# СПЕКТРОСКОПИЯ ЗВЕЗД НА 6-МЕТРОВОМ ТЕЛЕСКОПЕ: 33 ГОДА НАБЛЮДЕНИЙ

**В. Г. Клочкова, В. Е. Панчук**



*Специальная астрофизическая обсерватория РАН*
*369167 Нижний Архыз, Россия*
*e-mail:* valenta@sao.ru

БТА является спектроскопическим инструментом: доля научных программ, использующих методы спектроскопии низкого и высокого разрешения, превышает 2/3 календарного времени. Начиная с первых лет работы 6-метрового телескопа, мы выполнили большой объем спектроскопических наблюдений звезд как с использованием штатной спектральной аппаратуры БТА. так и с помощью созданных нами приборов. Ниже перечислены основные результаты авторских научных программ, выполненных при помощи спектрографов высокого разрешения БТА.

## СПЕКТРОСКОПИЯ С ФОТОГРАФИЧЕСКОЙ РЕГИСТРАЦИЕЙ

Период фотографической спектроскопии на Основном звездном спектрографе (ОЗСП) занял около 13 лет. Всего под фотографические наблюдения на ОЗСП БТА по заявкам 120 заявителей было выделено 1013 ночей, причем 65 заявителей так и не опубликовали результаты наблюдений [81]. Результаты исследований химического состава атмосфер звезд разных типов по нашим научным программам приведены в обзоре [11]. Перечислим основные проекты.

1.1. Исследование химически пекулярных звезд в рассеянных скоплениях и звездных группировках. В течение 1978–1984 гг. была выполнена спектроскопия 120 химически пекулярных (CP) звезд, входящих в состав 10 группировок разного возраста (см. [9, 10, 18] и ссылки в этих работах). Чтобы оценить средние характеристики спектра, для каждого объекта было получено (в среднем) по 5 спектрограмм с обратной линейной дисперсией 9 Å/мм. В результате впервые на достоверной статистике был сделан вывод о независимости степени пекулярности звезд от возраста на стадии эволюции в пределах главной последовательности (ГП). Впервые был сделан вывод об отсутствии потери углового момента пекулярными звездами в процессе эволюции от линии нулевого возраста в пределах ГП. Было выдвинуто предположение о том, что химические аномалии, замедленное вращение и сильные поверхностные магнитные поля CP-звезд возникают до выхода звезд на исходную ГП. Объем обзора остается непревзойденным в течение четверти века.

1.2. Измерение эффективных магнитных полей у химически пекулярных звезд в рассеянных скоплениях и звездных группировках. В 1978–1983 гг. один из авторов (В. Г. К.) получила 120 зеемановских спектрограмм и выполнила измерения эффективных магнитных полей химически пекулярных звезд в группировках разного возраста [5]. Впервые был сделан вывод о том, что средние значения эффективного магнитного поля неизменны в интервале возрастов группировок, различающихся на три порядка. Впервые был сделан вывод о зависимости средних значений магнитного поля от массы звезды [10].

1.3. Исследование звезд различной светимости в рассеянных скоплениях. Большой телескоп предоставляет возможность изучать спектры звезд различной светимости в составе одного скопления. Это позволило, в частности, по горячим и холодным звездам в составе скопления измерить содержания гелия и элементов железного пика, влияющие на положение исходной главной последовательности (ИГП). Впервые была выполнена спектроскопия звезд спектральных классов B, A, F, G, K (включая сверхгиганты) в составе 12 группировок разного возраста [13, 21, 23–25, 33, 42, 49]. Впервые на основании однородного спектроскопического материала выполнено исследование вариаций содержания гелия и элементов железного пика в кольцевой зоне галактического диска. Был сделан вывод об отсутствии изменений металличности, содержания элементов $\alpha$- и $s$-процессов, в течение последних 4 млрд лет. Впервые на основании массовых спектроскопических наблюдений звезд была получена оценка дисперсии содержания различных химических элементов в галактическом диске [12, 42, 44].

1.4. Исследование звезд гало. Для звезд поля, находящихся на горизонтальной ветви (BHB и RHB) шаровых скоплений, впервые обнаружены статистически значимые избыток $\alpha$-элементов и дефицит

$s$-элементов [11, 20, 26–28, 39]. Впервые обнаружен аналог феномена CP-звезд на стадии BHB [25]. Выполнены исследования химического состава звезд с возрастом менее 10 млрд лет.

1.5. Спектроскопия пульсирующих звезд. Проведено исследование структуры атмосферы пульсирующей звезды по линиям разной интенсивности [1–3]. Выполнено исследование химического состава выборки классических цефеид, результаты программы и соответствующие ссылки представлены в статье [35]. Сделан вывод об отсутствии градиента металличности в галактическом диске в интервале галактоцентрических расстояний 8–14 килопарсек.

1.6. Спектроскопия холодных сверхгигантов. Впервые проведено дифференциальное исследование химического состава F-сверхгигантов в составе рассеянных скоплений диска и F-сверхгигантов на высоких галактических широтах [27, 31]. Данная программа положила начало крупного спектроскопического проекта – спектроскопии звезд на стадии "после асимптотической ветви гигантов" (post-AGB).

1.7. Проблема спектроскопического определения параметров звездных атмосфер. На основании однородных спектроскопических наблюдений исследовано соотношение фотометрических и спектроскопических методов определения фундаментальных параметров звездных атмосфер, дано объяснение фотометрического парадокса Гиад, проведена спектроскопическая калибровка фотометрических индексов металличности [12, 14, 30, 32, 34, 41, 44]. Проведен поиск новых критериев определения фундаментальных параметров атмосфер [6, 7, 32]. Принципиальная возможность выполнить на БТА массовое спектроскопическое исследование звезд различной температуры и светимости, входящих в рассеянные звездные скопления и ассоциации, позволила нам сформулировать новый подход к проблеме, реализованный затем в методе, который мы назвали групповым методом моделей атмосфер. Остановимся на этом несколько подробнее. Хорошо известно, что основные параметры модели атмосферы (эффективная температура $T_{эф}$ и ускорение силы тяжести $g_{эф}$) можно определить чисто спектроскопически, не прибегая к данным фотометрии. Более того, т.к. деталей, измеряемых в спектре (эквивалентные ширины линий, полуширины линий на различных уровнях остаточной интенсивности и т.п.), всегда намного больше, чем искомых параметров модели атмосферы, результат всегда будет зависеть от выбора из всех наблюдаемых характеристик, тех из них, для которых имеется сетка теоретических расчетов. Отсюда естественный вывод: при выборе параметров модели атмосферы необходимо использовать как можно больше наблюдаемых характеристик. Это обстоятельство давно и надолго провело границу между определениями фундаментальных характеристик атмосфер фотометрическими методами (что в большинстве случаев выполняется автоматически для сотен звезд) и спектроскопическими определениями (еще полтора-два десятка лет назад большинство публикаций, где спектроскопически определялись параметры модели атмосферы, содержали результаты для одной-двух звезд). Сторонники фотометрии были убеждены, что фотометрические определения параметров более точны и однозначны по сравнению с результатами фотографической спектроскопии, но эти утверждения базировались скорее на массовости и проницающей способности фотометрического метода, чем на массовых сравнениях результатов фотометрических и спектроскопических определений. Ошибки метода фотографической спектроскопии интуитивно связывались с точностью измерения параметров линий. Типичными примерами являются полемика (конец 70-х – начало 80-х) о соотношении результатов спектроскопических и фотометрических определений металличности звезд в шаровых скоплениях или обсуждение фотометрического парадокса Гиад. Совокупности измеренных спектральных деталей (в плоскости "$T_{эф}$–$g_{эф}$") соответствует множество кривых, вдоль которых соблюдается равенство измеренных и вычисленных значений. Каждую из этих кривых легко снабдить полосой допустимых значений параметров атмосферы, соответствующей ошибкам измерения, но сложнее – полосой значений, соответствующей неточностям моделирования спектра. Если модель имеет систематические ошибки, то при анализе спектра одной звезды часть таких ошибок выявить невозможно: ошибки определения $g_{эф}$ "перекачиваются" в ошибки $T_{эф}$ и т.д. Если анализировать статистически представительную группу звезд близкой температуры и светимости в составе одной группировки, относительно которой можно предположить общность происхождения начального химического состава, то появляется возможность отделить реальную дисперсию химического состава от ошибок методического происхождения. Если дополнительно привлечь к анализу в составе данного скопления звезды существенно иной температуры и светимости, то появляется возможность выявить систематические ошибки моделирования звездных атмосфер. При всей простоте такого подхода у него есть принципиальный недостаток – большая трудоемкость: необходимо получить спектры и выполнить анализ методом моделей атмосфер для одного-двух десятков звезд. Возможности метода были продемонстрированы еще в 1983 году, когда впервые была обнаружена дисперсия химического состава внутри ближайших рассеянных скоплений [22]. Через несколько лет, оперируя спектроскопическими данными уже для сотен звезд, мы получили оценки дисперсии химического состава в диске Галактики, находящиеся в хорошем согласии с результатами УФ-спектроскопии межзвездной среды [14, 44]. Эти и подобные результаты позволяли нам утверждать, что в эпоху фотографической спектроскопии уровень моделирования спектров в целом отставал от уровня наблюдательного материала (хотя доминировала противоположная точка зрения).

## СПЕКТРОСКОПИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУМЕРНОЙ СИСТЕМЫ СЧЕТА ФОТОНОВ

Получив опыт спектроскопических наблюдений на ОЗСП, в 1985 г. мы занялись разработкой спектральной аппаратуры среднего и высокого разрешения, ориентированной на использование фотоэлектрических приемников излучения. В 1987–1990 гг. нами выполнена программа исследования звезд, принадлежащих голубой части горизонтальной ветви (BHB) шаровых скоплений M 13, M 15 и M 71 [64, 70]. Использовался эшеле-спектрограф среднего разрешения ЗЕБРА ($R = 3000$) с двумерным счетчиком фотонов [36]. что позволяло регистрировать спектр в диапазоне 320–700 нм звезд до 18-й величины включительно. Важно было получить спектры наиболее горячих звезд горизонтальной ветви (EHB), где масса звезды приближается к массе гелиевого ядра. Спектры 23 звезд шаровых скоплений исследовались относительно спектров 20 горячих звезд рассеянных скоплений. Были обнаружены вариации интенсивностей линий ионов легких элементов и дисперсия других характеристик атмосфер, что интерпретируется как наличие звезд, практически полностью или частично потерявших водородную атмосферу на этапе гелиевой вспышки. На автоколлимационном эшеле-спектрографе ЭСПАК с двумерным счетчиком фотонов была начата программа исследования химического состава пульсирующих звезд гало [58], которая была затем продолжена на эшеле-спектрографе с матрицей ПЗС. В целом период работы с двумерными счетчиками фотонов (1986–1991 гг.) для спектроскопии высокого разрешения оказался менее продуктивным в научном выходе (по отношению к предыдущему и последующему периодам), и причин здесь несколько. Во-первых, небольшой динамический диапазон (скорость счета не должна была превосходить 0.5 события на канал в секунду), ограничивал величину сигнал/шум ($\mathrm{S/N} < 50$ на канал), которую можно было достичь за время накопления, сравнимое с характерным временем проявления нестабильностей светоприемника (1 час). А в этот период в звездной спектроскопии уже преобладали задачи, требующие более высоких значений S/N. Во-вторых, метод оказался трудоемким и сильно зависящим от уровня инженерного обеспечения, что было непривлекательным для астрономов, привыкших к определенной самостоятельности на телескопе. В-третьих, проблему составляли хранение и обработка материала, например, двумерные изображения просто было негде хранить в большом количестве и требовалась оперативная обработка изображений. В-четвертых, ощущался некомплект аппаратуры, например, фокус Нэсмит-2 не имел ни одного стационарно установленного телевизионного подсмотра. Но главным, по нашему убеждению, было то, что для спектроскопии высокого разрешения период 1987–1992 гг. был переходным: одни астрономы САО продолжали фотографическую регистрацию, тогда как другие разработали и освоили новые технологические циклы (разработка и эксплуатация спектрографа, система управления, вычислительная техника, цифровая обработка), связанные с внедрением новых светоприемников. Таким образом, в течение пяти лет аппаратура высокого разрешения использовалась с двумерными счетчиками фотонов лишь часть времени, чего, в сочетании с погодным фактором, оказалось недостаточно для выполнения ряда программ. Обеспечивать столь различающиеся виды наблюдений (фотопластинку и двумерный счетчик фотонов) на одном телескопе (и даже на одном спектрографе, например на ОЗСП, см. табл. 1 в [50]) было затруднительно. Затраты труда небольшой группы (от двух до четырех человек в разные годы) на развитие аппаратуры, подготовку к наблюдениям и их выполнение, на обработку всего наблюдательного материала были столь велики, что иногда приходилось жертвовать научными интересами. Такая ситуация не объединяла людей, и продвижение цифровых методов в спектроскопии высокого разрешения на БТА затягивалось.

## СПЕКТРОСКОПИЯ С ПРИБОРАМИ ЗАРЯДОВОЙ СВЯЗИ (ПЗС)

Переход в 1990 г. на созданные нами эшеле-спектрографы [43, 52, 54, 82], оснащенные матрицами ПЗС, серьезно расширил наши возможности по выполнению научных программ, начатых фотографическими методами, и позволил приступить к наблюдениям выборок объектов, недоступных ранее.

3.1. Звезды высокой светимости, находящиеся на кратковременных стадиях эволюции. Основной научной программой с 1994 г. явилась спектроскопия звезд на стадии post-AGB. Почти сразу же был обнаружен объект [62] с рекордно высоким содержанием элементов, синтезируемых в процессах медленной нейтронизации (элементов *s*-процесса). Так как свойства этих объектов не были жестко определены, исследовались как звезды, демонстрирующие близкие фотометрические и спектроскопические признаки, так и звезды, находящиеся на соседних эволюционных стадиях. Центральной проблемой является отделение звезд средних и малых масс, находящихся на стадии post-AGB, от массивных звезд, на определенных этапах эволюции демонстрирующих близкие спектральные свойства. Обзор работ, выполненных на БТА, приведен в [15], здесь ограничимся перечислением направлений исследования.

Для большинства объектов спектры высокого разрешения получены впервые, новым элементом также является продолжительный спектроскопический мониторинг ряда объектов. Последнее позволяет выявить вековые изменения параметров атмосфер и разделить объекты, находящиеся на post-AGB [59, 60] и маскирующиеся под эту стадию [67, 68]. Другим достоинством многолетнего мониторинга является возможность выявления малоамплитудных изменений лучевых скоростей, указывающих на спектральную двойственность. Для ряда объектов обнаружены признаки сложного динамического состояния атмосферы и оболочки (различные спектральные линии указывают на нерегулярные движения вещества как от звезды, так и, одновременно, к звезде). Исследованы механизмы свечения околозвездных газопылевых оболочек и сделаны оценки параметров пылевого компонента [45, 46]. В составе оболочек также обнаружены тяжелые элементы [16], этот результат может послужить для изучения связи особенностей внутреннего строения звезды со свойствами околозвездных оболочек. Дело в том, что сверхизбытки элементов $s$-процесса обнаружены не у всех звезд на стадии post-AGB, а только у тех, в инфракрасных спектрах которых наблюдается неотождествленная эмиссионная деталь на длине волны 21 мкм [63]. На большой выборке исследованных нами объектов установлено, что стадия, на которой происходит изменение режима перемешивания подфотосферной оболочки и изменение свойств холодной газопылевой околозвездной оболочки, является кратковременной и редко наблюдаемой. По молекулярным спектрам околозвездной оболочки и оптическим спектрам центральной звезды впервые обнаружены признаки резкого изменения содержания легких элементов в атмосфере и околозвездной оболочке объекта AFGL 2688. Звезда, будучи углеродной на стадии AGB, превратилась на стадии post-AGB в F-сверхгигант с повышенным содержанием азота и кислорода [46]. Разнообразие эмиссионно-абсорбционных спектров объектов на стадии post-AGB усиливается эффектами ориентации околозвездного пылевого тора, поглощением и экранированием излучения центрального объекта. В связи с этим спектроскопическое определение фундаментальных параметров звезды является единственно надежным.

3.2. Сверхгиганты и гипергиганты. Большое число сверхгигантов, исследованных методом моделей атмосфер, позволило построить систему спектроскопической калибровки параметров [47, 66]. Интенсивно исследовались LBV – ярчайшие звезды Галактики, уверенная идентификация которых возможна только по спектрам высокого разрешения [40, 48, 73, 75, 76].

3.3. Химический состав звезд гало. Проведены исследования химического состава звезд гало, находящихся как в поле [8, 21, 38, 61, 77–79], так и в составе шаровых скоплений [19, 69]. Содержание лития исследовалось как в атмосферах субкарликов (в связи с проблемой космологического синтеза легких элементов [37, 65]), так и в атмосферах звезд высокой светимости (в связи с проблемой синтеза и разрушения в оболочках звезд).

3.4. Пульсирующие и двойные звезды. Еще в эпоху фотографической спектроскопии стало ясно, что регулярный спектроскопический мониторинг переменных звезд на БТА проводить практически невозможно (принципы распределения времени на телескопе плохо сочетаются с величиной вероятности повторяемости ясного неба). Поэтому в исследованиях переменных звезд был сделан акцент на изучение химического состава. Для большинства объектов такие исследования выполнены впервые [58, 83–86]. Вторым приемлемым направлением исследований пульсирующих звезд на БТА является спектроскопия на коротких временах (минуты, часы), т. е. изучение малоамплитудных изменений лучевой скорости (например [55]). Исследования двойных звезд проводились эпизодически, т. к. получение спектрограмм в заранее избранные моменты времени на БТА представляется маловероятным.

3.5. Атласы спектров. Опыт, накопленный при выполнении различных наблюдательных программ, позволил приступить к составлению (по оригинальным спектрограммам, полученным на БТА) цифровых атласов избранных объектов [56, 57, 71, 72].

3.6. Абсорбционные спектры ярких квазаров. В 1994 году на ОЗСП были выполнены наблюдения абсорбционных спектров квазаров [4], что позволило получить новые ограничения на космологическое изменение постоянной тонкой структуры.

3.7. Измерения круговой и линейной поляризации. В 1992 г. ОЗСП был переоборудован нами для применения матрицы ПЗС, и с 1994 г. сотрудниками других групп были начаты наблюдения круговой и линейной поляризации в спектрах звезд разных типов. Существенное повышение эффективности таких наблюдений произошло после реконструкции ОЗСП с целью использования крупноформатных дифракционных решеток (размер заштрихованной области $320 \times 360$ мм), полностью перехватывающих коллимированный пучок [50]. Поляриметрические наблюдения с более высоким спектральным разрешением, необходимым для задач исследования неоднородностей звездной поверхности, на спектрографе НЭС [54] были начаты нами в 1999 году по программе В. Л. Хохловой, а в 2000 г. – и по программе Н. Е. Пискунова. С 2004 г. спектрополяриметрические наблюдения магнитных звезд на НЭС самостоятельно выполняются сотрудниками группы исследований звездного магнетизма. Спектрографы НЭС и ОЗСП оснащены анализатором линейной и круговой поляризации [80]. Для более точных измерений линейной поляризации мы переоборудовали эшеле-спектрограф первичного фокуса PFES [53] в спектрополяриметр. Впервые с высоким разрешением ($R = 15\,000$) была исследована линейная поляризация объектов с газопылевыми оболочками [45, 46].

## ВЫВОДЫ

Авторы проработали на 6-метровом телескопе чуть более одной пятой доли времени от 150-летней истории спектрального анализа. За годы спектроскопических наблюдений на БТА нам удалось: а) усовершенствовать методы наблюдений, обработки и анализа звездных спектров, б) в течение сотен ночей выполнить наблюдения по десяткам научных программ исследователей из Москвы, Урала, Прибалтики, Украины, Закавказья, Средней Азии, Европы, Китая, США и др., в) сформировать свои научные интересы и выполнить несколько крупных спектральных обзоров, г) сохранить как спектры, так и результаты обработки спектров по своим научным программам, д) подготовить несколько молодых спектроскопистов. Мы благодарны всем своим соавторам.


[1] *Борисов Ю. В., Панчук В. Е.* Спектроскопическое исследование AC Геркулеса. I. Параметры атмосферы и химический состав // Астрофиз. исслед. – 1986. – **22**. – С. 17–24.

[2] *Борисов Ю. В., Панчук В. Е.* Спектроскопическое исследование AC Геркулеса. II. Изменение характеристик спектра с фазой и от цикла к циклу // Сообщения САО. – 1986. – **49**. – С. 5–29.

[3] *Борисов Ю. В., Панчук В. Е.* Спектроскопическое исследование AC Геркулеса. III. Анализ линий умеренной интенсивности // Сообщения САО. – 1986. – **49**. – С. 30–39.

[4] *Варшалович Д. А., Панчук В. Е., Иванчик А. В.* Абсорбционные системы в спектрах квазаров HS 1946+76. S5 0014+81, S4 0636+68. Новые ограничения на космологическое изменение постоянной тонкой структуры // Письма в Астрон. журн. – 1996. – **22**. – С. 8–16.

[5] *Глаголевский Ю. В., Клочкова В. Г., Копылов И. М.* Исследование магнитных полей химически пекулярных звезд в группировках разного возраста // Астрон. журн. – 1987. – **64**. – С. 360–366.

[6] *Гуляев С. А., Панчук В. Е., Плешаков В. В., Пяткес С. Г.* Определение физических характеристик атмосфер B- и A-звезд по участку спектра вблизи бальмеровского скачка // Астрофиз. исслед. – 1986. – **22**. – С. 3–12.

[7] *Гуляев С. А., Панчук В. Е., Пяткес С. Г.* Определение физических параметров атмосфер B- и A-звезд методом бальмеровских индексов // Астрофиз. исслед. – 1987. – **25**. – С. 60–67.

[8] *Ермаков С. В., Клочкова В. Г., Панчук В. Е., Жао Г.* Химический состав звезд гало // Астрон. журн. – 2002. – **80**. – С. 874–886.

[9] *Клочкова В. Г.* Изучение Bp-звезд в ассоциации Ori OBI // Письма в Астрон. журн. – 1985. – **11**. – С. 502–510.

[10] *Клочкова В. Г.* Спектроскопическое исследование химически пекулярных звезд разного возраста. – Канд. дисс. – Тарту, 1985. – 115 с.

[11] *Клочкова В. Г.* Химический состав звезд диска и гало // Астрофиз. исслед. – 1991. – **34**. – С. 5–30.

[12] *Клочкова В. Г.* О вариациях химического состава в околосолнечных окрестностях галактического диска // Астрофиз. исслед. – 1991. – **34**. – С. 31–35.

[13] *Клочкова В. Г.* Металличность скопления Chi Per // Астрофиз. исслед. – 1991. – **34**. – С. 48–54.

[14] *Клочкова В. Г.* Спектроскопические проявления эволюции звездных атмосфер. – Докт. дисс. в форме научн. докл. – Нижний Архыз, 1991. – 115 с.

[15] *Клочкова В. Г.* 6-м телескоп в поиске проявлений эволюции звезд вблизи AGB. – В кн. “Специальная астрофизическая обсерватория РАН. 40 лет” / Под ред. Ю. Ю. Балега. – Нижний Архыз, 2006. – С. 107–148.

[16] *Клочкова В. Г.* Обнаружение линий тяжелых элементов в спектре околозвездной оболочки post-AGB звезды // Письма в Астрон. журн. – 2009. – **35**. – С. 507–515.

[17] *Клочкова В. Г., Копылов И. М.* О скоростях вращения химически пекулярных звезд // Астрон. журн. – 1985. – **62**. – С. 947–955.

[18] *Клочкова В. Г., Копылов И. М.* Химически пекулярные звезды в группировках разного возраста // Астрон. журн. – 1986. – **63**. – С. 240–245.

[19] *Клочкова В. Г., Мишенина Т. В.* Химический состав атмосфер двух гигантов ветви гигантов и асимптотической ветви гигантов в шаровом скоплении M13 // Астрон. журн. – 1998. – **75**. – С. 349–354.

[20] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Химический состав звезд горизонтальной ветви шаровых скоплений в галактическом поле // Астрон. журн. – 1985. – **62**. – С. 552–557.

[21] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* О металличности Гиад // Письма в Астрон. журн. – 1985. – **11**. – С. 692–695.

[22] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Спектроскопическое определение металличности звезд молодых рассеянных скоплений // Астрофиз. исслед. – 1985. – **20**. – С. 16–21.

[23] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Спектроскопическое определение металличности F-карликов в рассеянных скоплениях // Письма в Астрон. журн. – 1986. – **12**. – С. 446–451.

[24] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Содержание гелия в атмосферах B-звезд – членов рассеянных скоплений // Письма в Астрон. журн. – 1986. – **12**. – С. 928–935.

[25] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Химический состав звезд горизонтальной ветви шаровых скоплений в галактическом поле. II // Астрон. журн. – 1987. – **64**. – С. 74–78.

[26] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Содержание гелия в атмосферах звезд в скоплениях NGC 869, 884 и 2264 // Письма в Астрон. журн. – 1987. – **13**. – С. 56–62.

[27] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* F-сверхгиганты на высоких галактических широтах // Письма в Астрон. журн. – 1988. – **14**. – С. 933–939.

[28] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Кривая распространенности химических элементов в атмосферах F-карликов // Астрофиз. исслед. – 1988. – **26**. – С. 14–26.

[29] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Химический состав A-звезд гало // Астрофиз. исслед. – 1988. – **26**. – С. 27–37.

[30] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* К проблеме спектроскопической калибровки фотометрических индексов металличности // Письма в Астрон. журн. – 1989. – **15**. – С. 236–242.

[31] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Эволюционный статус звезд типа UU Her // Письма в Астрон. журн. – 1989. – **15**. – С. 617–624.

[32] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Линии нейтрального гелия в спектрах B-звезд. II. Анализ каталога // Астрофиз. исслед. – 1989. – **27**. – С. 25–33.

[33] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Спектроскопическая калибровка светимостей B-звезд диска Галактики // Письма в Астрон. журн. – 1990. – **16**. – С. 435–443.

[34] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* К проблеме возрастных и пространственных вариаций содержания гелия в диске Галактики // Письма в Астрон. журн. – 1990. – **16**. – С. 619–624.

[35] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Спектроскопическое исследование цефеид // Письма в Астрон. журн. – 1991. – **17**. – С. 536–543.

[36] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Светосильный эшелле-спектрометр среднего разрешения со счетчиком фотонов (ЗЕБРА) // Препринт САО. – 1991. – **70**. – С. 3–28.

[37] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Литий, бериллий, бор в проблеме эволюции вещества // Успехи физ. наук. – 1994. – **164**. – С. 657–660.

[38] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е.* Химический состав атмосфер звезд с большим собственным движением // Астрон. журн. – 1996. – **73**. – С. 912–929.

[39] *Клочкова В. Г., Таутвайшене Г. Ю.* Химический состав звезд красной части горизонтальной ветви HD 173920 и HD 224342 // Астрофиз. исслед. – 1989. – **28**. – С. 103–106.

[40] *Клочкова В. Г., Ченцов Е. Л.* Оптический спектр кандидата в LBV в ассоциации Cyg OB2 // Астрон. журн. – 2004. – **81**. – С. 1104–1118.

[41] *Клочкова В. Г., Копылов И. М., Панчук В. Е.* О применении моделей атмосфер для определения параметров горячих звезд // Астрон. журн. – 1983. – **60**. – С. 1114–1119.

[42] *Клочкова В. Г., Мишенина Т. В., Панчук В. Е.* О химической однородности диска Галактики // Письма в Астрон. журн. – 1989. – **15**. – С. 315–323.

[43] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е., Рядченко В. П.* Автоколлимационный эшелле-спектрометр 6-м телескопа // Письма в Астрон. журн. – 1991. – **17**. – С. 645–652.

[44] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е., Цымбал В. В.* К проблеме дисперсии металличности диска Галактики // Астрофиз. исслед. – 1991. – **33**. – С. 41–52.

[45] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е., Юшкин М. В.* Протопланетарная туманность AFGL 2688: эволюция модельных представлений // Препринт ОАО. – 2002. – **168**. – С. 1–44.

[46] *Клочкова В. Г., Панчук В. Е., Юшкин М. В., Мирошниченко А. С.* Поляриметрия протопланетарной туманности AFGL 2688 // Астрон. журн. – 2004. – **81**. – С. 319–332.

[47] *Ковтюх В. В., Горлова Н. И., Клочкова В. Г.* Определение эффективных температур F–G-сверхгигантов по спектроскопическим критериям // Письма в Астрон. журн. – 1998. – **24**. – С. 438–442.

[48] *Мирошниченко А. С., Клочкова В. Г., Бъеркман К. С.* Исследование B[e]-звезды AS 160 // Письма в Астрон. журн. – 2003. – **29**. – С. 384–392.

[49] *Мишенина Т. В., Панчук В. Е.* О дисперсии металличности K-гигантов диска Галактики // Астрофиз. исслед. – 1986. – **21**. – С. 12–15.

[50] *Панчук В. Е.* Спектральный комплекс фокуса Нэсмита 6-м телескопа БТА. VII. Основной звездный спектрограф // Препринт ОАО. – 2001. – **154**. – С. 1–18.

[51] *Панчук В. Е., Клочкова В. Г.* 30 лет работы БТА: спектроскопия высокого разрешения. – В кн. “Специальная астрофизическая обсерватория РАН. 40 лет” / Под ред. Ю. Ю. Балега. – Нижний Архыз, 2006. – С. 32–67.

[52] *Панчук В.Е., Клочкова В. Г., Галазутдинов Г. А. и др.* Эшелле-спектрометр с матрицей ПЗС для 6-м телескопа // Письма в Астрон. журн. – 1993. – **19**. – С. 1061–1069.

[53] *Панчук В. Е., Клочкова В. Г., Юшкин М. В. и др.* Эшелле-спектрополяриметр первичного фокуса БТА // Препринт САО. – 2001. – **159**. – С. 1–23.

[54] *Панчук В. Е., Клочкова В. Г., Юшкин М. В., Найденов И. Д.* Спектрограф высокого разрешения 6-метрового телескопа БТА // Оптический журнал. – 2009. – **76**. – С. 42–55.

[55] *Рзаев А. Х., Панчук В. Е.* О переменности линий в спектре сверхгиганта alpha Cam // Письма в Астрон. журн. – 2004. – **30**. – С. 376–386.

[56] *Chentsov E. L., Klochkova V. G., Mal'kova G. A.* Spectral atlas of the symbiotic star MWC 560 // Bull. Spec. Astrophys. Observ. – 1997. – **43**. – P. 18–29.

[57] *Chentsov E. L., Ermakov S. V., Klochkova V. G., et al.* An atlas of spectra of B6–A2 hypergiants and supergiants from 4800 to 6700 Å // Astron. and Astrophys. – 2003. – **397**. – P. 1035–1042.

[58] *Galazutdinov G. A., Klochkova V. G.* Spectroscopy of selected pulsating stars: the anomalous variable V351 Cep // Astron. and Astrophys. Transactions. – 1995. – **8**. – P. 227–237.

[59] *Kipper T., Klochkova V. G.* The chemical composition of Sakurai's object // Astron. and Astrophys. – 1997. – **324**. – P. L65–L68.

[60] *Kipper T., Klochkova V. G.* The spectrum of FG Sagittae after photometric recovery in 2000 // Balt. Astron. – 2001. – **10**. – P. 393–401.

[61] *Kipper T., Jorgensen U. G., Klochkova V. G., Panchuk V. E.* Chemical composition of metal-poor carbon stars in halo // Astron. and Astrophys. – 1996. – **306**. – P. 489–500.

[62] *Klochkova V. G.* Spectroscopy of supergiants with IR-excess // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 1995. – **272**. – P. 710.

[63] *Klochkova V. G.* Supergiants with large IR-excesses // Bull. Spec. Astrophys. Observ. – 1997. – **44**. – P. 5–29.

[64] *Klochkova V. G., Galazutdinov G. A.* The spectra of blue stars in the globular clusters // Preprint SAO. – 1991. – **71**. – P. 2–20.

[65] *Klochkova V. G., Panchuk V. E.* The first results of Lithium content investigation at the 6-m telescope // Mem. Soc. Astr. Ital. – 1995. – **66**. – P. 333–336.

[66] *Klochkova V. G., Topilskaya G. P.* Spectroscopic criteria of the effective temperature for F-supergiants // Bull. Spec. Astrophys. Observ. – 1996. – **41**. – P. 52–57.

[67] *Klochkova V. G., Panchuk V. E., Chentsov E. L.* Is the UU Her a post-AGB star? // Astron. and Astrophys. – 1997. – **323**. – P. 789.

[68] *Klochkova V. G., Chentsov E. L., Panchuk V. E.* Optical spectrum of the IR-source IRC+10420 in 1992–1996 // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 1997. – **292**. – P. 19–26.

[69] *Klochkova V. G., Mishenina T. V., Panchuk V. E.* Investigation of the II-90 giant in globular cluster M13 // Astron. and Astrophys. – 1994. – **287**. – P. 881–884.

[70] *Klochkova V. G., Panchuk V. E., Galasutdinov G. A.* The spectra of blue horizontal branch stars // In: The atmospheres of early-type stars / Eds U. Heber and C. S. Jeffery. – Lecture Notes in Physics. Springer-Verlag, 1991. – **401**. – P. 247–250.

[71] *Klochkova V. G., Zhao G., Panchuk V. E., Ermakov S. V.* A spectral atlas of F and G stars // Chin. J. Astron. and Astrophys. – 2004. – **4**. – P. 279–283.

[72] *Klochkova V. G., Chentsov E. L., Tavolganskaya N. S., Shapovalov M. V.* Optical spectrum, of the post-AGB star HD 5616 in the wavelength interval 4010–8790 Å // Astrophys. Bull. – 2007. – **323**. – P. 162–192.

[73] *Miroshnichenko A. S., Frernat Y., Houziaux L., et al.* High resolution spectroscopy of the galactic candidate LBV. MWC 314 // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser. – 1998. – **131**. – P. 469–478.

[74] *Miroshnichenko A. S., Chentsov E. L., Klochkova V. G.* High resolution spectroscopy of stellar winds in recently recognized LBV candidates // Lectures in Physics. – 1999. – **523**. – P. 272–272.

[75] *Miroshnichenko A. S., Chentsov E. L., Klochkova V. G.* AS 314: A dusty A-type hypergiant // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser. – 2000. – **144**. – P. 379–389.

[76] *Miroshnichenko A. S., Chentsov E. L., Klochkova V. G., et al.* Spectroscopy and photometry of the emission-line B-type stars AS 78 and MWC 657 // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser. – 2000. – **147**. – P. 5–24.

[77] *Mishenina T. V., Klochkova V. G., Panchuk V. E.* Elemental abundance in the atmospheres of the three metal-deficient giants // Astron. and Astrophys. Suppl. Ser. – 1995. – **109**. – P. 471–477.

[78] *Mishenina T. V., Klochkova V. G., Panchuk V. E.* Subdwarfs: CNO abundances // Bull. Spec. Astrophys. Observ. – 1997. – **43**. – P. 72–74.

[79] *Mishenina T. V., Korotin S. A., Klochkova V. G., Panchuk V. E.* Oxygen abundance in halo stars from OI triplet // Astron. and Astrophys. – 2000. – **353**. – P. 978–986.

[80] *Najdenov I. D., Panchuk V. E.* Zeeman effect measuring devices in the spectrometers of the BTA Nasmyth foci // Bull. Spec. Astrophys. Observ. – 1996. – **41**. – P. 143–147.

[81] *Panchuk V. E.* 6-m telescope spectroscopy: statistics of techniques and programmes // Bull. Spec. Astrophys. Obs. – 1998. – **44**. – P. 65–70.

[82] *Panchuk V. E., Najdenov J. D., Klochkova V. G., et al.* High resolution spectroscopy of faint objects at the 6m telescope // Bull. Spec. Astrophys. Observ. – 1998. – **44**. – P. 127–131.

[83] *Usenko I. A., Kovtyukh V. V., Klochkova V. G., et al.* Spectroscopic investigations of classical Cepheids and main-sequence stars in galactic open clusters and associations. I. Association Cas OB2 and the small-amplitude Cepheid SU Cassiopeiae // Astron. and Astrophys. – 2001. – **367**. – P. 831–839.

[84] *Usenko I. A., Kovtyukh V. V., Klochkova V. G., Panchuk V. E.* Spectroscopic investigations of classical Cepheids and line main-sequence stars in galactic open clusters and associations. II. Open cluster Platais 1 (C2128+488) and small-amplitude Cepheid V1726 Cygni // Astron. and Astrophys. – 2001. – **376**. – P. 885–891.

[85] *Usenko I. A., Kovtyukh V. V., Klochkova V. G.* FN Aquilae – an unusual Cepheid with anomalous CNO abundances // Astron. and Astrophys. – 2001. – **377**. – P. 156–160.

[86] *Usenko I. A., Miroshnichenko A. S., Klochkova V. G., Yushkin M. V.* Polaris, the nearest Cepheid in the Galaxy: atmosphere parameters, reddening and chemical composition // Mon. Notic. Roy. Astron. Soc. – 2005. – **362**. – P. 1219–1224.