

DOI: 10.18721/JPM.11312

УДК 528.2

## РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ ЗВЕЗД В СОЗВЕЗДИИ ЕДИНОРОГА

**А.А. Липовка, Н.М. Липовка**

Центр физических исследований Университета Соноры, г. Эрмосильо, Мексика

В работе выполнены оптические отождествления ярких звезд, расположенных в созвездии Единорога, с сильными радиоисточниками. Созвездие Единорога проецируется на яркую часть Млечного Пути, для которой характерны высокие плотности звезд и газа. На исследуемой площадке размером один квадратный градус расположено семнадцать звезд ярче  $11^m$ , которые удалось отождествить с радиоисточниками по данным NVSS-обзора NRAO-обсерватории. Обнаружена значительная радиорефракция в межзвездной среде. Установлено, что двенадцать звезд из семнадцати имеют нетепловой спектр радиоизлучения.

**Ключевые слова:** система координат, оптическое отождествление радиоисточников, межзвездная среда.

**Ссылка при цитировании:** Липовка А.А., Липовка Н.М. Радиоизлучение звезд в созвездии Единорога // Научно-технические ведомости СПбГПУ. Физико-математические науки. 2018. Т. 11. № 3. С. 133–142. DOI: 10.18721/JPM.11312

## RADIO EMISSION OF STARS IN THE MONOCEROS CONSTELLATION

**A.A. Lipovka, N.M. Lipovka**

Center of Physical Studies, University of Sonora, Hermosillo, Mexico

In the present paper, the optical identifications of the bright stars from the Monoceros constellation with strong radio sources have been suggested. The Monoceros constellation is projected on the bright region of the Milky Way, where the densities of the stars and gas are rather high. 17 stars brighter than  $11^m$  are located within the one square degree plate under investigation. All these stars were identified with radio sources from NVSS survey of NRAO observatory. Considerable radio refraction was revealed in the interstellar medium. It was found that twelve stars among seventeen ones exhibited radio emission characterized by non-thermal spectrum.

**Key words:** coordinates system, optical identification of radio objects, interstellar space.

**Citation:** A.A. Lipovka, N.M. Lipovka, Radio emission of stars in the Monoceros constellation, St. Petersburg Polytechnical State University Journal. Physics and Mathematics. 11 (3) (2018) 133–142. DOI: 10.18721/JPM.11312

### Введение

Первым, кто пришел к выводу о существовании межзвездной среды, был В.Я. Струве, который в 1847 году из теоретических соображений сделал вывод о том,

что пространство между звездами должно быть заполнено газом. Позднее предположение Струве было подтверждено наблюдениями, выполненными Б.А. Воронцовым-Вельяминовым, и (независимо от него)

Р. Трюмплером, которые обнаружили поглощение света в межзвездной среде. С появлением радиоастрономии в 30-х годах XX века, начались наблюдения космического пространства в метровом и сантиметровом диапазонах длин волн, а после второй мировой войны были получены независимые экспериментальные подтверждения того, что межзвездное пространство заполнено газом, который ионизируется ближайшими звездами [1]. По этой причине, при исследовании небесных радиоисточников и их отождествлении с оптическими объектами необходимо учитывать характеристики указанной среды, которая влияет на характер распространения радиоволн в межзвездной и межгалактической среде, а также в ионосфере и атмосфере Земли.

Распределение радиоизлучения по Млечному Пути (его «радиояркости»), полученное по наблюдениям на волне 6,4 см при помощи 12-метрового параболического радиотелескопа [2] и Большого пулковского радиотелескопа (БПР) диаметром 100 м [3], подтвердило факт того, что ионизированный водород (НИ) концентрируется к плоскости Галактики, где плотность звезд велика.

В работе [3] был проведен анализ всех радиоданных по распределению радиояркости северного неба в диапазоне частот от 0,4 до 7700 МГц. Оказалось, что корона Галактики представляет собой радиоизлучение релятивистских электронов в магнитном поле этой короны (синхротронное излучение) и потому имеет нетепловой характер, покрывая область  $20 \times 25$  кпс (килопарсек) вокруг центра Галактики [3]. При этом размер короны Галактики оказался в два раза больше, чем предполагалось ранее [1]. Вычисления характеристик радиоизлучающей среды (плотности релятивистских электронов и магнитного поля) в короне Галактики [3] были выполнены в соответствии с механизмом синхротронного радиоизлучения релятивистских электронов в магнитном поле [4].

Несовпадение радио- и оптических координат небесных объектов (далее для краткости мы будем применять термин «радио – оптика») было замечено в самом

начале появления радиоастрономии, как самостоятельного раздела астрофизики. Первая ошибка по привязке радиоизлучения небесных объектов к оптическому небу была допущена при введении обновленного каталога 3С [5], предложенного в 1962 году в качестве опорного. При этом не указывалось, каким оптическим объектам соответствуют наблюдаемые радиообъекты. Однако в то время это не было столь критично, поскольку обзор был выполнен с низким разрешением ( $\Theta = 13,6' \times 4,6''$ ) на частоте 178 МГц и в нем, по сути, были осреднены все позиции радиоисточников, расположенных на небесной площадке размером один квадратный градус. Причиной ошибки являлась очень широкая диаграмма направленности радиотелескопа, имеющая карандашную форму [5].

Исследования по оптическим отождествлениям небесных объектов радио – оптика, выполненные в 1990 году в INAOE (Тонантсинтла, Мексика), подтвердили факт несовпадения координат оптических объектов, имеющих диффузное изображение, с радиообъектами [6].

В 1993 – 1997 гг. с помощью радиотелескопа Национальной радиоастрономической обсерватории (NRAO, штат Вирджиния, США) был выполнен обзор северного неба с высокой чувствительностью и хорошим разрешением ( $\Theta = 45''$ ) на частоте 1400 МГц. При этом вновь подтвердился факт несовпадения объектов радио – оптика [7]. На основании полученных данных было сделано предположение, что радиоизлучают, в основном, небесные объекты, расположенные на большом удалении (квазары и далекие галактики, имеющие красные смещения больше единицы) [7], а межзвездная и межгалактическая среды представляют собой пустое пространство, в котором радиолуч распространяется по изотропной геодезической и доходит от самых удаленных объектов с миллисекундной точностью.

На основании такой точки зрения, в 2009 году на съезде Международного астрономического союза (МАС) была рекомендована система ICRF2 [8] для привязки небесных объектов радио – оптика, насчи-

тывающая 3414 опорных радиоисточников. В представленном каталоге ICRF2 [8] отождествление радиообъектов с оптическими небесными объектами было выполнено методом кросс-корреляции между ними, и такие объекты были приняты в качестве опорных. Основная часть этих опорных объектов представляла собой радиоисточники, которые совпали случайным образом с далекими оптическими объектами квазизвездной структуры, плотность которых велика. Это предположение и явилось отправной точкой ошибки, допущенной при необдуманных попытках отождествить радиообъекты с оптическими.

Целью настоящей работы является выполнение альтернативного оптического отождествления ярких звезд из созвездия Единорога, которые являются сильными радиоисточниками.

#### **Опровержение справедливости принятия радиообъекта J(062153.45-041807.69) в качестве опорного**

В настоящей работе исследуется площадь неба, которая проецируется на местный рукав Галактики, где велики плотности как звезд, так и газовой составляющей межзвездной среды, состоящей преимущественно из атомарного и ионизированного водорода. На краю исследуемой площадки расположен радиоисточник, рекомендованный в качестве опорного объекта для привязки объектов радио – оптика по каталогу ICRF2 [8].

На рис. 1 представлено изображение радиообъекта J(062153.45-041807.69) в виде изофот (линии равной интенсивности излучения радиоволн) [7], наложенных на изображение оптического неба по данным работы [9]. Видно, что рассматриваемый радиообъект имеет двухкомпонентную структуру и в область этого объекта попадает более 15 других оптических объектов квазизвездной структуры. По этой причине невозможно определить, какой из оптических объектов излучает радиоволны, и поэтому радиообъект J(062153.45-041807.69) следует исключить из списка опорных объектов каталога [8], где он рекомендован для высокоточной привязки «радионеба» к

оптическому небу.

Кроме того, в ближайшей окрестности опорного объекта, имеющей размер порядка двух квадратных градусов, ни один радиоисточник не совпадает с каким-либо оптическим объектом, если пользоваться привязкой, предложенной в каталоге [8]. Следует также отметить, что координаты радиообъекта J(062153.45-041807.69), включенного в опорный каталог [8], были определены в метровом диапазоне длин волн [10], где, как известно, существует значительная радиорефракция в ионосфере Земли; а это явление не учитывалось при определении радиокоординат этого объекта.

В 1962 году австралийский исследователь М.М. Комесарофф [11] выполнил обзор неба на частоте 19,7 МГц в Австралии и Новой Зеландии и обнаружил, что в метровом диапазоне длин волн радиоволны испытывают значительную радиорефракцию в ионосфере Земли на высотах более 350 км.

В настоящее время уже установлено, что координаты радиообъектов, полученные в сантиметровом диапазоне длин волн, изменены радиорефракцией в тропосфере Земли и, вследствие этого явления, отличаются от координат радиообъектов, полученных в метровом диапазоне.

Ошибки, допущенные при привязке небесных объектов радио – оптика, подробно рассмотрены в работе [12]. При исследовании небесных радиоисточников и их отождествлении с оптическими объектами необходимо также учитывать параметры среды, которая влияет на характер распространения радиоволн в межзвездной и межгалактической средах.

Согласно нашей методике привязки объектов радио – оптика [13], следует считать, что отождествление выполнено правильно, если на исследуемой площадке размером в один квадратный градус совпало три и более радиоисточников с объектами, видимыми в оптическом диапазоне длин волн. Совпадение трех и более объектов требуется еще и для того, чтобы учесть разворот исследуемой площадки, часто возникающий при сканировании участка неба размером в один квадратный градус, в азимуте на радиointерферометре [14].

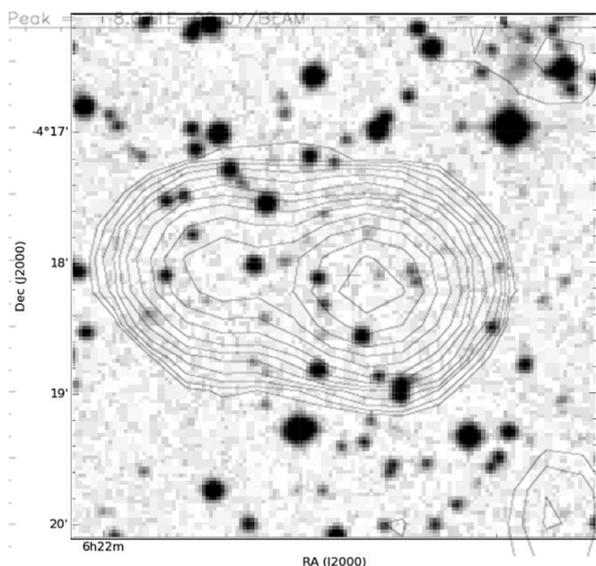


Рис. 1. Координаты опорного радиообъекта J(062153.45041807.69) (согласно работе [8]), наложенные на оптическое изображение: радиообъект изображен в виде изотоп, наложенных на изображение участка оптического неба (площадки). По осям отложены координаты на эпоху 2000.0 (J). RA – прямое восхождение, h, m (ч, мин) и DEC – склонение, град, мин

### Отождествление радиообъектов со звездами в созвездии Единорога

Первые оптические отождествления были выполнены нами в Мексике, в Национальном институте астрономии оптики и электроники (INAOE, Тонантсинтла) в 1985, 1990, 1993, 1994 гг. при помощи блинк-компаратора фирмы Цейс с точностью

$$\sigma_{RA} \times \sigma_{DEC} = 1,5'' \times 1,5''$$

по всем правилам астрометрии.

При этом было обнаружено, что радиообъекты попадают в пустое поле (empty field) в оптическом изображении неба [6]. Несовпадение радиоисточников с оптическими небесными объектами, существующее и по сей день, объяснялось и многими сейчас объясняется тем, что радиоизлучение исходит от очень далеких компактных объектов (радиогалактик и квазаров), находящихся на краю наблюдаемой Вселенной.

Возможности астрофизики, как и остальных наук, неизмеримо выросли с развитием процесса компьютеризации и

появлением Интернета. Практически все результаты изучения небесных объектов в радио- и оптическом диапазонах были занесены в Интернет, что создало блестящие предпосылки для пересмотра имеющихся отождествлений радио – оптика.

В 2007 году мы снова приступили к указанным отождествлениям объектов и обнаружили, что привязка объектов радио – оптика выполнена неверно и что большинство ярких звезд излучают в радиодиапазоне.

Нами разработан и уже много лет успешно используется метод отождествления объектов радио – оптика, основанный на привязке радиоисточников к ярким звездам (метод «Липовки – Костко – Липовка» (ЛКЛ, англ. LKL )) [13].

В настоящей работе выполнены отождествления радиоисточников по данным NVSS-радиообзора NRAO-обсерватории [14] со звездами в созвездии Единорога. Исследуемая площадка неба (рис. 2) проецируется на местный рукав Галактики, где плотность звезд велика.

Привязка радиообъектов к звездам (рис. 2) показала наличие значительной радиорефракции в межзвездной среде, что вполне ожидаемо, поскольку данный участок неба находится в местном спиральном рукаве, для которого характерно большое содержание газа. Плотность звезд на этом участке также велика, и поэтому с радиообъектами отождествились 17 звезд ярче  $11^m$ . Дополнительно семь слабо излучающих звезд были отождествлены со «слабыми» радиоисточниками, плотность потока излучения которых лежит ниже порога чувствительности ( $P < 2,5$  мЯн); такое пороговое значение принято в обзоре [14]. На рис. 2 эти звезды обозначены буквой «а» и в данной работе не рассматриваются, поскольку они отсутствуют в каталоге [15]. Однако совпадение семи слабо светящихся звезд с семью слабо излучающими радиоисточниками, на площадке размером менее 0,2 кв. град, подтверждает правильность выполненного отождествления, представленного на рис. 2 и в табл. 2.

Разработанный нами метод привязки радионеба к оптическому небу (метод ЛКЛ, англ. LKL [13]) основан на использовании

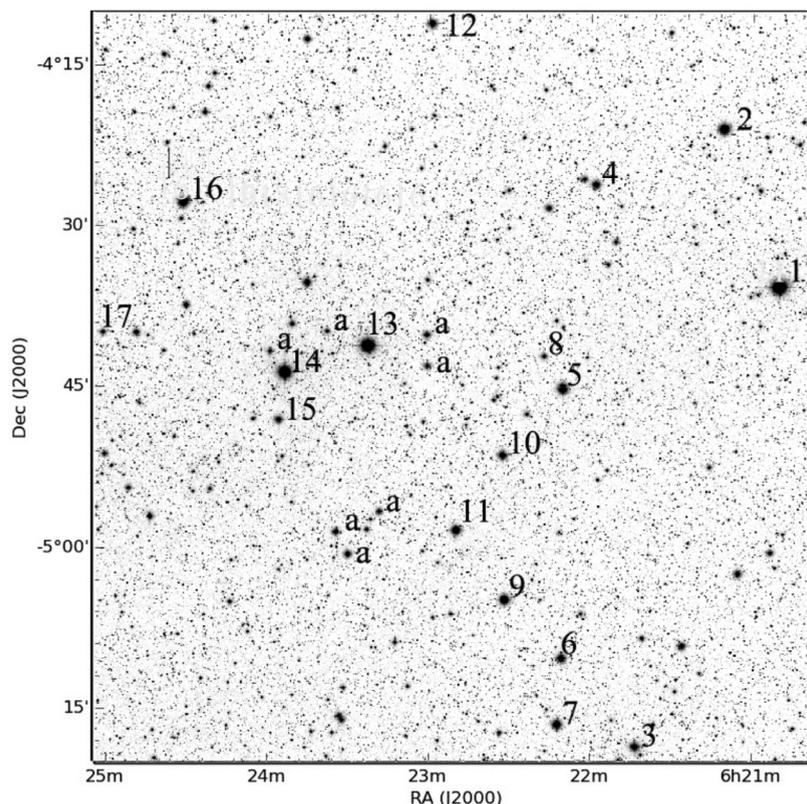


Рис. 2. Изображение участка звездного неба, для которого выполнено отождествление 17 звезд (пронумерованы) с сильными радиоисточниками по данным радиообзоров [9, 14]; небесные объекты, обозначенные буквой «а», отождествлены с очень слабыми радиоисточниками и в данной работе не рассматриваются

данных фундаментальных каталогов звезд [16], и привязка радиоисточников производится непосредственно к звездам, плотность которых и точность измеренных координат достаточна для выполнения уверенной привязки координат радиоизлучающих небесных объектов к объектам, регистрируемым при оптических наблюдениях.

В табл. 1 приведены общепринятые имена звезд [16] и экваториальные координаты звезд по данным каталога UCAC3 [17] на эпоху 2000.0 (J) (столбцы 3 и 4). В столбце 5 приведен параллакс звезды, в шестом — ее звездная величина.

На исследуемом участке неба, согласно данным NVSS-обзора [14], ни один радиоисточник не был отождествлен с оптическим объектом. Использование же нашего метода привязки радиообъектов к звездному небу [13] позволило отождествить 17 сильно излучающих радиоисточников с яр-

кими звездами (см. рис. 2 и табл. 2).

В табл. 2 приведены экваториальные координаты радиоисточников на частоте 1400 МГц (столбцы 2 и 3) по данным работы [15], которые были получены нами в процессе отождествления с оптически наблюдаемыми звездами (см. табл. 1 и рис. 2).

Координаты радиообъектов, исправленные за привязку к звездам, представлены в столбцах 6 и 7 (табл. 2).

Нумерация радиоисточников в табл. 2 соответствует нумерации звезд в табл. 1 и на рис. 2. В столбце 4 (табл. 2) приведена плотность потока по данным [15].

Для нескольких радиоисточников, расположенных на этой площадке (см. рис. 2), имеются измерения плотности потока на частотах  $\nu = 150 - 1400$  МГц по каталогу [15]. Для этих объектов был вычислен спектральный индекс радиоизлучения  $\alpha$  (табл. 2, столбец 5). Спектр радиоизлучения

Таблица 1

Имена [16] и координаты звезд по каталогу UCAC3 [17] на эпоху 2000.0 (J)

Звезда		RA(J), h m s	DEC(J) град, мин, с	ε Pos mas	Mag <i>m</i>
№	Имя				
1	HD 44286	06 20 50,466	-04 35 43,70	1270	6,68
2	HD 44335	06 21 10,845	-04 21 00,18	10	7,84
3	HD 44457	06 21 43,488	-05 18 34,15	26	8,92
4	HD 294985	06 21 58,328	-04 26 14,34	34	9,02
5	HD 44546	06 22 10,445	-04 45 13,06	11	7,92
6	HD 44565	06 22 10,867	-05 10 20,73	29	8,80
7	HD 44566	06 22 12,414	-05 16 31,21	26	8,38
8	HD 294989	06 22 17,423	-04 42 10,80	21	10,74
9	HD 44620	06 22 31,967	-05 04 53,95	91	8,18
10	HD 44619	06 22 32,671	-04 51 26,77	18	9,02
11	HD 44678	06 22 49,984	-04 58 25,83	32	8,30
12	HD44702	06 22 59,160	-04 11 13,50	22	8,50
13	HR 2295	06 23 22,793	-04 41 15,20	376	6,89
14	HD 44841	06 23 53,623	-04 43 43,88	102	6,99
15	HD 44856	06 23 53,863	-04 48 09,35	32	9,29
16	HD 295031	06 24 31,450	-04 27 58,40	42	8,44
17	HD295031	06 25 01,010	-04 40 00,00	20	10,08

Примечание. Номера звезд соответствуют приведенным на рис. 2.

Обозначения: RA(J) – прямое восхождение, DEC(J) – склонение, ε Pos mas – оптический параллакс, Mag, *m* – звездная величина.

этих звезд оказался нетепловым; плотность потока радиоизлучения  $P \sim \nu^{-\alpha}$ , где  $\nu$  – частота наблюдения в радиодиапазоне.

В табл. 3 приведены поправки к координатам радиоисточников для трех групп объектов. Разница в значениях этих поправок обусловлена различной удаленностью исследуемых объектов от наблюдателя и наличием радиорефракции в межзвездной среде, которая в данном направлении оказалась значительной. Номера радиоисточников в каждой из трех групп приведены в столбце 1 и соответствуют номерам в табл. 1, 2 и на рис. 2.

Разница в поправках к координатам радиообъектов для трех групп звезд обусловлена различной удаленностью исследуемых объектов от наблюдателя и наличием радиорефракции в межзвездной среде, которая в данном направлении оказалась значительной.

Эти поправки (столбцы 2, 4, табл. 3) нужно прибавить (с учетом знака) к измеренным в радиодиапазоне координатам объектов (табл. 2, столбцы 2, 3), чтобы получить координаты радиообъектов, исправленные за привязку к оптическим объектам (табл. 2, столбцы 6, 7).

### Заключение

На участке неба [14, 15], рассмотренном в данной статье, ни один радиоисточник не был отождествлен до нашего исследования с оптическим объектом в рамках методики привязки радионеба к оптике, предложенной в NVSS-обзоре [14]; методика предлагает использовать каталог ICRF2 [8], рекомендованный для привязки объектов радио – оптика.

Предложенный и использованный нами метод привязки радионеба к оптическому (метод ЛКЛ) в десятки раз увеличил ко-

Таблица 2

Сравнение данных для радиоисточников в обзоре NVSS с их исправленными значениями в результате привязки к звездам

№	Данные обзора NVSS [14, 15]				Исправленные значения координат	
	RA(J) h m s	DEC(J) град, мин, с	$P$ мЯн	$\alpha$	RA(J) h m s	DEC(J) град, мин, с
1	06 19 13,97	-04 35 53,2	13,5	0,60	06 20 48,8	-04 34 50,0
2	06 19 37,76	-04 22 21,0	46,7	0,70	06 21 12,7	-04 21 17,8
3	06 21 54,53	-05 27 22,6	26,7	0,86	06 21 47,6	-05 18 15,0
4	06 20 26,93	-04 27 13,1	51,7	—	06 22 01,4	-04 26 09,0
5	06 22 20,51	-04 53 57,6	319*	—	06 22 08,8	-04 44 49,3
6	06 22 17,87	-04 55 48,8	37,7	—	06 22 12,0	-05 10 03,5
7	06 22 23,71	-05 19 10,8	23,9	0,57	06 22 15,0	-05 16 25,0
8	06 22 26,70	-05 25 32,0	15,3	—	06 22 10,9	-04 41 38,8
9	06 22 47,48	-05 01 03,7	7,3	0,80	06 22 22,0	-05 05 14,4
10	06 22 28,50	-05 19 25,5	46,1	—	06 22 35,8	-04 52 00,0
11	06 22 42,36	-05 11 27,4	10,0	—	06 22 49,3	-04 57 17,0
12	06 21 19,50	-04 12 33,1	8,8	—	06 22 54,4	-04 11 29,0
13	06 23 17,87	-04 55 48,8	37,7	0,40	06 23 24,7	-04 41 38,1
14	06 23 43,57	-04 58 28,2	246,8	0,80	06 23 50,4	-04 44 18,2
15	06 22 21,56	-04 49 43,4	60,7	0,60	06 23 55,8	-04 48 49,4
16	06 24 38,40	-04 37 41,5	114,9	0,75	06 24 26,7	-04 28 34,5
17	06 24 49,73	-04 53 59,5	174,4	0,70	06 24 55,8	-04 39 49,0

Примечание. Номера звезд соответствуют приведенным на рис. 2 и в табл. 1 и 2.

Обозначения:  $P$  – плотность потока излучения радиообъекта,  $\alpha$  – спектральный индекс радиоизлучения этих объектов ( $P \sim \nu^{-\alpha}$ ,  $\nu$  – частота наблюдения в радиодиапазоне); остальные обозначения идентичны приведенным в табл. 1.

Таблица 3

Поправки для привязки координат радиообъектов к оптическим данным для звезд

Номер звезды	$\Delta RA$		$\pm \sigma_1$	$\Delta DEC$	$\pm \sigma_2$
	м	с	с	мин, с	с
1, 2, 4, 12, 15	1	30	2,9	-10 00	35,5
8, 9, 10, 11, 13, 14, 17	-7		1,3	-14 00	15,2
3, 5, 6, 7, 16	10		1,2	-7 00	10,6

Примечания. 1. Номера звезд соответствуют приведенным на рис. 2 и в табл. 1 и 2.

2. Чтобы получить исправленные значения координат каждой звезды, необходимо представленные значения поправки прибавить (с учетом знака) к координатам радиоисточника из обзора NVSS [14, 15] (см. табл. 2).

Обозначение:  $\sigma_i$  – абсолютные погрешности поправок. Остальные обозначения соответствуют приведенным в табл. 1.

личество радиисточников, отождествленных с оптическими объектами. Установлено, что радиисточники отождествляются преимущественно со звездами. При этом полученная поправка к радиокоординатам обусловлена рядом факторов:

точностью привязки объектов радио – оптика;

точностью измерения радиокоординат; наличием радиорефракции в исследуемом направлении космического пространства.

Полученные результаты красноречиво свидетельствуют о том, что не следует выполнять оптические отождествления обзоров NRAO (Национальная радиоастрономическая обсерватория, штат Вирджиния, США) и DSS (Паломарская обсерватория, штат Калифорния, США) по координатному совпадению объектов радио – оптика, ввиду неверной привязки координат радиисточников к объектам, видимым в оптическом диапазоне длин волн. Каждую одноградусную астрономическую площадку, отсканированную в NVSS-обзоре, необходимо привязывать к оптическому небу методом ЛКЛ, вне зависимости от указанного совпадения координат.

Применение предложенного метода дает правильную информацию об астрофизических характеристиках отождествленных объектов в широком диапазоне длин волн (радио – оптика).

На основе полученных результатов найдено разрешение парадокса, который заключал-

ся в том, что звезды не излучают радиоволн. На исследованной площадке, при правильной привязке радионеба к оптическому небу, отождествилось 17 звезд ярче  $11^m$ .

Отождествления радио – оптика, проведенные в настоящей работе, подтвердили также факт наличия межзвездной среды на исследуемом участке космического пространства, что дополнительно подтверждается и изображением этого участка неба в инфракрасном диапазоне длин волн.

### Благодарности

Авторы выражают благодарность сотрудникам Паломарской обсерватории и Национальной радиоастрономической обсерватории (NRAO) за выполнение обзора неба в оптическом диапазоне длин волн и в радиодиапазоне; благодарят создателей базы данных UCAC (USNO CCD Astrograph Catalog) и всех наблюдателей и исследователей, принимавших участие в создании базы данных для общего пользования.

Авторы также глубоко благодарны сотрудникам Астрономического центра данных Канады (CADC) и создателям базы данных в Страсбурге (Франция) за предоставленную возможность получать всю имеющуюся информацию о небесных объектах для научных исследований.

Авторы выражают искреннюю признательность О.В. Верховданову, С.А. Трушкину, В.Н. Черненкову и др. за создание базы данных CATS радиокаталогов Специальной астрофизической обсерватории РАН.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Каплан С.А., Пикельнер С.Б. Межзвездная среда. М.: Физматгиз, 1963. С. 11–118.
2. Парийский Ю.Н., Гольнев В.Я., Липовка Н.М. Предварительные результаты наблюдения Млечного Пути на волне 6,4 см в Пулковско // Известия Главной астрономической обсерватории в Пулковско. 1967. Т. XXIV. Вып. 6. № 182. С. 199–203.
3. Липовка Н.М. Радиоизлучение короны Галактики // Астрономический журнал. 1977. Т. 54. Вып. 6. С. 1211–1220.
4. Гинзбург В.Л. Теоретическая физика и астрофизика. Дополнительные главы. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1975. С. 70–90.
5. Bennett A.S. The revised 3C catalog of radio

sources. MNRAS. 1962. Vol. 125. Pp. 75–86.

6. Чавира-Наваррете Э., Липовка Н.М., Липовка А.А. Оптические положения 748 слабых диффузных объектов и галактик в окрестности радиисточников RC-каталога. Препринт № 88 Специальной астрофизической обсерватории РАН. Санкт-Петербург, 1993. С. 1–47.

7. Condon J.J., Cotton W.D., Greisen E.W., Yin Q.F., Perley R.A., Taylor G.B., Broderick J.J. The NRAO VLA Sky Survey // Astron. J. 1998. Vol. 115. No. 5. Pp. 1693–1716.

8. Fey A.L., Ma C., Arias E.F., Charlot P., Feissel-Verner M., Gontier A.-M., Jacobs C.S., Li J., McMillan D.S. The second extension of the International Celestial Reference Frame:

ICRF-EXT. 1// Astron. J. 2004. Vol. 127. No. 6. Pp. 3587–3608.

9. Digital Sky Survey System (DSS) – Canadian Astronomy Data Centre, DSS, CADC, URL: [www3.cadc-ccda.hia-ihp.nrc-cnrc.gc.ca/en/dss/](http://www3.cadc-ccda.hia-ihp.nrc-cnrc.gc.ca/en/dss/).

10. **Douglas J.N., Bash F.N., Bozyan F.A., Wolfe Ch.** The Texas survey of radio sources covering  $-35.5$  degrees  $<$  declination  $<$   $71.5$  degrees // Astron. J. 1996. Vol. 111. No. 4. Pp. 1945–1963.

11. **Komesaroff M.M.** Ionospheric refraction in radio astronomy. I. Theory // Austr. J. Phys. 1960. Vol. 13. No. 2. Pp. 153–167.

12. **Липовка А.А., Липовка Н.М.** Проблемы привязки радионеба к оптическому небу. История и перспективы // Геодезия и картография. 2013. № 10. С. 2–7.

13. **Липовка А.А., Липовка Н.М.** Способ

*Статья поступила в редакцию 05.04.2018, принята к публикации 07.05.2018.*

#### СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**ЛИПОВКА Антон Адольфович** – кандидат физико-математических наук, профессор Центра физических исследований Университета Соноры, г. Эрмосильо, Мексика.

83000, Mexico, Calle Rosales e Boulevard Luis, Encinas s/n Colonia Centro, Hernalillo.

[nila\\_lip@mail.ru](mailto:nila_lip@mail.ru)

**ЛИПОВКА Неонила Михайловна** – кандидат физико-математических наук, астрофизик-исследователь, Санкт-Петербург, Российская Федерация.

[nila\\_lip@mail.ru](mailto:nila_lip@mail.ru)

#### REFERENCES

[1] **S.A. Kaplan, S.B. Pikelner,** Mezhzvezdnaya sreda [Interstellar medium], Fizmatgiz, Moscow, 1963, P. 11–118.

[2] **Y.N. Parijsky, V.Y. Golnev, N.M. Lipovka,** The preliminary results of observations of the Milky Way at the wavelength of 6.4 cm obtained at the Pulkovo Observatory, Bulletin of the Main Astronomical Observatory in Pulkovo. 24(6(182)) (1967) 199–203.

[3] **N.M. Lipovka,** Radioizlucheniye korony Galaktiki [Galactic-corona radiation], Soviet Astronomy. 54 (6) (1977) 1211–1220.

[4] **V.L. Ginzburg,** Teoreticheskaya fizika i astrofizika. Dopolnitelnyye glavy [Theoretical physics and astrophysics. Supplementary chapters], Nauka, Moscow, (1976) 70–99.

[5] **A.S. Bennett,** The revised 3C catalog of radio sources, MNRAS, 125 (1962) 75–86.

[6] **E. Chavira-Navarrete, N.M. Lipovka, A.A. Lipovka,** Opticheskiye polozheniya 748 slabykh diffuznykh obyektov i galaktik v okrestnosti radioistochnikov RC kataloga [Optical positions of 748 faint diffuse objects and galaxies in the vicinity of radio sources from RC catalogue], Special Astrophysical Observatory of RAS, St. Petersburg, Preprint No. 88 (1993) 1–47.

привязки координат небесных радиоисточников к оптической астрометрической системе координат. Патент на изобретение № 2 010107938/28(011185). ЛКЛ (англ. LKL), 2011.

14. The NRAO VLA Sky Survey. URL: <http://www.cv.nrao.edu/NVSS/>.

15. **Verkhodanov O.V., Trushkin S.A., Andernach H., Chernenkov V.N.** Current status of the CATS database // Bulletin SAO. 2005. No. 58. Pp. 118–129 (arXiv:0705.2959). URL: <http://www.sao.ru/cats/>

16. Canadian Astronomy Data Centre, [www3.cadc-ccda.hia-ihp.nrc-cnrc.gc.ca/en/](http://www3.cadc-ccda.hia-ihp.nrc-cnrc.gc.ca/en/).

17. **Zacharias N., Finch C., Girard T., et al.** The third US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC3). URL: <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>

[7] **J.J. Condon, W.D. Cotton, E.W. Greisen, et al.,** The NRAO VLA Sky Survey, Astron. J. 115 (5) (1998) 1693–1716.

[8] **A.L. Fey, C. Ma, E.F. Arias, et al.,** The second extension of the International Celestial Reference Frame: ICRF-EXT. 1, Astron. J. 127 (6) (2004) 3587–3608.

[9] Digital Sky Survey System (DSS) – Canadian Astronomy Data Centre, DSS, CADC, URL: [www3.cadc-ccda.hia-ihp.nrc-cnrc.gc.ca/en/dss/](http://www3.cadc-ccda.hia-ihp.nrc-cnrc.gc.ca/en/dss/).

[10] **J.N. Douglas, F.N. Bash, F.A. Bozyan, Ch. Wolfe,** The Texas survey of radio sources covering  $-35.5$  degrees  $<$  declination  $<$   $71.5$  degrees, Astron. J. 111 (4) (1996) 1945–1963.

[11] **M.M. Komesaroff,** Ionospheric refraction in radio astronomy. I. Theory, Aust. J. Phys. 13 (2) (1960) 153–167.

[12] **A.A. Lipovka, N.M. Lipovka,** Problems of connection of radio sky to optical sky. History and perspective, Geodesy. 10 (2013) 2–7.

[13] **A.A. Lipovka, N.M. Lipovka,** Sposob privyazki koordinat nebesnykh radioistochnikov k opticheskoy astrometricheskoy sisteme koordinat. LKL [Method of referencing of celestial radio sources coordinates to optical astrometrical coordinate

system, Lipovka – Kostko – Lipovka, (LKL), Patent No. 2 010107938/28(011185), 2011.

[14] The NRAO VLA Sky Survey, URL: <http://www.cv.nrao.edu/NVSS/>.

[15] **O.V. Verkhodanov, S.A. Trushkin, H. Andernach, V.N. Chernenkov**, Current status of the CATS database, Bulletin SAO. 58 (2005) 118–129.

(arXiv:0705.2959), URL: <http://www.sao.ru/cats/>.

[16] Canadian Astronomy Data Centre, [www3.cadc-ccda.hia-ihp.nrc-cnrc.gc.ca/en/](http://www3.cadc-ccda.hia-ihp.nrc-cnrc.gc.ca/en/).

[17] **N. Zacharias, C. Finch, T. Girard, et al.**, The third US Naval Observatory CCD Astrograph Catalog (UCAC3), URL: <http://vizier.u-strasbg.fr/viz-bin/VizieR>.

*Received 05.04.2018, accepted 07.05.2018.*

#### THE AUTHORS

**LIPOVKA Anton A.**

*Center of Physical Studies, University of Sonora, Hermosillo, Mexico*  
nila\_lip@mail.ru

**LIPOVKA Neonila M.**

nila\_lip@mail.ru