



На пути к решению проблемы строения и эволюции Галактики. I. Формирование современных представлений

В.А. Захожай

Харьковский национальный университет им. В.Н.Каразина

Аналізується процес формування представлень о структурі Галактики. Обсуждаются процессы формирования подсистем Галактики различного возраста. Подводятся итоги принципиальных результатов, полученных к началу XXI столетия.

НА ШЛЯХУ ДО ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ БУДОВИ І ЕВОЛЮЦІЇ ГАЛАКТИКИ. I. ФОРМУВАННЯ СУЧАСНИХ УЯВЛЕНЬ, Захожай В.А. — Аналізується процес формування уявлень про структуру Галактики. Обмірковуються процеси формування підсистем Галактики різного віку. Підводяться підсумки принципових результатів, одержаних на початок XXI століття.

ON THE WAY TO DECISION OF THE GALAXY STRUCTURE AND EVOLUTION PROBLEM. II. FORMING OF MODERN CONCEPTIONS, by Zakhzhaj V.A. — Process of formation of conception on Galaxy structure is analysed. Forming of Galaxy subsystems of different ages and principal results, which were obtained till beginning of XXI century, are discussed in the paper.

1. ВВЕДЕНИЕ

Проблема восстановления последовательности событий, вследствие которых сформировалась наблюдаемая структура Галактики, относится к обратным задачам. В настоящее время история звездообразования устанавливается в рамках анализа данных о звездах: их химического состава, кинематики, статистических свойств и др. Статистические свойства галактических населений также несут информацию о прошлом Галактики.

В XX веке проблема строения и эволюции Галактики получила существенное развитие. Сложилась представления о населении Галактики и их строении. Выясняется роль внешнего «окружения» Галактики, прежде всего экстрого, с которым наблюдается взаимодействие, и где находятся ближайшие внешние газовые потоки и облака, шаровые скопления и галактики-спутники.

Изучение химической эволюции Галактики привело к убеждению, что Галактика не могла эволюционировать, как замкнутая система. Это поколебало прежние представления о последовательности возникновения подсистем Галактики, сложившихся в середине прошлого века. Взаимодополняющая информация (определение кинематических параметров, химического состава, возраста и др.) позволяет выяснять более глубоко структуру самих подсистем, формировать представления о времени их возникновения и темпе развития, а также очерчивать ограничения на сценарии их эволюции.

Принципиально новые наблюдательные данные последних лет о строении Галактики [21, 29–31, 78, 82, 84, 85, 99, 112, 124, 125], повлекли за собой построение новых и пересмотра старых эволюционных моделей, основные детали которых можно найти в работах [22, 23, 41, 42, 100, 101, 114, 122, 167]. Однако цельная, непротиворечивая картина звездообразования еще не создана. По-видимому, требуется расширение методов исследования, обобщения имеющихся представлений о строении и эволюции Галактики.

Эта обзорная статья является первой из двух работ по анализу рассматриваемой проблемы. Целью работы является составление представления о современном состоянии проблемы строения и эволюции Галактики на основании выполненных за последние 10–15 лет наблюдательных и теоретических работ.

2. ФОРМИРОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРУКТУРЕ ГАЛАКТИКИ

Еще в начале XX века Галактика представлялась в виде однокомпонентной звездной системы. Накопленный наблюдательный материал в XIX веке к 20-м годам XX века привел Каптейна [90–92] к модели Галактики в виде сплюснутого эллипсоида вращения, внутри которого существуют два противоположно направленных потока звезд¹. Шепли [20, 148, 149] пришел к заключению, что наряду

¹ Позже эти звездные движения были объяснены, как проявление осевого вращения Галактики.

с плоской линзообразной системой Галактики, существует концентричная система, образованная из шаровых скоплений. Изучение их пространственной структуры позволило определить направление на центр Галактики, оценить расстояние до него и масштабы Галактики. В 40-х годах идея получила развитие в работах Бааде [4, 25], который ввел представление о населенных плоской и сферической составляющих Галактики, и Кукаркина [11] — о существовании промежуточной составляющей². К концу 50-х годов Бааде расширил число подсистем до пяти (сферическая, промежуточная, плоская, экстремально плоская и дисковая) [4, 26], что способствовало началу формирования современных представлений о крупномасштабной структуре Галактики.

В связи с открытием в 50-е годы Мюнхом плотных газовых облаков над плоскостью Галактики, следующих ее осевому дифференциальному вращению [6], и в начале 60-х годов Оортом, а потом другими исследователями — холодных газовых облаков в гало, более удаленных от галактического диска и опускающихся на него с разной скоростью³ [116], Оорт выдвинул предположение о существовании горячей газовой короны, удерживающей своим давлением расширение холодного газа гало. Позже наличие массивной короны Галактики было обосновано Эйнасто и др. [55] и Острайкером и др. [117]. Это позволило объяснить устойчивость спирального узора на космологических интервалах времени и кривые дифференциального вращения Галактики. Рассчитанная модель Галактики Эйнасто с сотрудниками [56] включает 5 составляющих: ядро, балдж, гало, диск и корону, с общей массой $1.2 \cdot 10^{12} m_{\odot}$ и средней полутолщиной 25 кпк [19].

Открытие массивной газовой короны Галактики повлекло за собой в 70-е годы выдвижение Сучковым и его коллегами (см. [14] и соответствующие там ссылки) модели активных фаз Галактики. Согласно этой модели, эволюция Галактики сопровождается радиальным движением галактического газа: аperiодическим «разлетом» газа, разогретого вспышками сверхновых, и дальнейшим его охлаждением и коллапсом, завершающимся очередным общегалактическим звездообразованием. В этой «полузамкнутой»⁴ модели отводится большая роль передвижению газа (обогащенного тяжелыми ядрами) между подсистемами Галактики. Следствием этой модели должно быть увеличение металличности звезд «снаружи – внутрь».

Наличие звездного фона Галактики согласно исследованиям, проведенным в 70-е годы Тримэном и др. [165], Сурдиным и Чариковым [18] и Сурдиным [17], вызывает динамическое трение, которое испытывают движущиеся шаровые скопления из-за гравитационного взаимодействия. Это ведет к полной потере углового момента скопления (относительно центра Галактики) за время $t_{\text{diff}} = 2 \cdot 10^9 (R^2/M_C)$ лет (где: $[R] = \text{кпк}$, $[M_C] = 10^6 m_{\odot}$) и разрушению при погружении в область галактической плотности $\bar{\rho}_R \geq 0.3 \rho_c$ (где: $\bar{\rho}_R$ — средняя плотность Галактики внутри орбиты галактического радиуса R шарового скопления; ρ_c — центральная плотность скопления). Высокую металличность и большую плотность ядра Галактики трудно объяснить, предполагая, что оно сформировалось из шаровых скоплений [18]. Однако динамическое трение может быть одним из механизмов, которые объясняют наличие центрального галактического уплотнения за счет разрушения шаровых скоплений в центральных областях Галактики.

Объяснение значительной металличности балджа предлагалось в механизме образования гало вследствие аккреции малых фрагментов [184] и притока протяженных звездных систем, потерявших угловой момент относительно нашей Галактики, у которых к настоящему времени уже сформировались звезды с металличностью, соизмеримой с солнечной [100].

К 80-м годам выяснилось, что содержания металлов у звезд шаровых скоплений больше предсказываемого космологией за счет первичного нуклеосинтеза, прошедшего в ранней Вселенной. Это послужило выдвижению гипотезы о существовании в ранней Вселенной массивных звезд [96, 176]⁵, быстро проэволюционировавших и образовавших необходимое количество химических элементов тяжелее гелия для образования звезд II типа.

В это же время пришли к заключению о существовании во Вселенной промежуточных, по массе, космических тел между звездами и планетами — субзвезд [1, 155], образующихся, как и звезды, путем самогравитации [9]. Было выдвинуто предположение, что именно эти объекты являются невидимыми компонентами астрометрически-двойных звезд, если их массы меньше $0.08 m_{\odot}$ и больше

²К 70-м годам промежуточное население с самой большей пространственной плотностью начали относить к балджу, внутри которого различают центр и ядро Галактики [14].

³Позже их стали разделять по скорости движения к галактической плоскости: на высокоскоростные и промежуточные.

⁴Под «открытой и полузамкнутой» здесь понимается модель, согласно которой эволюция Галактики сопровождается как потерей вещества в межгалактическое пространство, так и притоком газа из межгалактического пространства и слиянием с карликовыми галактиками-спутниками.

⁵Эти звезды предложили отнести к населению III типа.

$0.005 \div 0.007 m_{\odot}$ [2, 3, 183]. Прямыми методами в ИК-диапазоне их стали открывать с 80-х годов [7, 8]. С 90-х годов начались их серийные обнаружения в ближайших рассеянных скоплениях и окрестностях Солнца поля Галактики [10].

В 90-е годы механизм обмена газовой составляющей Галактики между ее подсистемами получил дальнейшее подтверждение: при изучении динамики движения газа в пределах различных населений были обнаружены небольшие плотные газовые облака [124, 125], оседающие на диск в течение всего времени жизни Галактики. Интенсивно исследуются области, где наблюдаются взаимодействия гало с падающим на него холодным веществом, природу происхождения которого связывают с реликтовым газом Протогалактики, возвратным газом от «галактического фонтана», обрывками Магеллановых облаков, межгалактической смесью газа и темным веществом [6].

Важное место занимают исследования малых спутников, сливающихся с нашей Галактикой [86, 111, 113, 146, 169]. Эта картина убедительно иллюстрируется наличием карликовой сфероидальной галактики в Стрельце⁶, которая находится в продвинутом состоянии приливного разрушения и имеет внешнее гало, заселенное M гигантами [84], углеродными звездами [85] и шаровыми скоплениями [29–31].

Аккреция галактики в Стрельце 10 лет считалась единственным мощным свидетельством того, что Млечный Путь поглощает спутниковые галактики. Но недавно обнаруженная вокруг Галактики кольцеобразная структура на краю галактического диска могла бы быть следствием еще одного подобного события [99]. Открытое впервые как сгусток голубых звезд в обзоре Sloan [112], это «кольцо» впоследствии изучалось фотометрически с помощью широкоугольной камеры INT [83], спектроскопически и фотометрически с помощью SDSS [182] и с помощью 2MASS для исследования красных гигантов [140].

Обнаружены и некоторые другие структуры. Мартин и др. [99] считают, что объект, обнаруженный в созвездии Большого Пса, является предшественником карликовой галактики с кольцеобразной структурой. Результат численного моделирования приливного разрушения аккрецированной карликовой галактики хорошо согласуется с информацией о положении, расстоянии и скорости обнаруженного «галактического кольца» и сгустка M гигантов [21, 78, 99]. Разрушенная карликовая галактика порождает орбиты, близкие к галактической плоскости с периферией, находящимся приблизительно в круге, очерченном солнечным галактоцентрическим движением. Эксцентриситет порождающих орбит близок к эксцентриситету звезд в толстом диске Галактики, а вертикальная шкала высот близка к таковой в толстом диске. Таким образом, есть аргументы, что карликовая галактика в Большом Псе является «кирпичиком» в конструкции толстого диска Галактики. Толстый диск непрерывно наращивается даже в настоящее время. Шаровые скопления толстого диска осели на Млечный Путь из находящихся на компланарных орбитах карликовых галактик в результате аккреции.

Все исследуемые современные модели предполагают, что вначале диск не имел звезд [36, 49, 60, 61, 65, 69, 121, 133, 161–163, 178, 172]. Полагают, что он возникает за счет аккреции бедного металлами вещества извне: или гало (где время притока вещества принимается не менее 1–2 млрд. лет); или межгалактического пространства (например, из Магелланова Потока). Часть авторов считают, что время притока одинаково для всех областей диска, в то время как другие рассматривают образование диска «изнутри — наружу» и зависящим от галактического расстояния. Причем, согласно Тоси [161–163], содержание газа в диске монотонно убывает со временем. Согласно модели Ван де Хэка и де Йонга, в процессе эволюции диск наращивал массу за счет притока газа из гало; плотность газа в диске достигла максимума через 2–2.5 млрд. лет, после начала его формирования, с характерным временем перемешивания $\sim 10^7$ лет [173]. Выбранная шкала времени находится в согласии с эффективным временем перемешивания за счет звездных ветров и вспышек $\sim 10^7 \div 10^8$ лет [43, 52, 142]. В этом случае, наблюдаемая металличность может объясняться притоком обогащенного и небогатого вещества в диск в дозвездобразующую фазу.

Прямое подтверждение события слияния Галактики с меньшей галактикой было получено в районе галактического балджа Ибата и др. [82]. Согласно Ойа и др. [115], в таком сценарии толстый диск может быть либо простым остатком слившейся галактики и рассосавшейся по нашей Галактике, либо старым диском, который образован до слияния и затем вытолкнут гравитационными возмущениями сливающейся галактики. Данные об облачном комплексе Ориона [95, 104], поясе Гулда [47] и рассеянном скоплении ζ Скульптора [53] приводились в качестве наблюдательного подтверждения инициирования звездообразования аккрецией. На основании этих наблюдений предполагалось,

⁶Пока нет окончательной ясности относительно того, вытолкнута эта галактика из нашей Галактики после взаимодействия, или она сейчас находится в процессе слияния. Если последнее правильно, то слияние ожидается через 1 млрд. лет.

что большинство активных областей звездообразования в солнечной окрестности частично образовались из облаков, находящихся в гало Галактики. Предполагая современный темп звездообразования $\sim 3.5m_{\odot}/\text{год}$ [50], Ван ден Хоэк и де Йонг [173] считают, что $\sim 30 \div 40\%$ звезд могли образоваться за счет аккреции газа на диск Галактики.

Блау [32], Мегасу и др. [103], Тести и др. [158], Ван ден Хоек и де Йонг [173], Голдсмит и др. [70] отмечают повторные очаги звездообразования, наблюдающиеся в близких комплексах молекулярных облаков, включая известные комплексы Ориона, Тельца-Возничего-Персея, Цефеид, Киля и Хамелеона. Гензель и Струтски [66], Кунга и Ламберт [48] отмечают, что разности в возрасте между ОВ-подгруппами в молекулярных облаках Ориона имеют типичные значения 2–7 млн. лет.

В работах Гилмора и др. [68] и Маевски [98] описаны возможные сценарии образования толстого диска. Они сводятся к тому, что толстый диск мог образоваться в результате кинематического нагрева тонкого диска в ходе аккреции одной или слияния нескольких меньших галактик с нашей Галактикой [40, 115, 135]. Вертикальный нагрев увеличивает шкалу высоты диска и приводит к большему асимметричному дрейфу. Данные Ойа и др. [115] и выводы Эггена и др. [54] о населении толстого диска (локальная поверхностная плотность, дисперсия скорости вращения, отсутствие радиального и вертикального градиента в скорости вращения), находятся в согласии с тем, что обсуждаемое слияние происходило на довольно раннем этапе жизни Галактики, когда образовалось 5–10% массы диска [115] и, что формирование толстого диска не происходило сразу после образования гало (т.е. до возникновения тонкого диска) путем дальнейшего коллапса Галактики. При принятии постоянного темпа звездообразования [77] в обсуждаемую эпоху, слияние произошло через 2–4 млрд. лет после образования дисковой компоненты (именно этот прадиск преобразовался в толстый диск). В пользу описанного процесса свидетельствует открытая галактика, явно находящаяся в процессе взаимодействия с Млечным Путем [82] и аргументы о слиянии, приводимые Гилмор [67] и Вайс [179] об исследовании диска Галактики.

Существует, по-видимому, и вековой радиальный дрейф (или перемешивание) звезд в плоскости Галактики: «от центральных областей — к периферии диска». Так, согласно вычислениям Уайлена и др. [177]⁷, Солнце образовалось ближе к центру Галактики примерно на 2 кпк [172].

В работах Греттона и др. [74], Бирса и Соммер-Ларсена [28], Вайса и Гилмора [181] и Ибата и Гилмора [80, 81] показано, что сфероидальная (балдж и гало) и дисковая компоненты нашей Галактики имеют разные распределения угловых моментов. Основные сценарии образования спиральных галактик накладывают ограничения на образование балджей: в модели диссипативного коллапса Эггена и др. [54] эволюция движется «снаружи — вовнутрь»: так, что металличность, возраст и кинематика коррелируют. Зинн [184] предложил сценарий аккрецирующих на гало малых фрагментов, что согласуется с отсутствием градиента металличности в гало. Корреляция между линейными размерами балджа и диска, металличностей внутреннего диска и внешнего балджа инициировали альтернативные модели, такие как «перемычка», создающая концентрацию звезд в центре [126, 127] или «ядерный звездный взрыв», выбрасывающий гигантский газовый шар, из которого образуются звезды [174]. Вайс [180] показал, что неустойчивости, возникающие в звездных дисках, не способны образовывать балджи и что распределение металличности в Млечном Пути не согласуется с балджем, образованным аккрецией спутниковых галактик или скоплений.

Похоже, что реализуется сценарий Эггена и др. [54], подтверждаемый наблюдениями Минитти [105, 106], согласно которых балдж образован диссипативным коллапсом, что делает его моложе, чем гало [74]. Фрогель и др., [64] показали, что металличность предполагает сильный радиальный градиент внутри балджа (ближе 1.5 кпк от центра Галактики), что согласуется с прежними исследованиями Терндрара и др. [156, 157] и Минитти и др., [107]. Зинн [185] получил, что скопления внутри старого гало ($R \leq 6$ кпк) демонстрируют признаки диссипации и что существует плавный переход от гало к шаровым скоплениям диска — свидетельства их происхождения из общего коллапса. В рамках картины диссипативного коллапса ван ден Бош [170, 171] и Элмегрин [57] обсуждали образование балджа как результат быстрого оседания барионного вещества из гало или Протогалактики в центр сфероида. Это естественная картина образования балджа, поскольку угловой момент в центре мал, и это следствие большего возраста, чем у звездного диска. Элмегрин [57] вычислил пороговую плотность для образования звезд в турбулентном окружении, вызванном аккрецией газа, образующим балдж: фаза всплеска звездообразования устанавливается за короткое время. В обоих

⁷В основу вычислений положены значения избытков железа и кислорода в Солнце ($\Delta[\text{Fe}/\text{H}]$ и $\Delta[\text{O}/\text{H}]$) по сравнению с их средним содержанием в звездах, образованных 4.5 млрд. лет назад и наблюдаемых на современном солнечном галактоцентрическом расстоянии: радиальный градиент металличности и современное солнечное галактоцентрическое расстояние, 8–8.5 кпк [15, 16, 135–137].

случаях образование и эволюция балджей отличаются от эллиптических галактик [110].

Согласно результатам численного моделирования крупномасштабной эволюции Вселенной, приведенных Ваккером и Рихтером [6], в межгалактическом пространстве ожидается существование гигантских межгалактических рукавов, состоящих из ионизированных высокоскоростных газовых облаков. Свидетельства о таких облаках, состоящих из ионизированного кислорода без наличия нейтрального газа, были получены с помощью спутника FUSE в пределах Местной группы. Так, по наблюдениям объекта QSO PG 1259+593, выполненных FUSE и HST, обнаружено поглощение в излучении D I Лаймановской серии в имеющем высокую пространственную скорость (более 100 км/сек) облачном Комплексе С, газовом облаке с низкой металличностью ($\approx 1/6$ солнечного значения), опускающемся на Млечный путь [147]. Субсолнечная оценка металличности и низкое содержание азота, дали аргументы для предположения о том, что Комплекс С расположен вне Млечного Пути, а не в веществе, циркулирующем между галактическим диском и гало.

Подобные структуры были обнаружены и в других областях Метагалактики, причем, полная масса гигантских межгалактических рукавов может превышать суммарную массу всех галактик [6]. Слияние таких межгалактических облаков, малых галактик-спутников с нашей Галактикой, могут способствовать инициированию образования новых поколений звезд и субзвезд.

Полученные современные наблюдательные данные о подсистемах Галактики являются основой для развития основных направлений исследования их эволюции [100]:

- 1) *последовательного образования*: гало, тонкий и толстый диск образуются последовательно как непрерывный процесс [101];
- 2) *параллельного образования*: разные компоненты Галактики начинают образовываться в одно и то же время из одного и того же газа, но эволюционируют с разными скоростями [122];
- 3) *«двух притоков»*⁸: эволюция гало и диска являются полностью независимыми, и они образованы двумя отдельными эпизодами слияния с внегалактически веществом [22, 41, 42];
- 4) *стохастического*: проявление вмешательства сверхновых в металлодефицитных звездах раннего гало из-за малой эффективности его перемешивания [23, 114, 167].

Формирование балджа исследуется за счет [100]:

- 1) аккреции протяженных звездных систем, осаждающихся практически в центре Галактики;
- 2) накопления газа в центре Галактики, с последующей эволюцией (быстрым или медленным звездообразованием);
- 3) быстрого или медленного накопления в центре Галактики богатого металлами газа из гало или толстого диска;
- 4) притока богатого металлом газа из тонкого диска.

3. ОСНОВНЫЕ ИТОГИ

1. Имеются основания под современной галактической структурой понимать: двухрукавную спиральную [12, 13] Галактику, состоящую из двухкомпонентного (толстого и тонкого) диска, погруженного в массивную корону. Промежуточная подсистема — балдж — окружает центр Галактики, где не наблюдается вещество⁹.

2. Галактика не могла образоваться из «цельной»¹⁰ Протогалактики, поскольку имеются существенные противоречия между наблюдающимся химическим составом гало и предсказываемой теориями химической эволюции металличностью звезд диска¹¹: возраст толстого диска в этом случае

⁸Первый отвечает за образование того населения, звезды которого составляют часть гало и толстого диска и образованы при быстром диссипативном коллапсе, предложенного Эггеном и др. [54]. Эта фаза неявным образом входит в фазу толстого диска, где предполагается, что временная шкала для образования внутреннего гало была того же порядка, что и временная шкала для образования толстого диска [74]. Второй эпизод притока образует компоненту тонкого диска, с временной шкалой, значительно превышающей таковую для образования толстого диска. Эта модель предполагает, что, если не весь, то большая часть тонкого галактического диска, образовывалась аккрецией внегалактического вещества [42]. Такой сценарий образования Галактики согласуется не только с результатами Греттона и др. [74], Бирса и Соммер-Ларсена [28], Вайса и Гилмора [181], Ибата и Гилмора [80]. В этих работах показано, что сфероидалная (балдж и гало) и дисковая компоненты нашей Галактики имеют разные распределения угловых моментов. Этот факт является мощным аргументом в пользу того, что ранее принятая картина, в которой газ из гало были основной причиной образования тонкого диска, требует пересмотра [120].

⁹Предположительно, там находится черная дыра

¹⁰Под «цельной» Протогалактикой понимается реликтовый газовый комплекс с современной общей массой Галактики $\sim 10^{12} m_{\odot}$, равной джинсовой массе.

¹¹В процессе эволюции диск наращивает массу за счет притока газа из гало, с характерным временем перемешивания $\sim 10^7$ лет [173]. Анализ такой модели требует, чтобы гало было достаточно неоднородным по плотности и химическому составу, поскольку модель достаточно перемешанного и химически однородного гало (модель однозонного гало): 1) не дает наблюдательного отношения между числом звезд с низкой металличностью ($[Fe/H] < -1$) и высокой металличностью ($[Fe/H] > -1$),

получается заниженным на три порядка [35] по сравнению с наблюдательными данными о возрастах толстого и тонкого дисков [88].

3. Имеются аргументы о взаимодействии нашей и других галактик с окружающими газовыми облаками и карликовыми галактиками [89, 124, 125], согласующиеся с наблюдательными и теоретическими аргументами в пользу образования звездного гало в результате слияния субструктур [39, 76, 130, 144, 146, 179, 181]¹².

4. Обнаруженные «следы» взаимодействия Галактики с другими галактиками в прошлом [5] и в настоящее время [86, 99, 111, 113, 146, 169], могут выступать аргументами в пользу гипотезы, об образовании и эволюции галактик с участием иерархического слияния и аккреции карликовых галактик [175, 176].

5. Образование толстого диска, по-видимому, не было плавным переходом в период между образованием гало и тонкого диска путем коллапса Галактики [68, 98]. Есть аргументы в пользу его образования путем кинематического нагрева тонкого диска в ходе аккреции спутниковой галактики [40, 134], или нескольких меньших галактик с нашей Галактикой, когда масса диска составляла 5–10% современной массы [54, 77, 115]¹³.

6. Модели химической эволюции предполагают, что изначально диск не имел звезд, а обедненное металлами вещество аккрецировало на диск извне [36, 49, 60, 61, 65, 69, 121, 128–130, 133, 161–163, 172, 178].

7. Согласно статистическим свойствам металличностей звезд балджа, наиболее вероятным в настоящее время следует принять сценарий, согласно которого он образовался одновременно с внутренним гало на временной шкале 0.5 млрд. лет, за счет быстрого накопления газа в центре Галактики [100].

8. Имеются прямые наблюдательные данные об обмене газом между диском и гало (в виде галактического фонтана) и оседании газа в диск на всем протяжении существования диска [59, 62, 63, 86, 111, 113, 124, 125, 146, 169]¹⁴. В опускающихся газовых облаках на диск Галактики в среднем более чем на порядок меньше содержания тяжелым элементами, чем на Солнце [6, 147].

9. Имеются свидетельства о наличии межгалактического резервуара газа, из которого наша Галактика может черпать вещество для формирования новых поколений звезд и субзвезд и прямые наблюдательные подтверждения инициирования звездообразования из-за аккреции в комплексах Ориона, пояса Гулда, рассеянного скопления ζ Скульптора [47, 53, 95, 104]. Нет согласия между предсказываемым содержанием тяжелых элементов у звезд диска за счет притока газа из Магелланового Потока [6].

10. Имеются основания для предположения о перемешивании звезд диска и систематическом вековом увеличении их галактоцентрических расстояний [172, 177].

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные о современной структуре Галактики, предложенные модели ее эволюции пока не позволяют однозначно построить убедительную цепь событий, которые сопутствовали галактической эволюции. Достоверно выяснено, что Галактика на всем протяжении времени была открытой, важную роль в ее формирования сыграли процессы слияния с межгалактической средой и спутниками-галактиками. В настоящее время идет трудный процесс реставрации последовательности событий слияния и выяснения их природы.

К наиболее достоверным событиям прошлого, которые удалось реконструировать, те события, которые происходили в первые 3–4 млрд. лет и в последние 8 млрд. лет. Это формирование внутреннего и внешнего гало (или экстрагало и гало) путем слияний со структурами «внешнего мира»; последовательность образований звезд населений III→II→I; остановка звездообразования из-за разогрева гало сверхновыми; значение возраста тонкого диска. Наиболее неопределенными остаются время, место и механизм формирования толстого диска.

1. Александров Ю.В., Захожай В.А. // Астрон. вестник. — 1980. — **14**, №3. — с. 129.

2. Александров Ю.В., Захожай В.А. // Астрон. вестник. — 1983. — **17**, №3. — с. 131.

в цилиндре солнечной окрестности; 2) возникает противоречие между принципиальной воспроизводимостью функции распределения звезд диска в солнечной окрестности (если приток газа из гало в диск занимает длительный промежуток времени) и завышению числа звезд гало [120, 121].

¹²Так, согласно [130], газ из сливающихся фрагментов может образовать диск, а звезды из сливающихся фрагментов — звездное гало

¹³Если темп звездообразования был почти постоянным [77] в эпоху образования, слияние ожидается через 2–4 млрд. лет после образования дисковой компоненты (именно этот прадиск преобразовался в толстый диск)

¹⁴Т.е. отмечаются взаимодействия «гало — диск — гало — межгалактический газ — гало».

3. Александров Ю.В., Захожай В.А. / В кн.: Проблемы поиска жизни во Вселенной. — М.: Наука, 1986. — 201 с.
4. Бааде В. Эволюция звезд и галактик / Пер. с англ. — М.: Мир, 1966. — 300 с.
5. Боркова Т.В., Марсаков В.А. // Астрон. журн. — 2000. — **77**, № 10. — с.750.
6. Ваккер Б., Рихтер Ф. // В мире науки. — 2004. — Апрель. — с. 22.
7. Захожай В.А. // Дис. канд.физ.-мат.наук. — Л.: ГАО АН СССР. — 1987. — 206 с.
8. Захожай В.А. Астрономо-геодезические исследования: Близкие двойные и кратные звезды. — Свердловск: УрГУ. — 1990. — с. 44.
9. Захожай В.А. // Вісник Астрон. школи. — 2001, **2**, № 1. — С. 34.
10. Захожай В.А., Писаренко А.И. // Сборник трудов «Первая украинская конференция по перспективным космическим исследованиям», Киев, 8–10 октября 2001. — Киев, 2001. — с. 66.
11. Кукаркин Б.В. Исследование строения и развития звездных систем на основе изучения переменных звезд. — М.: Гостехиздат, 1949. — 191 с.
12. Марочник Л.С. // Astrophys. Space Sci. — 1983. — **89**. — P. 61.
13. Марочник Л.С., Мухин Л.М. // Препринт ИКИ СССР. — 1983, Пр-761.
14. Марочник Л.С., Сучков А.А. Галактика. — М.: Наука, 1984. — 392 с.
15. Никифоров И.И., Петровская И.В. // Астрон. журн. — 1994. — **71**, № 5. — с. 725.
16. Никифоров И.И. Автореферат. Дис. канд.физ.-мат.наук. — С-ПбГУ: ГАО РАН. — 2003. — 21 с.
17. Сурдин В.Г. Астрономо-геодезические исследования: Динамические и физические характеристики небесных тел. — Свердловск: УрГУ. — 1988. — с.36.
18. Сурдин В.Г., Чариков А.В. // Астрон. журн. — 1977. — **54**, вып.1. — с.24.
19. Сучков А.А. Галактика // В кн.: Физика космоса. — М.: Сов.энциклопедия, 1986. — С.62.
20. Шепли Х. Галактики. — М.-Ленинград: ОГИЗ, ГИТТЛ. — 1947. — 226 с.
21. Abadi M., Navarro J., Steinmetz M. & Eke V. // astro-ph/0212282.
22. Alibes A., Labay J. & Canal R. // Astron. Astrophys. — 2001. — **370**. — P. 1103.
23. Argast D., Samland M. Gerhard O.E. & Thielemann F.-K. // Astron. Astrophys. — 2000. — **356**. — P. 873.
24. Arimoto N., Yoshii Y., Takahara F. // Astron. Astrophys. — 1992. — **253**. — P. 21.
25. Baade W. // Astrophys. J. — 1944. — **100**. — P. 137.
26. Baade W. // In: Stellar population. Vatican observ. — 1958. — P. 3.
27. Barry D.C. // Astrophys. J. — 1988. — **334**. — P. 436.
28. Beers T.M., Sommer-Larsen J. // Astrophys. J. Suppl. Ser. — 1995. — **96**. — P. 175.
29. Bellazzini M., Ferraro F.R. & Ibata R. // Astron. J. — 2003. — **125**. — P. 188.
30. Bellazzini M., Ibata R. & Ferraro F.R. // Astron. Astrophys. — 2003. — **405**. — P. 577.
31. Bellazzini M., Ibata R. & Ferraro F.R. // In: Satellites and Tidal Tails, D. Martinez-delgado and F. Prada Eds. ASP Conf. Series. — San Francisco. — 2003. — In press: astro-ph/0304502.
32. Blaauw A. // In: Lada J., Kylafis N.D. Eds. The Physics of Star Formation and Early Stellar Evolution. — NATO ASI Ser. — 1991. — P. 125.
33. Boissier S., Prantzos N. // Mon. Not. R. Astron. Soc. — 2000. — **313**. — P. 338.
34. Bruzual A., Charlot S. // Astrophys. J. — 1993. — **405**. — P. 538.
35. Burkert A., Truran J.W., Hensler G. // Astrophys. J. — 1992. — **391**. — P. 651.
36. Carigi L. // Astrophys. J. — 1994. — **424**. — P. 181.
37. Carigi L. // Rev. Mexicana Astr. Astrofis. — 1996. — **32**. — P. 179.
38. Carlbergh R.G., Dawson P.C., Hsu T., et al. // Astrophys. J. — 1985. — **294**. — P. 674.
39. Carney B. Bulges of Galaxies // eds. B.Jarvis and D.Terndrup, ESO, Garching. — 1990. — P. 26.
40. Carney B.W., Latham D.W., Laird J.B. // Astron. J. — 1989. — **97**. — P. 423.
41. Chang R.X., Hou J.L., Shu C.G. & Fu C.Q. // Astron. Astrophys. — 1999. — **350**. — P. 38.
42. Chiappini C., Matteucci F., Gratton R. // Astrophys. J. — 1997. — **477**. — P. 765.
43. Cioffi D.F., Shull J.M. // Astrophys. J. — 1991. — **367**. — P. 96.
44. Clarke C. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1989. — **238**. — P. 283.
45. Clayton D.D. // Astrophys. J. — 1987. — **315**. — P. 451.
46. Clayton D.D. // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. — 1988. — **234**. — P. 1.
47. Comeron F. Torra J. // Astron. Astrophys. — 1994. — **281**. — P. 35.
48. Cunha K., Lambert D.L. // Astrophys. J. — 1992. — **399**. — P. 586.

49. *D'Antona F., Matteucci F.* // *Astron. Astrophys.* — 1991. — **248**. — P. 62.
50. *Dopita M.A.* // In *Faber S.M. (ed.)*. *Nearly Normal Galaxies from the Planck Time to Present*, Springer, New York. — 1987. — P. 144.
51. *Dwek E.* // *Astrophys. J.* — 1998. — **501**. — P. 643.
52. *Edmunds M.G.* // *Astrophys. J. Suppl. Ser.* — 1975. — **32**. — P. 483.
53. *Edvardsson B., Petterson B., Kharrazi M., Westerlund B.* // *Astron. Astrophys.* — 1995. — **293**. — P. 75.
54. *Eggen O.J., Lynden-Bell D., Sandage A.R.* // *Astrophys. J.* — 1962. — **136**. — P. 748.
55. *Einasto J., Kaasik A., Saar E.* // *Nature.* — 1974. — **250**. — P. 309.
56. *Einasto J., Joeveer M., Kaasik A.* // *Tartu Astron. Obs. Teated.* — 1976. — **54**. — P. 3.
57. *Elmegreen B.G.* // *Astrophys. J.* — 1999. — **517**. — P. 103.
58. *Firmani C., Hernandez X., Tutukov A.* // *Astron. Astrophys.* — 1996. — **403**. — P. 414.
59. *Ferrini F., Matteucci F., Pardi C., Penco U.* // *Astrophys. J.* — 1992. — **387**. — P. 138.
60. *Ferrini F., Molla M., Pardi C., Diaz A.I.* // *Astrophys. J.* — 1994. — **427**. — P. 745.
61. *Ferrini F., Palla F., Penco U.* // *Astron. Astrophys.* — 1990. — **231**. — P. 391.
62. *Fritze-v.Alvensleben U., Kruger H., Fricke K.J.* // *Astron. Astrophys.* — 1991. — **246**. — L59.
63. *Fritze-v.Alvensleben U.* // In: *The Feedback of Chemical Evolution on the Stellar Content of Galaxies*, Meudon. — 1992. — P. 344.
64. *Frogel J.A., Tiede G.P., Kuchinski L.E.* // *Astron. J.* — 1999. — **117**. — P. 2296.
65. *Galli D., Palla F., Ferrini F., Penco U.* // *Astrophys. J.* — 1995. — **443**. — P. 536.
66. *Genzel R., Stutzki J.* // *Ann. Rev. Astron. Astroph.* — 1989. — **27**. — P. 41.
67. *Gilmore G.* // *IAU Symp. No 164.* — 1995. — P. 99.
68. *Gilmore G., Wyse R.F.G., Kuijken K.* // *Ann. Rev. Astron. Astroph.* — 1989. — **27**. — P. 555.
69. *Giovagnoli A., Tosi M.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1995. — **273**. — P. 499.
70. *Goldsmith P.F.* // *Amazing light. A volume dedicated to Charles Hard Townes on his 80th birthday/ Chiao R.Y. (ed.)*. — New York, NY (USA): Springer. — 1996. — P. 285.
71. *Grevesse N., Sauval A.J.* // In: *Solar composition and its evolution — from core to corona*, Eds. Fronlich G., Huber M.C.E., Solanki S.K., von Steiger R. *Kluwer, Space Sciences Series of ISSI.* — 1998. — 5. — P. 161.
72. *Galli D., Palla F., Ferrini F., Penco U.* // *Astrophys. J.* — 1995. — **443**. — P. 536.
73. *Giovagnoli A., Tosi M.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1995. — **273**. — P. 499.
74. *Gratton R., Carretta E., Matteucci F., Sneden. C.* // *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* — 1996. — **92**. — P. 307.
75. *Guiderdoni B., Rocca-Volmerange B.* // *Astron. Astrophys.* — 1987. — **186**. — P. 1.
76. *Hartwick F.D.A.* // *Astrophys. J.* — 1976. — **209**. — P. 418.
77. *Haywood M., Robin A.C., Creze M.* // *Astron. Astrophys.* — 1997. — **320**. — P. 428.
78. *Helmi A., Navarro J., Meza A., Steinmetz M. Eke V.* // *Astrophys. J.* — 2003. — **592L**. — P. 25.
79. *Hohl F.* // In: *La dynamique des galaxies spirales / Ed. L. Weliachev. CNRS.* — Paris. — 1975. — P. 55.
80. *Ibata R.A., Gilmore G.F.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1995. — **275**. — P. 591.
81. *Ibata R.A., Gilmore G.F.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1995. — **275**. — P. 605.
82. *Ibata R.A., Gilmore G., Irwin M.* // *Nature.* — 1994. — **370**. — P. 194.
83. *Ibata R., et al.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 2003. — **340**. — P. 21.
84. *Ibata R., Lewis G., Irwin M. & Cambresy L.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 2002. — **332**. — P. 921.
85. *Ibata R., et al.* // *Astrophys. J.* — 2001. — **551**. — P. 294.
86. *Janes K.A., Phelps R.L.* // *Astron. J.* — 1994. — **108**. — P. 1773.
87. *Jimenez R., Padoan P., Matteucci F., Heavens A.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1998. — **299**. — P. 123.
88. *Jonch-Sorensen H.* // *Astron. Astrophys.* — 1995. — 298. — P. 799.
89. *Kamphuis J., Sancisi R.* // In: *International Scientific Spring Meeting of the Astronomische Gesselshaft: Panchromatic View of Galaxies — their Evolutionary Puzzle*, Kiel (Germany), 8–12 Mar 1993, eds. G.Hensler, Ch. Theis, J.Gallagher (Editions Frontieres). Gif-sur-Yvette, France. — 1994. — P. 317.
90. *Kapteyn J.C.* // *Brit. Assoc. Rept. (South Africa).* — 1905. — A, **257**.
91. *Kapteyn J.C.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1912. — **72**. — P. 743.
92. *Kapteyn J.* // *Astrophys. J.* — 1922. — **55**. — P. 302.
93. *Lacey C., Fall M.* // *Astrophys. J.* — 1986. — **290**. — P. 154.
94. *Larson R.B.* // *Nature Phys.Sci.* — 1972. — **236**, No.5340. — P. 21.
95. *Lepine J.R.D., Duvert G.* // *Astron. Astrophys.* — 1994. — **286**. — P. 60.

96. *Loewenstein M.* // *Astrophys. J.* — 2001. — **557**. — P. 573.
97. *Lynden-Bell D.* // *Vistas in Astronomy.* — 1975. — **19**. — P. 299.
98. *Majewski S.R.* // *Ann. Rev. Astron. Astroph.* — 1993. — **31**. — P. 575.
99. *Martin N.F., et al.* // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2004. — **348**. — P. 12.
100. *Matteucci Fr.* // arXiv:astro-ph/0203340 v1 20Mar 2002.
101. *Matteucci F. & Francois P.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1989. — **239**. — P. 885.
102. *Mayor M., Vigroux L.* // *Astron. Astrophys.* — 1981. — **98**. — P. 1.
103. *Megeath S.T., Cox P., Bronfman L., Roelfsema P.R.* // *Astron. Astrophys.* — 1996. — **305**. — P. 296.
104. *Meyer D.M., Jura M., Hawkins I., Cardelli J.A.* // *Astrophys. J.* — 1994. — **437**. — L59.
105. *Minitti D.* // *Astrophys. J.* — 1996. — **459**. — P. 175.
106. *Minitti D.* // *Astrophys. J.* — 1996. — **459**. — P. 579.
107. *Minitti D., et al.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1995. — **277**. — P. 1293.
108. *Molla M., Diaz A.I., Ferrini F.* // arXiv:astro-ph/0302093 v1 5 Feb 2003.
109. *Molla M., Ferrini F., Diaz A.* // *Astrophys. J.* — 1997. — **474**. — P. 519.
110. *Molla M., Ferrini F., Gozzi G.* // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 2000. — **316**. — P. 345.
111. *Morrison H.L., Harding P.* // *Astron. J.* — 1993. — **105**. — P. 977.
112. *Newberg H., et al.* // *Astrophys. J.* — 2002. — **569**. — P. 245.
113. *Norris J.E.* // *Astrophys. J.* — 1994. — **431**. — P. 645.
114. *Oey M.S.* // *Astrophys. J.* — 2000. — **542**. — L25.
115. *Ojha D.K., et al.* // *Astron. Astrophys.* — 1996. — **311**. — P. 456.
116. *Oort J.H.* // *Nature.* — 1969. — **224**. — P. 1158.
117. *Ostriker J.P., Peebles P.J.E., Yahil A.* // *Astrophys. J. Lett.* — 1974. — **193**. — P. 1.
118. *Pagel B.E.J., Patchett B.E.* // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1975. — **172**. — P. 13.
119. *Pagel B.E.J.* // In: *Nuclei in the Cosmos* ed. H. Oberhummer. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag. — 1990. — P. 97.
120. *Pagel B.E.J., TautvaiSiene G.* // *Mon. Not. R. Astron. Soc.* — 1995. — **276**. — P. 505.
121. *Pardi M.C., Ferrini F.* // *Astrophys. J.* — 1995. — **421**. — P. 491.
122. *Pardi M.C., Ferrini F. & Matteucci F.* // *Astrophys. J.* — 1994. — **444**. — P. 207.
123. *Peimbert M.* // *IAU Symp. No 84.* — 1979. — P. 307.
124. *Pfenniger D., Combes F.* // *Astron. Astrophys.* — 1994. — 285. — P. 94.
125. *Pfenniger D., Combes F., Martinet L.* // *Astron. Astrophys.* — 1994. — **285**. — P. 79.
126. *Pfenniger D., Friedli D.* // *Astron. Astrophys.* — 1991. — **252**. — P. 75.
127. *Pfenniger D., Norman C.* // *Astrophys. J.* — 1991. — **363**. — P. 391.
128. *Pilyugin L.S., Edmunds M.G.* // *Astron. Astrophys.* — 1996. — **313**. — P. 783.
129. *Pilyugin L.S., Edmunds M.G.* // *Astron. Astrophys.* — 1996. — **313**. — P. 792.
130. *Pilyugin L.S.* // *Astron. Astrophys.* — 1996. — **313**. — P. 803.
131. *Pfenniger D., Combes F.* // *Astron. Astrophys.* — 1994. — **285**. — P. 94.
132. *Pfenniger D., Combes F., Martinet L.* // *Astron. Astrophys.* — 1994. — **285**. — P. 79.
133. *Prantzos N., Aubert O.* // *Astron. Astrophys.* — 1995. — **302**. — P. 69.
134. *Quinn P.J., Hernquist L., Fullagar D.P.* // *Astrophys. J.* — 1993. — **403**. — P. 74.
135. *Reid M.J.* // *Annual Rev. Astron. Astrophys.* — 1993. — **31**. — P. 345.
136. *Reid I.N.* // *Annual Rev. Astron. Astrophys.* — 1999. — **37**. — P. 191.
137. *Reid M.J.* // *IAU Symp. No 136.* — 1989. — P. 37.
138. *Rocha-Pinto H.J., Maciel W.J.* // *Rev. Mexicana Astr. Astrofis.* — 1996. — **2**. — P. 130.
139. *Rocha-Pinto H.J., Maciel W.J., Scalo J., Flynn C.* // *Astron. Astrophys.* — 2000. — **358**. — P. 850.
140. *Rocha-Pinto H., Majewski S., Skrutskie M. & Crane J.* // *Astrophys. J.* — 2003. — **594**. — 115L.
141. *Rocha-Pinto H.J., Scalo J., Maciel W.J., Flynn C.* // *Astron. Astrophys.* — 2000. — **358**. — P. 869.
142. *Roy J.-R., Kunth D.* // *Astron. Astrophys.* — 1995. — **294**. — P. 432.
143. *Samland, M., Hensler, G., Theis, Ch.* // *Astrophys. J.* — 1997. — **476**. — P. 544.
144. *Schweizer F.* // In: *Physics Nearby Galaxies. Nature or Nurture?* Eds. T.X.Thuan, C.Balkowski, J.T.T.Van. Editions Frontieres. — 1992. — P. 283.
145. *Searle L., Sargent W.L.* // *Astron. Astrophys.* — 1972. — **173**. — P. 25.
146. *Searle L., Zinn R.* // *Astrophys. J.* — 1978. — **225**. — P. 357.

147. Sembach K.R., et al. // *Astroph. J. Suppl. Ser.* — 2004. — **150**. — P. 387.
148. Shapley H. // *Astrophys. J.* — 1918. — **48**. — P. 89.
149. Shapley H. *Stellar clusters* // *Hundbuch der Astrophysik VII*, Berlin, Springer. — 1933. — **534**.
150. Shaver P.A., et al. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1983. — **204**. — P. 53.
151. Sommer-Larsen J., Yoshii Y. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1989. — **238**. — P. 133.
152. Steinmetz M. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1994. — **276**. — P. 549.
153. Talbot R., Arnett W.D. // *Astrophys. J.* — 1971. — **170**. — P. 409.
154. Talbot R.J., Arnett W.D. // *Astrophys. J.* — 1975. — **197**. — P. 551.
155. Tarter J. // Ph.D. thesis, Univ. Calif., Berkeley. — 1975.
156. Terndrup D.M., Frogel J.A., Whitford A.E. // *Astrophys. J.* — 1990. — **357**. — P. 453.
157. Terndrup D.M., Frogel J.A., Whitford A.E. // *Astrophys. J.* — 1991. — **378**. — P. 742.
158. Testi L., et al. // *Astron. Astrophys.* — 1995. — **303**. — P. 881.
159. Tinsley B.M. // *Fund. Cosm. Phys.* — 1980. — **5**, No. 4. — P. 287.
160. Tinsley B.M. // *Astrophys. J.* — 1981. — **250**. — P. 758.
161. Tosi M. // *Astrophys. J.* — 1982. — **254**. — P. 699.
162. Tosi M. // *Astron. Astrophys.* — 1988. — **197**. — P. 33.
163. Tosi M. // *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* — 1996. — **98**. — P. 298.
164. Tosi M. // In: *Primordial Nuclei and their Galactic Evolution*, Eds. N. Prantzos, M. Tosi & R. Von Steiger. Kluwer. — 1998. — P. 207.
165. Tremain S.D., Ostriker J.P., Spitzer L. // *Astrophys. J.* — 1975. — **196**. — P. 407.
166. Tsujimoto T., Yoshii Y., Nomoto K., Shigeyama T. // *Astron. Astrophys.* — 1995. — **302**. — P. 704.
167. Tsujimoto T., Shigeyama T. & Yoshii Y. // *Astrophys. J.* — 1999. — **519**. — P. 63.
168. Twarog B.A. // *Astrophys. J.* — 1980. — **242**. — P. 242.
169. Van den Bergh S. // *Astron. J.* — 1993. — **105**. — P. 971.
170. Van den Bosch F.C. // *Astrophys. J.* — 1998. — **505**. — P. 601.
171. Van den Bosch F.C. // *The formation of galactic bulges* (eds. C.M. Carollo, H.C. Ferguson, R.F.G. Wyse.). — New York: Cambridge University Press. — 1999. — P. 50.
172. Van den Hoek L.B. *On the chemical and spectro-photometric evolution of nearby galaxies* // *Astron. Institut 'Anton Pannekoek', Amsterdam, The Netherlands.* — 1997. — 292 p.
173. Van den Hoek L.B., de Jong T. // *Astron. Astrophys.* — 1997. — **318**. — P. 231.
174. Wada K., Habe A., Sofue Y. // *Publ. Astr. Soc. Pac.* — 1995. — **47**. — P. 121.
175. White S., Frenk C. // *Astrophys. J.* — 1991. — **379**. — P. 52.
176. White S.D.M., Rees M.J. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1978. — **183**. — P. 341.
177. Wielen R., Fuchs B., Dettbarn C. // *Astron. Astrophys.* — 1996. — **314**. — P. 438.
178. Woosley S.E., Weaver T.A. // *Astrophys. J.* — 1994. — **423**. — P. 371.
179. Wyse R.F.G. // *IAU Symp. No 164.* — 1995. — P. 133.
180. Wyse R.F. // *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.* — 1999. — **293**. — P. 429.
181. Wyse R.F.G., Gilmore G.F. // *Astron. J.* — 1992. — **104**. — P. 144.
182. Yanny B., et al. // *Astrophys. J.* — 2003. — **588**. — P. 824.
183. Zakhzhaj V.A. // *Extension and connection of reference frames using ground based CCD technique.* Nikolaev. — 2001. — P. 274.
184. Zinn R. // *Astrophys. J.* — 1985. — **293**. — P. 424.
185. Zinn R. // *Astron. Soc. Pac. Conf. Ser.* — 1996. — **92**. — P. 211.

Поступила в редакцию 4.12.2008