

## РАДИОИЗЛУЧЕНИЕ СКОПЛЕНИЯ ГАЛАКТИК A1716 И ГРУППЫ ЗВЕЗД

А.АЛИПОВКА, Н.М.ЛИПОВКА

Поступила 10 января 2013

Принята к печати 1 марта 2013

Посвящается светлой памяти Энрике Чавира-Наваррете,  
Национальный Институт Астрономии, Оптики и  
Электроники (INAOE), Тонансингла, Мексика

В настоящей работе приводятся оптические отождествления радиоизлучения области неба, связанной с объектами скопления галактик A1716 и проецирующимися на него звездами. Отождествления были выполнены по радиокартам, полученным в обсерватории NRAO на частоте 1400 МГц. Совмещение яркого радиоисточника, имеющего координаты по прямому восхождению  $RA(J) = 13^h 19^m 03^s.1$  и по склонению  $DEC(J) = +34^\circ 23' 54''$  с галактикой IC883, показало прекрасное совпадение многих объектов и значительно увеличило процент отождествленных радиоисточников. Оказалось, что система координат радиоисточников, отождествленных со звездами в данной области, смещена относительно системы координат радиоисточников, отождествленных с объектами с диффузным изображением. В результате, на исследуемой площадке отождествилось 90% радиоисточников. Обнаруженное смещение системы координат радиозвезд относительно радиогалактик мы интерпретируем как эффект, возникающий из-за наличия радиорефракции в межзвездной среде (МС).

Ключевые слова: *звезды; галактики; межзвездная среда (МС); оптические отождествления; радиорефракция в МС*

1. *Введение.* Одной из наиболее актуальных тем в настоящее время является исследование галактик в скоплениях. Изучение морфологии галактик, их радио и оптических спектров излучения, измерение их пекулярных скоростей и параметров, характеризующих сами скопления в целом, имеет большое значение, поскольку позволяет ответить на ряд фундаментальных вопросов, касающихся образования галактик и скоплений галактик, а также понять в деталях процесс релаксации галактик в скоплениях, уточнить физические условия, имеющие место в обсуждаемых объектах, сделать выводы об их звездной популяции, оценить химическую эволюцию звезд и межзвездной среды (МС). Указанные вопросы важны не только для более глубокого понимания процессов, происходящих в наблюдаемой Вселенной, но также и для построения модели образования наблюдаемой структуры Вселенной и ее эволюции во времени. Необходимым условием для получения этих разносторонних данных, является возможность наблюдения объектов в широком диапазоне длин волн, в

частности в оптике и радио. В свою очередь при изучении радио и оптических свойств объектов основополагающими являются оптические отождествления, когда радиоисточник правильно привязывается к оптическому объекту. Именно после такой привязки мы можем получить полную и достоверную информацию об исследуемом объекте в широком диапазоне длин волн.

Однако, выполняя отождествления, мы зачастую сталкиваемся с рядом серьезных трудностей. Существует множество факторов, влияющих в большей или меньшей степени на координаты небесных объектов как в радио, так и в оптическом диапазоне длин волн, которые должны учитываться в процессе обработки полученного изображения неба. Среди них, в радиодиапазоне, следует назвать люфты радиотелескопов, весовые нагрузки, абберацию, ошибки в выборе опорных объектов, сложности в восстановлении изображения для радиоинтерферометра, радиорефракцию в ионосфере и тропосфере Земли, и ряд других причин. Для оптики это в первую очередь ошибки поля, точность измерения координат опорных звезд и оптическая рефракция в земной атмосфере. Как известно, все указанные факторы приводят к ощутимым, и часто неконтролируемым поправкам к координатам небесных объектов, как в радио, так и в оптическом диапазоне длин волн, что затрудняет отождествления радиообъектов с объектами, видимыми в оптическом диапазоне длин волн. Причины неточной привязки радионеба к оптическому небу подробно изложены в работе [1]. Главная причина заключается в малом количестве опорных объектов используемых в радиодиапазоне (один опорный радиоисточник на 70 квадратных градусов). Несовершенство привязки радионеба к оптическому небу привело к тому, что большая часть радиоисточников не совпадает с объектами, видимыми в оптическом диапазоне длин волн. В данной работе выполнены оптические отождествления для области неба, проецирующейся на скопление A1716, которая была неверно привязана в наблюдениях обзора [2]. Указанная ошибка в привязке могла возникнуть не только вследствие факторов перечисленных выше, но также и благодаря наличию радиорефракции в МС [3,4]. Настоящая работа является продолжением работ [1,5-10] по отождествлениям небесных радиоисточников с небесными объектами, видимыми в оптике.

*2.1. Метод оптических отождествлений небесных радиоисточников.* Начало настоящей работе было заложено в 1980-1985гг., когда на радиотелескопе РАТАН-600 (САО, Зеленчукская) был выполнен обзор неба в режиме неподвижного фокуса радиотелескопа РАТАН-600 с высокой чувствительностью [11]. В 1985, 1990 и 1993гг. в Национальном Институте Астрономии Оптики и Электроники (ИНАОЕ) в Мексике были

выполнены оптические отождествления этого обзора при помощи блинк-компаратора по всем правилам астрометрии с точностью  $1''.5$  [12]. Выполненные таким образом оптические отождествления показали, что большая часть радиоисточников не отождествляется с оптическими небесными объектами по стандартной методике и попадает в пустые поля (empty fields) [13]. Ситуация изменилась, когда в Интернете в 2003-2005 гг. стали появляться данные по наблюдениям небесных объектов в широком диапазоне длин волн и мы снова приступили к оптическим отождествлениям, используя теперь уже возможности, предоставленные компьютерными технологиями. Работая с участком неба в окрестности скопления галактик A1716, мы обнаружили, что радиоизлучают не только активные галактики и квазары [1], но и звезды. Более того, оказалось, что в космическом пространстве существует радиорефракция, которую нужно учитывать, выполняя оптические отождествления.

Небольшое количество опорных объектов, которые используются в настоящее время для привязки радионеба к оптическому небу, приводит к тому, что не всегда привязка радионеба к оптическому небу выполнена правильно. Нами предложен новый, более точный метод привязки радионеба к оптическому небу [14], который кратко можно сформулировать следующим образом. Привязка должна осуществляться в пределах одного лепестка диаграммы направленности интерферометра непосредственно к оптическому изображению неба при соблюдении следующих основных принципов:

а) по морфологическому признаку: галактики, квазары, звезды близкие и звезды далекие,

б) по конфигурационному расположению объектов таким образом, чтобы на площадке размером в один квадратный градус было не менее трех опорных звезд для правильной привязки и правильного определения ориентации площадки в пространстве.

Использование разработанного нами метода привязки радионеба к оптическому небу позволило увеличить количество радиоисточников отождествленных с оптическими объектами в десятки раз [14].

*2.2. Радиоизлучение объектов с диффузным изображением в скоплении галактик A1716.* В центре исследуемого скопления A1716 расположена галактика IC883, имеющая скорость удаления  $v = 6882$  км/с. Как видно из рис.1, галактика (№14) является активной, с двумя протяженными деталями в виде джетов, которые прослеживаются в голубых, красных и в инфракрасных лучах. Следует подчеркнуть, что указанная галактика, согласно предложенному ранее отождествлению по данным [2], была совмещена с радиоисточником, спектр которого оказался не характерным для активной радиогалактики. Если учесть также тот факт, что в ближайшей ее окрестности на площадке порядка двух квадратных

градусов больше не отождествился ни один объект, такое отождествление становится сомнительным и встает вопрос о поиске альтернативного варианта отождествления всей площадки.

Нами был произведен поиск радио компаньона для отождествления этой галактики с радиоисточником таким образом, чтобы, с одной стороны, удовлетворить принципу конфигурационного совпадения ряда объектов в окрестности галактики, и, с другой, чтобы радиоспектр отождествленного источника был бы характерен именно для активной радиогалактики. Хорошим опорным объектом для привязки радио и оптической областей неба оказалась сама галактика IC883 (рис.1, №14) с цепочкой близко-расположенных к ней объектов с диффузным изображением. Мы исследовали две площадки. Одна в оптическом диапазоне [15] в окрестности IC883 (оптическое поле: рис.1, №14) и вторая в радиодиапазоне, в окрестности сравнительно яркого радиоисточника с нетепловым спектром ( $\alpha = -1.0$ , объект №14, табл.1) с координатами по прямому восхождению  $RA(J) = 13^h 19^m 03^s.1$  и по склонению  $DEC(J) = +34^{\circ} 23' 52''.2$  (радио поле), [16]. Как уже упоминалось выше, при предложенной по данным NVSS [2] привязке радиоисточника, имеющего радиокоординаты  $RA(J) = 13^h 20^m 35^s.38$  и  $DEC(J) = +34^{\circ} 08' 22''.5$ , к галактике IC883 в ближайшей

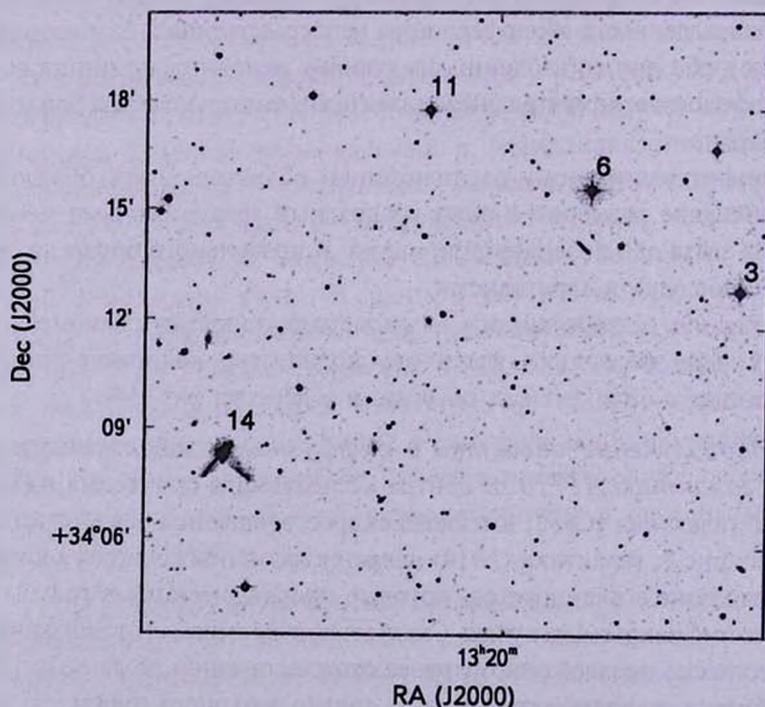


Рис.1. Изображение неба в окрестности A1716, полученное по данным Паломарского обзора неба [15].

окрестности галактики больше ничего не совпало. Более того, аналогичная картина наблюдается при оптических отождествлениях в окрестности яркого радиоисточника ( $RA(J) = 13^h 19^m 03^s.1$ ,  $DEC(J) = +34^\circ 23' 52''.2$ ). При предложенной привязке по данным NVSS [2] в этой области яркий радиоисточник (рис.1, табл.1, №14) попал в пустое поле и в ближайшей окрестности, на площадке размером один квадратный градус, не отождествился ни один радиоисточник. Все это побудило нас пересмотреть предложенную в работе [2] привязку радионеба к оптическому небу.

Обследование этих двух площадок в радио и оптике показало, что между ними имеется хорошее сходство по конфигурационному расположению объектов и яркостному соответствию в оптическом диапазоне длин волн и в радиодиапазоне.

В соответствии с вышеизложенным, мы предположили, что истинное радиоизображение сдвинуто относительно оптического изображения из-за неверной привязки радионеба к оптическому небу по прямому восхождению

Таблица 1

N	RA(J)	DEC(J)	P, Ян	RA_G(J)	DEC_G(J)
1	13 <sup>h</sup> 17 <sup>m</sup> 56 <sup>s</sup> .1	34°31'59".8	0.0909	13 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 28".1	34°16'27".8
2	13 17 59.4	34 36 22.2	0.0115	13 19 31.4	34 20 50.2
3	13 18 16.5	34 28 19.2	-		
4	13 18 27.8	34 21 43.5	0.002	13 19 59.8	34 06 11.5
5	13 18 28.3	34 12 53.7	0.0035	13 20 00.3	33 57 21.7
6	13 18 37.3	34 31 19.5	-		
7	13 18 50.7	34 25 50.5	-	13 20 22.6	34 10 18.5
8	13 18 51.1	34 18 07.6	-		
9	13 18 52.3	34 23 31.6	0.0036	13 20 24.3	34 07 59.7
10	13 18 53.6	34 15 38.5	0.0036	13 20 25.6	34 00 06.6
11	13 18 58.9	34 33 43.7	-		
12	13 18 59.2	34 25 20.0	0.0066		
13	13 18 59.8	34 20 26.5	-		
14	13 19 03.1	34 23 52.2	0.1217	13 20 35.1	34 08 20.3
15	13 19 03.5	34 17 47.1	-	13 20 35.5	34 02 15.1
16	13 19 07.7	34 30 17.9	0.0163		
17	13 19 08.5	34 09 17.9	-	13 20 40.5	33 53 45.9
18	13 19 10.6	34 15 17.9	-	13 20 42.6	33 59 45.9
19	13 19 17.3	34 33 28.2	0.0029	13 20 49.3	34 17 56.2
20	13 19 18.9	34 24 56.0	0.001	13 20 50.9	34 09 24.0
21	13 19 19.4	34 33 28.1	-	13 20 51.4	34 17 56.2
22	13 19 19.8	34 36 12.7	-	13 20 51.8	34 20 40.8
23	13 19 25.7	34 19 00.0	0.0201	13 20 57.7	34 03 28.0
24	13 19 26.9	34 34 24.6	-		
25	13 19 35.1	34 26 57.1	0.0051		
26	13 19 37.1	34 11 21.0	-	13 21 09.1	33 55 49.1
27	13 19 47.2	34 32 05.4	-		
28	13 20 18.9	34 38 24.9	-		
29	13 20 23.1	34 10 07.6	-	13 21 55.1	33 54 35.7

на величину  $\Delta RA = 01^m 32^s$  и по склонению на величину  $\Delta DEC = -15' 32''$ . После учета этой поправки (привязка радионеба к оптическому небу) и совмещения яркого радиисточника (объект №14, табл.1) с галактикой IC883 мы получили прекрасное совпадение большого количества радиообъектов с оптическими объектами, имеющими диффузное изображение. В табл.1 приводятся исходные (по данным NVSS [2]) и исправленные за поправку координаты радиисточников, полученные в результате привязки яркого радиисточника с координатами  $RA(J) = 13^h 19^m 03^s.1$  и  $DEC(J) = +34^{\circ} 23' 52''.0$  к галактике IC883.

Координаты радиисточников (столбцы 2, 3), представленные в табл.1, были вычислены нами в результате обработки изофот радиоизображения, полученного по данным NVSS обзора [2], представленного в интернете для общего пользования. В столбце 4 приводится измеренная плотность потока по данным NVSS [2]. Для радиообъектов, плотность потока у которых меньше 2.5 мЯн, стоит прочерк. В каталог [2,16] включены радиообъекты ярче 25 мЯн. В столбцах 5, 6 приводятся исправленные с учетом поправки  $\Delta RA = 01^m 32^s$  и  $\Delta DEC = -15' 32''$  координаты радиисточников (поправка добавлена к столбцам 2, 3, табл.1 с учетом знака). Для исправленных координат радиисточников (столбцы 5, 6, табл.1), полученных после привязки радиоизображения неба к галактике IC883, были выполнены оптические отождествления.

В табл.2 представлены координаты оптических объектов, полученные по данным APM [17] для тех объектов из табл.1, для которых координаты оказались близкими к координатам оптических объектов: столбец 1 -

Таблица 2

N	RA(J)	DEC(J)	R mag	Ellipse parms	B mag	Ellipse parms
1	13 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 28 <sup>s</sup> .20	34 <sup>°</sup> 16'39".8	00 <sup>m</sup> .00	00.0 0.00	21 <sup>m</sup> .70	2.7 0.13
2	13 19 31.75	34 21 11.2	00.00	00.0 0.00	21.71	4.2 0.49
4	13 19 59.29	34 06 29.7	14.71	15.4 0.10	15.80	12.6 0.02
5	13 20 00.22	33 57 38.2	17.35	9.7 0.21	20.28	5.9 0.11
7	13 20 22.18	34 10 41.6	19.6	4.4 0.32	21.6	3.4 0.15
9	13 20 24.41	34 08 12.8	19.71	5.8 0.55	0.00	0.0 0.00
10	13 20 24.97	33 59 57.0	19.51	7.0 0.53	0.00	0.0 0.00
14	13 20 35.42	34 08 18.4	10.19	59.9 0.22	11.62	56.6 0.19
15	13 20 35.75	34 01 57.8	19.88	3.7 0.20	0.00	0.0 0.00
17	13 20 39.88	33 53 46.2	00.00	00.0 0.00	21.53	4.7 0.45
18	13 20 43.39	33 59 58.9	19.31	5.9 0.33	21.87	2.8 0.16
20	13 20 51.38	34 9 25.0	18.45	6.4 0.07	21.22	4.1 0.07
21	13 20 52.53	34 17 44.0	19.69	4.4 0.33	21.21	4.8 0.31
22	13 20 52.07	34 20 38.9	00.00	00.0 0.00	21.80	2.8 0.11
23	13 20 59.11	34 3 41.9	0.00	0.0 0.00	21.66	4.7 0.54
26	13 21 09.42	33 55 58.0	19.95	3.8 0.37	0.00	0.0 0.00
29	13 21 55.79	33 54 43.6	15.75	11.5 0.02	16.90	10.9 0.03

порядковый номер по табл. 1, 2 - прямое восхождение оптического объекта, 3 - склонение оптического объекта, 4, 6 - звездная величина в голубых и красных лучах, 5, 7 - размер в пикселях и эллиптичность оптического объекта [17].

При отождествлении радиоисточника №14 (табл.1, столбцы 2, 3) с галактикой IC883 (RA(J) = 13<sup>h</sup>20<sup>m</sup>35<sup>s</sup>.38, DEC(J) = +34°08'22".5, объект №14, табл.2, столбцы 2, 3) с оптическими объектами отождествилось еще 17 радиоисточников. Точность привязки объектов радио - оптика составила по прямому восхождению  $\Delta = -0^s.12 \pm 0^s.5$  и по склонению  $\Delta = -4'.4 \pm 1'.5$ .

2.3. *Радиоизлучение звезд.* Кроме радиообъектов, отождествленных с объектами, имеющими диффузное изображение в оптическом диапазоне длин волн, в табл.1 вошли несколько слабых радиоисточников, проецирующихся на скопление галактик A1716, которые не имеют оптической пары при предложенной выше привязке координат радиоисточников к галактике IC883. Как было обнаружено нами ранее [7] эти радиоисточники (№ 3, 6, 8, 11, 12, 19, 24, 25, 27, табл.1, столбцы 2, 3) имеют свою систему координат и сдвинуты относительно их оптического изображения на величину  $\Delta RA = +01^m 09^s$  и  $\Delta DEC = -15' 28''$ . Первичная привязка осуществлялась к звездам 3, 6, 11 (рис.1), радиокоординаты которых представлены в табл.1, столбцы 2, 3. Исправленные за вышеуказанную поправку радиокоординаты приведены в табл.3, столбцы 2, 3, а оптические координаты, отождествленных с ними объектов представлены в табл.3, столбцы 4, 5. В результате такой привязки отождествились 9 радиоисточников (№ 3, 6, 8, 11, 12, 19, 24, 25, 27) со звездами.

В табл.3 представлены исправленные координаты радиокаталога (табл.1, столбцы 2, 3) с учетом поправок к прямому восхождению  $\Delta RA = +01^m 09^s$  и склонению  $\Delta DEC = -15' 28''$  для звездной составляющей.

Столбец 1 - порядковый номер по табл.1, 2 - прямое восхождение радиоисточника с учетом поправки для звездной составляющей ( $\Delta RA = +01^m 09^s$ ), 3 - склонение радиоисточника с учетом поправки для

Таблица 3

N	RA(J)	DEC(J)	RA(J)	DEC(J)	R mag	Ellipse parms	B mag	Ellipse parms
03	13 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 25 <sup>s</sup> .5	34°12'47".2	13 <sup>h</sup> 19 <sup>m</sup> 27 <sup>s</sup> .36	34°12'59".3	12 <sup>m</sup> .31	26.0 0.03	13 <sup>m</sup> .22	24.9 0.08
06	13 19 46.3	34 15 47.6	13 19 47.30	34 15 42.2	11.77	30.7 0.02	12.77	28.1 0.06
08	13 20 00.0	34 02 35.7	13 20 00.38	34 02 20.0	14.49	15.1 0.08	15.77	12.9 0.04
11	13 20 08.7	34 18 11.9	13 20 09.18	34 17 51.3	12.40	26.1 0.07	13.51	22.5 0.06
12	13 20 08.7	34 04 54.6	13 20 08.84	34 04 48.9	16.23	12.6 0.29	18.07	10.4 0.28
19	13 20 26.2	34 17 56.2	13 20 24.98	34 18 09.5	13.70	17.7 0.02	14.97	15.2 0.02
24	13 20 35.8	34 18 52.7	13 20 35.52	34 18 46.8	18.85	8.3 0.39	21.73	5.5 0.68
25	13 20 44.1	34 11 25.1	13 20 44.43	34 11 15.8	15.76	12.6 0.06	17.19	10.7 0.07
27	13 20 56.2	34 16 33.4	13 20 56.11	34 16 59.3	10.64	46.1 0.09	13.47	21.9 0.02

звездной составляющей ( $\Delta\text{DEC} = -15'28''$ ), 4 - прямое восхождение оптического объекта [17], 5 - склонение оптического объекта [17], 6, 8 - звездная величина по оптическим отождествлениям [17] и 7, 9 - размер в пикселях и эллиптичность оптического объекта [17].

В результате выполненного оптического отождествления (табл.3) оказалось, что 9 слабых радиисточников совпали со звездами  $10^m$ - $21^m$ . Погрешность отождествления для звезд составила по прямому восхождению  $\Delta = -0''.02 \pm 0''.64$  и по склонению  $\Delta = 5'' \pm 10''$ .

Мы предположили, что наблюдаемый факт смещения системы координат радиозвезд относительно системы координат радиообъектов, связанных со скоплением галактик A1716, может быть обусловлен радиорефракцией в межзвездной среде. На исследуемом участке неба радиорефракция в МС составила  $23'$  по прямому восхождению и  $4''$  по склонению.

Всего в нашей выборке из 29 объектов, расположенных на площадке менее чем 0.68 квадратных градуса, отождествилось 26 радиисточников (~90%), в то время, как в случае привязки используемой в работе [2], совпал только один радиисточник с оптическим объектом на площадке размером в два квадратных градуса.

**3. Заключение.** В настоящей работе выполнено отождествление радиисточников с оптическими объектами, расположенными в окрестности галактики IC883 в скоплении A1716. Истинное радиоизображение скопления A1716 оказалось значительно смещенным из-за несовершенства привязки радионеба к оптическому небу по небольшому количеству опорных радиисточников в обзоре NVSS [2]. В результате нашей привязки удалось отождествить 26 радиообъектов на участке неба размером 0.68 квадратных градуса, что составило 90% от общего количества радиисточников, зафиксированных на исследуемой площадке.

Предполагается, что обнаруженное отличие системы радиокоординат для объектов с диффузным изображением от системы радиокоординат для звезд относительно друг друга обусловлено эффектом радиорефракции в межзвездной среде и должно учитываться при выполнении оптических отождествлений. Наличие радиорефракции в межзвездной среде явится дополнительным инструментом в комплексных исследованиях характеристик межзвездной среды, а также будет незаменимо для определения удаленности небесных объектов.

Авторы благодарят обсерваторию NRAO и ее штат, выполнивший обзор неба на волне 21 см, который помещен в Интернет для общего пользования. Авторы благодарят Паломарскую обсерваторию и ее штат за Паломарский обзор неба и Майка Ирвина за оцифровку оптических карт неба.

Авторы обращаются со словами глубокой благодарности за постоянную поддержку, способствовавшую выполнению данной работы, к В.Г.Караевой,

Е.В.Полякову, И.И.Канаеву, Н.Б.Быковской, О.В.Кияевой, О.В.Чубею и С.А.Толчельниковой.

Центр физических исследований, Университет Соноры, Эрмосийо, Мексика, e-mail: nila\_lip@mail.ru

## RADIOEMISSION OF THE A1716 CLUSTER GALAXIES AND GROUPS OF STARS

A.A.LIPOVKA, N.M.LIPOVKA

In present paper the optical identifications of the radio emission from the region in vicinity of the A1716 cluster are suggested. Identifications were made using the data at 1400 MHz obtained in NRAO observatory. Identification of the bright radio source located at  $RA(2000) = 13^h 19^m 03^s.1$ ,  $DEC(2000) = +34^{\circ} 23' 54''$  and the IC883 galaxy leads to excellent coincidence for many (radio/optical) objects and considerably increase the number of identified radio sources. It turns out that the coordinates system for the stars differs from that for the galaxies. It has resulted in the identification of the 90% of radio sources at the plate. Discovered discrepancy of the stars coordinates system and the galaxies one is explained due to the radio refraction in the interstellar medium.

Key words: *stars: galaxies: interstellar medium: optical identifications: radio refraction*

## ЛИТЕРАТУРА

1. А.А.Липовка, Н.М.Липовка, Геодезия и картография, №12, 6, 2010.
2. J.J.Condon, W.D.Cotton, E.W.Greisen et al., Astron. J., 115, 1693, 1998.
3. А.А.Липовка, Н.М.Липовка, Molecules in Space and Laboratory, meeting held in Paris, France, May 14-18, eds. J.L.Lemaire, F.Combes. Publisher: S.Diana., p.26, 2007.
4. А.А.Липовка, Н.М.Липовка, Труды Всероссийской астрономической конференции, Казань: Изд-во Казанского государственного университета, 536, 2007.
5. А.А.Липовка, Н.М.Липовка, Фундаментальные проблемы естествознания и техники, СПб., 2008.
6. А.А.Липовка, Н.М.Липовка, Фундаментальные проблемы естествознания

- и техники, Часть 1, 400, 2010.
7. А.А.Липовка, Н.М.Липовка, *Астрономический календарь*, 145, 2010.
  8. А.А.Липовка, Н.М.Липовка, *Геодезия и картография*, №2, 11, 2011.
  9. Н.М.Липовка, А.А.Липовка, *Астрофизика*, 54, 415, 2011.
  10. Н.М.Липовка, А.А.Липовка, *Международная конференция "Седьмые Окуневские чтения"*, 87, 2011.
  11. Ю.Н.Парийский, Н.Н.Бурсов, Р.Вилебинский и др., *Письма в Астрон. ж.*, 13, №835, 1987.
  12. Э.Чавира-Наваррете, О.В.Кияева, Н.М.Липовка, А.А.Липовка, *Препринт №81, САО РАН СПб.*, 1992.
  13. Э.Чавира-Наваррете, Н.М.Липовка, А.А.Липовка, *Препринт №88, САО РАН СПб.*, 1993.
  14. А.А.Липовка, Н.М.Липовка, *Патент на изобретение №2010107938/28(011185)*, 2011.
  15. (<http://cadwww.dao.nrc.ca/cadcbin/getdss/>)
  16. O.V.Verkhodanov et al., <http://www.sao.ru/cats/>
  17. M.Irvin, 1998, (<http://www.ast.cam.ac.uk/~mike/apmcat/>).