

УДК 520.8+524.33

Абсолютная спектрофотометрия в Крымской обсерватории. Краткая история и некоторые результаты

В.И. Бурнашев, Б.А. Бурнашева

НИИ “Крымская астрофизическая обсерватория”, 98409, Украина, Крым, Научный
bella@crao.crimea.ua

Поступила в редакцию 1 апреля 2008 г.

Аннотация. Кратко описана история абсолютных спектрофотометрических исследований в Крымской обсерватории в 70–90-х годах. Некоторые из результатов этих наблюдений – каталоги распределения энергии в спектрах звезд, построенные методом абсолютной спектрофотометрии, – можно найти на сайте Крымской обсерватории.

THE ENERGY DISTRIBUTION OBSERVATIONS IN THE CRIMEAN OBSERVATORY. THE BRIEF HISTORY AND ANY RESULTS, *by V.I. Burnashev and B.A. Burnasheva*. The brief history of the investigations of the energy distribution in the spectra of various stars is described. There are any spectrophotometric catalogues on the web-site of the Observatory.

Ключевые слова: спектрофотометрия, распределение энергии, каталоги

Научные исследования в Крымской астрофизической обсерватории начались с фотографической фотометрии звезд. Появление чувствительных фотоприемников и развитие методов учета атмосферной прозрачности инициировало новый этап в определении блеска небесных объектов и построении фундаментальных фотометрических каталогов (Никонов и др., 1957; Некрасова и др., 1962; Некрасова, Никонов, Рыбка, 1965; Никонов, 1976). Новая глава в богатой истории фотометрических исследований, проводимых в Крымской астрофизической обсерватории (КраО), началась в конце 60-х – начале 70-х годов прошлого столетия. Толчком для начала абсолютных спектрофотометрических исследований стало наше сотрудничество с научным коллективом Главной астрономической обсерватории в Пулково (ГАО) в деле создания объединенной советско-чилийской обсерватории.

Об истории советско-чилийского сотрудничества в области астрономии в свое время подробно рассказал М.С. Зверев (1970).

Изучение южного неба всегда интересовало советских астрономов. Вопрос об астрономических наблюдениях южных звезд обсуждался еще в 1938 г. После войны решение об южной астрономической экспедиции было одобрено на Бюро отделения АН СССР в декабре 1957 г. *В мае 1958 г. Президиум АН СССР вынес решение об организации экспедиции.* В сентябре 1959 г. Академия Наук СССР послала официальные письма в некоторые южноамериканские страны с просьбой принять советскую экспедицию на 3–4 года. Самый благоприятный ответ прислали ректор Национального

университета Чили проф. Хуан Гомес Мильяса и директор Обсерватории Сантьяго проф. Фредерико Руллант. Весной 1960 г. проф. Ф. Руллант был приглашен в СССР для переговоров, а в ноябре в Аргентине на конференции по астрометрии и небесной механике М.С. Зверев сделал доклад о задачах по организации астрометрических наблюдений в южном полушарии. После конференции М.С. Зверев заехал в Чили, где согласовал сроки и задачи астрономической экспедиции, которые предусматривали: 1) абсолютные определения координат, 2) связь систем координат для северных и южных звезд, 3) наблюдения опорных ярких и слабых звезд, 4) фотографические наблюдения некоторых малых планет и площадок с галактиками.

Первыми дорогу в Чили проторили пулковские астрометристы.

Официальное соглашение о сотрудничестве между Университетом Чили (ректор Э. Гонсалес) и АН СССР (президент М.В. Келдыш) было подписано 7 мая 1965 г. Соглашение было заключено на срок 20 лет и предусматривало строительство башен и павильонов с чилийской стороны и поставку астрономических инструментов и посылку групп специалистов – с советской. Однако практическая работа началась гораздо раньше.

Первыми наблюдателями, прибывшими в Чили в октябре 1962 г., были сотрудники ГАО Б.К. Багильдинский, В.С. Бедин, М.С. Зверев и В.Н. Шишкина. Наблюдения проводились на горе Сьерра-Калан в Сантьяго. Поскольку сильная засветка от города мешала наблюдениям, в 1964 г. на горе Сьерра-Робле, в 80 км к северо-западу от Сантьяго, побывали советские и чилийские астрономы, которые выбрали подходящее место для установки астрономического инструмента. Там и был установлен астрограф системы Максудова. Этот инструмент с диаметром главного зеркала в один метр имел мениск диаметром 70 см. При эквивалентном фокусе 2 м за время экспозиции в один час на поле $5^\circ \times 5^\circ$ было возможно получать изображения звезд до 20^m . Телескоп начал свою работу в феврале 1968 года.

Большой интерес наблюдения в южном полушарии представляли и для астрофизиков. К примеру, в середине шестидесятых годов в нашей обсерватории была организована поездка научных сотрудников в Севастополь на борт недавно построенного научно-исследовательского судна “Академик Вернадский”. Одной из целей этой поездки была выработка предложений по использованию возможностей этого корабля для астрофизических исследований. На борту корабля имелись гиостабилизированные платформы, позволяющие сохранять их положение в течение некоторого времени даже при заметной качке. Вероятно, такой вариант наблюдений с платформы тоже рассматривался, но показался неприемлемым.

Зимой 1966–1967 гг. (а для южного полушария это был разгар лета) под эгидой АН СССР была организована поездка четырех астрономов в Чили.

В это время разгара противостояния СССР и США, как говорили, вся оборона Соединенных Штатов базировалась на трех звездах: Веге, Сириусе и Канопусе. Если Вегу и Сириус мы могли видеть у нас в России, то для того, чтобы определить блеск Канописа, надо было ехать в Южное полушарие. Именно поэтому было важно получить световые характеристики этой звезды, в частности распределение энергии в ее спектре. С октября 1966 г. по май 1967 г. эту работу выполнили В.Б. Никонов, К.К. Чуваев, Н.А. Димов (КраО) и В.Б. Новопашенный (ГАО). Примененное ими научное оборудование включало 20-см телескоп АЗТ-7, укомплектованный фотометром типа АФМ-6 с набором фильтров 7-цветной системы Страйжиса и спектрометром, переделанным из призмного спектрографа АСП-9 и модифицированным для фотоэлектрической регистрации (в качестве приемника для него был взят ФЭУ типа ЕМІ 6256В). Установка нужной длины волны производилась вручную с помощью микрометричного винта, что отнюдь не повышало точности. Тем не менее, полученное распределение энергии в 6 полосах для 10 звезд, общих для наблюдений в Крыму и в Чили, показало их сходимость до $0.^m03$. Кроме того, были выполнены наблюдения некоторых звезд в системе, близкой к системе В Джонсона-Моргана. Средняя ошибка определения не превышала $0.^m01$. Более того, наблюдения показали, что коэффициент экстинкции в этой полосе составляет $0.^m21$ – $0.^m22$ (максимальное значение $0.^m30$). Заметим попутно, что для КраО среднее значение соответствует $0.^m26$, максимальное – до $0.^m8$.

После этой поездки переговоры между СССР и Чили о постройке совместной советско-чилийской обсерватории уже приобретали более четкие очертания.

Была организована астрофизическая экспедиция АН СССР, начальником которой стал В.Б. Новопащенко, научным руководителем – А.А. Боярчук. Первая группа астрофизиков (В.Б. Новопащенко, Ю.И. Нешпор, Н.И. Семочкин) приехала в Чили 31.12.1970 г. О ее работе в свое время подробно рассказал Ю.И. Нешпор (2001).

Поскольку по многим причинам гора Сьерра-Робле не вполне удовлетворяла многим астроклиматическим критериям, на долю этой и следующей групп выпала основная работа по подготовке условий для работы на двух вершинах к северу от Сантьяго, где в свое время уже проводились астроклиматические исследования др. Юргеном Стоком. Предполагалось исследование астроклимата (в частности, определение спектральной прозрачности, наличие или отсутствие азимутального эффекта, а также некоторые метеорологические характеристики).

Наблюдения проводились на двух астропунктах: 1) Ля-Пейнета (широта $-27^{\circ}36'$, долгота $4^{\text{h}}39^{\text{m}}$, высота 3150 м); 2) Чаупилома (широта $-22^{\circ}44'$, долгота $4^{\text{h}}43^{\text{m}}$, высота 3300 м).

Научное оснащение экспедиции готовилось совместно усилиями сотрудников обеих обсерваторий. В частности, в качестве питающей оптики применялись серийно изготавливаемые менисковые телескопы АЗТ-7. Для того, чтобы иметь возможность регистрировать излучение звезд в ультрафиолетовой области, телескопы были переделаны. Вместо стеклянного мениска устанавливалось касегреновское зеркало, форма которого представляла эллипсоид вращения. Их изготовление и контроль осуществлялись в Крымской обсерватории. На этом этапе значительные усилия приложил Ю.С. Ефимов. Большая работа по подготовке аппаратуры была также проделана П.П. Петровым.

В качестве навесной аппаратуры был разработан и изготовлен в мастерских ГАО спектрофотометр СФ-68 (Камионко и др., 1973). Отличительной особенностью прибора является его малый вес и небольшие габариты, благодаря удачно выбранной оптической схеме. В качестве диспергирующего элемента были применены плоские отражательные дифракционные решетки, в качестве коллиматорного и камерного объективов использованы кварцевые линзы. Сканирование спектра производилось путем поворота решетки с помощью шагового двигателя с шагом около 7 \AA . Для устранения хроматизма в процессе сканирования взаимное положение линз непрерывно изменялось. Применение различных светоприемников (ФЭУ-79 или ФЭУ-83) позволяло регистрировать излучение звезд в интервале $3000\text{--}11000 \text{ \AA}$. Дисперсия в плоскости выходной щели составляла 50 или $100 \text{ \AA}/\text{мм}$, в зависимости от применяемой решетки. В процессе наблюдений осуществлялся непрерывный контроль положения решетки. Такого рода “обратная связь” значительно повышает качество получаемого наблюдательного материала. Система управления и регистрации разрабатывалась и изготовлялась в Крыму. Регистрация осуществлялась с помощью усилителя постоянного тока, разработанного А.П. Кульчицким (1973). Усиленный сигнал регистрировался на самописец, на ленте которого одновременно отмечались и метки длин волн. Для отработки методики наблюдений и проверки аппаратуры летом 1972 г. несколько наблюдателей провели испытания инфракрасной части спектрометра в экспедиционных условиях на наблюдательной станции ГАО в пункте Шорбулак на Памире (Л.С. Галкин, В.И. Проник, В.И. Бурнашев, В.Д. Галкин, Н.Л. Алексеев, В.П. Пахомов).

Основные наблюдения южных звезд были начаты в Чили А.А. Боярчуком, М.Е. Боярчук, А.А. Якомо, А.А. Архаровым, Ю.И. Нешпором и Е.С. Кулагиным осенью 1971 г. Состав группы менялся, в ее работе принимали участие Л.М. Кулагина, А.В. Лебедев, В.Д. Галкин, Ю.А. Беляев, Н.Л. Алексеев, В.П. Пахомов, А.И. Жуков, М.И. Нешпор, В.И. Проник, а также с конца 1972 г. Л.С. Галкин, Т.С. Галкина и В.И. Бурнашев. Наблюдения выполнялись как в видимом, так и в ближнем инфракрасном диапазоне и продолжались вплоть до военного переворота 11 сентября 1973 г., когда к власти в Чили пришел Пиночет. Прекрасная мечта о советско-чилийской южной обсерватории так и осталась неосуществленной.

Еще до начала работы чилийской астрофизической экспедиции в Крымской обсерватории под руководством В.Б. Никонова была организована группа сотрудников, занимавшаяся разработкой и проверкой методики наблюдений и обработки сканограмм, в которую вошли В.И. Бурнашев, Б.А. Бурнашева, Н.Н. Петрова, О.В. Вишневская, Г.Е. Лактионова, Н.И. Меркулова. В разное время в ней принимали кратковременное участие Е.О. Блинова, Е.И. Ильина и многочисленные студенты-практиканты из разных вузов тогда еще великой страны. Для учета атмосферной прозрачности был

несколько модифицирован метод Никонова, успешно применявшийся в Крымской обсерватории для построения фундаментальных фотометрических каталогов.

В результате в 1978 г. появился первый каталог распределения энергии в спектрах 303 звезд в диапазоне 3100–7375 Å, наблюдавшихся в Чили в конце 1971 – начале 1972 гг. (Алексеев и др., 1978). Среди 24 авторов указаны и крымские астрономы, принимавшие участие в наблюдениях и обработке.

Следующий каталог распределения энергии в спектрах звезд в более длинноволновом диапазоне (5000–11000 Å) содержит данные для 15 звезд, наблюдавшихся с 1972 по 1983 гг. в Чили и СССР (Алексеев Н.Л. и др. (1984) – всего 15 авторов, среди которых почему-то нет ни одного из КрАО).

Окончательный результат – каталог 602 звезд, включающий дополнительные данные для звезд, наблюдавшихся в Чили в с 1971 г. до сентября 1973 г., а также в Армении в последующие годы, в диапазоне от 3200 до 7350 Å. Включены также 285 звезд, дополнительно наблюдавшихся в 80-е годы в Боливии в диапазоне от 3200–10800 Å, с общими для этих каталогов 278 звездами, наблюдавшимися в Чили и Боливии (Алексеева и др. (1996) – здесь вклад крымских астрономов как бы нет вообще).

Между тем к тому времени уже были получены и опубликованы результаты абсолютных спектрофотометрических наблюдений многих звезд с помощью спектрометров, установленных на ракетах и специализированных спутниках (IUE, TD-1, ОАО-2). Перед Крымской обсерваторией встала проблема координации усилий по созданию орбитальной обсерватории, одной из задач которой было получение распределения энергии в спектрах звезд в ультрафиолетовой области спектра. Проект такого спутника, получившего название “АСТРОН”, оснащенного ультрафиолетовым телескопом и рентгеновскими спектрометрами, был реализован в 1983 году. Полное описание технических деталей и научных результатов проекта опубликовано в монографии по редакции А.А. Боярчука (1994). Опубликованный каталог содержит данные о распределении энергии в спектрах 104 объектов, из них 142 детальных кривых для 89 звезд в интервале 1480–3540 Å с разрешением 20 Å через интервал 10 Å.

Перед запуском “АСТРОНа” для отработки конструкции спектрометра и проверки методики наблюдений и обработки получаемого наблюдательного материала с телескопа, установленного на спутнике, в КрАО был изготовлен макет спектрометра, который установили на 70-см телескопе АЗТ-8.

В качестве диспергирующего элемента применялась вогнутая тороидальная дифракционная решетка, фокусирующая спектр звезды на круге Роуланда. Вдоль круга Роуланда сканирование осуществлялось путем перемещения каретки с укрепленными на ней щелями, вырезавшими участки шириной около 25 Å. За щелями были укреплены фотоумножители: три мультищелевых (ФЭУ-79) для первого порядка и один сурьмяно-цезиевый (ЕМ16952), работавший во втором порядке. Спектр нулевого порядка попадал на пятый, референтный ФЭУ, помогающий учесть ошибки гидрирования. Набор щелей и фотоприемников обеспечил спектральное разрешение около 25 Å в рабочем диапазоне 3100–8550 Å (Лагутин, 1979; Границкий и др., 1979; Букач, 1979).

С помощью этого 5-канального спектрометра, помимо технических и методических задач, удалось провести наблюдения некоторых объектов, к примеру, PU Vul (Белякина и др., 1985, 1990), углеродных звезд (Эглитис, 1986, 1987, 1988); исследовались также кратковременные изменения экстинкции (Никонов, Бондарь, Букач, 1988).

В феврале 1984 г. в Обсерватории был введен в строй фотометрический телескоп АЗТ-11, в комплекте навесной аппаратуры которого был сканирующий спектрофотометр АСП-38 системы Черни-Тернера, рассчитанный на работу в спектральном диапазоне 3000–11000 Å. Были применены сменные дифракционные решетки (1200 или 600 штрихов/мм) и разные светоприемники (ФЭУ-79 или ФЭУ-83). Сканирование спектра производилось с помощью шагового двигателя, шаг сканирования составлял около 10 Å. Разрешение определялось шириной выходной щели в пределах от 2.5 до 200 Å. Управление телескопом и навесной аппаратурой осуществлялось с помощью ЭВМ М-6000. Применение термоэлектрических холодильников, регистрация методом счета фотонов, устройство фотогидрирования – все это позволяло производить длительные экспозиции, что оказалось полез-

ным при узкополосном фотометрировании слабых ядер галактик (Меркулова, Метик, Проник, 1987; Меркулова, Проник, 1987; Меркулова, 1986, 1988).

Научными задачами для спектрометра АСП-38 в режиме сканирования были: определение распределения энергии в спектрах слабых стандартов (Бурнашев, Гузий, 1993, 2001), а также спектрофотометрия некоторых переменных звезд, например, PU Vul (Белякина и др., 1985, 1990) и PW Vul (Бурнашев, 1995).

Для того, чтобы более эффективно использовать наблюдательное время телескопа АЗТ-11, коэффициент спектральной прозрачности атмосферы определялся с помощью малого 20-см телескопа АЗТ-7, с установленным на нем спектрофотометром СФ-68. Неоценимую помощь в этих наблюдениях оказали М.П. Мезенцева, Л.В. Наговицына, М.Н. Ловкая, Н.Н. Петрова. К сожалению, АСП-38, помимо частых сбоев компьютера М-6000, страдал иногда и неточной установкой по длине волны, что существенно усложнило наблюдения и последующую обработку.

Тогда же, в конце 80-х годов, на менисковом телескопе МТМ-500 были предприняты усилия по созданию спектрофотометра с системой регистрации с помощью телевизионной техники. Были проверены и смонтированы спектрографы различных оптических систем (Абраменко и др., 1983). В конечном итоге для спектрофотометрии точечных объектов был разработан и изготовлен бесщелевой спектрограф с набором прозрачных дифракционных решеток: 100, 150, 200 штрихов/мм. С решеткой 150 штрихов/мм регистрируются спектры звезд в спектральном диапазоне 3700–7400 Å с разрешением около 40 Å (Абраменко и др., 1991). Обзор работ, выполненных с помощью телевизионного спектрометра, был сделан В.В. Прокофьевой (2007). В частности, были проведены наблюдения околополярных спектрофотометрических стандартов до 9^м – 12^м в диапазоне 3900–7500 Å, а также спектрофотометрия астероидов, позволившая обнаружить пятнообразное распределение гидросиликатов на их поверхности (Шарипова и Прокофьева, 1998; Бочков и др., 2002; Прокофьева и др., 2005).

Работы по созданию “Астроны” имели своим следствием также и появление в обсерватории нового телескопа системы Ричи-Кретьена диаметром 80 см (РК-800), установленного на параллактическую монтировку типа АПШ-30 взамен светосильной камеры 640 мм, снабженной фотометром, поскольку в Обсерватории уже начал функционировать специализированный фотометрический телескоп АЗТ-11 (Бурнашева и др., 1999).

Таблица 1. Спектрофотометры Крымской обсерватории

| | Интервал | Разрешение |
|-----------------|---|---|
| 1. СФ-68 | $\lambda\lambda$ 3100Å–11000Å | $\Delta\lambda = 25\text{Å}$, $\Delta\lambda = 50\text{Å}$ |
| 2. Спика | $\lambda\lambda$ 3100Å–8550Å | $\Delta\lambda = 25\text{Å}$ |
| 3. АСП-38 | $\lambda\lambda$ 3000Å–7600Å $\lambda\lambda$ 3000Å–11000Å | $\Delta\lambda = 20\text{Å}$ $\Delta\lambda = 2.5\text{Å}-200\text{Å}$ |
| 4. ТВ | $\lambda\lambda$ 3700Å–7400 Å | $\Delta\lambda = 40\text{Å}$ |
| 5. РК-800(Ч-Т) | $\lambda\lambda$ 3200Å–7900Å | $\Delta\lambda = 25\text{Å}$ |
| 6. РК-800 (ПЗС) | $\lambda\lambda$ 3600Å–8900Å | $\Delta\lambda = 30\text{Å}$ |

В качестве навесной аппаратуры на РК-800 был применен созданный в мастерских КраО спектрофотометр типа Черни-Тернера. В системе управления и регистрации спектрометра широко использовался опыт, накопленный при создании “АСТРОНа” и наземного спектрофотометрического комплекса АЗТ-8 (Бурнашев, Букач, Гузий, 1996).

В результате проведенных наблюдений на этом инструменте был создан каталог 111 поздних звезд (Бурнашев, Гузий, 2001), кроме того, наблюдались некоторые ранние звезды с инфракрасными избытками (Глушнева и др., 1997).

Развитие фотоэлектроники, в частности широкое распространение приборов с зарядовой связью (ПЗС), поставило перед Обсерваторией задачу создания нового спектрофотометра, предназначен-

ного для исследования распределения энергии в спектрах звезд. В качестве одного из вариантов был построен спектрофотометр для телескопа РК-800 (Бурнашев, Шитов и др., 2008). При создании этого прибора в определенной степени использовался опыт эксплуатации спектрографа СПЭМ, установленного на ЗТШ, и применявшегося для дифференциальной спектрофотометрии ядер галактик (Мальков и др., 1997).

Как известно, поглощение излучения звезд в земной атмосфере является главным препятствием для фотометрии и спектрофотометрии. Для учета атмосферной экстинкции применяют несколько методов, которые условно можно разделить на методы фундаментальной и дифференциальной звездной фотометрии. При применении метода фундаментальной фотометрии до момента получения конечного результата – каталога внеатмосферных величин звезд, наблюдателю ничего не известно ни об внеатмосферных величинах, ни о показателях цвета измеряемых объектов, то есть в расчетах не используются ни эти величины, ни производные от них.

В дифференциальных методиках предполагают известными эти величины для некоторых наблюдаемых звезд, которые берут из какого-нибудь каталога. Таким образом, в конечный результат войдут ошибки этих каталожных значений.

В Крымской обсерватории при построении каталогов традиционно применяют метод фундаментальной фотометрии, разработанный В.Б. Никоновым (1976). Этот метод был применен и при построении чилийского каталога.

На основе чилийского каталога 303 звезд (Алексеев и др., 1978) была создана первая версия сводного каталога, в которую вошли каталоги Харитоновой и др. (1978), Глушневой и др. (1982, 1983, 1984), Уилстропа (1965), Бурнашева (1977), а также результаты наблюдений некоторых звезд, выполненных в Крымской обсерватории.

Впоследствии этот каталог был передан в Страсбургский центр астрономических данных, где хранится под номером III-126 и доступен любому пользователю. Каталог содержит в числовом виде 2338 spectroэнергетических кривых для 1588 объектов (Бурнашев, 1985).

Таблица 2. Спектрофотометрические каталоги

| Приборы | кривых | объектов | $\lambda\lambda$, Å | $\Delta\lambda$, Å | шаг, Å |
|-----------|--------|----------|----------------------|---------------------|--------|
| Астрон | 142 | 89 | 1468–3540 | 20 | 10 |
| ТВ | 12 | 12 | 3975–7225 | 40 | 50 |
| Св.кат.І | 2338 | 1588 | 3100–7350(8000) | 75 | 25 |
| Св.кат.ІІ | 2766 | 1618 | 3100–7350(8000) | 75 | 25 |
| РК-800 | 564 | 217 | 3200–7910 | 30 | 10 |

Результаты проведенных в 80-х годах спектрофотометрических наблюдений вошли во вторую версию каталога. Несмотря на то, что в последние годы появились новые, более расширенные версии чилийского и алма-атинского каталогов, мы посчитали возможным оставить старые данные в новой версии сводного каталога, имея в виду, во-первых, его однородность, во-вторых, применение единой системы абсолютной калибровки.

Новая версия сводного каталога содержит 2766 spectroэнергетических кривых для 1589 звезд в диапазоне 3200–8000 Å с шагом 25 Å. Спектральное разрешение – около 75 Å. В эту версию вошли некоторые наблюдения переменных звезд, выполненные в Крымской обсерватории в 80-е годы.

Система абсолютной калибровки основана на распределении энергии в спектре Веги, приведенной Харитоновым и др. (1980). Отметим, что эта система практически совпадает с компиляцией Хейеса (1985), используемой в настоящее время многими исследователями.

Большое число наблюдений переменных звезд также было выполнено в 90-е годы на изготовленном в КрАО спектрофотометре, установленном на 80-см телескопе РК-800. Эти наблюдения собраны в другой каталог, содержащий 560 spectroэнергетических кривых для 215 звезд в диапазоне 3200–7910 Å с шагом 10 Å. Спектральное разрешение около 30 Å, система абсолютной калибровки

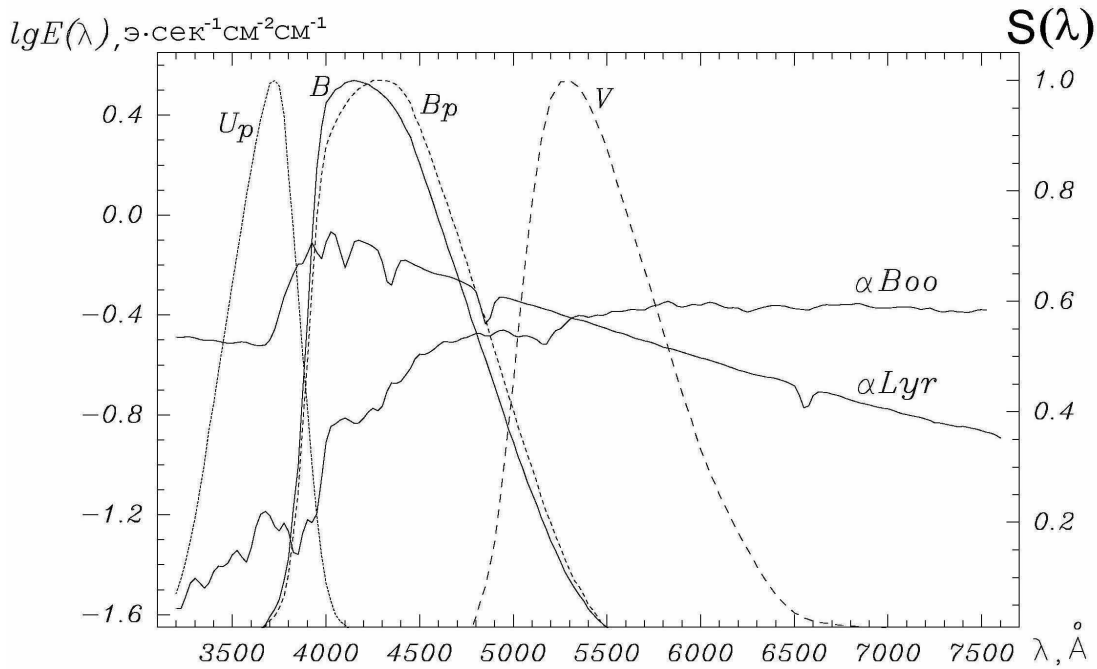


Рис. 1. Средние кривые реакции системы *UBV* Джонсона-Моргана (Страйжис, 1977). U_p, B_p – с учетом поглощения в земной атмосфере, B, V – внеатмосферные кривые. Показано распределение энергии в спектрах ярких звезд: αBoo (K2III, $V = -0^m06$), αLyr (AOV, $V = 0^m03$)

основана на абсолютной спектрофотометрии вторичного стандарта αLac , распределение энергии в спектре которого получено ранее (Бурнашев, Гузий, 1993), и, в конечном счете, базируется на спектрофотометрии первичного стандарта αLyr , распределение энергии в спектре которой основано на результатах Хейеса (1985).

Сводка спектрофотометрических каталогов, созданных в Крымской обсерватории, приведена в таблице 2.

Одним из способов оценки доброкачественности спектрофотометрических данных является вычисление на их основе широкополосных звездных величин наблюдавшихся звезд и сравнение вычисленных значений с величинами из опубликованных фотометрических каталогов.

Чаще всего для этой цели используются *UBV*-величины. В свое время такое сравнение с данными широкополосной *UBV*-фотометрии, взятой из каталога ярких звезд (Хоффлейт, 1983), было проведено нами для первой версии сводного каталога (Бурнашев, 1987).

С тех пор появились новые, более обширные фотометрические каталоги. Каталог Мермилли (1991), хранящийся под № II-168 в Страсбургском Центре астрономических данных, включает средневзвешенные значения блеска и цвета для 92964 звезд. Объем и качество данных этого каталога делают его наиболее подходящим для разного рода редукиций.

На рис. 1. показаны средние кривые реакции $s(\lambda)$ системы *UBV* Джонсона-Моргана, взятые из монографии В.Л. Страйжиса (1977). U_p, B_p – с учетом поглощения в земной атмосфере, B, V – внеатмосферные кривые. Для наглядности показано также распределение энергии в спектрах ярких звезд: αBoo (K2III, $V = -0^m06$), αLyr (AOV, $V = 0^m03$), к которым относится правая шкала рисунка.

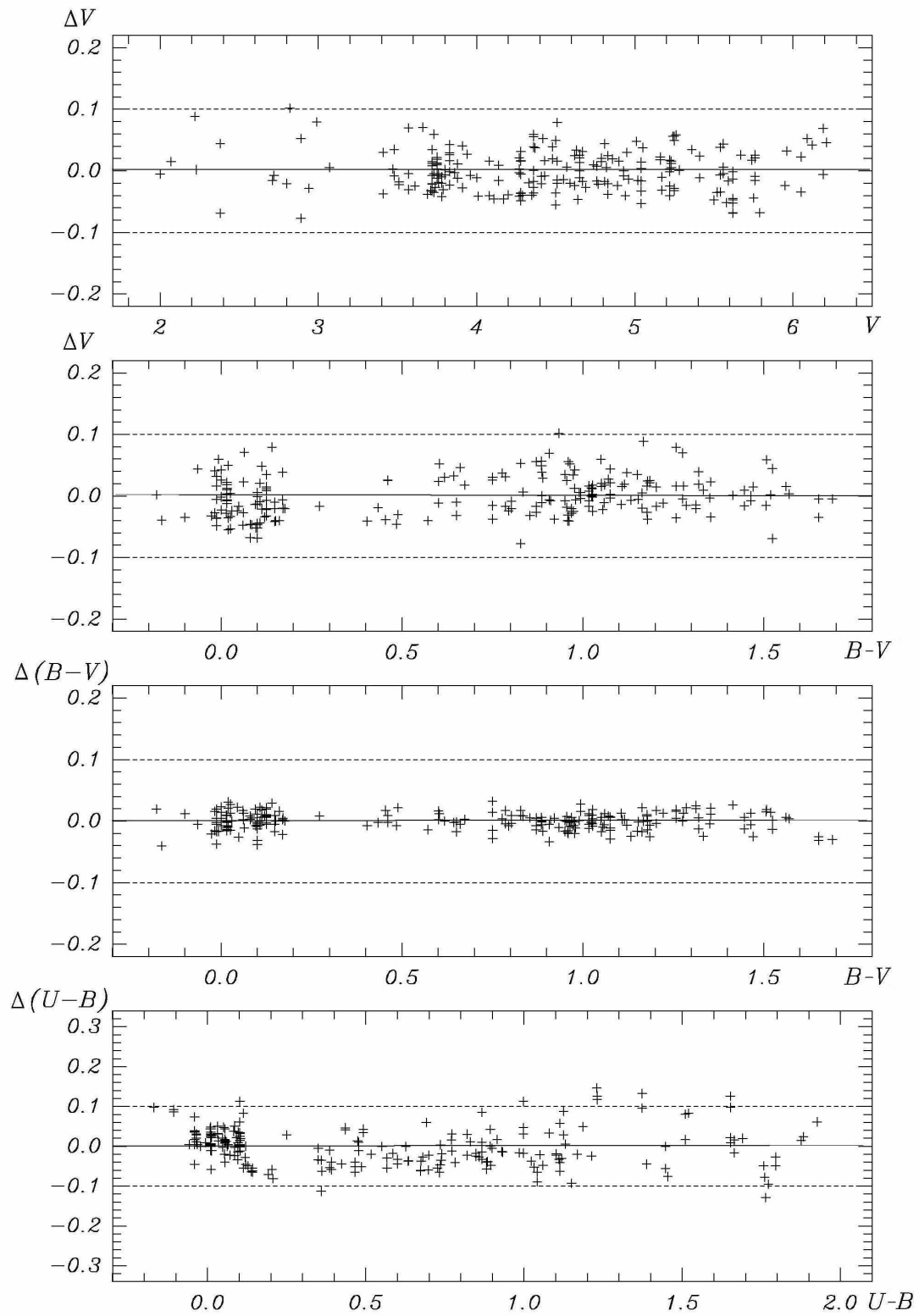


Рис. 2. Сопоставление значений блеска и показателей цвета, вычисленных для каталога 90-х годов, с опубликованными данными (Мермиллио, 1992)

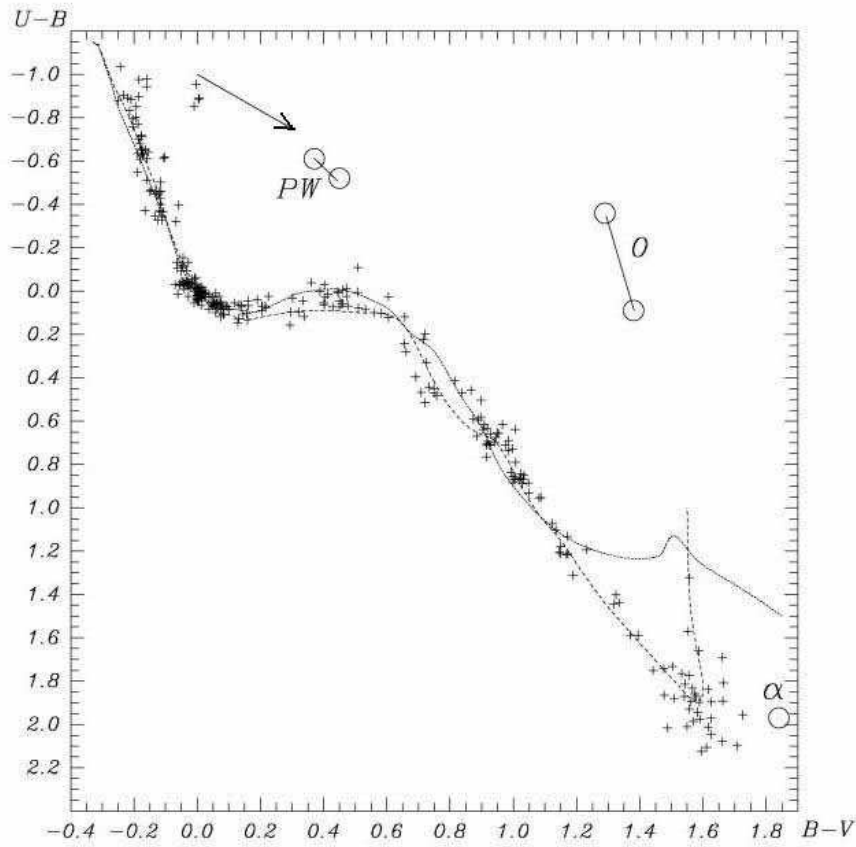


Рис. 3. Двухцветная диаграмма для звезд сводного каталога. Пунктир – средняя кривая для звезд главной последовательности (V), штриховая линия – средняя последовательность гигантов (III). Кружки – показатели цвета некоторых переменных: PW – PW Vul; O – o Cet; α – α Ori

Средняя точность вычисленных значений, полученных путем перемножения кривых реакции и спектральноэнергетических кривых, соответствует $\bar{\Delta}_V = \pm 0^m04$, $\bar{\Delta}_{B-V} = \pm 0^m02$, $\bar{\Delta}_{U-B} = \pm 0^m05$. Как обычно, предполагалась линейная связь между вычисленными и каталожными значениями.

Рис. 2 иллюстрирует ход неувязок между вычисленными и каталожными значениями для каталога, построенного по наблюдениям звезд, выполненных в 90-е годы:

$$\Delta V = V_c - V_o. \tag{1}$$

Для показателей цвета:

$$\Delta(B - V) = (B - V)_c - (B - V)_o, \tag{2}$$

$$\Delta(U - B) = (U - B)_c - (U - B)_o, \tag{3}$$

где индексы o и c относятся к наблюдаемым и вычисленным значениям соответственно.

Двухцветные диаграммы, построенные на основе вычисленных значений, показаны на рис. 3 и 4. Линиями показаны средние положения звезд главной последовательности и последовательности

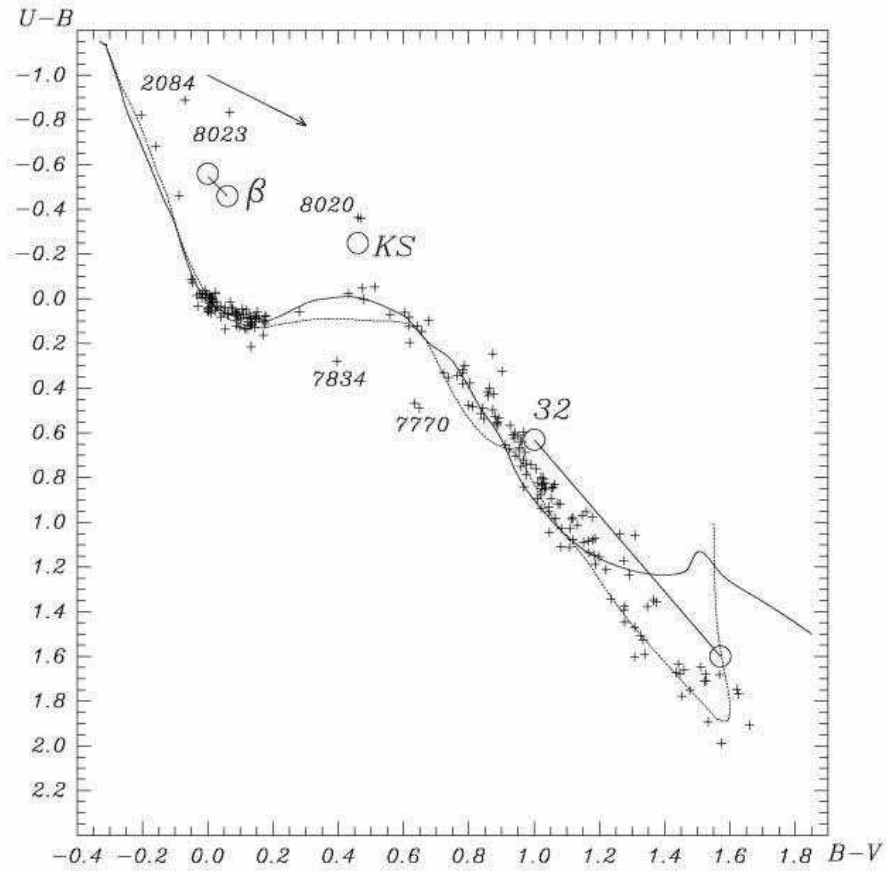


Рис. 4. Двухцветная диаграмма для звезд, наблюдавшихся в КрАО в 90-х годах. Цифрами отмечены некоторые поокрасневшие звезды: *BS 2084* ($139 Tau$, $B0.5II$), *BS 8020* ($B8Ia$), *BS 8023* ($O6Vf$), *BS 7834* ($F5II$), *BS 7770* ($F5Ib$). Пунктир – средняя кривая для звезд главной последовательности (V), штриховая линия – средняя последовательность гигантов (III). Кружки – показатели цвета некоторых переменных: β – βLyr , *KS* – *KS Per*, *32* – *32 Cyg*

гигантов, взятые из монографии Страйжиса (1977). Стрелка указывает направление линий нарастающего поокраснения. Длина стрелки соответствует поглощению $A_v = 1^m0$.

На рис. 4 отмечены некоторые наиболее поокрасневшие звезды: цифры соответствуют их номерам по каталогу *BS*. Большими кружками на обоих рисунках отмечены вычисленные положения некоторых переменных: двойных звезд с дефицитом водорода (βLyr , *KS Per*), затменной переменной *32 Cyg*, мириды *o Cet*, красного сверхгиганта αOri , а также *PW Vul* – Новой Лисички 1984 в начале небулярной стадии.

Всего таким путем получено около тысячи оценок блеска и цвета для 130 переменных.

Для иллюстрации на рис. 5 показана кривая блеска одной из них – полуправильной переменной *FS Com* (*SRb*). Малые кружки – визуальные оценки по данным AAVSO (Хенден, 2007), точки – фотоэлектрические наблюдения, опубликованные там же. Большими кружками отмечены оценки, сделанные на основе спектрофотометрических данных. Как видно, получаемые из абсолютной

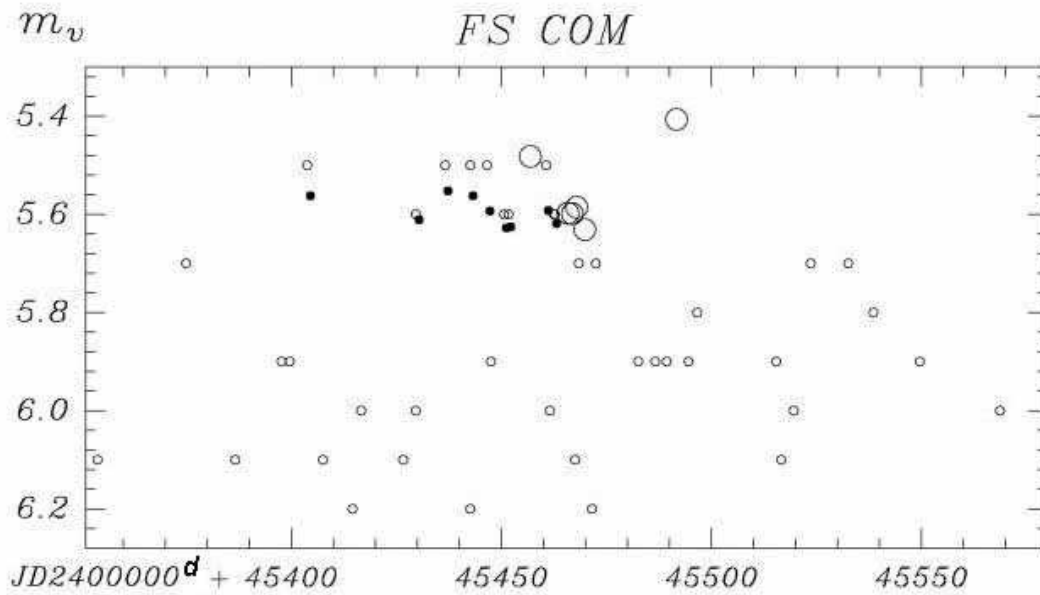


Рис. 5. Кривая блеска полуправильной переменной *FS Com*. Малые кружки – визуальные оценки, точки – фотоэлектрические наблюдения, большие кружки – вычисленные величины на основе спектрофотометрических данных

спектрофотометрии оценки блеска и цвета показывают неплохую сходимость с данными других авторов и могут служить достаточно надежным дополнением к другим определениям, сделанным с помощью фотоэлектрических фотометров.

Проводимые в КраО работы по абсолютной спектрофотометрии звезд имеют богатую и славную историю, которая, возможно, пока еще не закончена. Некоторые данные, полученные методом фундаментальной спектрофотометрии, выставлены на сайт Крымской обсерватории: <http://www.crao.crimea.ua/aas>.

Благодарности. Работы по абсолютной спектрофотометрии были инициированы в свое время В.Б. Никоновым, дружеская поддержка которого воодушевляла нас до самой его безвременной кончины. Мы благодарны всем упомянутым в тексте статьи участникам создания спектрофотометрической аппаратуры: работникам отдела астрономического приборостроения ЛОМО, сотрудникам механических мастерских КраО и ГАО. Особенно мы признательны Л.А. Камионко, А.П. Кульчицкому, И.А. Голубчику, А.Г. Щербине, Ю.Н. Горюнову, Л.Т. Мушкинскому. Наши данные не могли бы быть получены без самоотверженных усилий Г.Е. Лактионовой, О.В. Вишневской, Н.И. Меркуловой, М.Н. Ловкой, Н.Н. Петровой, С.С. Гузия, а также наших казанских коллег М.П. Мезенцевой и Л.В. Наговицыной. Нам очень помогли в работе ценные советы А.В. Шляпкина и других сотрудников отдела физики звезд и туманностей Крымской обсерватории. Всем им мы приносим нашу искреннюю благодарность.

Литература

- Абраменко А.Н., Александрин Ю.С., Прокофьева В.В., Якушин В.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1983. Т. 66. С. 218.
- Абраменко А.Н., Майер В.А., Прокофьева В.В., Шарипова Л.М. // Оптико– механ. промышленность. 1991. №. 2. С. 10.
- Алексеев Н.А., Алексеева Г.А., Архаров А.А., Беляев Ю.А., Боярчук А.А., Боярчук М.Е., Бурнашев В.И., Галкин В.Д., Галкин Л.С., Галкина Т.С., Демидова А.Н., Камионко Л.Н., Кулагин Е.С., Нешпор Ю.И., Никонов В.Б., Новиков В.В., Новопащенный В.Б., Пахомов В.П., Положенцева Т.А., Проник В.И., Рубан Е.В., Чистяков Ю.Н., Щеголев Д.Е., Якомо А.А. // Труды Главной астрон. обс. 1978. Т. 83. С. 3.
- Алексеев Н.А., Алексеева Г.А., Архаров А.А., Беляев Ю.А., Богородицкая Н.В., Гаген-Торн Е.И., Галкин В.Д., Жукова Л.Н., Камионко Л.Н., Новиков В.В., Новопащенный В.Б., Пахомов В.П., Положенцева Т.А., Рубан Е.В., Чистяков Ю.Н. // Изв. Главной астрон. обс. 1984. №. 202. С. 71.
- Алексеева и др.(Alekseeva G.A., Arkharov A.A., Galkin V.D., Hagen-Torn E.I., Nikanorova I.N., Novikov V.V., Novorachenny V.V., Pakhomov V.P., Ruban E.V., Shchegolev D.E.) // Baltic Astron. 1996. V. 5. №. 4. P. 603.
- Белякина Т.С., Бондарь Н.И., Гершберг Р.Е., Ефимов Ю.С., Краснобабцев В.И., Петров П.П., Пиирола В., Саванов И.С., Чуваев К.К., Шаховская Н.И., Шаховской Н.М., Шенаврин В.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1985. Т. 72. С. 3.
- Белякина Т.С., Бондарь Н.И., Бурнашев В.И., Гершберг Р.Е., Гриц Л., Грыгар И., Ефимов Ю.С., Краснобабцев В.И., Пиирола В., Поутанен М., Саванов И.С., Туоминен И., Хохол Д., Чуваев К.К., Шаховская Н.И., Шаховской Н.М., Шенаврин В.И., Щербаков А.Г. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1990. Т. 81. С. 28.
- Бочков В.В., Прокофьева В.В., Абраменко А.Н. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2002. Т. 98. С. 136.
- Боярчук А.А. (ред.) // Астрофизические исследования на космической станции “АСТРОН”. М.: Физматлит. 1994.
- Букач А.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1979. Т. 60. С. 197.
- Бурнашев В.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1977. Т. 57. С. 57.
- Бурнашев В.И. // Бюл. Абастуманской астрофиз. обс. 1985. Т. 59. С. 83.
- Бурнашев В.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1987. Т. 76. С. 70.
- Бурнашев В.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1995. Т. 90. С. 169.
- Бурнашев В.И., Букач А.Б., Гузий С.С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1996. Т. 93. С. 157.
- Бурнашев В.И., Гузий С.С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1993. Т. 87. С. 97.
- Бурнашев В.И., Гузий С.С. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2001. Т. 97. С. 4.
- Бурнашев В.И., Шитов В.М., Лагутин А.Ф., Бурнашева Б.А., Тарасов С.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2008. Т. 104. №. 1. С. 254.
- Бурнашева Б.А., Бурнашев В.И., Журавель В.П., Витриченко Э.А., Дяченко Д.Д. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1999. Т. 95. С. 183.
- Глушнев И.Н. (ред.) // Спектрофотометрия ярких звезд. М.: Наука. 1982.
- Глушнев И.Н., Волошина И.Б., Дорошенко В.Т. и др. // Труды ГАИШ. 1983. Т. 53. С. 50.
- Глушнев И.Н., Волошина И.Б., Дорошенко В.Т. и др. // Труды ГАИШ. 1984. Т. 54. С. 3.
- Глушнев И.Н., Бурнашев В.И., Шенаврин В.И., Гузий С.С. // Астрон. журн. 1997. Т. 74. С. 591.
- Границкий Л.В., Букач А.Б., Каплин Ю.В., Бондаренко В.П., Смирнов А.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1979. Т. 60. С. 185.
- Зверев М.С. // Изв. Главной астрон. обс. 1984. №. 185. С.3.
- Камионко Л.А., Корепанов В.С., Новопащенный В.Б., Чистяков Ю.Н., Шипулин Ю.А. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1973. Т. 47. С. 162.
- Кульчицкий А.П. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1973. Т. 47. С. 170.
- Лагутин А.Ф. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1979. Т. 60. С. 179.
- Мальков и др.(Malkov Yu.F., Pronik V.I., Sergeev S.G.) // Astron. Astrophys. 1997. V. 324. P. 904.

- Мермиллио (Mermilliod J.-C.) // Homogeneous Means in the UBV System. Inst. d'Astronomie. Univ. de Lausanne. Switzerland. 1991.
- Меркулова Н.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1986. Т. 75. С. 175.
- Меркулова Н.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1986. Т. 78. С. 82.
- Меркулова Н.И., Метик Л.П., Проник И.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1987. Т. 77. С. 144.
- Меркулова Н.И., Проник И.И. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1987. Т. 77. С. 135.
- Нешпор Ю.И. // Из истории Крымской астрофизической обсерватории. Вып. 1. Научный. Симферополь: КрымФармтрейдинг. 2001. С. 124.
- Некрасова С.В., Никонов В.Б., Полосухина Н.С., Рыбка Е. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1962. Т. 27. С. 228.
- Некрасова С.В., Никонов В.Б., Рыбка Е. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1965. Т. 34. С. 69.
- Никонов В.Б., Некрасова С.В., Полосухина Н.С., Рачковский Д.Н., Чуваев К.К. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1957. Т. 17. С. 42.
- Никонов В.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1976. Т. 54. С. 3.
- Никонов В.Б., Бондарь Н.И., Букач А.Б. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1988. Т. 79. С. 111.
- Прокофьева-Михайловская В.В., Абраменко А.Н., Бочков В.В., Карачкина Л.Г. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 2007. Т. 103. №. 3. С. 225.
- Прокофьева-Михайловская В.В., Бочков В.В., Бусарев В.В. // Астрон. вестник. 2005. Т. 39. №. 5. С. 457.
- Страйжис В. // Многоцветная фотометрия звезд. Вильнюс: Моклас. 1977.
- Уилстроп (Willstrop R.V.) // Mem. Roy. Astron. Soc. 1965. V. 69. P. 83.
- Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. // Сводный спектрофотометрический каталог звезд. Алма-Ата: Наука. 1978.
- Хенден (Henden A.A.) // Observations from the AAVSO International Database. 2007. private communication.
- Хейес (Hayes D.S.) // IAU Symp. №. 111./ Eds Hayes D.S., Pasinetti L.E. Dordrecht.: Reidel. 1985. P. 225.
- Хоффлейт (Hoffleit D.) // Catalogue of bright stars/ 4-d ed. New Haven (Conn). 1983.
- Шарипова Л.М., Прокофьева В.В. // Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. 1998. Т. 94. С. 289.
- Эглитис И. // Исследования Солнца и красных звезд. 1987. Вып. 20. С. 26.
- Эглитис И. // Исследования Солнца и красных звезд. 1986. Вып. 24. С. 39.
- Эглитис И. // Исследования Солнца и красных звезд. 1988. Вып. 28. С. 36.
- Эглитис И. // Научн. информации Астросовета АН СССР. 1987. Вып. 63. С. 46.