

УДК 520.8; 519.65; 524.7

ИНФОРМАЦИОННАЯ СИСТЕМА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ ГАЛАКТИК, ВИДИМЫХ С РЕБРА

© 2021 Д. И. Макаров^{1*}, А. В. Антипова¹¹ Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 3 августа 2020 года; после доработки 10 декабря 2020 года; принята к публикации 10 декабря 2020 года

Мы приводим описание системы, созданной в рамках проекта по исследованию галактик, видимых с ребра. Эти галактик представляют уникальную возможность изучения трехмерного распределения вещества в дисках галактик, что чрезвычайно важно для анализа влияния внутренних и внешних факторов на эволюцию галактик. На данный момент накоплен богатый наблюдательный материал о кинематике и фотометрии таких галактик. Информационная система предназначена для систематизации информации, удобства ее визуализации и усовершенствования работ по исследованию этого класса объектов. База данных объединяет информацию из предшествующих каталогов галактик, видимых с ребра, и данные из текущих проектов; предоставляет доступ к астрометрической и фотометрической информации; осуществляет взаимосвязь с другими базами данных. В настоящей работе описаны структура и web-доступ к базе данных: <https://www.sao.ru/edgeon/>.

Ключевые слова: астрономические базы данных — галактики

1. ВВЕДЕНИЕ

Галактики, видимые под углом, близким к 90° , предоставляют уникальную возможность для исследования вертикальной структуры дисков и балджей галактик. Поэтому они традиционно привлекают к себе внимание исследователей. P. van der Kruit и K. Freeman с коллегами выполнили ряд фундаментальных исследований таких галактик в 1980–1990 гг. Было показано, что вертикальное распределение вещества в дисках галактик хорошо описывается моделью самогравитирующего изотермического слоя, в которой вертикальная шкала диска напрямую связана с вертикальной дисперсией скоростей и поверхностной плотностью звезд в диске (van der Kruit and Searle 1981). Было обнаружено, что вертикальная шкала дисков галактик остается практически постоянной вдоль радиуса галактики.

Описание влияния пыли в галактиках, повернутых к наблюдателю ребром, является сложной задачей. Необходимо учитывать сложную структуру галактики, различия в радиальном и вертикальном распределении звезд и пыли, рассеяние излучения на пылевых частицах. Dalcanton et al. (2004) обнаружили, что пылевая полоса проявляется только в быстро вращающихся системах, $V_{\text{rot}} > 120 \text{ км с}^{-1}$. Медленно вращающиеся галактики показывают диффузное распределение пыли. Толщины слоев пыли и газа в карликовых,

$V_{\text{rot}} < 100 \text{ км с}^{-1}$, тонких галактиках сопоставимы с вертикальной шкалой звездного диска (Bizyaev et al. 2017). Проявление пылевой полосы в массивных галактиках, по всей видимости, связано с гравитационной неустойчивостью в смешанном газово-звездном диске и может приводить к значительному росту темпа звездообразования в массивных галактиках.

Плоскими галактиками с отношением осей $a/b > 7$ являются спирали поздних морфологических типов, видимые с ребра. Как правило, подобные галактики богаты газом, имеют низкую поверхностную яркость и низкий темп звездообразования (Kautsch 2009, Matthews et al. 1999, Matthews and van Driel 2000). Kudrya et al. (1994) на основе распределение видимых сжатий плоских галактик показали, что максимальное истинное отношения осей в синем диапазоне для галактических дисков равно $a/b = 25.8$. В работах Zasov et al. (1991), Sotnikova and Rodionov (2006) и Khoperskov et al. (2010) подчеркивается, что существование очень тонких, $a/b > 10$, чисто дисковых галактик возможно только в присутствии массивного темного гало вокруг них. Теоретическое соотношение между толщиной диска и массой его сферического компонента позволяет оценивать нижнюю границу массы темного гало в галактиках. Анализ кривых вращения сверхтонких галактик указывает на существование гало темной материи с компактным ядром, причем характерный радиус

*E-mail: dim@sao.ru

ядра темного гало примерно равен половине шкалы диска галактики (Kurapati et al. 2018).

Приведенные выше результаты подчеркивают важность изучения галактик, видимых с ребра, для понимания физических процессов формирования, эволюции и морфологической трансформации галактик во Вселенной.

Базы данных зарекомендовали себя как важный инструмент сбора, систематизации и анализа разнообразной информации. На данный момент наиболее известными и крупными являются: NASA Extragalactic Database¹ (NED), HyperLeda² (Makarov et al. 2014), SIMBAD³ и VizieR⁴. Эти базы данных содержат информацию из различных обзоров неба и наблюдений отдельных объектов, опубликованных в литературе; предоставляют интерфейс для поиска, идентификации и визуализации разнообразной информации; осуществляют взаимную связь между различными базами данных. Однако универсальность и невозможность объять необъятное приводят к определенным сложностям и ограниченности этих ресурсов при изучении специфических классов объектов, наподобие выборки галактик, видимых с ребра. В частности, автоматические алгоритмы выделения, классификации и фотометрии подобных объектов часто дают сбой. Распределение галактик по размерам, морфологии и поверхностной яркости чрезвычайно широкое. Это приводит к невозможности подобрать оптимальный набор параметров, которые одинаково хорошо описывали бы чрезвычайно далекие, практически точечные объекты на космологических красных смещениях и близкие протяженные галактики, показывающие сложную и богатую внутреннюю структуру. В результате возникают хорошо известные проблемы искусственного расщепления протяженных объектов на более мелкие и, как следствие, неверная оценка наблюдательных параметров. Галактики, видимые с ребра, в этом ряду занимают отдельное место, так как в распределении их поверхностной яркости важную роль играют эффекты интегрирования вдоль луча зрения, наличие чрезвычайно сильной пылевой полосы для гигантских галактик и большая сплюснутость объектов. Все это приводит к большим систематическим ошибкам наблюдаемых параметров галактик, видимых с ребра, хранящихся в универсальных базах данных.

В последнее время галактики, видимые с ребра, активно изучаются, в том числе и авторами статьи. Создание данной информационной системы было вызвано персональными потребностями авторов

в структурировании и систематизации данных, в удобстве их визуализации и облегчении анализа результатов. Возникла необходимость иметь под рукой универсальный инструмент для работы с выборками галактик, который можно было бы легко и быстро адаптировать под различные задачи, решаемые в рамках исследования галактик, видимых с ребра. Это определило актуальность создания базы данных объектов данного класса.

2. ОПИСАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ

Информационная система для изучения галактик, видимых с ребра, функционирует на серверах Специальной астрофизической обсерватории РАН: <https://www.sao.ru/edgeon/>.

База данных работает под управлением объектно-реляционной системы управления базами данных PostgreSQL⁵. Эта система с открытым кодом характеризуется надежностью, функциональностью и производительностью. PostgreSQL базируется на языке структурированных запросов SQL. PostgreSQL предоставляет поддержку встроенных процедурных языков программирования PL/pgSQL, PL/Perl, PL/Python и PL/Tcl. Есть возможность загрузки модулей расширения на языке C. В PostgreSQL реализованы программные интерфейсы для большого числа языков программирования, таких как Python, Perl, PHP, ODBC и т.д. Он характеризуется простотой расширения, возможностью создания новых типов данных, индексов, операторов и функций. В PostgreSQL также реализована система наследования таблиц.

Основу базы данных составляют три каталога галактик, видимых с ребра. Это Обновленный каталог плоских галактик (Revised Flat Galaxy Catalogue, RFGC) (Karachentsev et al. 1999), Каталог дисковых галактик, видимых с ребра, в SDSS-обзоре (Catalog of Edge-on Disk Galaxies from SDSS, EGIS) и Каталог плоских галактик, выделенных в 2MASS-обзоре (2MASS-selected Flat Galaxy Catalog, 2MFGC). Принципиальная структура базы данных представлена на рис. 1, иллюстрирующем взаимосвязи между различными таблицами.

2.1. The Revised Flat Galaxy Catalogue

Каталог RFGC был создан в 1999 г. И. Д. Караченцевым с коллегами и содержит сведения о 4236 тонких галактиках с диаметрами $a > 40''$ и отношением осей $a/b \geq 7$ на «синих» фотографических изображениях POSS- и ESO/SERC-обзорах неба. Кроме того, для преемственности в

¹<https://ned.ipac.caltech.edu/>

²<http://leda.univ-lyon1.fr/>

³<http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

⁴<https://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>

⁵<https://www.postgresql.org/>

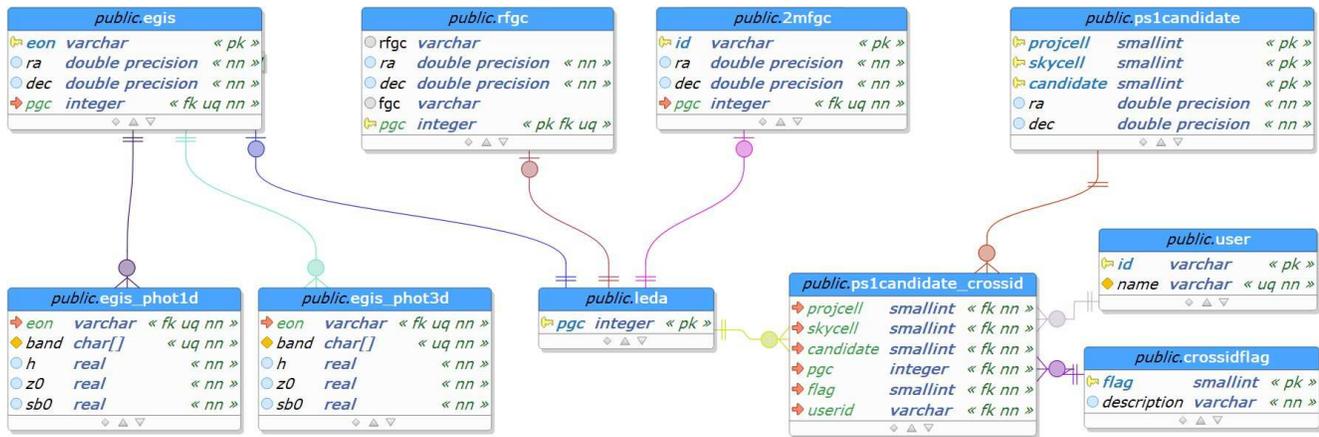


Рис. 1. Принципиальная схема структуры базы данных. Более подробно структура таблиц описана в приложениях.

него были включены 208 объектов из предыдущих версий каталога FGC (Karachentsev et al. 1993), которые перестали удовлетворять критерию отбора после уточнения их параметров.

В каталоге содержится информация о позиционном угле галактики; «синих» и «красных» размерах, полученных по фотоотпечаткам POSS-I; полная видимая B -звездная величина, рассчитанная на основе размеров, морфологического типа и класса поверхностной яркости, как это описано в каталоге RFGC (Karachentsev et al. 1999); морфологический тип галактики; индекс асимметрии; индекс поверхностной яркости и количество значимых спутников. Подробная структура каталога приведена в Приложении 4.

2.2. The Catalog of Edge-on Disk Galaxies from SDSS

Как это следует из названия, каталог EGIS был создан на основе обзора SDSS (Bizyaev et al. 2014) и содержит данные о 5747 истинных галактиках, видимых с ребра. Каталог состоит из трех таблиц:

egis — список галактик с их идентификацией и астрометрией;

egis_phot1d — фотометрические параметры галактик, полученные из анализа одномерного профиля галактики. В таблице даны горизонтальная экспоненциальная шкала диска; вертикальная sech^2 -шкала диска; центральная поверхностная яркость, приведенная к положению галактики плашмя; полная апертурная звездная величина, исправленная за поглощение в нашей Галактике, и доля вклада балджа в полную светимость галактики;

egis_phot3d — параметры диска (центральная поверхностная яркость, вертикальная и горизонтальная шкалы), полученные из моделирования

распределения поверхностной яркости на изображении галактики.

Фотометрические параметры были получены по изображениям в трех фильтрах, *gri*, из обзора SDSS dr7 (Abazajian et al. 2009). Каталог сопровождается архивом обработанных изображений в соответствующих фильтрах, использовавшихся при фотометрии. Структура каталога описана в Приложении 4.

2.3. 2MASS-selected Flat Galaxy Catalog

Каталог 2MFGC был создан на основе автоматического отбора объектов из инфракрасного обзора неба 2MASS (Mitronova et al. 2004). Он содержит 18 020 галактик, распределенных по всему небу, с отношением осей $a/b \geq 3$. Каталог содержит информацию о фотометрии в полосах J , H , K_s из каталога протяженных источников обзора 2MASS (Jarrett et al. 2000). Структура каталога дана в Приложении 4.

2.4. Кандидаты в галактики, видимые с ребра, из обзора Pan-STARRS

Наша информационная система активно используется в работах по составлению нового каталога галактик, видимых с ребра, на основе обзора неба Pan-STARRS. Мы готовим к публикации этот каталог и алгоритм поиска вошедших в него галактик. Здесь же мы приводим краткое описание и структуру данных каталога кандидатов. Вся информация о текущем состоянии проекта доступна на странице проекта⁶.

Примерно 27 000 кандидатов были отобраны с использованием искусственных нейронных сетей

⁶<https://www.sao.ru/edgeon/catalogs.php?cat=PS1candidate>

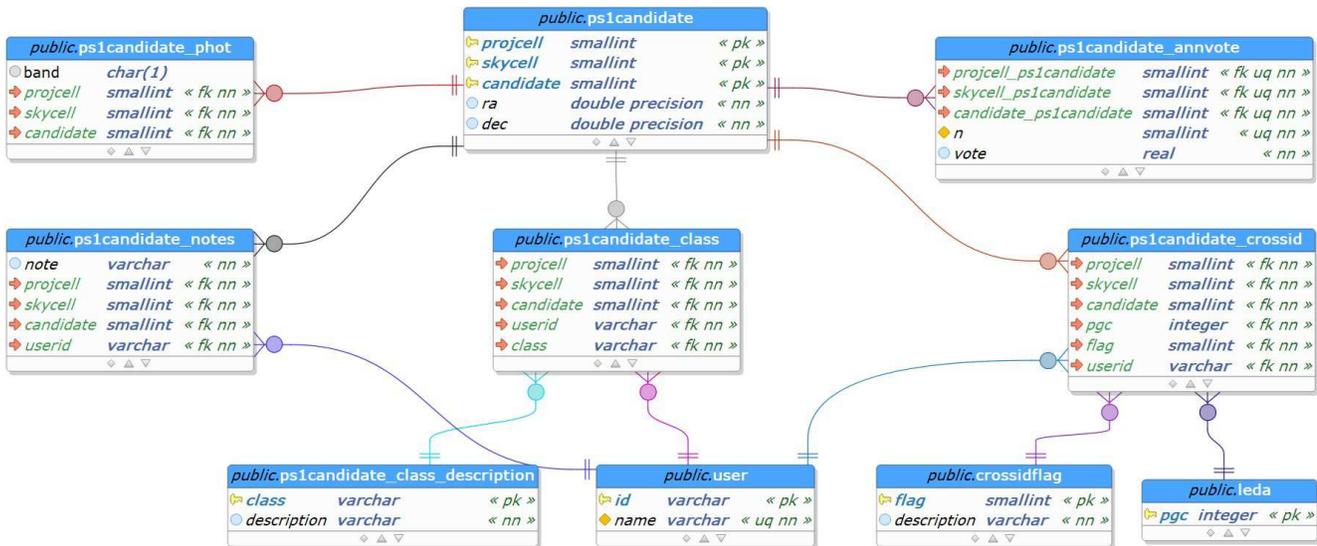


Рис. 2. Принципиальная схема структуры каталога кандидатов в галактики, видимые с ребра, из Pan-STARRS. Более подробно структура таблиц описана в Приложении 4.

(ИНС), обученных на выборке галактик из EGIS- и RFGC-каталогов. В дальнейшем все кандидаты прошли визуальную классификацию для отсева ложных объектов и различных артефактов, маскирующих под галактики, видимые с ребра. На данном этапе идет работа по уточнению фотометрии отобранных кандидатов. База данных использовалась для хранения и систематизации информации по кандидатам; предоставления удобного интерфейса для просмотра данных конкретных объектов; отсева дефектов изображений, маскирующих под искомые галактики; визуальной классификации объектов (см. раздел 3.1); составления различных выборок и анализа данных.

В связи со сложностью проекта и его многоэтапностью структура каталога получилась более разветвленной, чем вышеописанные уже готовые каталоги. Принципиальная схема каталога в базе данных проиллюстрирована на рис. 2. Для компактности на ней указаны только те поля, которые важны для понимания взаимосвязи между таблицами. Каталог кандидатов состоит из следующих таблиц:

- ps1candidate* — список кандидатов;
- ps1candidate_annvote* — классификация, выполненной с использованием ИНС;
- ps1candidate_class* — результаты визуального просмотра кандидатов;
- ps1candidate_phot* — автоматическая фотометрия, выполненная программой SExtractor⁷;

ps1candidate_crossid — кросс-идентификация с галактиками в базе данных HyperLeda (Makarov et al. 2014);

ps1candidate_notes — различные примечания, сделанные в ходе работы с галактиками.

Для облегчения работы с каталогом кандидатов были разработаны представления (view), объединяющие «на лету» в единую структуру информацию из различных таблиц:

ps1candidate_class_stats — рассчитывает статистику по визуальной классификации каждой галактики;

ps1candidate_final — «очищенная» выборка объектов для создания финальной версии каталога.

Структура каталога приведена в Приложении 4.

Каталог сопровождается архивом изображений. На данный момент он содержит FITS-файлы в пяти фильтрах, взятые из архива обзора Pan-STARRS⁸, и JPEG-изображения с нанесенными контурами выделенных объектов. JPEG-изображения используются при визуализации данных с помощью web-интерфейса.

2.5. Взаимодействие с HyperLeda

Взаимосвязь между объектами в разных каталогах внутри нашей базы данных осуществляется с использованием уникального идентификатора —

⁷<https://sextractor.readthedocs.io/>

⁸<https://ps1images.stsci.edu/cgi-bin/ps1cutouts>

PGC-номера галактик в базе данных HyperLeda⁹ (Makarov et al. 2014). Это позволяет связывать воедино информацию для конкретной галактики из различных таблиц и каталогов и визуализировать весь набор данных. Нами проводится кросс-корреляция объектов с галактиками из базы данных HyperLeda (Makarov et al. 2014). При отсутствии совпадений недостающие галактики добавляются в базу данных HyperLeda, что позволяет, с одной стороны, поддерживать взаимосвязи в актуальном состоянии и, с другой стороны, пополнять HyperLeda новой информацией.

3. WEB-ИНТЕРФЕЙС

На стартовой странице¹⁰ дана информация о проекте, описаны его цели и задачи. Разделы «Проекты» и «Каталоги» посвящены текущим проектам и коллекции данных. Web-интерфейс визуализации данных реализован в виде двух универсальных опций: визуализация каталога как целого в виде таблицы и визуализация информационных карт индивидуальных объектов с подробными данными. Помимо универсальных методов визуализации, каждый конкретный набор данных может иметь свою собственную систему отображения для более гибкого учета специфики структуры каталогов и содержащихся в них данных. Предусмотрен поиск объектов в базе данных по координатам. Web-интерфейс нашей базы данных галактик, видимых с ребра, реализован на скриптовом языке PHP¹¹ с использованием JavaScript. Система постоянно расширяется и пополняется новыми данными и возможностями.

3.1. Сервис визуальной классификации объектов

Работа с каталогом кандидатов в галактики, видимые с ребра (см. раздел 2.4), потребовала массового визуального просмотра изображений, классификации объектов, отсева «мусора» и сохранения информации в базе данных. Изначально для этой цели мы пользовались сервисом гражданской науки Zooniverse¹², который является развитием проекта Galaxy Zoo. Однако это требовало больших трудозатрат по подготовке изображений для просмотра, их загрузке на сервера Zooniverse, организации самой классификации и последующего анализа результатов. Поэтому мы разработали свою собственную систему визуальной инспекции и классификации галактик, развернутую на нашем сервере. Это существенно упростило и ускорило

процесс создания опросника, проведения визуальной инспекции и анализа полученных результатов. Наша система классификации идеологически близка к системе опроса в проекте Zooniverse. Основное отличие связано с активным использованием программы Aladin Lite¹³, которая позволяет визуализировать данную область неба из различных обзоров, масштабировать изображения для более детального осмотра, а также свободно перемещаться по всему небу для контроля окрестностей объекта.

Система позволяет легко и быстро создавать опросники, связывать их с различными наборами данных и собирать ответы от зарегистрированных пользователей. На данный момент сервис визуальной классификации не предполагает предоставления публичного доступа. Поэтому ответственность за формирование выборки объектов для классификации, создание системы вопросов и предоставление доступа участникам проекта возлагается на администратора системы. С этой целью были созданы следующие таблицы:

user — список пользователей для персонификации выполняемых работ;

quiz — содержит описание конкретного проекта, связывает его с таблицами в базе данных и задает предельное количество классификаций на объект;

quiz_question — список вопросов, составляющих основу классификации;

quiz_result — коллекция классификаций, выполненная различными пользователями в различных проектах;

quiz_result_info — представление (view), объединяющее «на лету» информацию по классификации и облегчающее анализ информации.

Схема таблиц дана в Приложении 4. Web-интерфейс формирует опросник на основе информации о текущем проекте. Вопросы могут объединяться в группы для удобства классификации. Есть возможность как выбрать одно значение из набора вопросов с помощью радиокнопок, так и указать наличие или отсутствие конкретного признака с помощью флагов. Информация о выбранных опциях передается в базу данных, где записывается в таблицу *quiz_result* с указанием конкретного проекта, пользователя, выполнившего классификацию, и времени. Объекты для классификации выбираются случайным образом из списка еще не прошедших классификацию данным пользователем и общее количество классификаций которых не превысило заданного лимита. Пример страницы

⁹<http://leda.univ-lyon1.fr/>

¹⁰<https://www.sao.ru/edgion/>

¹¹<https://www.php.net/>

¹²<https://www.zooniverse.org/>

¹³<https://aladin.u-strasbg.fr/>

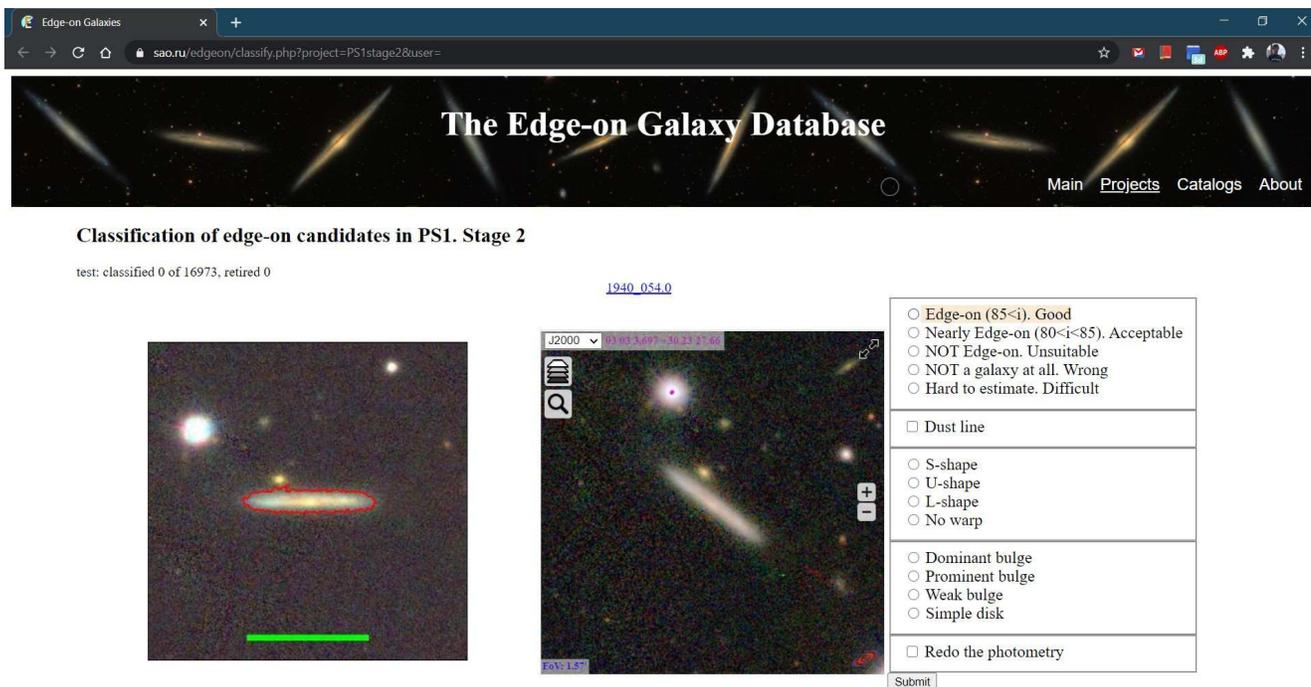


Рис. 3. Пример страницы сервиса визуальной классификации галактик. Каждому пользователю дается информация о том, для скольких объектов из списка он выполнил классификацию и для какого количества объектов набрана достаточная статистика (retired). Дается ссылка на страницу самого объекта (1940_054.0). Приводится изображение галактики с контуром выделения (картинка слева) и соответствующий кусок карты неба, визуализированный с помощью программы Aladin Lite (картинка справа). Справа расположен раздел классификации, позволяющий группировать вопросы по темам.

классификации приведен на рис. 3. Эта система была использована при визуальной инспекции кандидатов в галактики, видимые с ребра, в обзоре Pan-STARRS.

3.2. Сервис идентификации объектов с базой данных HyperLeda

В базе данных реализован простой алгоритм идентификации объектов, аналогичный принятому в HyperLeda (Makarov et al. 2014). Вокруг каждого отождествляемого объекта проводятся два круга радиусами $R_1 < R_2$. Если внутри этих кругов обнаруживается только один объект из HyperLeda и он лежит внутри круга R_1 , то производится автоматическая идентификация отождествляемого объекта с соответствующей галактикой. Если в HyperLeda не обнаружена ни одна галактика внутри круга R_2 , то отождествляемый объект помечается как новая галактика. Во всех остальных случаях объект передается для ручной проверки. Для этого был организован web-интерфейс, работа с которым регулируется администратором. Пример страницы отождествления приведен на рис. 4. Зарегистрированным пользователям предоставляется возможность выбрать наилучшее соответствие

между отождествляемым объектом и списком известных галактик в HyperLeda, представленным в табличной форме с указанием наиболее полезных в отождествлении параметров. Для удобства известные галактик отсортированы по мере удаления от отождествляемого объекта. Для визуализации окрестностей объекта используется Aladin Lite. На изображении отмечаются как положение отождествляемого объекта (помечен красным крестом), так и известные галактики (голубые точки), характерные размеры которых обводятся белыми эллипсами. Пользователь может отождествить объект, либо пометить его как новую галактику, либо отложить для дальнейшего более подробного рассмотрения. Соответствующий выбор заносится в базу данных с информацией о пользователе и времени отождествления.

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Мы создали информационную систему для изучения галактик, видимых с ребра, <https://www.sao.ru/edgeon/>. Ее основу составляют известные каталоги: RFGC (Karachentsev et al. 1999), EGIS (Bizyaev et al. 2014) и 2MFGC (Mitronova

The Edge-on Galaxy Database

Object [1374_018.0](#) : 206.419980385 0.8118947685825

J2000

PGC1176109
 1176109 G : 1.1 S?
 D25=27.1 A/B=3.21
 PA=88.19 Bt=17.357
 It=15.551 cz=26418

Reset Submit Skip... New object

Sep ["]	PGC	Name	O	T	Type	D25 ["]	A/B	PA [d]	B [mag]	V [mag]	I [mag]	cz [km/s]	Link
0.32	1176109	PGC1176109	G	1.1	S?	27.1	3.21	88.19	17.357	15.551	26418		Leda
21.15	3300680	PGC3300680	G			27.3	4.76	148.06	18.853	18.025	9473		Leda

Рис. 4. Пример страницы сервиса для визуальной идентификации объектов. Дается ссылка на страницу объекта (1374_018.0) и его координаты в градусной мере. С помощью программы Aladin Lite показываются окрестности объекта на небе.

et al. 2004). Система легко модифицируется. Эта система была основой проекта по созданию нового каталога галактик, видимых с ребра, выделенных в обзоре Pan-STARRS с использованием искусственных нейронных сетей. Информационная система предоставляет web-интерфейс доступа к каталогам и различным данным о галактиках, таких как астрометрия, фотометрические параметры, данные о морфологии и визуальной классификации объектов. Осуществлена взаимодействие с базой данных HyperLeda (Makarov et al. 2014) и цифровыми архивам данных через Aladin Lite.

Данная работа — это первый шаг по сбору и систематизации информации о галактиках, видимых с ребра. В наших ближайших планах стоит добавление каталога фотометрических параметров, полученных в ходе массового анализа изображений с использованием программы GalFit¹⁴ (Peng et al. 2010) из различных обзоров неба, таких как SDSS, Pan-STARRS и Legacy Survey. На данный момент накоплен богатый наблюдательный материал о кинематике газа в плоских галактиках. В том числе наблюдения велись на 6-м телескопе САО РАН. Интеграция этой информации в нашу базу данных представляет чрезвычайно важной. Среди каталогов, которыми планируется пополнить нашу систему, следует отметить выборку галактик, видимых с ребра, найденных в глубоких полях телескопа

Хаббла (Reshetnikov et al. 2019). Сопоставление свойств галактик в локальной Вселенной с галактиками на $z \sim 1$ крайне важно для понимания эволюции и морфологической трансформации галактик. Кроме того, мы планируем добавлять разнообразную информацию, опубликованную в литературе.

Мы уверены, что представленная информационная система для исследования галактик, видимых с ребра, будет способствовать получению новых астрофизических результатов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Мы подтверждаем использование базы данных HyperLeda¹⁵ (Makarov et al. 2014). В проекте использовался «Aladin Sky Atlas»¹⁶, разработанный в CDS Boch and Fernique (2014), Bonnarel et al. (2000).

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 19-32-90244. Работа по составлению нового каталога галактик, видимых с ребра, выполняется в рамках гранта РНФ № 19-12-00145.

¹⁴<https://users.obs.carnegiescience.edu/peng/work/galfit/galfit.html>

¹⁵<http://leda.univ-lyon1.fr>

¹⁶<https://aladin.u-strasbg.fr/>

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ПРИЛОЖЕНИЕ

СТРУКТУРА КАТАЛОГА RFGC

Каталог представлен в виде таблицы, следующей структуре RFGC-каталога, описанной в оригинальной работе Karachentsev et al. (1999):

rfgc — идентификатор галактики из каталога RFGC в диапазоне от RFGC 0001 до RFGC 4236;

fgc — имя галактики из каталога FGC (Karachentsev et al. 1993) (FGC 0001–FGC 2573). Южное расширение каталога содержит обозначения от FGCE 0001 до FGCE 1882;

ra, dec — прямое восхождение и склонение галактики в градусах на эпоху J2000.0. Координаты были уточнены по базе данных HyperLeda (Makarov et al. 2014);

pa — позиционный угол большой оси галактики в градусах, измеряемый от севера к востоку;

aO, bO — «голубые» диаметры большой и малой осей галактики в угловых минутах в системе размеров POSS-I;

aE, bE — «красные» диаметры большой и малой осей галактики в угловых минутах в системе размеров POSS-I;

type — морфологический тип галактики согласно классификации Хаббла;

As — индекс асимметрии (0 — симметричная галактика, 2 — выраженная асимметрия);

sb — индекс средней поверхностной яркости (1 — высокая, 4 — очень низкая);

Btot — видимая полная *B*-звездная величина, рассчитанная на основе размеров, морфологического типа и класса поверхностной яркости, как это описано в каталоге RFGC;

nsat — количество значимых спутников (см. описание в оригинальном каталоге RFGC);

notes — содержит примечания по галактикам;

pgc — PGC-номер галактики из базы данных HyperLeda (Makarov et al. 2014).

СТРУКТУРА КАТАЛОГА EGIS

Каталог сформирован на основе последних версий таблиц¹⁷ 4 и 6 из работы Bizyaev et al. (2014). Оригинальные таблицы содержат фотометрию галактик, выполненную двумя различными способами. Они были преобразованы в три таблицы базы данных с целью устранения избыточности.

egis

Данная таблица содержит список «истинных» галактик, видимых с ребра (Bizyaev et al. 2014):

eon — уникальный идентификатор галактики из оригинальной статьи;

ra, dec — прямое восхождение и склонение галактики в градусах на эпоху J2000.0;

altname — имя галактики в других каталогах;

type — морфологический тип галактики: Sa, Sb, Sc, Sd, Ir;

rv — гелиоцентрическая радиальная скорость в км с⁻¹ по данным HyperLeda, как приведено в оригинальном каталоге (Bizyaev et al. 2014).

egis_phot1d

Таблица фотометрии из одномерного анализа профилей яркости галактик, видимых с ребра:

eon — уникальный идентификатор, связанный с таблицей *egis*;

band — SDSS-фильтр (*gri*);

pa — позиционный угол галактики;

h, e_h — радиальная экспоненциальная шкала диска галактики в угловых секундах и ее ошибка;

z0, e_z0 — вертикальная sech^2 -шкала диска галактики в угловых секундах и ее ошибка;

sb0, e_sb0 — центральная поверхностная яркость галактики, приведенная к положению плашмя, в mag arcsec^{-2} и ее ошибка;

grad_z0 — градиент вертикальной шкалы диска *z0*, нормализованный на отношение шкал $\frac{dz_0}{dr} \frac{h}{z_0}$;

mag — полная апертурная звездная величина внутри ограничивающего эллипса, скорректированная за поглощение в нашей Галактике, согласно (Schlegel et al. 1998);

B/T — отношение яркости балджа к полной светимости галактики;

¹⁷<http://users.apo.nmsu.edu/~dmbiz/EGIS/>

fits — указатель на FITS-файл в локальном архиве;

ima — указатель на изображение галактики в данном фильтре для визуализации с помощью web-интерфейса.

egis_phot3d

Таблица фотометрии из анализа распределения яркости галактик на SDSS-изображении в фильтре *r* (3D-Analysis):

eon — уникальный идентификатор, связанный с таблицей **egis**;

band — SDSS-фильтр. Должен быть всегда равным (*r*);

h — радиальная экспоненциальная шкала диска галактики в угловых секундах;

z0 — вертикальная *sech*²-шкала диска галактики в угловых секундах;

sb0 — центральная поверхностная яркость галактики, приведенная к положению плашмя, в mag arcsec^2 .

СТРУКТУРА КАТАЛОГА 2MFGC

id — 2MFGC-обозначение галактики (2MFGC 00001–2MFGC 18020);

pgc — PGC-номер галактики из базы данных HyperLeda (Makarov et al. 2014);

ra, dec — прямое восхождение и склонение галактики в градусах на эпоху J2000.0;

r — эллиптический кроновский радиус в 2MASS фильтре *K_s*. Эта апертура использовалась для фотометрии во всех трех 2MASS-фильтрах;

Jmag — кроновская звездная величина в *J*-фильтре обзора 2MASS;

Hmag — кроновская звездная величина в *H*-фильтре обзора 2MASS;

Ksmag — кроновская звездная величина в *K_s*-фильтре обзора 2MASS;

b/a — отношение осей галактики в комбинированном *J + H + K_s*-изображении;

b/a1 — отношение осей усредненное по индивидуальным изображениям в *J*-, *H*- и *K_s*-фильтрах;

pa — позиционный угол в комбинированном изображении, измеряемый от севера N к востоку E;

CI — индекс концентрации в фильтре *J* (отношение радиусов, в которых сосредоточено 3/4 и 1/4 света галактики).

СТРУКТУРА ТАБЛИЦ КАНДИДАТОВ ИЗ ОБЗОРА PAN-STARRS

ps1candidate

Таблица содержит информацию о кандидатах в галактики, видимые с ребра, найденных в обзоре Pan-STARRS. Она содержит идентификатор объекта; его координаты; фотометрические параметры, полученные при первичном выделении, и указатели на файлы в локальном архиве.

projcell, subcell, candidate — эта комбинация из трех цифр используется в качестве уникального идентификатора объектов и определяется спецификой организации архива изображений в обзоре Pan-STARRS¹⁸. Пара чисел *projcell* и *subcell* указывает номер проекции на небе и номер ячейки в данном разбиении соответственно. Номер кандидата — *candidate*, — найденного на данном изображении нашим алгоритмом поиска галактик, видимых с ребра;

ra, dec — прямое восхождение и склонение кандидата в градусах на эпоху J2000.0;

sma_r — большая полуось, соответствующая характерной ширине гауссианы, вписанной в двумерное распределение света от галактики на изображении в *r*-фильтре;

ell_r — эллиптичность, $1 - b/a$, соответствующей гауссианы;

pa_r — соответствующий позиционный угол на изображении;

mag_r — оценка полной видимой звездной величины объекта;

fits_g, fits_r, fits_i — указатели FITS-файлов в локальном архиве изображений для каждого из трех фильтров;

image, contour — цветное изображение и изображение с нанесенным контуром выделения кандидата соответственно для удобства просмотра кандидатов.

ps1candidate_annvote

Данная таблица содержит информацию о классификации кандидатов, полученную в пяти разных моделях искусственной нейронной сети, обученных для классификации галактик, видимых с ребра:

projcell, subcell, candidate — уникальный идентификатор объекта, связанный с таблицей *ps1candidate*;

¹⁸<https://outerspace.stsci.edu/display/PANSTARRS/PS1+Sky+tessellation+patterns>

n — номер модели, использованной для классификации кандидата;

$vote$ — индекс соответствия галактикам, видимым с ребра, полученный в рамках соответствующей модели: 0 — не соответствует, 1 — классифицирована как галактика, видимая с ребра.

ps1candidate_class

Данная таблица содержит информацию о визуальной классификации кандидатов участниками проекта. Процесс классификации разбивался на несколько этапов, поэтому один и тот же объект мог быть классифицирован одним и тем же человеком несколько раз.

projcell, *subcell*, *candidate* — уникальный идентификатор объекта, связанный с таблицей *ps1candidate*;

userid — идентификатор пользователя, выполнившего классификацию;

date — время классификации;

workflow — указатель этапа, в ходе которого была проведена идентификация;

class — собственно классификация, выполненная данным пользователем, в ходе текущего этапа. Возможные следующие значения: **good** — галактика видна практически с ребра; **acceptable** — галактика видна под большим углом к лучу зрения; **unsuitable** — объект не является галактикой, видимой с ребра; **wrong** — кандидат не является галактикой (дефект изображения либо комбинации звезд);

use — флаг использования данной классификации в статистике (**true** или **false**).

ps1candidate_phot

В таблице собрана фотометрия галактик, выполненная программой SExtractor¹⁹ по изображениям из обзора Pan-STARRS в пяти фильтрах:

projcell, *subcell*, *candidate* — уникальный идентификатор объекта, связанный с таблицей *ps1candidate*;

band — Pan-STARRS1-фильтр (g, r, i, z, y);

ra, *dec* — прямое восхождение и склонение кандидата в градусах на эпоху J2000.0;

xima, *yima* — координаты барицентра объекта на изображении (параметры *X_IMAGE*, *Y_IMAGE* в SExtractor);

aima, *bima*, *paima* — большая и малая полуоси и позиционный угол эллипса, описывающего данный объект на изображении (параметры *A_IMAGE*, *B_IMAGE*, *THETA_IMAGE* в SExtractor);

a, *e_a* — большая полуось объекта на небе и ее ошибка в угловых секундах (параметры *A_IMAGE*, *ERRA_IMAGE*);

b, *e_b* — малая полуось объекта на небе и ее ошибка в угловых секундах (параметры *B_IMAGE*, *ERRB_IMAGE*);

pa — позиционный угол объекта, отсчитываемый от направления на север к востоку (параметр *THETA_J2000*);

ell — эллиптичность объекта $1 - b/a$ (параметр *ELLIPTICITY*);

radkron — псевдорadius Крона (параметр *KRON_RADIUS*);

fluxauto, *e_fluxauto* — поток после вычитания фона и его ошибка внутри кроновского эллипса (параметры *FLUX_AUTO*, *FLUXERR_AUTO*);

magauto, *e_magauto* — звездная величина и ее ошибка внутри кроновского эллипса (параметры *MAG_AUTO*, *MAGERR_AUTO*);

radpetro — псевдорadius Петросяна (параметр *PETRO_RADIUS*);

fluxpetro, *e_fluxpetro* — поток после вычитания фона и его ошибка внутри петросяновского эллипса (параметры *FLUX_PETRO*, *FLUXERR_PETRO*);

magpetro, *e_magpetro* — звездная величина и ее ошибка внутри петросяновского эллипса (параметры *MAG_PETRO*, *MAGERR_PETRO*);

badpixfraction — доля «плохих» пикселей внутри петросяновского эллипса, описывающего галактику;

quality — качество фотометрии, полученное на основе статистики отклонений параметров эллипса от медианных значений;

fits — указатель имени файла в локальном архиве.

ps1candidate_crossid

Таблица кросс-идентификации кандидатов с галактиками из базы данных HyperLeda²⁰ (Makarov et al. 2014):

projcell, *subcell*, *candidate* — уникальный идентификатор объекта, связанный с таблицей *ps1candidate*;

¹⁹<https://sextractor.readthedocs.io/>

²⁰<http://leda.univ-lyon1.fr/>

ra, dec — прямое восхождение и склонение кандидата в градусах на эпоху J2000.0;

pgc — PGC-номер галактики из базы данных HyperLeda (Makarov et al. 2014);

flag — код типа идентификации;

userid — пользователь, выполнивший отождествление;

ctime — время внесения идентификации в базу данных.

ps1candidate_notes

Различные примечания, сделанные в ходе работы с кандидатами:

projcell, subcell, candidate — уникальный идентификатор объекта, связанный с таблицей *ps1candidate*;

userid — пользователь, сделавший примечание;

ctime — время внесения примечания;

note — собственно примечание.

СТРУКТУРА ТАБЛИЦ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В СИСТЕМЕ КЛАССИФИКАЦИИ

user

id — уникальный login пользователя;

name — полное имя пользователя.

quiz

id — уникальный идентификатор опросника;

title — краткое описание;

tbl — имя таблицы с объектами для классификации;

retired — максимальное число классификаций на объект разными пользователями.

quiz_question

id — уникальный номер вопроса;

quizid — указатель на идентификатор опроса в таблице *quiz*;

value — присваиваемое значение свойства;

description — краткое описание вопроса;

bunch — номер группы вопросов;

input — определяет способ классификации:

radio — выбор одного значения из набора либо

checkbox — наличие или отсутствие данного признака.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. K. N. Abazajian, J. K. Adelman-McCarthy, M. A. Agüeros, et al., *Astrophys. J. Suppl.* **182** (2), 543 (2009).
2. D. V. Bizyaev, S. J. Kautsch, A. V. Mosenkov, et al., *Astrophys. J.* **787** (1), 24 (2014).
3. D. V. Bizyaev, S. J. Kautsch, N. Y. Sotnikova, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **465** (4), 3784 (2017).
4. T. Boch and P. Fernique, *ASP Conf. Ser.* **485**, 277 (2014).
5. F. Bonnarel, P. Fernique, O. Bienaymé, et al., *Astron. and Astrophys. Suppl.* **143**, 33 (2000).
6. J. J. Dalcanton, P. Yoachim, and R. A. Bernstein, *Astrophys. J.* **608** (1), 189 (2004).
7. T. H. Jarrett, T. Chester, R. Cutri, et al., *Astron. J.* **119** (5), 2498 (2000).
8. I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, Y. N. Kudrya, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **47**, 5 (1999).
9. I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, and S. L. Parnovskij, *Astronomische Nachrichten* **314** (3), 97 (1993).
10. S. J. Kautsch, *Publ. Astron. Soc. Pacific* **121** (886), 1297 (2009).
11. A. Khoperskov, D. Bizyaev, N. Tiurina, and M. Butenko, *Astronomische Nachrichten* **331** (7), 731 (2010).
12. Y. N. Kudrya, I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, and S. L. Parnovskii, *Astronomy Letters* **20** (1), 8 (1994).
13. S. Kurapati, A. Banerjee, J. N. Chengalur, et al., *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **479** (4), 5686 (2018).
14. D. Makarov, P. Prugniel, N. Terekhova, et al., *Astron. and Astrophys.* **570**, A13 (2014).
15. L. D. Matthews, J. S. Gallagher, III, and W. van Driel, *Astron. J.* **118** (6), 2751 (1999).
16. L. D. Matthews and W. van Driel, *Astron. and Astrophys. Suppl.* **143**, 421 (2000).
17. S. N. Mitronova, I. D. Karachentsev, V. E. Karachentseva, et al., *Bull. Spec. Astrophys. Obs.* **57**, 5 (2004).
18. C. Y. Peng, L. C. Ho, C. D. Impey, and H.-W. Rix, *Astron. J.* **139** (6), 2097 (2010).
19. V. P. Reshetnikov, P. A. Usachev, and S. S. Savchenko, *Astronomy Letters* **45** (9), 565 (2019).
20. D. J. Schlegel, D. P. Finkbeiner, and M. Davis, *Astrophys. J.* **500** (2), 525 (1998).
21. N. Y. Sotnikova and S. A. Rodionov, *Astronomy Letters* **32** (10), 649 (2006).
22. P. C. van der Kruit and L. Searle, *Astron. and Astrophys.* **95**, 105 (1981).
23. A. V. Zasov, D. I. Makarov, and E. A. Mikhailova, *Soviet Astronomy Letters* **17**, 374 (1991).

Information System for Search of the Edge-on Galaxies**D. I. Makarov¹, A. V. Antipova¹**¹Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167 Russia

We present a database created within the project on studying edge-on galaxies. These galaxies provide a unique opportunity to study the three-dimensional distribution of the matter in galaxy disks, which is extremely important for analyzing the influence of internal and external factors on the evolution of galaxies. For the moment, extensive observed material has been accumulated on the kinematics and photometry of such galaxies. The database is designed to organize information, make it easier to visualize, and to improve works on studying this type of objects. The database combines information from previous catalogs on edge-on galaxies and data from current projects; provides access to astrometric and photometric data; carries out interconnection with other databases. The present paper describes the structure and web-access to the database: <https://www.sao.ru/edgeon/>.

Keywords: *astronomical data bases—galaxies: general*