

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРАСНЫХ СМЕЩЕНИЙ
ИЗБРАННЫХ ОБЪЕКТОВ ПРОГРАММЫ IVS. IК.Л.МАСЛЕННИКОВ¹, А.В.БОЛДЫЧЕВА¹, З.М.МАЛКИН¹,
О.А.ТИТОВ²

Поступила 21 января 2010

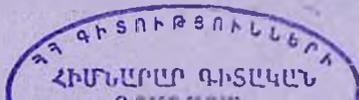
Принята к печати 3 марта 2010

По наблюдениям на 6-м телескопе БТА в САО РАН измерены спектроскопические красные смещения семи оптических объектов, совпадающих по координатам с радиоисточниками из списка программы IVS (International VLBI Service for Geodesy and Astrometry). Сопоставление полученных спектров и красных смещений с данными наблюдений в радиодиапазоне позволяют говорить о надежном отождествлении четырех наблюдавшихся в настоящей работе объектов; три объекта требуют дальнейшего изучения. Расстояния до радиоисточников, полученные из наших измерений, позволяют уточнить оценки параметров космологических моделей, основанные на собственных движениях этих объектов, которые определяются по геодезическим РСДБ-наблюдениям.

Ключевые слова: *красное смещение: радиоисточники: оптические отождествления: спектры: космологические параметры*

1. *Введение.* В 1966г. автор работы [1] показали, что в рамках ОТО при анизотропном расширении Вселенной в собственных движениях удаленных объектов могут возникать систематические эффекты, описываемые векторными сферическими функциями второй степени. Авторы выдвинули три возможных объяснения появления этих эффектов: анизотропное расширение Вселенной, вращение Вселенной и первичные гравитационные волны полоидальной и тороидальной природы. Ожидаемая величина этих эффектов не превышает нескольких десятков микросекунд дуги в год. Во время написания работы [1] регистрация рассматриваемых в ней эффектов была невозможной, однако теперь постановка такой работы имеет хорошие шансы на успех при использовании РСДБ-измерений собственных движений внегалактических радиоисточников.

Предварительные оценки показали наличие в этих движениях статистически значимых гармоник, описываемых сферической функцией второй степени, увеличивающихся с ростом красного смещения [2,3]. Систематические эффекты при этом увеличиваются от 10 ± 3 мкс/год для источников в диапазоне красных смещений от 0 до 0.7 (среднее значение $z=0.44$) до 25 ± 8 мкс/год для источников с красными смещениями от 1.5 до 3 (среднее значение $z=2.23$). Для источников с $z > 1.7$ отмечено резкое увеличение



амплитуд собственных движений (58 ± 10 мкс/год), что может быть результатом недостатка наблюдательных данных для источников с большими красными смещениями, уменьшающего надежность результатов. Помимо векторных сферических гармоник второй степени, обнаружены также векторные сферические гармоники первой степени (дипольная и вращательная компоненты) с амплитудой 10-20 мкс/год со среднеквадратической ошибкой 1-2 мкс/год. Дипольная компонента, по-видимому, вызвана наличием ускоренного движения барицентра Солнечной системы вокруг центра Галактики [5-10], а вращательная - вероятно, неточно определенным значением постоянной прецессии.

Полученные до сих пор результаты основаны на геодезических РСДБ-наблюдениях, проводимых в S/X диапазонах с конца 1970-х годов и хранящиеся в базе данных Международной службы РСДБ для геодезии и астрометрии IVS¹. Полное количество наблюдавшихся радиоисточников приближается к 5000, но только около 1000 из них наблюдались в течение достаточно долгого периода для надежной оценки их видимых движений (больше 10 лет). Для наиболее активно наблюдаемых радиоисточников, имеющих до нескольких сотен тысяч наблюдений на интервале более 30 лет, формальная оценка точности координат находится на уровне 10 мкс дуги, при реальной точности примерно на порядок выше [4]. Такое большое различие между формальной и реальной ошибкой объясняется, в первую очередь, сложной и переменной структурой источников, в большинстве своем активных ядер галактик с яркими джетами. Это приводит к смещению центроида радиояркости источника, и в результате к появлению фиктивного собственного движения. Такие собственные движения достигают нескольких сотен мкс дуги в год, и зачастую носят нелинейный характер [11,12]. Это приводит к значительному увеличению случайной ошибки оценок векторных сферических гармоник, а также может приводить к систематическим ошибкам.

Ослабление этого эффекта может быть достигнуто увеличением числа радиоисточников, вовлеченных в обработку. Такие источники должны иметь достаточно длительную наблюдательную историю и известное красное смещение. Однако для большинства источников, наблюдавшихся в геодезических РСДБ-программах, красное смещение остается неизмеренным [13,14]. Именно задача увеличения количества астрометрических радиоисточников с известными расстояниями (красными смещениями) и ставилась в предлагаемой программе наблюдений. Предполагалось, что в результате мы получим возможность решить две взаимосвязанные задачи:

1. Увеличение числа радиоисточников с известными собственными движениями и расстояниями.
2. Увеличение общего числа геодезических радиоисточников с

¹ <http://ivscc.gsfc.nasa.gov>

известными расстояниями для их преимущественного использования в планируемых наблюдательных программах.

В настоящей работе приводятся первые результаты наблюдений по этой программе.

2. Список объектов программы. Определение красных смещений является довольно трудоемкой задачей, включающей, в данном случае, также оптическое отождествление радиисточников. При этом, по причине слабости большинства объектов, эта работа может производиться только на больших телескопах. В силу ограниченной доступности таких телескопов, массовые определения z для источников программы IVS не представляются возможными. Поэтому важно выделить приоритетные источники, определение z для которых особенно интересно. К последним относятся источники с наибольшей наблюдательной историей, поскольку они имеют наибольший вес при анализе поля скоростей радиисточников, получаемого по астрометрическим РСДБ-наблюдениям. Такой упорядоченный список приоритетных источников был впервые составлен в 2007г. и обновляется по мере накопления РСДБ-наблюдений и появления новых источников с известными z . Последняя редакция списка приведена в [14].

После предоставления наблюдательного времени на телескопе БТА-6м в САО РАН в августе 2008г. из этого списка была выделена выборка объектов, наиболее удобных для наблюдений в это время на данной широте. Эта выборка представлена в табл.1.

Таблица 1

СПИСОК НАБЛЮДАВШИХСЯ ИСТОЧНИКОВ. КООРДИНАТЫ
ПРИВЕДЕНЫ НА ЭПОХУ J2000.0

Номер IERS	RA	DE
	час, мин, с	град, мин, с
1751+288	17 53 42.4736	+28 48 04.938
1923+210	19 25 59.6053	+21 06 26.162
2013+163	20 16 13.8600	+16 32 34.113
2023+503	20 25 24.9725	+50 28 39.536
2030+547	20 31 47.9585	+54 55 03.139
2152+226	21 55 06.4585	+22 50 22.281
2302+232	23 04 36.4364	+23 31 07.610

3. Первые наблюдения, их методика и результаты. Первая серия наблюдений оптических спектров объектов программы была выполнена 24 и 28 августа 2008г. на телескопе БТА-6м САО РАН с многорежимным спектрографом SCORPIO [15] в режиме "длинной щели". Ширина щели спектрографа составляла 1", в качестве детектора использовалась ПЗС-матрица EEV-CCD42-40 (размер чипа 2048 x 2048 элементов, шум считывания 1.8 эл.). Спектры были получены с гризмой

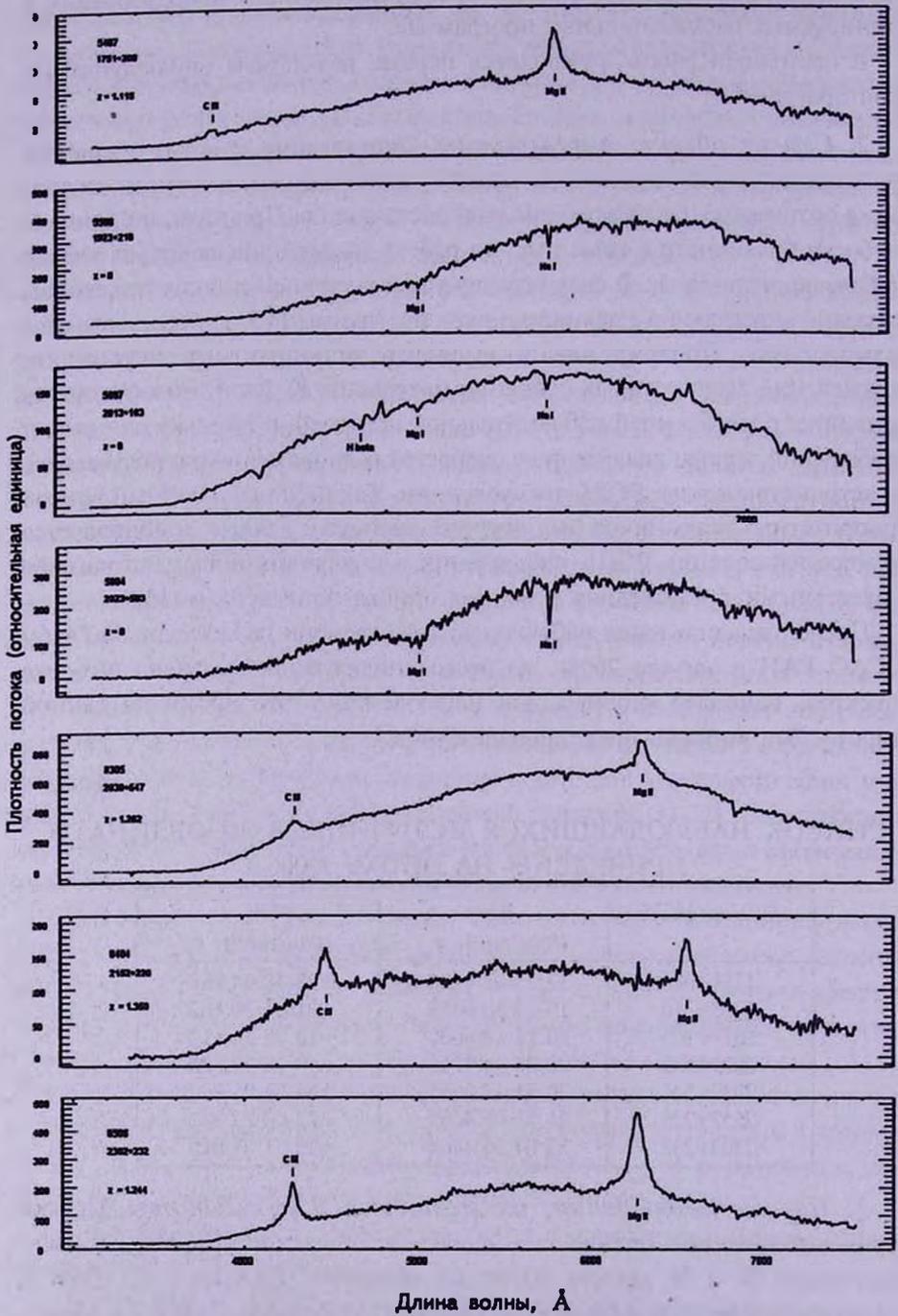


Рис.1. Оптические спектры источников, сверху вниз: 1751+288, 1923+210, 2013+163, 2023+503, 2030+547, 2152+226, 2302+232.

VRHG-550G в спектральном диапазоне 3100-7300 Å с инструментальным разрешением 10 Å при обратной дисперсии 2.1 Å/пиксел. Наблюдения обрабатывались по стандартной методике с использованием пакета программ MIDAS, разработанного в ESO². Во время наблюдений, кроме изображений спектров объектов, было получено несколько спектров сравнения от He-Ne-Ag лампы и спектры сумеречного неба.

На рис.1 приведены полученные нами оптические спектры объектов с указанием отождествленных спектральных линий. Ниже для каждого объекта приведена наша интерпретация его оптического спектра и классификация.

3.1. *IVS 1751+288*. Спектр содержит яркие эмиссионные линии C III 1909 и Mg II 2798. Красное смещение составляет $z=1.115$. Объект классифицирован как квазар.

3.2. *IVS 1923+210*. Спектр этого объекта не содержит заметных эмиссионных линий, но содержит линии поглощения MgI 5170 и NaI 5893, которые не испытывают красного смещения. Классификация объекта оказывается неоднозначной: РСДБ-карты этого источника, приведенные в базе данных RRFID Морской обсерватории США³, типичны для протяженного источника или АЯГ с джетом, что не согласуется с полученным нами спектром, характерным для звезды. База данных NED⁴ дает для этого источника примечание "протяженный источник на 327 МГц, возможно, галактический", однако также отождествляет его с визуальным объектом, единственным в угловой окрестности радиоисточника, который мы наблюдали. Обзор "A Westerbork Synthesis Radio Telescope 327 MHz Survey of the Galactic Plane" [16] относит данный объект к внутригалактическим. Возможное объяснение этому противоречию видится в том, что этот радиоисточник очень слаб в оптическом диапазоне, вероятно слабее $\sim 21^m$, и находится на небесной сфере вблизи более яркой звезды Галактики.

3.3. *IVS 2013+163*. Спектр содержит линии поглощения H β 4861, MgI 5170 и NaI 5893, которые не испытывают красного смещения. Как и в предыдущем случае, по данным RRFID в радиодиапазоне этот источник имеет характерный вид для АЯГ с явно выраженным джетом. Однако вид спектра скорее соответствует звезде, чем галактике или АЯГ.

3.4. *IVS 2023+503*. Спектр объекта содержит линии поглощения MgI 5170 и NaI 5893, которые не испытывают красного смещения. В отличие от предыдущих двух случаев, в радиодиапазоне этот источник не

² <http://www.eso.org/sci/data-processing/software/esomidas/>

³ <http://rorf.usno.navy.mil/RRFID/>

⁴ <http://nedwww.ipac.caltech.edu/>

имеет характерного для АЯГ вида, т.е. явно выраженного джета, возможно из-за недостатка чувствительности при радионаблюдениях (Ю.Ковалев, личное сообщение). Полученный нами спектр классифицируется как звездный. Других оптических источников ярче $\sim 21^m$ в окрестности радиоисточника не обнаружено.

3.5. *IVS 2030+547*. Полученный спектр довольно яркого источника 2030+547 содержит широкие линии излучения CIII 1909 и MgII 2798, согласно которым красное смещение составляет $z=1.262$. На данном красном смещении наличие только этих двух линий характерно для квазаров.

3.6. *IVS 2152+226*. Спектр источника содержит эмиссионные линии CIII 1909 и MgII 2798, красное смещение составляет $z=1.350$. Объект классифицирован как квазар.

3.7. *IVS 2302+232*. Радиоисточник отождествлен с квазаром, в спектре которого выделены 2 яркие эмиссионные линии CIII 1909 и MgII 2798. Красное смещение для этого источника составляет $z=1.244$.

4. *Заключение*. Мы получили оптические спектры семи объектов, предположительно соответствующих радиоисточникам программы IVS. Спектры четырех источников имеют яркие эмиссионные линии, характерные для квазаров, а также заметные красные смещения. Поэтому мы считаем эти оптические объекты надежно отождествленными с радиоисточниками. Мы оцениваем точность наших определений z как 0.001. Остальные три наблюдавшихся нами объекта имеют спектры, характерные для звезд, при лучевой скорости, близкой к нулю с той же точностью. Это противоречит данным картографирования в радиодиапазоне, согласно которым данные источники имеют структуру, характерную для активных ядер галактик. Возможно, мы имеем в данном случае наложение на небесной сфере слабого в оптике внегалактического объекта и звезды Галактики.

Следует отметить, что противоречие между спектрами, типичными для звезд, и радиоструктурой, характерной для внегалактических объектов, проявилось для трех из семи объектов программы. То, что во всех этих случаях оптически слабый радиообъект и звезда случайно проецируются на одну точку небесной сферы (при том, что в радиусе 10-15 угловых секунд другие различимые оптические объекты отсутствуют) представляется маловероятным. Наконец, заметим, что в процессе отбора объектов для спектральных наблюдений из списка [11], проведенного нами по оптическим картам обзора DSS, неоднократно отмечалось полное отсутствие на этих картах каких-либо изображений на координатах радиообъектов (в качестве примера укажем источники *IVS 1932+204*, *IVS 1922+155*, *IVS 1955+335*, а также, возможно, *IVS 2000+148* и *IVS 1951+355* - эти пять "пустых полей" найдены в случайной выборке из 30 объектов). Этот вопрос, по-

видимому, тоже требует исследования.

В настоящей работе сделан важный шаг к решению общей задачи определения расстояний до всех, или хотя бы всех наиболее часто наблюдаемых радиисточников программы IVS. Однако список последних далеко не исчерпан, и поэтому работа будет продолжаться по мере возможности получения наблюдательного времени на БТА. Учитывая, что конкуренция наблюдательных программ на этом телескопе очень велика, рассматриваются и другие пути продолжения этой работы. Во-первых, сделана заявка на наблюдательное время на телескопах ESO в Чили. Во-вторых, для ускорения работы ее можно разбить на два этапа. На первом из них можно провести относительно менее трудоемкие, а значит, более массовые определения z фотометрическим методом, хотя и с пониженной точностью определения z порядка 0.03-0.1. Позднее можно вернуться к уточнению z для наиболее интересных объектов.

Авторы благодарны С.Н.Додонову за руководство наблюдениями на БТА и помощь в классификации полученных спектров.

¹ Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Россия,
e-mail: km@gao.spb.ru cosmic.cosm@gmail.com malkin@gao.spb.ru

² Geoscience Australia, e-mail: oleg.titov@ga.gov.au

DETERMINATION OF REDSHIFTS FOR SELECTED IVS PROGRAM OBJECTS. I

K.L.MASLENNIKOV¹, A.V.BOLDYCHEVA¹, Z.M.MALKIN¹, O.V.TITOV²

From observations with the 6-m BTA telescope at SAO RAS, we have determined spectroscopic redshifts of seven optical objects whose coordinates coincide with those of radio sources from the list of IVS (International VLBI Service for Geodesy and Astrometry). When compared to radio data, the obtained spectra and redshifts provide evidence for reliable identification of four observed objects; the other three require further study. The distances to the sources derived from our measurements will make it possible to refine the current estimates for parameters of cosmological models based on proper motions of these objects, which are determined from geodetic VLBI observations.

Key words: *redshifts:radio sources:optical identifications:spectra:
cosmological parameters*

ЛИТЕРАТУРА

1. *J.Kristian, R.K.Sachs*, *Astrophys. J.*, **143**, 379, 1966.
2. *O.Titov*, in: *The Celestial Reference Frame for the Future*, Proc. Journées 2007, ed. N.Capitaine, **16**, 2008.
3. *O.Titov*, in: *Measuring the Future*, Proc. 5th IVS General Meeting, ed. A.Finkelstein, D.Behrend, **265**, 2008.
4. *Z.Malkin*, in: *Measuring the Future*, Proc. 5th IVS General Meeting, ed. A.Finkelstein, D.Behrend, **256**, 2008.
5. *U.Bastian*, in: Proc. RGO-ESA Workshop "Future Possibilities for Astrometry in Space", Cambridge, UK, 19-21 June 1995, ed. Perryman M.A.C., Van Leeuwen F., **99**, 1995.
6. *T.M.Eubanks, D.N.Matsakis, F.J.Josties et al.*, in: Proc. IAU Symposium 166 "Astronomical and astrophysical objectives of sub-milliarcsecond optical: astrometry", Hague, Netherlands, August 15-19, 1994, ed. E.Hog, P.K.Seidelmann, **283**, 1995.
7. *C.R.Gwinn, T.M.Eubanks, T.Pyne et al.*, *Astron. J.*, **485**, 87, 1997.
8. *O.J.Sovers, J.L.Fanselow, C.S.Jacobs*, *Rev. Mod. Phys.*, **70**, 1393, 1998.
9. *J.Kovalevsky*, *Astron. Astrophys.*, **404**, 743, 2003.
10. *S.M.Kopeikin, V.V.Makarov*, *Astron. J.*, **131**, 1471, 2006.
11. *O.A.Timos*, *Письма в Астрон. ж.*, **33**, 542, 2007.
12. *D.S.MacMillan, C.Ma*, *J. of Geodesy*, **81**, 443, 2007.
13. *Z.Malkin, O.Titov*, in: *Measuring the Future*, Proc. 5th IVS General Meeting, ed. A.Finkelstein, D.Behrend, **183**, 2008.
14. *O.Titov, Z.Malkin*, *Astron. Astrophys.*, **506**, 1477, 2009.
15. *В.Л.Афанасьев, А.В.Мусеев*, *Письма в Астрон. ж.*, **31**, 214, 2005.
16. *A.R.Taylor, W.M.Goss, P.H.Coleman, J. van Leeuwen, B.J.Wallace*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **107**, 239, 1996.