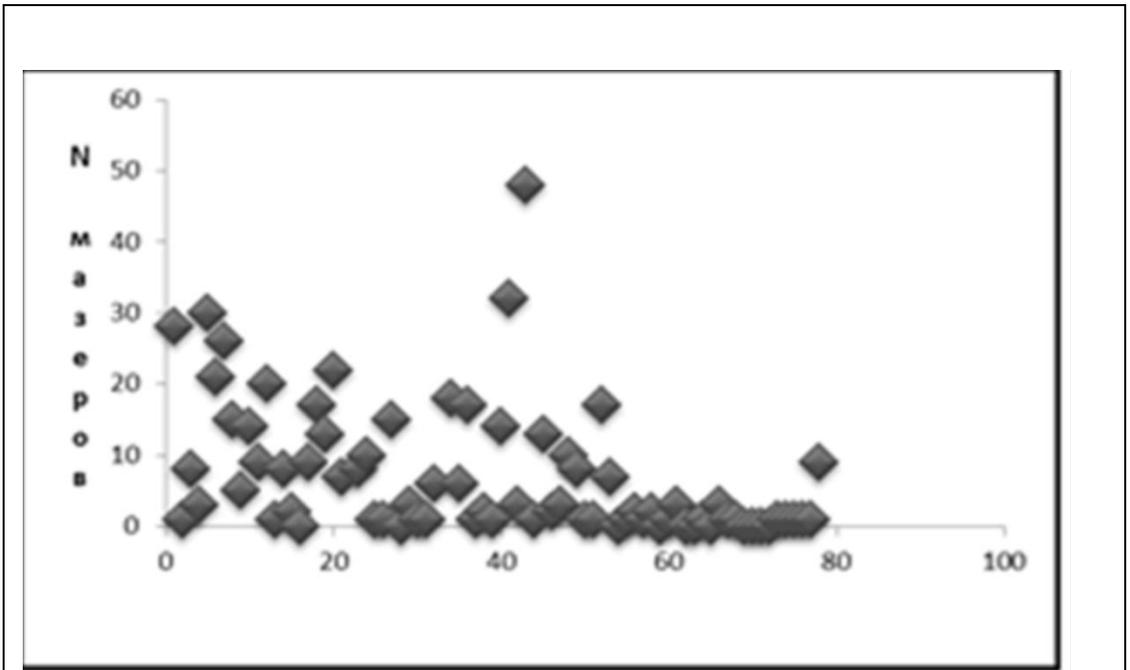


Рисунок 10. Распределение по Н₂О маэрам.

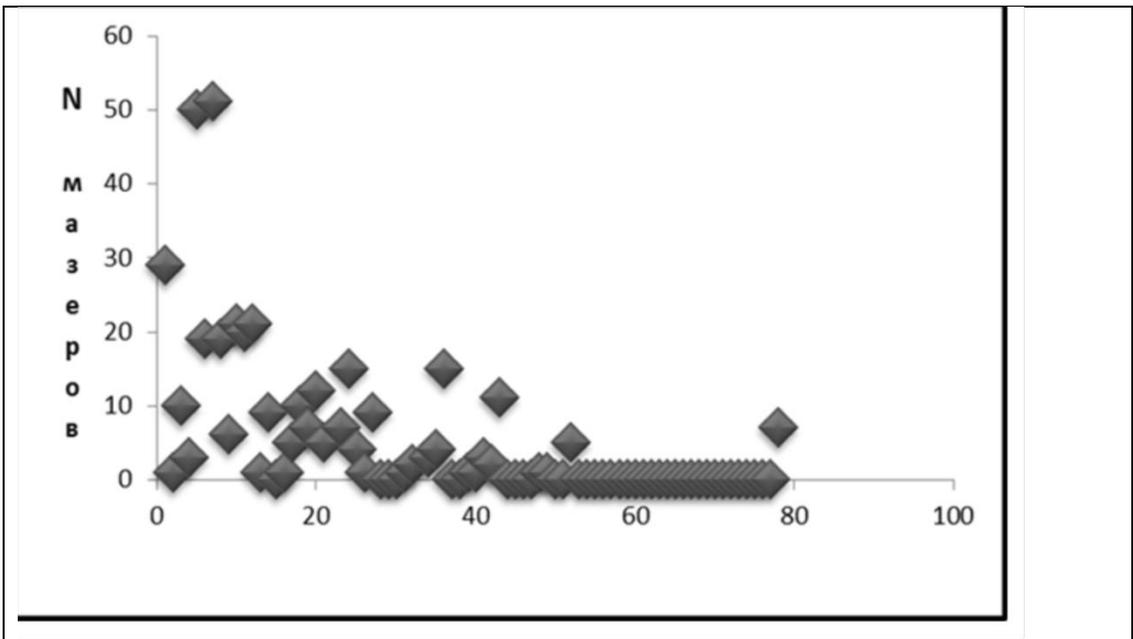


Рисунок 11. Распределение по CH₃ОНмазерам.

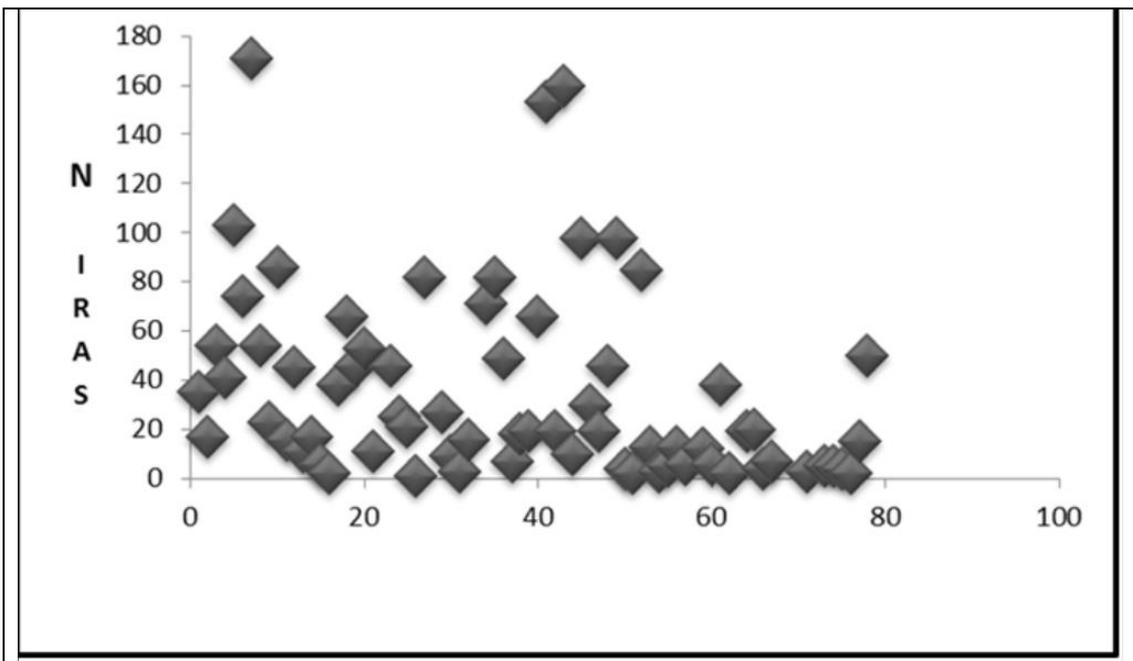


Рисунок 12. Распределение IRAS .

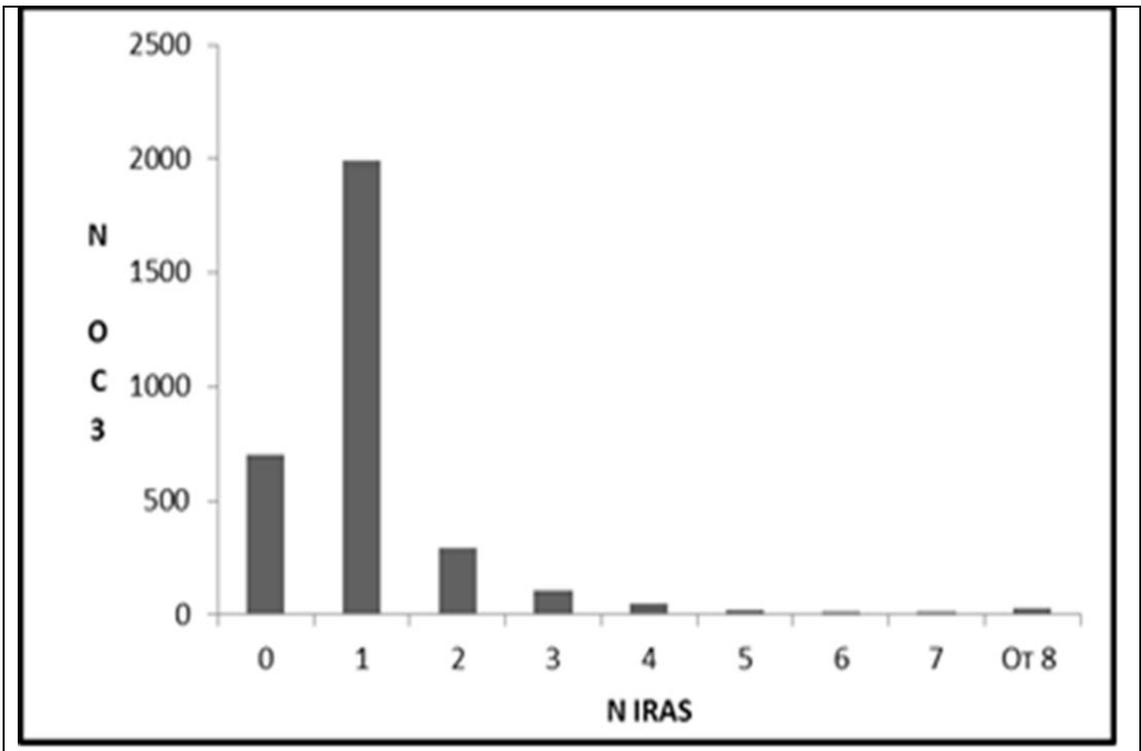


Рисунок 13 . распределение N осз – N IRAS.

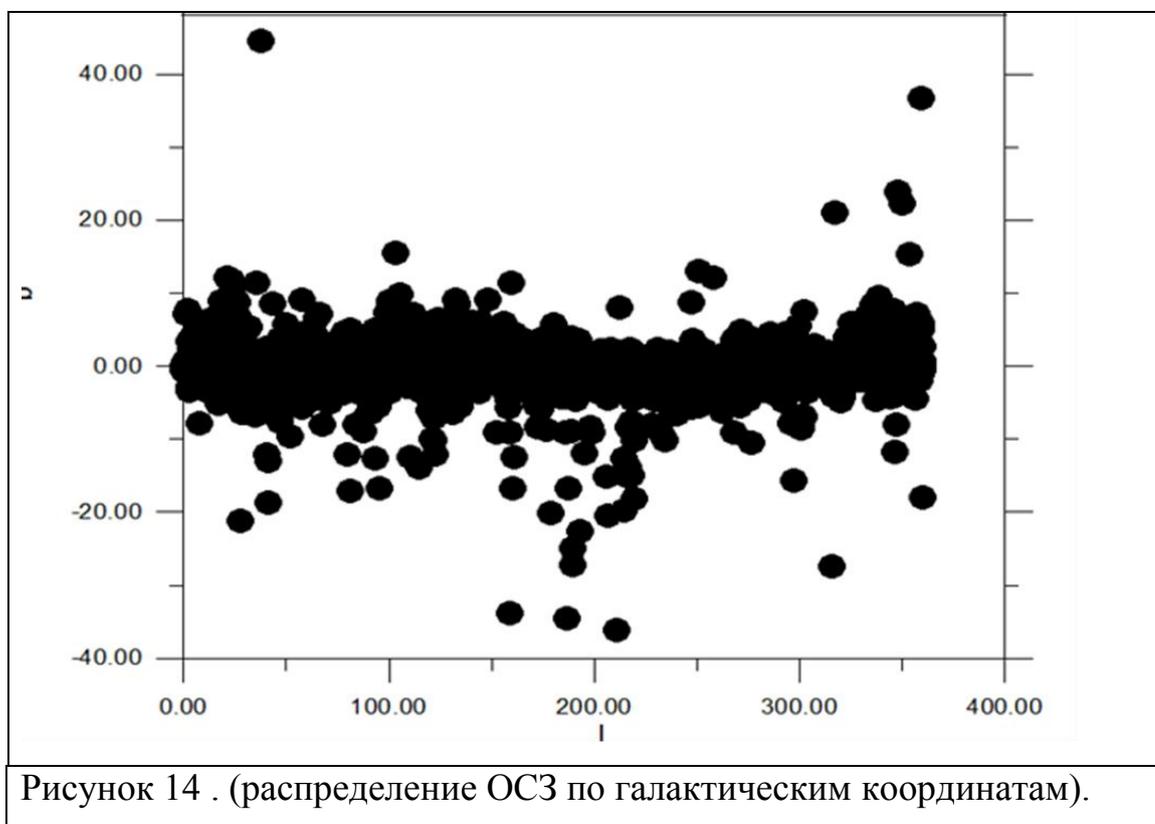
Нами также было проанализировано наличие инфракрасных источников в ОСЗ на основе данных космического аппарата IRAS . На рисунке 4 приведены данные по наличию IRAS источников в ОСЗ по данным, приведённым в [9]. Оказалось, что функция распределения числа источников имеет максимум в 1 , что означает, что в основном ОСЗ содержат только по 1 источнику.

Наличие других индикаторов звездообразования в ОСЗ, проанализированных нами, приведены в Таблице 3.

Таблица 3 .

Виды индикаторов ОСЗ	инфракрасные	радио	Оптические туманности	глобулы
Количество ОСЗ	2734	1566	782	425

Из 3235 ОСЗ - 2734 ОСЗ содержат в себе инфракрасные источники , 1566 ОСЗ – радиоисточники , 782 ОСЗ – оптические туманности, и меньше всего ОСЗ наблюдаемых с глобулами.



На основе имеющихся данных было построено 2D распределение ОСЗ в картинной плоскости в галактической системе координат. На Рисунке 5 показано карта распределения ОСЗ : по оси абсцисс - галактическая долгота l , по оси ординат – галактическая широта b .

Таким образом, в результате предварительного анализа данных из баз данных [9-13] получены : статистические значимые данные по наличию мазеров OH , H_2O , CH_3OH , а также IRASисточников в основных, изученных к настоящему моменту ОСЗ нашей Галактике, их количеству в различных ОСЗ, распределение ОСЗ по галактическим координатам. Нам представляется целесообразным исследование и анализ других индикаторов ОСЗ, а также наблюдательный поиск и тщательное изучение новых ОСЗ.

Заключение.

В результате были получены результаты:

1. Создан сводный каталог по областям современного звёздообразования в нашей Галактике.
2. Были получены статистические значимые данные по наличию мазеров OH, H₂O, CH₃OH , а также IRAS источников, изученных к настоящему моменту ОСЗ нашей Галактике.
3. Проведён статистический анализ по количеству распределения различных индикаторов ОСЗ.
4. Построено распределение ОСЗ по галактическим координатам.

Все эти полученные результаты помогут для дальнейшего изучения звёздообразования и эволюции в целом.

Литература.

1. Hubble, E. P. Extragalactic nebulae (англ.) // *Astrophys. J.* — 1926. — Т. 64. — С. 321-369.
2. Hubble, E. P. *Realm of the Nebulae.* — New Haven: Yale University Press, 1936.
3. Холопов П. Н., *Звездные скопления*, М., 1981; *Звездные скопления*, в кн.: *Итоги науки и техники, сер. Астрономия*, т. 27, М., 1985. А. С. Расторгуев.
4. Craig Kulesa // *Overview: Molecular Astrophysics and Star Formation. Research Projects.* (2005 год).
5. Ferriere D. // *The Interstellar Environment of our Galaxy // Reviews of Modern Physics* 73 (4): 1031–1066. DOI:10.1103/RevModPhys.73.1031.
6. Dame et al., // *A composite CO survey of the entire Milky Way // Astrophysical Journal*, 1987, 322: 706–720. DOI:10.1086/165766.
7. Williams J. P., Blitz L., McKee C.F. // *The Structure and Evolution of Molecular Clouds: from Clumps to Cores to the IMF // Protostars and Planets IV: 97*, Tucson: University of Arizona Press, 2000
8. Cox D. // *The Three-Phase Interstellar Medium Revisited // Annual Reviews of Astronomy and Astrophysics*, 2005, 43: 337.
9. Di Francesco J., et al. // *An Observational Perspective of Low-Mass Dense Cores I: Internal Physical and Chemical Properties // 2006, Protostars and Planets V*
10. Grenier // *The Gould Belt, star formation, and the local interstellar medium // The Young Universe*, 2004
11. *Sagittarius B2 and its Line of Sight*, 2006
12. Low et al. // *Infrared cirrus - New components of the extended infrared emission // Astrophysical Journal*, 1984, 278: L19. DOI:10.1086/184213
13. Gillmon K. and Shull J.M. // *Molecular Hydrogen in Infrared Cirrus // Astrophysical Journal*, 2006, 636: 908–915. DOI:10.1086/498055

14. Космические мазеры // Сб. ст., пер. с англ., М., 1974; Стрельницкий В.С., Космические мазеры. УФН, 1974, т. 113, в. 3, с. 463
15. Frommert H., Kronberg Ch. // Open Star Clusters. SEDS // University of Arizona, Lunar and Planetary Lab, 2007
16. Karttunen H., et al. // Fundamental astronomy. — 4th ed.. — Springer, 2003. — С. 321. — (Physics and Astronomy Online Library). — ISBN 3-540-00179-4
17. Johnson H.L. // The Galactic Cluster, NGC 2244 // Astrophysical Journal, 1962, 136, 1135: DOI:10.1086/147466
18. Lada C.J. // The physics and modes of star cluster formation: observations // Philosophical Transactions of the Royal Society A: Mathematical, Physical and Engineering Sciences, 2010, 368, № 1913, 713–731: DOI:10.1098/rsta.2009.0264
19. Shu F.H., Adams F.C., Lizano S. // Star formation in molecular clouds - Observation and theory // Annual review of astron. & astroph, 1987, 25, 23
20. Battinelli P., Capuzzo-Dolcetta R. // Formation and evolutionary properties of the Galactic open cluster system // MNRAS, 1991, 249, 76–83
21. Kroupa P. // The Fundamental Building Blocks of Galaxies // Proceedings of the Gaia Symposium "The Three-Dimensional Universe with Gaia (ESA SP-576)", October 4–7, 2004 / С. Turon, K. S. O'Flaherty, M. A. C. Perryman (editors). — Observatoire de Paris-Meudon, 2005. — С. 629. — arXiv:astro-ph/0412069
22. Elmegreen B.G., Efremov Y.N. // A Universal Formation Mechanism for Open and Globular Clusters in Turbulent Gas // ApJ, 1997, 480, № 1, 235–245
23. Сурдин // строение и эволюция Галактик //1999
24. Дагаев //Эволюция звёзд// 1955,
25. Heiles C. // HII shells and supershells // ApJ, 26, 752
26. Лада Ч.Д., Блитц Л., Элмегрин Б.Ж. // Образование звезд в OB-ассоциациях. // Протозвезды и планеты. М.: Мир, с. 389 (1982).
27. Каплан С.А., Пикельнер С.Б. // Физика межзвездной среды. // М.: Наука, с. 179 (1979).

28. Силк Д. // Фрагментация молекулярных облаков. // Протозвезды и планеты. М.: Мир, с. 194 (1982).
29. Скало Д.М. // Спектр звездных масс. // Протозвезды и планеты. М.: Мир, с. 295 (1982).
30. Sullivan W.T.III. // Microwave Water Vapor Emission from Galactic Sources. // *ApJ.S.S.*, 1973, 25, 393,
31. Ефремов Ю.Н. Очаги звездообразования в галактиках: звездные комплексы и спиральные рукава. М.: Наука, 1989.
32. Efremov Yu.N., Elmegreen B.G. // Hierarchical star formation from the time-space distribution of star clusters in the Large Magellanic Cloud // *MNRAS*, 1998, 299, 588.
33. Heiles C. HI shells and supershells // 1998, *ApJ*, 229, 533
34. Rhode K., Salzer J.J., Westpfahl D.J., Radice L. // A test of the standard hypothesis for origin of the HI holes in Hoimberg II // *AJ*, 1999, 118, 323
35. Blitz L., Spergel D.N., Teuben P.J. et al. // High-velocity clouds: building blocks of the Local Group // *ApJ*, 1999, 514, 818
36. В.С.Шевченко – Ae/Be звёзды Хербига. Ташкент, «ФАН», 1989
37. Draine, B. T. // *Physics of the Interstellar and Intergalactic Medium*, Princeton University Press, 2011, 540 pp.
38. Бочкарев, Н.Г., 2010, Основы физики межзвёздной среды, М: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», с.352
39. Post annotation Catalog of Star-Forming Regions in the Galaxy (Avedisova, 2002) . База данных VIZER
40. Spitzer and high-mass star forming regions (Qiu+, 2008), База данных VIZER
41. Star-forming complexes in the Galaxy (Russeil+, 2003) База данных VIZER
42. Массивные области звездообразования в 1,2 мм (+ Beuther, 2002). База данных VIZER

Приложение
Общий сводный каталог крупных областей звездообразования в
нашей Галактике