



## Развитие каталога OCARS в 2018–2022 годах

З.М. Малкин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН

### Аннотация

Каталог OCARS (Optical Characteristics of Astrometric Radio Sources) является компилятивным каталогом различных дополнительных данных, относящихся к астрометрическим радиоисточникам, то есть объектам, координаты которых определены из РСДБ-наблюдений. Он содержит координаты источников в радио и оптическом диапазонах, тип объекта, красные смещения, фотометрические данные в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах, а также таблицу соответствия имен источников в различных общепотребительных каталогах. Последнее подробное описание каталога OCARS было опубликовано в 2018 году. В настоящей работе описаны изменения каталога, произошедшие за прошедшие пять лет и его современное состояние.

### Введение

В 1995 году был создан каталог координат внегалактических радиоисточников, который на XXIII Генеральной ассамблее IAU в 1997 году был под названием ICRF (International Celestial Reference Frame) одобрен в качестве первой реализации новой международной опорной системы координат ICRS (International Celestial Reference System) (Ma и др., 1998). Каталог ICRF содержал кроме основного списка 608 радиоисточников с их координатами, полученными из РСДБ-наблюдений, также известные на тот момент из литературы данные о физических характеристиках источников, включая красное смещение. За несколько последующих лет выяснилось, что эти данные быстро устаревают, и нуждаются в постоянном мониторинге. Это послужило побудительным мотивом для начала работы над каталогом OCARS в 2007 году. Тогда же в каталог были добавлены и другие источники, точные координаты которых были к тому времени определены из радиоастрометрических наблюдений.

Первая версия каталога была выпущена в декабре 2007 года (Malkin и Titov, 2008). Она содержала красные смещения и визуальные звездные величины для 3914 источников. При этом основное внимание при создании OCARS (это имя каталог получил в 2009 году) уделялось поиску новых и коррекции ошибочных красных смещений астрометрических радиоисточников, поскольку именно они в первую очередь важны для различных астрономических приложений. На первом этапе работы над каталогом для поиска оптических характеристик использовалась база данных NED, которая содержит наибольшее число внегалактических радиоисточников. Несколько позже стала активно использоваться база SIMBAD, которая содержит меньше источников каталога OCARS, но данные по ним обновляются более оперативно. Позднее начали использоваться и другие источники данных, такие как SDSS, Pan-STARRS, DES и другие, отмеченные ниже. Для оперативного обновления каталога начался регулярный мониторинг публикаций в журналах и препринтов в arXiv.

В последующие годы каталог OCARS регулярно расширялся как в отношении числа включенных в него радиоисточников, так и в отношении состава различных типов данных, относящихся к этим источникам. Для источников, включенных в каталог ранее, в него регулярно включаются новые и уточняются старые данные по результатам мониторинга литературы и открытых баз

данных. Последнее детальное описание каталога OCARS было приведено в Malkin (2018). С тех пор произошли существенные расширения каталога. В настоящей работе описано его текущее состояние на февраль 2023 года.

## 1 Описание каталога OCARS

В настоящее время каждый выпуск каталога OCARS состоит из шести файлов:

**ocars.txt** Главный файл каталога OCARS. Он содержит для каждого радиоисточника следующие колонки данных (курсивом выделены данные, которые были добавлены после публикации Malkin (2018)): имена в форматах B1950 и J2000, наиболее точные (по мнению автора) экваториальные координаты, их ошибки и корреляция между прямым восхождением и склонением, большая полуось эллипса ошибок, код каталога, из которого взята координатная информация, эпоха координат (для РСДБ-каталогов это эпоха, к которой отнесена редукция за Галактическую аберрацию, (MacMillan и др., 2019)), Галактические координаты, красное смещение по базам NED (при отсутствии этих данных в NED в этой колонке приводятся значения из других источников с соответствующими комментариями), SIMBAD и SDSS, оптическая звездная величина в одном из диапазонов, ближайшем к  $R$  (из файла фотометрических данных, см. ниже), тип источника (квazar, радиогалактика и т.д.), имена источников для их идентификации в базах NED и SIMBAD, а также комментарии.

**ocars\_m.txt** Файл с фотометрическими данными в оптическом и ближнем инфракрасном диапазоне. Он содержит звездные величины источников OCARS в 16 полосах: uUBgVrRiIzJHK, и *Gaia* G, BP и RP. Две последние полосы добавлены в августе 2021 года. Для многих источников в базах данных и литературе приводятся различные оценки, в таких случаях в OCARS приводятся либо последние (например, для SDSS и *Gaia*) либо средние (для полос UBVRi). В силу переменности многих источников и разнородности публикуемых данных приведенные значения нередко носят ориентировочный характер.

**ocars\_g.txt** Файл с данными *Gaia* для источников OCARS. Этот файл был добавлен в октябре 2021 года. Метод отождествления источников OCARS в каталоге *Gaia* описан в Malkin (2018) и с тех пор не менялся. Файл содержит следующие данные для 8774 источников OCARS, отождествленных с объектами *Gaia*: номер по каталогу *Gaia*, координаты, их ошибки и корреляции, эпоха, угловое расстояние OCARS–*Gaia*, собственные движения и параллакс с их ошибками.

**ocars\_n.txt** Файл кросс-идентификации, содержащий идентификационные номера источников OCARS в других широко используемых каталогах в радио, оптическом, инфракрасном, ультрафиолетовом, рентгеновском и гамма диапазонах.

**ocars\_p.txt** Файл содержит детальную координатную информацию для источников OCARS по РСДБ-наблюдениям в разных радиодиапазонах волн: X ( $\approx 8.5$  ГГц), K ( $\approx 24$  ГГц), Ka ( $\approx 32$  ГГц), C ( $\approx 6$  ГГц), L ( $\approx 1.5$  ГГц), S ( $\approx 2.3$  ГГц), Q ( $\approx 43$  ГГц). Этот файл был добавлен в августе 2020 года.

**ocars.csv** Файл содержит основные данные каталога OCARS в формате CSV (comma separated values). Этот файл был включен по просьбе некоторых пользователей. Он также удобен для поиска по большинству баз данных, таких как SIMBAD, SDSS, *Gaia* и других.

Каждый файл содержит, кроме самих данных, его краткое описание.

Каталог OCARS обновляется каждые несколько недель, в среднем около 10 раз в год. Всего за время с декабря 2007 года, даты выпуска первой публичной версии (Malkin и Titov, 2008), по январь 2023 года выпущено в открытый доступ 157 версий, из них 49 в 2018–2022 годах. Полная история обновлений каталога показана на рис. 1.

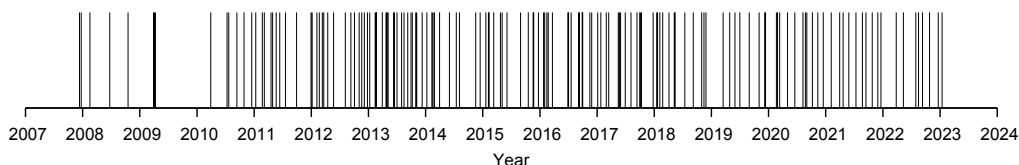


Рис. 1: История обновлений каталога OCARS.

На рис. 2 показана историческая статистика каталога OCARS. График начинается с 2018 года, поскольку до этого времени принцип формирования каталога несколько раз менялся и статистические данные, относящиеся к разным периодам времени, оказываются несовместимыми друг с другом.

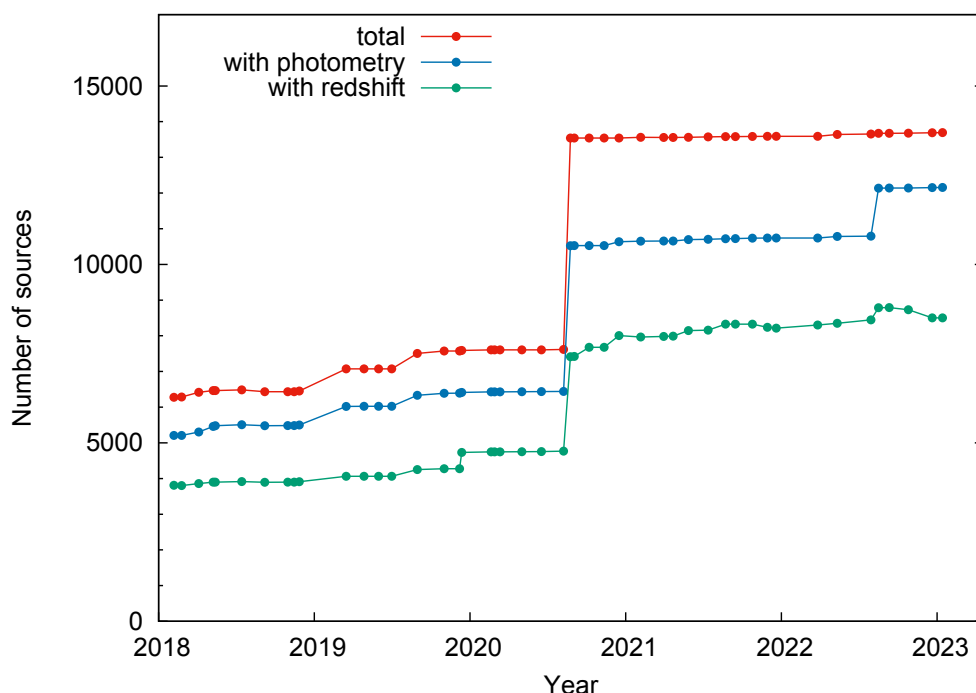


Рис. 2: Историческая статистика каталога OCARS: рост со временем общего числа источников в каталоге OCARS, числа источников, имеющих данные о красном смещении, и источников, имеющих данные по фотометрии.

В табл. 1 приведена суммарная статистика каталога OCARS в сравнении с версией, описанной в Malkin (2018). Отдельно показана статистика для источников, вошедших в ICRF3 (Charlot и др., 2020), третью версию каталога ICRF, одобренную XXX Генеральной ассамблеей МАС в августе 2018 года (Резолюция В2) и рекомендованную к использованию с 1 января 2019 года.

Данные таблицы показывают, что только для 62% источников OCARS известно их красное смещение, при этом только около 70% из этих значений могут рассматриваться как достаточно надежные. Это делает задачу определения красных смещений астрометрических радиоисточников по-прежнему актуальной, потому что одновременное наличие высокоточных позиционных координат и красных смещений открывает дорогу к созданию трехмерной небесной системы координат. К сожалению, решение этой задачи усложняется тем, что астрометрические внегалактические радиоисточники в большинстве своем очень слабы в оптике и спектроскопическое определение их красных смещений требует наблюдений на самых крупных телескопах, для которых подобные “рутинные” наблюдательные программы не имеют высокого приоритета.

На рис. 3 показано распределение источников каталога OCARS по небесной сфере. Хорошо

Таблица 1: Статистика каталога OCARS для всех источников и для источников ICRF3 на январь 2023 г. и на момент публикации Malkin (2018).

Число источников	2023		2018	
	Все	ICRF3	Все	ICRF3
всего	13692	4588	6432	4588
с известным типом	8223	3726	4079	3181
с данными о красном смещении ( $z$ )	8503	3483	3895	3034
с фотометрией	12158	4346	5479	4102
с $z$ и фотометрией	8487	3480	3883	3026

видно, что распределение источников по небу не вполне равномерно. Во-первых, хорошо заметно, что плотность источников в южной части неба намного ниже. Основная причина этого заключается в том, что большинство источников были наблюдаемы на РСДБ-сети VLBA, расположенной на территории США, т.е. в северном полушарии. Эта сеть может эффективно наблюдать объекты со склонением больше  $-40^\circ$ . Наличие других участков неба с пониженной плотностью источников, в частности, в районе Галактического экватора, объясняется особенностями разных наблюдательных программ, результаты которых используются в OCARS.

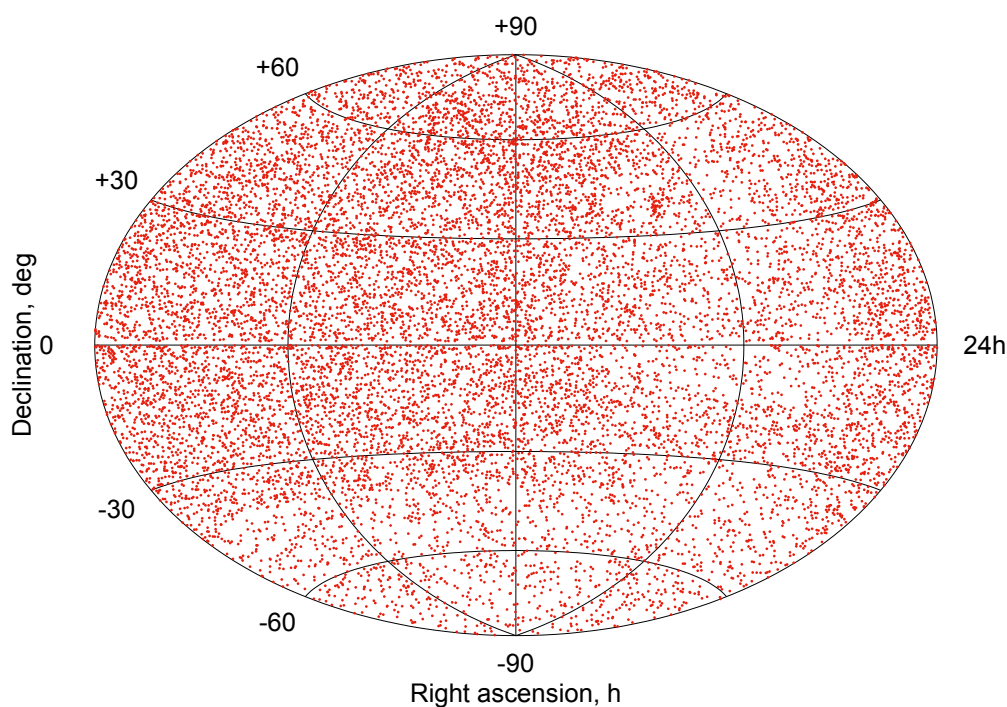


Рис. 3: Распределение по небу источников каталога OCARS.

## Заключение

Компилятивный каталог OCARS содержит разнообразную дополнительную информацию, относящуюся к астрометрическим радиоисточникам. Он включает координаты источников в радио и оптическом диапазонах с их ошибками и корреляциями, тип объекта, красные смещения, фотометрические данные в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах, а также таблицу соответствия имен источников в различных общепотребительных каталогах. Данные содержащиеся в каталоге OCARS, собраны из публикаций, баз данных и других публично доступных источников информации.

Каталог регулярно обновляется после публикации новых радиоастрометрических каталогов или с появлением новой информации в базах данных и в публикациях. Использование новых РСДБ-каталогов для улучшения каталога OCARS приводит, во-первых, к уточнению содержащихся в нем координат радиоисточников, а, во-вторых, как правило, к увеличению числа содержащихся в нем источников. В настоящее время число источников в каталоге OCARS примерно втрое превышает число источников в каталоге ICRF, что позволяет использовать OCARS как список потенциальных источников для расширения ICRF.

Каталог OCARS доступен по ссылке [http://www.gaoran.ru/english/as/ac\\_vlbi/](http://www.gaoran.ru/english/as/ac_vlbi/). Для заинтересованных лиц возможна также подписка на уведомления об обновлениях.

## Благодарности

Следующие источники данных были использованы для этой работы: NASA/IPAC Extragalactic Database<sup>1</sup> (NED, Jet Propulsion Laboratory, California Institute of Technology Mazzearella и NED Team, 2007), SIMBAD<sup>2</sup> (Centre de Données Astronomiques (CDS), Wenger и др., 2000), Sloan Digital Sky Survey<sup>3</sup> (SDSS, Alfred P. Sloan Foundation, Abdurro'uf и др., 2022), European Space Agency (ESA) *Gaia* DR3<sup>4</sup> (Gaia Collaboration, Prusti и др., 2016; Gaia Collaboration, Vallenari и др., 2022), Dark Energy Survey<sup>5</sup> (DES, Abbott и др., 2021), Pan-STARRS<sup>6</sup> (Flewelling и др., 2020), Milliquas<sup>7</sup> (Flesch, 2015). При подготовке статьи использовалась реферативная база SAO/NASA Astrophysics Data System<sup>8</sup> (ADS).

## Список литературы

- Ma, C. и др. (1998). *The International Celestial Reference Frame as Realized by Very Long Baseline Interferometry*. AJ 116.1, с. 516–546.
- Malkin, Z. и O. Titov (2008). *Optical characteristics of astrometric radio sources*. В: Measuring the Future, Proceedings of the Fifth IVS General Meeting, St. Petersburg, Russia, March 2-6, 2008. St. Petersburg, 2008. ISBN 978-5-02-025332-2. Под ред. A. Finkelstein и D. Behrend. St. Petersburg: Institute of Applied Astronomy, с. 183–187.
- Malkin, Z. (2018). *A New Version of the OCARS Catalog of Optical Characteristics of Astrometric Radio Sources*. ApJS 239.2, 20.
- MacMillan, D. S. и др. (2019). *Galactocentric acceleration in VLBI analysis*. Findings of IVS WG8. A&A 630, A93.
- Charlot, P. и др. (2020). *The third realization of the International Celestial Reference Frame by very long baseline interferometry*. A&A 644, A159.
- Mazzearella, J. M. и NED Team (2007). *NED for a New Era*. В: Astronomical Data Analysis Software and Systems XVI. Под ред. R. A. Shaw, F. Hill и D. J. Bell. Т. 376. Astronomical Society of the Pacific Conference Series. San Francisco, CA: ASP, с. 153.
- Wenger, M. и др. (2000). *The SIMBAD astronomical database. The CDS reference database for astronomical objects*. A&AS 143, с. 9–22.
- Abdurro'uf и др. (2022). *The Seventeenth Data Release of the Sloan Digital Sky Surveys: Complete Release of MaNGA, MaStar, and APOGEE-2 Data*. ApJS 259.2, 35.
- Gaia Collaboration, T. Prusti и др. (2016). *The Gaia mission*. A&A 595, A1.

<sup>1</sup><http://ned.ipac.caltech.edu/>

<sup>2</sup><http://simbad.u-strasbg.fr/simbad/>

<sup>3</sup><https://www.sdss.org/>

<sup>4</sup><https://gea.esac.esa.int/archive/>

<sup>5</sup><https://des.ncsa.illinois.edu/>

<sup>6</sup><https://outerspace.stsci.edu/display/PANSTARRS/>

<sup>7</sup><http://quasars.org/milliquas.htm>

<sup>8</sup><https://ui.adsabs.harvard.edu/>

- Gaia Collaboration, A. Vallenari и др. (2022). [Gaia Data Release 3: Summary of the content and survey properties](#). arXiv e-prints, arXiv:2208.00211.
- Abbott, T. M. C. и др. (2021). [The Dark Energy Survey Data Release 2](#). *ApJS* 255.2, 20.
- Flewelling, H. A. и др. (2020). [The Pan-STARRS1 Database and Data Products](#). *ApJS* 251.1, 7.
- Flesch, E. W. (2015). [The Half Million Quasars \(HMQ\) Catalogue](#). *PASA* 32, e010.

## Progress of the OCARS catalog in 2018–2022

Z.M. Malkin

Central Astronomical Observatory at Pulkovo of RAS

### Abstract

The OCARS catalog (Optical Characteristics of Astrometric Radio Sources) is a compiled catalog of various additional data related to astrometric radio sources, that is, objects whose coordinates are determined from VLBI observations. It contains the source coordinates in the radio and optical bands, object type, redshift, photometric data in the optical and near infrared bands, as well as a cross-reference table of the source names in various commonly used catalogs. The last detailed description of the OCARS catalog was published in 2018. This paper describes the changes in the catalog that have occurred over the past five years and its current state.