

## ВАРИАЦИИ ИНТЕГРАЛЬНЫХ ПОТОКОВ И СТРУКТУРЫ РАДИОИСТОЧНИКА 3С120

А.Е.ВОЛЬВАЧ<sup>1</sup>, А.Б.ПУШКАРЕВ<sup>1,2</sup>, М.Г.ЛАРИОНОВ<sup>3</sup>,  
Л.Н.ВОЛЬВАЧ<sup>1</sup>, Х.Д.АЛЛЕР<sup>4</sup>, М.Ф.АЛЛЕР<sup>4</sup>

Поступила 19 марта 2007

Принята к печати 22 мая 2007

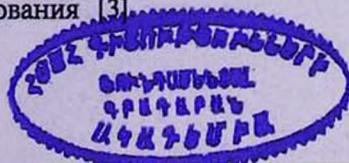
Представлены результаты исследований переменности радиоисточника 3С120 по данным, выполненным в рамках международных геодезических РСДБ программ наблюдений на частоте 8.6 ГГц, а также регулярного мониторинга в диапазоне частот 4.8–36.8 ГГц, который проводится в НИИ "Крымская астрофизическая обсерватория" (Украина) и Радиоастрономической обсерватории Мичиганского университета (США). Совместный анализ вариаций интегральных потоков и структур на миллисекундных масштабах позволил выделить вспышки на высоких частотах, сопровождающиеся появлением новых сантиметровых РСДБ компонентов. Обнаружено, что для источника 3С120 изменения потоков на разных радиочастотах обнаруживают запаздывание максимума на низких частотах, а вспышка 1998г. сопровождается рождением нового сверхсветового компонента.

Ключевые слова: *радионаблюдения - объект 3С120*

**1. Введение.** Комплексный анализ вариаций интегрального излучения внегалактических источников и их структуры на масштабах субмиллисекунд и миллисекунд дуги может дать ключ к обнаружению и пониманию важных свойств галактических ядер. Именно из наблюдений нестационарных источников мы получаем важную информацию об их околоядерной морфологии и динамике.

Одним из первых внегалактических переменных источников, о котором была получена информация в широком диапазоне длин волн, был объект 3С120, известный также как PKS 0430+052 и II ZW 14.

Источник 3С120 представляет собой мощную радиогалактику, обычно классифицируемую как Сейферт 1. Скорее это промежуточный между FRI и BL Lacs тип галактики. Из-за сложной оптической морфологии такая классификация делается с оговорками. Фотометрические и спектрометрические исследования этого объекта указывают на то, что 3С120 либо находится в стадии слияния, либо сравнительно недавно прошел через эту стадию [1,2]. Сложная структура источника в оптическом и инфракрасном диапазонах длин волн объясняется, по-видимому, наличием в объекте областей мощного звездообразования [3].



Благодаря сравнительно небольшой удаленности ( $z=0.033$ ) в источнике удалось быстро обнаружить сверхсветовые скорости движения (в проекции на картинную плоскость) джет-компонентов, под которыми мы понимаем уярчения, наблюдаемые в выбросе и представляющие собой сгустки плазмы, движущиеся с субсветовыми скоростями. Структуры в объекте с релятивистскими движениями прослеживаются до расстояния 100 кпк от ядра [4].

Благодаря своей близости и высокой активности, 3C120 является одним из лучших источников для изучения свойств внутреннего выброса, так как изменения структуры этого объекта на парсековых масштабах можно зарегистрировать в течение нескольких месяцев. Регулярные наблюдения на протяжении нескольких лет позволяют детальным образом проследить эволюцию компонентов струи: от их появления (выхода из РСДБ-ядра, под которым мы понимаем оптически толстое основание струи) до исчезновения из-за синхротронных потерь и конечности уровня шума восстанавливаемых радиоизображений.

На основе многочастотных и долговременных исследований источника 3C120 установлено, что в центральном объекте присутствуют прецессионные движения [5]. Для объектов типа VL Lac и других типов галактик наличие прецессионных движений в ядерных областях было показано еще Говером и Хатчингсом в 1982г. [6].

На частотах 22 и 43 ГГц с помощью РСДБ наблюдений, полученных с разрешением  $2 \cdot 10^{17}$  см, обнаружена очень насыщенная компонентами структура внутренних областей источника, где движение джет-компонентов происходит с видимыми скоростями от 2.3 до  $5.5 h^{-1} c$  [7].

Поляризационные наблюдения также показывают ряд компонент, ориентация магнитного поля в которых в процессе распространения изменяется в зависимости от времени, частоты и позиционного угла вдоль выброса.

Первые координатные измерения, выполненные на миллиметровых волнах с рекордным разрешением  $8 \cdot 10^{16}$  см [8], позволили получить информацию о внутренней структуре джета. Это уже близко к размерам орбит двойных черных дыр в ядрах активных галактик. Высокое разрешение, достигнутое в наблюдениях на 43 ГГц, позволило выявить ряд компонент со сверхсветовыми скоростями от 4.1 до  $5.8 h^{-1} c$  [9].

В статье приводятся результаты исследований долговременной переменности источника 3C 120 в широком диапазоне длин волн в контексте взаимосвязи между вспышечными явлениями, обнаруженными в процессе многоволнового мониторинга в радиодиапазоне, и появлениями новых структур - РСДБ-компонентов.

## 2. Наблюдения.

2.1. *Мониторинг в диапазоне частот 4.8-36.8 ГГц.* Наблюдения переменности внегалактических радиоисточников на частотах 22.2 и 36.8 ГГц проводились на РТ-22 НИИ "КрАО". Представлены результаты наблюдений 3С120 с 1966 по 2006гг., объединенные с ранее опубликованными данными [10-14].

В приемных системах использовалась диаграммная модуляция, с помощью которой осуществлялось переключение диаграмм направленности телескопа, и прием информации с небесной сферы осуществлялся с двух направлений, разнесенных на небольшой угол по азимуту. Перед измерением интенсивности излучения определялось положение источника сканированием по нему диаграммой направленности. Затем радиотелескоп устанавливался на источник поочередно главным и опорным (условно) лепестками диаграмм направленности, формирующимися при диаграммной модуляции и имеющими взаимно-ортогональные поляризации. Антенные температуры исследуемых объектов пересчитывались в плотности потоков по абсолютным значениям потоков калибровочных источников [15]. Поглощение в атмосфере Земли определялось методом разрезов.

Наблюдения переменности радиоисточников на частотах 4.8, 8 и 14.5 ГГц проводились на 26-м радиотелескопе Радиоастрономической обсерватории Мичиганского университета. Методика наблюдений и обработка данных на РТ-26 приведены в [16].

К данным, полученным на РТ-22 и РТ-26, были добавлены результаты наблюдений источника, опубликованные другими авторами [17,18]. Данные усреднены внутри интервала времени одна неделя.

2.2. *РСДБ наблюдения на частоте 8.6 ГГц.* Геодинамические измерения регулярно проводятся при помощи глобальной радиоинтерферометрической сети одновременно на частотах 8.6 и 2.3 ГГц, в том числе, начиная с 1994г., с помощью 22-м радиотелескопа НИИ "КрАО" (станция Симеиз) [19].

Наблюдательные станции выполняют две основные функции: а) наведение радиотелескопа на источник; б) сопровождение источника и регистрация сигнала в 14 каналах с полосой 2 МГц каждый на частотах 8.2-8.6 ГГц и 2.2-2.3 ГГц. Время записи обычно составляет 60-300 с. Обычно в течение одной сессии наблюдаются 30-100 компактных источников. Длительность одной сессии составляет 24ч. Каждая станция за этот период делает 200-500 сканов источников. Затем ленты отсылаются в один из центров корреляционной обработки: Институт Макса Планка в Бонне, Хайстекскую обсерваторию или Военно-морскую обсерваторию США [20].

Из РСДБ наблюдений, выполненных согласно геодинимическим программам в периоды 16-17 января, 6-7 марта, 8-9 мая, 24-25 июля, 25-26 сентября, 11-12 декабря 2002г. и 3-4 марта 2003г., получена тонкая структура источника 3C120 (на парсековых масштабах). Первичная калибровка была проведена с помощью пакета обработки AIPS (NRAO). Самокалибровка и гибридное картографирование были проведены в пакете DIFMAP [21].

3. *Результаты.* На рис.1 приведены кривые блеска источника на частотах 4.8, 8, 14.5, 22.2 и 36.8 ГГц. Из кривых блеска видно, что всплески обнаруживают запаздывание максимума на низких частотах. В табл.1 приведены оценки запаздывания для всплеска 1998г. Запаздывание всплеска на низких частотах может быть объяснено высокой оптической

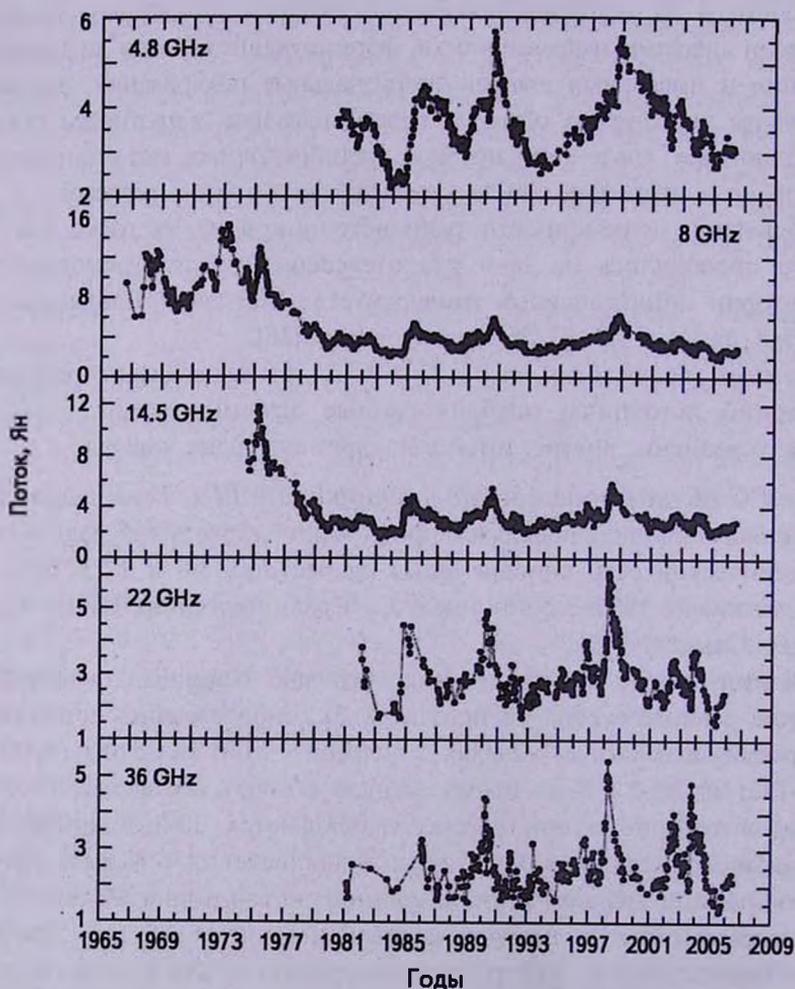


Рис.1. Графики изменений плотностей потоков источника 3C120 на частотах 4.8, 8, 14.5, 22.2 и 36.8 ГГц в период с 1966 по 2006гг.

толщиной возмущенной области, в которой возникает всплеск, и ее изменением в ходе эволюции. Оценив из эволюции структуры источника скорость распространения возмущения по джете, можно перейти от разности моментов достижения максимума всплеска к разности абсолютных положений ядра, т.е. слоя с оптической толщиной  $\geq 1$  на разных частотах. А эта величина позволяет оценить светимость, значение магнитного поля и геометрические свойства джета.

Таблица 1

## ЗАДЕРЖКИ ПРИХОДА ИЗЛУЧЕНИЯ НА РАЗНЫХ ЧАСТОТАХ

Частотный интервал, ГГц	Задержка, год
36.8-22.2	0.03
22.2-14.5	0.08
14.5-8.0	0.31
8.0-4.8	0.24

На основе полученных баз данных миллиметрового и сантиметрового диапазонов длин волн проведен гармонический анализ кривых изменений потока излучения источника методом Шустера. Параметры гармоник, найденных из анализа временных рядов, приведены в табл.2.

Таблица 2

## ЦИКЛЫ АКТИВНОСТИ НА РАЗНЫХ ЧАСТОТАХ

Частота, ГГц	Период, год	Частота, ГГц	Период, год
36.8	6.6	8.0	11.1
	4.5		7.8
	2.0		6.0
22.2	9.0	4.8	11.1
	4.1		4.2
	2.0		
14.5	11.2		
	7.7		
	5.3		
	4.6		

На рис.2 представлены РСДБ-карты источника 3С120, полученные на частоте 8.6 ГГц на протяжении семи разных эпох (в пределах 2002.04-2003.17). Источник имеет одностороннюю структуру типа ядро-выброс из-за эффекта доплеровского уярчения. Используя стандартную фридмановскую модель Вселенной с параметром замедления  $q_0=0.05$  и постоянной Хаббла  $H_0=70 \text{ кмс}^{-1} \text{ Мпк}^{-1}$ , можно поставить в соответствие угловой и линейный масштабы. Масштаб в одну миллисекунду дуги соответствует линейному размеру в 0.62 пк.

Моделирование РСДБ-структуры 3С120 на частоте 8.6 ГГц, проведенное в DIFMAP, с помощью минимального количества круговых гауссовых компонент, воссоздающих при свертке изображение схожее с оригинальным, дало возможность определить изменение расстояния от РСДБ-ядра до компонентов струи с течением времени.

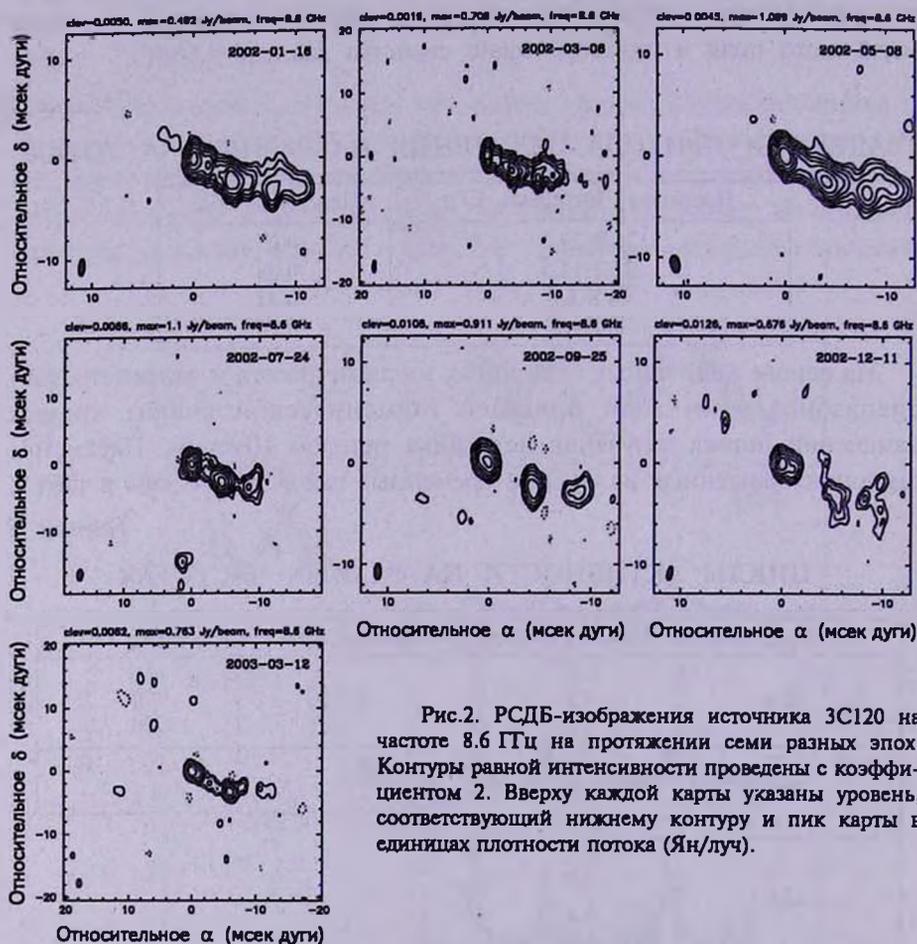


Рис.2. РСДБ-изображения источника 3С120 на частоте 8.6 ГГц на протяжении семи разных эпох. Контуры равной интенсивности проведены с коэффициентом 2. Вверху каждой карты указаны уровень, соответствующий нижнему контуру и пик карты в единицах плотности потока (Ян/луч).

На рис.3 такая зависимость приведена для самого яркого компонента струи, находящегося на эпоху января 2002 г. на расстоянии  $\sim 4$  мсек дуги. Результаты на эпоху 1999.45 получены Аланом Феем (USNO). Линейная аппроксимация методом наименьших квадратов позволяет определить видимую скорость движения компонента, составившую 3.03 скорости света, а также дает оценку даты рождения этого компонента -  $1998.6 \pm 0.3$ , хорошо согласующуюся с пиком, зарегистрированным по мониторинговым данным (рис.1). В таблице кинематических параметров сверхсветовых компонент 3С120,

зарегистрированных за всю историю наблюдений данного объекта, этому компоненту можно присвоить номер "К24" [22].

Отклонения результатов измерений от линейной аппроксимации, превышающие ошибки самих измерений, носят квазигармонический характер, и предположительно связаны с прецессией оси выброса.

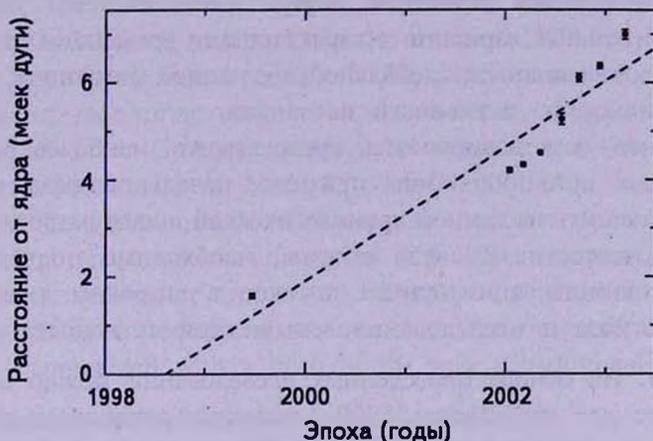


Рис.3. Зависимость расстояния от РСДБ-ядра до самого яркого компонента струи на частоте 8.6 ГГц со временем.

Обработав данные наблюдений на промежуточные эпохи, можно будет проверить правильность этой гипотезы. Тогда регистрируемое наличие ненулевых составляющих ускорения легко объяснить геометрическими эффектами. Возможно также, что определенную, но не определяющую роль играет ускорение частиц под действием ударных релятивистских волн, распространяющихся в выбросе [23].

Эволюция структуры источника и вариаций потока свидетельствует о том, что короткопериодические и долгопериодические вариации потоков могут иметь разную природу. Вариации потоков с масштабом 2 года могут быть связаны с существованием орбитального периода в системе из двойных черных дыр. Основой для такого предположения является наличие компонента у центральной черной дыры  $M \cong 4 \cdot 10^6$  масс Солнца, который при очень тесной орбите с радиусом  $R \cong 6 \cdot 10^{15}$  см служит мощным возмущающим компонентом системы. В периферии компонент пересекает аккреционный диск центральной и более массивной черной дыры и формирует в нем ударные волны, распространяющиеся по диску, в том числе и в направлении на его центральные области. Напротив, долгопериодические вариации потока с периодом в 11.1 лет могут быть следствием прецессии центрального тела, под которым мы понимаем центральную черную дыру и внутренние "вмороженные" области аккреционного диска, где формируются истоки

выбросов и истечений релятивистского вещества [22]. Наличие усредненного периода в 4.3 года может быть связано с нутационными движениями в тесной двойной системе из черных дыр.

Не исключена и возможность другого толкования наблюдаемых периодичностей в 3C120. Так, вариации потоков с масштабом 2 года могут быть обусловлены развитием внутри джета системы ударных волн. Более длительные вариации с характерными временами от 4 лет и более, возможно связаны с глобальной эволюцией источника, в том числе, с цикличностью активности источника.

Тем не менее, есть возможность предсказывать наиболее важные события в жизни источника. Зная признаки начальной фазы цикла, мы сможем разместить на единой хронологической шкале разрозненные проявления активности. В связи с этим, необходимо подчеркнуть важность постоянного мониторинга потоков в широком диапазоне частот для прогноза и исследования вспышечной активности.

**4. Выводы.** На основе проведенных исследований можно сделать заключение, что для источника 3C120 изменения потоков на разных радиочастотах обнаруживают запаздывание максимума на низких частотах. Совместный анализ вариаций интегральных потоков и структур на миллисекундных масштабах позволил не только обнаружить в источнике периодичность в вариациях радиоизлучения, но также выделить из общей картины переменности всплески, сопровождающиеся рождением нового сверхсветового компонента. Мощная вспышка радиоизлучения 1998г. в миллиметровом диапазоне, которая по мере уменьшения оптической толщины возмущенной области перемещалась на более длинные волны, сопровождается рождением нового сверхсветового РСДБ-компонента.

Данная работа поддержана фондом NSF и фондом Отдела Астрономии Мичиганского Университета.

<sup>1</sup> Лаборатория радиоастрономии НИИ "КрАО", Украина

<sup>2</sup> Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория, Санкт Петербург, Россия

<sup>3</sup> Астрокосмический центр Физического института им. П.Н.Лебедева РАН, Россия, e-mail: mgl@asc.rssi.ru

<sup>4</sup> Радиообсерватория Мичиганского университета, США

INTEGRAL FLUX DENSITY AND STRUCTURE  
VARIATIONS OF RADIO SOURCE 3C120A.E.VOLVACH<sup>1</sup>, A.B.PUSHKAREV<sup>1,2</sup>, M.G.LARIONOV<sup>3</sup>,  
L.N.VOLVACH<sup>1</sup>, H.D.ALLER<sup>4</sup>, M.F.ALLER<sup>4</sup>

Variability research results of a radio source 3C120 are presented using the data from international geodetic VLBI observations at 8.6 GHz together with ongoing monitoring program within frequency range of 4.8-36.8 GHz being carried out in Crimean Astrophysical observatory (Ukraine) and Radio Astronomy Observatory of Michigan University (USA). The joint analysis of integral flux variations and milliarcsecond structures allowed to detect the flares at high frequencies accompanied with appearing new VLBI components seen at centimeter wavelengths. It is found that the flux variations of 3C120 at different frequencies are quasi-simultaneous, and the outburst in 1998 is accompanied with a birth of the new superluminal component.

Key words: *radioobservations - individual:3C120*

## ЛИТЕРАТУРА

1. M.Moles, A. del Olmo, J.Masegosa, J.D.Perea, *Astron. Astrophys.*, **197**, 1, 1998.
2. J.Hjorth, M.Vestergaard, N.Sorensen, F.Grundahl, *Astophys. J.*, **452**, L17, 1995.
3. A.Soubeyran, G.Wlerick, A.Bijaoul et al., *Astron. Astrophys.*, **222**, 27, 1989.
4. R.C.Walker, J.M.Benson, S.C.Unwin, *Astophys. J.*, **316**, 546, 1987.
5. J.L.Gómez, A.P.Marscher, S.G.Jorstad, I.Agudo, *Astron. Nach.*, **327**, Issue 2/3, 223, 2006.
6. A.C.Gower, J.B.Hutchings, *Astophys. J.*, **258**, L63, 1982.
7. J.L.Gómez, A.P.Marscher, A.Alberdi, J.M.Martr1, J.M.Ib'a`nez, *Astophys. J.*, **499**, 221, 1998.
8. J.L.Gómez, A.P.Marscher, A.Alberdi, *Astophys. J.*, **521**, Issue 1, L29, 1999.
9. J.L.Gómez, A.P.Marscher, A.Alberdi, Sv.G.Jorstad, I.Agudo, *Astophys. J.*, **561L**, 161G, 2001.
10. В.А.Ефанов, И.Г.Мусеев, Н.С.Нестеров и др., *Изв. КРАО*, **64**, 103, 1981.
11. E.Salonen, H.Terasranta, S.Urpo et al., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **70**, 409, 1987.
12. H.Terasranta, M.Tornikoski, E.Valtaoja et al., *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, **94**, 121, 1992.
13. Н.С.Нестеров, А.Е.Вольвач, И.Д.Стренка, *Письма в Астрон. ж.*, **26**, 4, 249, 2000.

14. *A.E.Volvach, A.B.Pushkarev, H.D.Aller, M.F.Aller*, *Astron. Astrophys. Transactions*, **25**, 5, 2006.
15. *J.W.M.Baars, R.Genzel, I.I.K.Pauliny-Toth, A.Witzel*, *Astron. Astrophys.*, **61**, 99, 1977.
16. *H.D.Aller, M.F.Aller, G.E.Latimer, P.E.Hodge*, *Astrophys. J. Suppl. Ser.*, **59**, 513, 1985.
17. *H.Terasranta, J.Achren, M.Hanski et al.*, *Astron. Astrophys.*, **427**, 769, 2004.
18. *H.Terasranta, S.Wiren, P.Koivisto et al.*, *Astron. Astrophys.*, **440**, 409, 2005.
19. *T.A.Clark, J.Bosworth, Vandenberg et al.*, *Astron. Lett.*, **21**, 1, 116, 1995.
20. *L.Petrov, A.Volvach, N.Nesterov*, *Kinemat. and Phys. of Celestial Bodies*, **17**, 5, 424, 2001.
21. *M.C.Shepherd*, *ASP Conf. Series*, **125**, 77, 1997.
22. *A.Caproni, Z.Abraham*, *Astro-ph/0312407*, 2003.
23. *R.Laing*, *Mon. Notic. Roy. Astron. Soc.*, **193**, 439, 1980.