

УДК 520.2, 520.82, 520.84/85

## ЦЕЙСС-1000 САО РАН: ПРИБОРЫ И МЕТОДЫ НАБЛЮДЕНИЙ

© 2020 В. В. Комаров<sup>1\*</sup>, А. С. Москвитин<sup>1</sup>, В. Д. Бычков<sup>1</sup>,  
А. Н. Буренков<sup>1</sup>, С. В. Драбек<sup>1</sup>, В. С. Шергин<sup>1</sup>, Э. В. Емельянов<sup>1</sup>,  
В. Н. Комарова<sup>1</sup>, В. П. Романенко<sup>1</sup>, В. Н. Аитов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Специальная астрофизическая обсерватория РАН, Нижний Архыз, 369167 Россия

Поступила в редакцию 26 апреля 2020 года; после доработки 24 июля 2020 года; принята к публикации 24 июля 2020 года

В статье приводится описание телескопа Цейсс-1000 САО РАН, история развития наблюдательных методов и перспективных направлений астрофизических исследований. Подробно уделено внимание тем приборам и методам наблюдений, которые в настоящее время являются штатными.

Ключевые слова: *телескопы — техника: фотометрия, поляриметрия, спектроскопия — методы: наблюдательные*

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Может показаться парадоксальным, но за 30-летнюю историю 1-м оптического телескопа Цейсс-1000 САО РАН были опубликованы сотни работ по результатам наблюдений на нем и ни одной статьи с описанием телескопа, приборов и методов наблюдений. Возможно, это связано со второстепенностью Цейсс-1000 для обсерватории, так как ее основные наблюдательные инструменты БТА и РАТАН-600 — действительно главные телескопы российской астрономии. Поэтому все силы и средства отдаются на решение задач для этих гигантов. А 1-м телескоп задумывался как вспомогательный инструмент для отладки оборудования и методов наблюдений, применяемых на 6-м телескопе. Впоследствии часть аппаратуры и методик планировалось переводить на Цейсс-1000 для уменьшения нагрузки на БТА и обеспечения его более эффективной работы, так как далеко не все наблюдательные астрофизические задачи требуют применения большого инструмента.

Тем не менее с появлением стационарного оборудования и созданием собственных наблюдательных методов Цейсс-1000 стали переводить на самостоятельные научные программы. А после комплексной автоматизации и успешной юстировки оптической системы телескоп начал работать бесперебойно и с высоким качеством, несмотря на минимальное обслуживание инженерно-техническим персоналом и научное сопровождение по остаточному принципу. Подтверждение вышесказанному — рассмотрение заявок наблюдательного

времени на Цейсс-1000 Национальным комитетом по тематике российских телескопов (НКТРТ). Наблюдатели, подающие заявки на 1-м телескоп, могут получить краткую информацию о телескопе, приборах и методах из Циркулярного письма НКТРТ. Есть также краткое описание на сайте САО РАН<sup>1</sup>. Более подробной информации, как уже было сказано выше, нет. В данной работе мы решили восполнить этот пробел и уделить внимание как самому телескопу, так и приборам, и методам наблюдений, которые в настоящее время являются штатными.

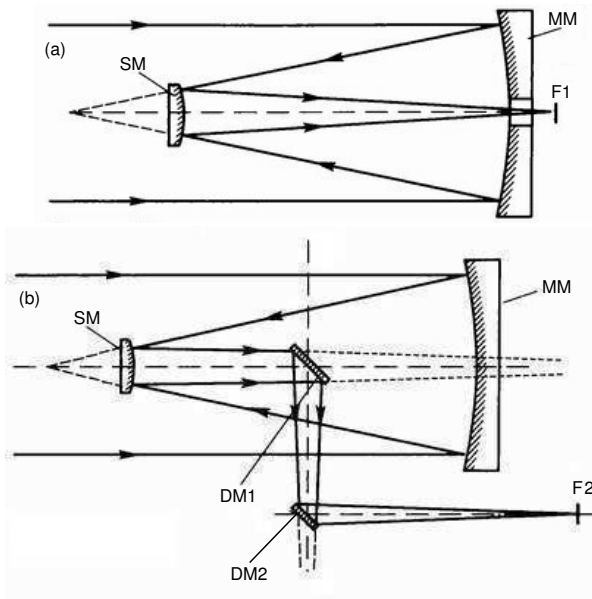
### 2. ТЕЛЕСКОПЫ ЦЕЙСС-1000

Серия метровых телескопов Ричи—Кретьена-кудэ с английской монтировкой ЕМ-2 создавалась на народном предприятии «Карл Цейсс Йена» (ГДР) с 1968 г. Заказы на телескопы были сделаны различными странами: Болгарией, Венгрией, Чехословакией, Китаем. СССР заказал сразу восемь телескопов для обсерваторий Душанбе, Алма-Аты, Крыма, Майданака, САО РАН. «Карл Цейсс Йена» создает одиннадцать однотипных телескопов с диаметром главного зеркала 1 м Цейсс-1000 и пять телескопов 2-метрового класса Цейсс-2000 (Köhler et al. 1987). В таблице 1 приводятся данные об 1-м телескопах. Информацию о Цейсс-2000 можно найти в работе Кагров et al. (2013).

Основная идея зеркальных телескопов Ричи—Кретьена-кудэ — максимально возможная универсальность при умеренных затратах на его из-

\*E-mail: komarov@sao.ru

<sup>1</sup><https://www.sao.ru>



**Рис. 1.** Телескоп системы Ричи–Кретьена со схемой Кассегрена (а) и кудэ (б): ММ — главное зеркало; SM — вторичные зеркала; DM1, DM2 — плоские зеркала, перенаправляющие лучи в фокус кудэ.

готовление. Цейсс-1000 относится к телескопам среднего класса (размера) и имеет два фокуса:

- фокус Кассегрена с фокусным расстоянием 13.3 м, F1 на рис. 1а;
- фокус кудэ с фокусным расстоянием 36.5 м, F2 на рис. 1б.

Имеется два вспомогательных (вторичных) зеркала SM, для каждого фокуса свое. Оба вторичных зеркала смонтированы на одной опорной крестовине у входного отверстия трубы телескопа и развернуты тыльными сторонами друг к другу. Путем переворачивания крестовины на 180 градусов зеркала могут включаться в соответствующую схему хода оптических лучей. Одно из вторичных зеркал перенаправляет лучи от главного зеркала ММ в фокус Кассегрена через отверстие главного зеркала, другое — через систему плоских зеркал DM1, DM2 в фокус кудэ. Для системы Ричи–Кретьена  $F = 13.3$  м вторичное зеркало имеет диаметр 324 мм, для системы кудэ —  $F = 36.5$  м, диаметр вторичного зеркала — 294 мм.

Система Ричи–Кретьена допускает как фотографические наблюдения в широком поле, так и детальные фотометрические и спектральные исследования отдельных объектов в фокусе Кассегрена с помощью малогабаритной навесной аппаратуры. Достаточно широкое поле даже без коррекционных элементов дает возможность офсетного наведения и гидирования. В фокусе Кассегрена (непосредственно на трубе телескопа) можно расположить навесную аппаратуру максимальным

весом до 96 кг. Поэтому на данное оборудование накладываются ограничения как по весу, так и по габаритам. Система кудэ допускает применение стационарных вспомогательных крупногабаритных приборов в фокусе кудэ.

Преобразующая система (коллиматор со светосильной камерой Шмидта) изменяет относительное отверстие в фокусе Кассегрена, создавая аналогичные возможности получения изображений, как и в сверхсветосильном прямом фокусе.

Английская монтировка EM-2 пригодна без конструктивных изменений для всех мест установки телескопа на географических широтах между  $-55^\circ$  и  $+55^\circ$ . Кроме того, симметричное распределение нагрузки обеспечивает незначительное влияние упругих деформаций на угловое отклонение часовой оси. EM-2 дает возможность направления хода лучей к фокусу кудэ всего двумя плоскими зеркалами. При установке вторичного зеркала для системы кудэ первое плоское зеркало вводится с помощью откидных направляющих в ход лучей и привинчивается к задней опорной крестовине. Второе плоское зеркало располагается стационарно в EM-2. Для изготовления зеркал использован стеклокерамический материал с чрезвычайно низким коэффициентом расширения  $1 \times 10^{-7}$  град $^{-1}$ , поэтому термические деформации поверхности зеркал практически исключены. Зеркала покрыты высокоотражающим алюминием и защитным слоем из фтористого магния. Труба телескопа состоит из двух частей: собственно трубы и оправы главного зеркала. Труба имеет двойные стенки, скрепленные болтами для достижения высокой жесткости на изгиб. Главное зеркало располагается в оправе на 12 аксиальных и 12 радиальных разгрузочных устройствах. Положение зеркала в оправе фиксируется в осевом направлении тремя опорными точками, в радиальном — термокомпенсационным краевым центрирующим устройством. Такая подвеска исключает деформации оптической поверхности действием тяготения.

Для фокусировки телескопа оба вторичных зеркала перемещаются вдоль оптической оси главного зеркала по безззорной роликовой направляющей. Перемещение осуществляется с помощью дистанционно управляемого электропривода. Информация о положении фокусирующего устройства в опорной крестовине передается двумя сельсинами грубого и точного отсчетов на пульт управления фокусировкой.

Параллельно трубе телескопа смонтированы два рефрактора:

- искатель-рефрактор 110/750 для визуального контроля в широком поле зрения,
- гид-рефрактор 200/3000 для контроля гидирования.

Таблица 1. Телескопы Цейсс-1000

Год создания	Место установки	Страна	Обсерватория	Год ввода	Ref.
1971	Найнитал	Индия	ARIES	1972	1
1972	Кавалур	Индия	Vainu Varpu	1972	2
1974	Пискештетё	Венгрия	Konkoly	1975	3
1975	Санглок	Таджикистан	Санглок	1980	4
1977	Тянь-Шань	Казахстан	ТШАО	1991	5
1978	Майданак	Узбекистан	Майданакская	1981	6
1979	Куньмин	Китай	Юньнаньская		7
1980	Ассы-Тургень	Казахстан	Ассы-Тургень	1981	8
1982	Симеиз	Россия	Симеизская	1988	9
1983	Нижний Архыз	Россия	САО	1989	10
1984	Тянь-Шань	Казахстан	ТШАО	1991	5

Refs.:

1. <https://aries.res.in/facilities/astronomical-telescopes/104m-telescope>
2. <https://www.iiap.res.in/vbo.htm>
3. <https://konkoly.hu/staff/racz/rcc-en.html>
4. Kiselev et al. (1988)
5. <https://aphi.kz/observatories/tian-shan>
6. <http://www.maidanak.uz/telescopes.php>
7. <http://english.ynao.cas.cn/ti/>
8. <https://aphi.kz/observatories/assy-turgen>
9. Kokhirova et al. (2017)
10. <http://www.sao.ru/Doc-k8/Telescopes/small/descrip.html>

Балансировка телескопа осуществляется по двум осям перемещением грузов у переднего конца трубы и грузов внутри противовеса трубы. Движения телескопа вокруг часовой оси и оси склонения передаются двумя прецизионными червячными редукторами. Тяговые тросы с гириями создают принудительный контакт с ведущими червяками, обеспечивая тем самым передачу вращательного движения без мертвого хода. В случае недопустимо большого крутящего момента вступает в действие защита от перегрузки, которая отключает приводы.

На задней стороне трубы телескопа находится площадка для приемной аппаратуры в фокусе Кассегрена — позиционное поворотное устройство, на которое закрепляется светоприемное оборудование либо преобразующая система или устройство офсетного гидирования. Поворотное устройство позволяет устанавливать аппаратуру с возможностью 360-градусного углового вращения.

Устройство офсетного гидирования служит для контроля гидирования прямо в фокусе Кассегрена по внеосевой звезде при наблюдениях с фотоприемниками или спектрографами. Поле гиди-

рования расположено сбоку от оптической оси. В его пределах можно с помощью микрометрических винтов перемещать визирную призму, что позволяет выбрать лежащую вне снимаемого поля гидирующую звезду. Гидирование непосредственно в фокусе Кассегрена дает большие преимущества по сравнению с гидом-рефрактором: гораздо большая светосила и исключение ошибок гидирования, вызванных различными гнутями трубы телескопа и гида-рефрактора.

### 3. ЦЕЙСС-1000 САО РАН

Для САО РАН в 1982 г. заказывается десятый Цейсс-1000, который был привезен к месту эксплуатации в 1986 г. Первый свет на 1-м телескопе был получен в октябре 1989 г. (Romanenko 1999), и самыми первыми фотоприемниками, на которых сохраняли изображения звезд, являлись фотопластинки. Телескоп был укомплектован кассетным устройством для установки фотопластинок форматом 16 × 16 см. Кассета устанавливалась в фокусе Кассегрена с диаметром плоского поля 170 мм, или

45'. С помощью дополнительной многолинзовой системы можно было сфотографировать поле диаметром 28'. Для фотографирования протяженных объектов прилагалась дополнительная оптическая система с коллиматором и камерой Шмидта. Диаметр поля изображения составлял 33'. В качестве фотоматериала использовали квадратные пленки размером 25 мм, которые изготавливались из пленок стандартного формата с помощью специального приспособления. В параллельном пучке лучей между коллиматором и камерой в промежуточном тубусе было место для светофильтров, интерферометров или прозрачных дифракционных решеток.

Основные характеристики телескопа приведены в таблице 2.

Управление телескопом происходило от малой управляющей ЭВМ (Robotron KSR 4100), которая работала с устройством управления венгерского производства фирмы «Вилати». Управляющая система была рассчитана на применение фотографических наблюдательных методов с полуавтоматическим позиционированием телескопа и последующей ручной коррекцией постоянного гидирования объекта с помощью окуляра непосредственно у используемого в данный момент оборудования. Для этого были предусмотрены пульта ручной коррекции непосредственно возле фокуса Кассегрена и в помещении шелевой части кудэ.

Кроме камер для прямых снимков на фотопластинах телескоп был укомплектован спектрографами для двух фокусов. Универсальный астрономический дифракционный спектрограф (UAGS), разработанный на «Карл Цейсс Йена», имел небольшой вес (менее 60 кг), что позволило использовать его в фокусе Кассегрена. Камера с внешним фокусом, а также камера с большим линейным полем зрения позволяли применять на данном спектрографе усилители яркости различных типов. Спектрограф для фокуса кудэ также был изготовлен немецкими специалистами и был укомплектован тремя камерами для получения изображений на фотопластинках.

Одним из первых приборов стал телевизионный спекл-интерферометр (Balega et al. 1993). Он был создан сотрудниками САО на основе первых отечественных ЭОПов с микроканальным усилением, сочлененных через оптоволоконную плоскую шайбу с телевизионной трубкой суперкремниконом. Первые быстродействующие детекторы для такого прибора появились только после создания промышленностью отечественного ЭОПа марки ЭП-10. Также в первые годы работы на Цейсс-1000 проводились наблюдения с помощью ПЗС-фотометра, кудэ-эшелле-спектрометра, ПЗС-фотометра с внеосевым телегидом, двухканального поляриметра и четырехканального

электрофотометра. Основные наблюдательные программы того времени (SAO RAS Report 1998): фотометрия ярких квазаров, близких сейфертовских и других галактик, рентгеновских двойных систем. Спектроскопия: мониторинг AGN, ярких сверхновых, двойных систем, магнитный обзор звезд Главной последовательности, составление спектральных атласов ярких звезд Ae/Be Хербига, исследование переменности магнитных полей пекулярных звезд и др.

## 4. ПЕРВАЯ АППАРАТУРА ДЛЯ НАБЛЮДЕНИЙ НА ТЕЛЕСКОПЕ

### 4.1. ПЗС-фотометр

В середине 90-х годов телевизионные трубки были вытеснены быстродействующими ПЗС-системами. Фотопластинки были заменены на ПЗС-матрицы, которые стали основными светоприемниками в астрофизических наблюдениях. С 1993 г. на телескопе появилось стационарное оборудование и в основном завершилось создание наблюдательных методов. С этого момента началась штатная работа телескопа с поквартальным, а затем и полугодовым планированием наблюдений.

Одним из первых основных приборов на Цейсс-1000 стал ПЗС-фотометр, который был разработан и изготовлен в САО и введен в эксплуатацию в марте 1994 г. Фотометр с автоматическим дистанционным управлением был оснащен восемью фильтрами и затвором, позволяющим делать короткие экспозиции до долей секунды. Фотоприемная часть также была изготовлена сотрудниками лаборатории перспективных разработок САО на основе ПЗС-матрицы с виртуальной фазой и объемным каналом (SAO RAS Report 1995). Характеристики фотометра приведены в таблице 3.

В фотометре была предусмотрена установка оптики, редуцирующей масштаб изображения в два раза (поле зрения  $287'' \times 427''$ ). Пять широкополосных фильтров в сочетании с ПЗС-матрицей позволяли реализовать систему, близкую к системе Джонсона—Коузинса. Еще три фильтра были узкополосными и с шириной на половине от максимума пропускания около  $85 \text{ \AA}$ . Центральные длины волн узкополосных интерференционных фильтров рассчитаны для линий [O III]  $5007 \text{ \AA}$ , H $\alpha$   $6563 \text{ \AA}$ , [S II]  $6734 \text{ \AA}$  при работе в параллельном пучке.

Система сбора данных была реализована в двух вариантах: MS DOS и Linux, с управлением процессами наблюдений и обработкой на основе пакетов PCVISTA и MIDAS соответственно на ПК IBM PC IT/286. Скорость счета и квантовая эффективность широкополосной системы

Таблица 2. Технические характеристики телескопа Цейсс-1000 САО РАН (Zeiss 1982)

Система/Устройство	Параметр	Значение
Главное зеркало	свободное отверстие	1016 мм
	фокусное расстояние	4064 мм
Система Ричи–Кретьена	эквивалентное фокусное расстояние	13.3 м
	диаметр невиньетированного поля	170 мм/45'
	формат фотопластинок	16x16 см
	диаметр вспомогательного зеркала	324 мм
Система кудэ	эквивалентное фокусное расстояние	36.5 м
	диаметр невиньетированного поля	76 мм/8'
	диаметр вспомогательного зеркала	294 мм
Преобразующая система	свободное отверстие камеры	50 мм
	фокусное расстояние камеры	100 мм
	диаметр поля изображения	22 мм/33'
	формат фотопленок	25x25 мм
	фокусное расстояние контрольной трубы	420 мм
Гид-рефрактор	свободное отверстие	200 мм
	фокусное расстояние	3000 мм
	рабочий диапазон каждого суппорта	50 мм/57'
	поле зрения (для окуляра $f = 25$ мм)	21'
Искатель-рефрактор	свободное отверстие	110 мм
	фокусное расстояние	750 мм
	коэффициент увеличения	30x
	поле зрения	1°4
Устройство фокусировки	диапазон перемещения вспомогательных зеркал	80 мм
	скорость быстрого перемещения	26 мм мин <sup>-1</sup>
	скорость медленного перемещения	0.5 мм мин <sup>-1</sup>
	погрешность индикации положения зеркал	0.01 мм
	вызываемое смещение фокуса Кассегрена	9.5 мм мм <sup>-1</sup>
	вызываемое смещение фокуса кудэ	65 мм мм <sup>-1</sup>
Устройство юстировки часовой оси	диапазон изменения наклона и азимута	±45'
Скорости вращения телескопа	быстрый ход	120°/мин
	1-й тихий ход	3°/мин
	2-й тихий ход	10'/мин
	медленный ход	1'/мин
	гидирование	15'/мин
Массы основных узлов	масса трубы телескопа	4.8 т
	масса английской монтировки EM2	12 т
Купол	диаметр	8 м

**Таблица 3.** Характеристики первого на Цейсс-1000 ПЗС-фотометра

Параметр	Значение
ПЗС-матрица	K585
Формат	520 × 580 пиксел
Размер пиксела	18 × 24 мкм
Квантовая эффективность	около 60%
Шум	18e <sup>-</sup>
Поле зрения фотометра	143'' × 212''

ПЗС-фотометра приведены в таблице 4. Скорость счета для  $ADU = 1e^-$  определена по всему изображению объекта величины  $20^m$  в полосах фильтров *UBVRI*, наблюдаемому на воздушной массе 1.0.

#### 4.2. ПЗС-фотометр с внеосевым телегидом

Это прибор на базе того же фотометра и той же ПЗС-камеры (таблица 3), перед которыми устанавливалось устройство офсетного гидирования. Данный фотометр (адаптер) (SAO RAS Report 1997) предназначался для получения изображений астрономических объектов в полосах *BVRI*. Телевизионный подсмотр устанавливался на платформе на двух координатных подвижках, обеспечивая гидирование по внеосевой звезде. Для получения плоского поля в случае невозможности получения изображений утреннего или вечернего неба на платформе также был размещен источник равномерной засветки.

#### 4.3. Двухканальный поляриметр

Поляриметр был предназначен для последовательного измерения четырех параметров Стокса. В качестве приемников используются два ФЭУ. Наблюдения проводятся в системе Джонсона в фильтрах *BVR* и в среднеполосной Вильнюсской системе (Romanenko et al. 2001). Использовался электрооптический модулятор с частотой модуляции 250 Гц при измерении круговой поляризации и 1 кГц при измерении линейной поляризации. Точность измерений поляризации составляла 1% за 1 с при наблюдениях звезды 8 звездной величины в фильтре *B*.

#### 4.4. Четырехканальный электрофотометр

Четырехканальный электрофотометр предназначался для синхронной фотометрии в четырех фотометрических полосах *UBVR* системы Джонсона. Прибор был ориентирован в основном на проведение фотометрии с высоким временным разрешением вплоть до 100 наносекунд. Использовались четыре ФЭУ с близкими значениями основных параметров, включая временные характеристики (SAO RAS Report 1996). Фотометр имел восемь круглых диафрагм с размерами от 0.6 мм до 5.2 мм, что соответствует  $9''.2-79''.4$  в фокусе Кассегрена.

#### 4.5. Кудэ-эшелле-спектрометр CEGS

В связи с активным внедрением ПЗС-матриц в САО РАН в эти же годы для телескопа Цейсс-1000 был разработан новый прибор на базе кудэ-спектрографа: эшелле-спектрометр CEGS (Coude Echelle/Grating Spectrometer) (Musaev 1996) для решения задач в области астроспектроскопии с высоким и сверхвысоким разрешением. Данный прибор стал основным для спектроскопических наблюдений в фокусе кудэ. Современные требования звездной спектроскопии таковы, что необходимо обеспечить высокое спектральное разрешение ( $R > 30\,000$ ) в широком спектральном диапазоне с отношением  $S/N > 100$ . В сочетании с ПЗС-матрицей эшелле-спектрометр как раз и позволял реализовать такие предельные параметры. Кудэ-эшелле-спектрометр был собран в 1995 г. и с 1996 г. на нем проводятся наблюдения с фотоприемником на базе ПЗС-матрицы  $580 \times 520$  пиксел, с размером пикселя 24 мкм. Диаметр коллимированного пучка составляет 165 мм. Камера Шмидта (с выносом фокуса) имеет фокусное расстояние 350 мм. В качестве элемента кросс-дисперсии использованы две призмы с углами преломления  $45^\circ$ , изготовленные из стекла ЛК8 и собранные в едином блоке. Сбор информации осуществлялся уже с помощью ПК IBM PC IT-386.

#### 4.6. Поляриметр MINIPOL

Поляриметр MINIPOL позволял проводить измерения поляризации звезд до 18–19 звездной величины. Наблюдения проводились по стандартной схеме (фон–объект–фон) в *UBVRI* фотометрической системе Джонсона (Buchkov et al. 2000). В стандартной моде сигнал от объекта или фона накапливался до 60 с. За 10 минут наблюдений достигалась точность 0.1% для звезд  $V = 18^m$ .

**Таблица 4.** Скорость счета и квантовая эффективность в широкополосной системе ПЗС-фотометра

Фильтр	<i>U</i>	<i>B</i>	<i>V</i>	<i>R</i>	<i>I</i>
Скорость счета, эл/с	0.18	10.8	12.4	15.7	6.0
Поток на верхней границе атмосферы, ф/с	30	120	75	66	38
Коэффициенты экстинкции, зв.вел./возд.масса	0.62	0.32	0.18	0.11	0.07
Квантовая эффективность ПЗС+фильтры+телескоп, %	1.1	12.0	19.4	26.4	16.9
Нуль-пункты, A0 V, зенит $e^-/ADU=1$ , зв.вел.	18.14	22.58	22.73	22.99	21.95

#### 4.7. Спектрограф UAGS

В 1996 г. на телескопе начал работать новый спектральный инструмент — светосильный спектрограф умеренного разрешения UAGS (Universal Astronomical Grating Spectrograph). Правда, этот прибор являлся штатным спектрографом БТА (SAO RAS Tech. Report № 234 1995). Но необходимость проведения спектральных наблюдений с умеренным и низким разрешением возникла сразу после появления ПЗС-приемников. К началу 2000-х годов были выполнены работы по адаптации спектрографа UAGS к наблюдениям с ПЗС-приемником. Одновременно была проведена автоматизация его основных узлов. Наблюдения на UAGS стали вытеснять фотометрические исследования, занимая все большую часть календарного времени телескопа. ПЗС-детектор с матрицей  $530 \times 580$  элементов был встроен в зеркальную камеру Шмидта с внутренним фокусом. Телевизионный подсмотр щели обеспечивал уверенное гидрирование объектов до 16 звездной величины (Fomenko et al. 2003).

#### 4.8. Управляющий компьютер

Для выполнения задач управления достаточно медленными процессами движения телескопа и при обработке относительно небольших объемов данных системы управления была проведена модернизация управления телескопом с заменой ЭВМ на современную (1994 г.) на базе ПК. В качестве устройства связи с телескопом использовался крейт КАМАК, что позволило привязать цифровые блоки новой системы к силовой электромеханической части телескопа. Результирующая точность автоматического наведения телескопа составила  $15\text{--}20''$ . Новая система управления включила в себя также управление механизмом фокусировки телескопа. Кроме того, была решена задача автоматизированного контроля и синхронизации положения купола с положением трубы телескопа. До этого совмещение положения купола с трубой телескопа во время наблюдений осуществлялось вручную (Romanenko 2006).

## 5. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ МЕТОДЫ НА ТЕЛЕСКОПЕ В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

### 5.1. ПЗС-фотометр

Одним из первых основных приборов на Цейсс-1000 стал разработанный и изготовленный в САО ПЗС-фотометр, устанавливаемый в фокусе Кассегрена метрового телескопа. Он был предназначен для получения прямых изображений астрономических объектов в полосах системы Джонсона—Коузинса: *U*, *B*, *V*, *Rc*, *Ic*, а также в интегральном свете без фильтра ( $3600\text{--}10\,000 \text{ \AA}$ ).

Изображения звездообразных и протяженных объектов, полученные с помощью данного ПЗС-фотометра, позволяют определить их точные положения (сделать астрометрическую привязку) и геометрические характеристики, провести фотометрию в широких полосах спектра для изучения распределения энергии, а также решить другие задачи. Фотометрические ряды — множество однотипных измерений, представляющих собой кривую блеска, — позволяют проследить динамику развития астрономических событий на временах от секунд до десятилетий, исследовать периоды в звездных и планетных системах. Прямые изображения ощутимо дополняют другие имеющиеся данные об изучаемом объекте, способствуя формированию цельной картины, необходимой для понимания происходящих физических процессов.

Фотометр состоит из турели с шестью отверстиями для светофильтров и дискового затвора, помещенных в светозащитный корпус (рис. 2). К нижней части крепится светоприемник с криостатом для охлаждения ПЗС-матрицы до температуры жидкого азота. Прибор позволяет дистанционно менять фильтры, управлять затвором и параметрами светоприемника, а также контролировать их состояние.

В качестве светоприемника используется ПЗС-матрица EEV 4240 формата  $2048 \times 2048$  пикселей с максимальной квантовой эффективностью 82% (на длине волны  $4500 \text{ \AA}$ ) (Murzin et al. 2016). На рис. 3 показано пропускание фотометра

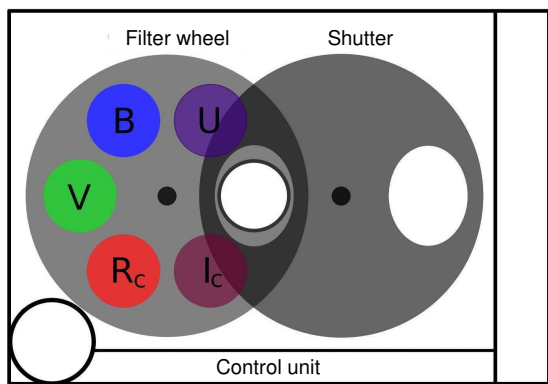


Рис. 2. Принципиальная схема ПЗС-фотометра.

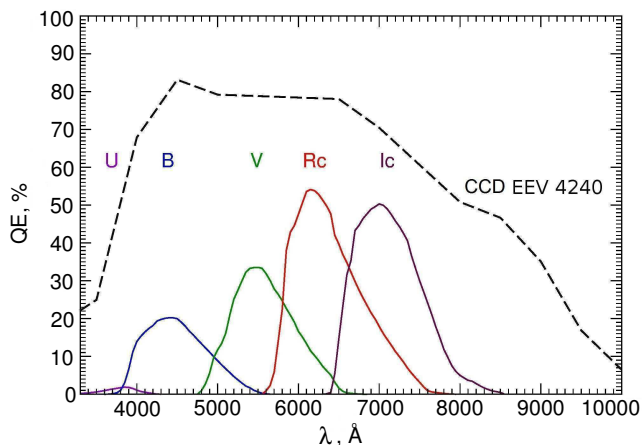


Рис. 3. Квантовая эффективность ПЗС EEV 4240 и расчетное пропускание системы (телескоп + ПЗС + фильтр) для полос  $U$ ,  $B$ ,  $V$ ,  $R_C$ ,  $I_C$ .

в различных фильтрах. Характеристики фотометра в сочетании с используемой ПЗС-системой приведены в таблице 5. Для ПЗС-матрицы EEV 4240 в красных фильтрах ( $R_C$ ,  $I_C$ ) характерно появление интерференционного узора (fringes). Удаление этого компонента подразумевает получение серии кадров с небольшими смещениями около  $20''$ . Суммарный кадр при этом будет иметь меньшую площадь, чем отдельные кадры. Ввиду инертности затвора экспозиции короче 10 с обычно не используются. Это обеспечивает уровень однородностей по полю более 99.7%. Реально используемое максимальное время отдельных экспозиций составляет 600 с. Предельная звездная величина регистрируемых объектов (проницание) в фильтре  $R_C$  достигает  $20^m3$  за 300 с при качестве изображений  $2''$  и  $22^m7$  за 3 часа суммарной экспозиции при качестве изображений  $1''8$ . Звездные величины приведены в системе Веги. Рисунок 4 демонстрирует оценку точности определения звездных величин. Методика наблюдений на ПЗС-

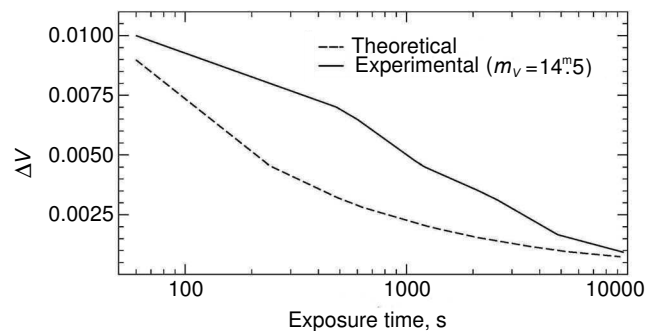


Рис. 4. Графики теоретической и экспериментальной точности регистрации в зависимости от времени накопления для ПЗС-фотометра. Данные приведены для звездобразного объекта  $14^m5$  величины в фильтре  $V$ .

фотометре телескопа Цейсс-1000 включает этапы предварительной подготовки списка объектов, получения калибровочных кадров (электронного нуля, плоского поля, темнового тока, если это необходимо), наблюдения изучаемых объектов, а также стандартных звезд для калибровки по абсолютным потокам. Обработка данных производится по стандартным алгоритмам в программных пакетах IRAF, ESO-MIDAS и аналогичных.

## 5.2. Кудэ-эшелле-спектрометр

Кудэ-эшелле-спектрометр (CEGS) продолжает оставаться основным штатным оборудованием при наблюдениях в фокусе кудэ. Его оптическая схема представлена на рис. 5.

Кудэ-эшелле-спектрометр (CEGS) предназначен для получения спектров высокого разрешения порядка  $R = 30\,000$  в широком спектральном диапазоне 3600–9000 Å. Спектрометр укомплектован анализатором циркулярной поляризации (АЦП) (Buchkov 2008) и сменными дифракционными эшелле-решетками. Расстояние между главным параболическим зеркалом ММ и вторичным гиперболическим зеркалом SM (рис. 1b) может изменяться в небольших пределах с целью фокусировки. Первое плоское эллиптической формы зеркало DM1 вводится в пучок под углом  $45^\circ$  и крепится там только на время наблюдений в фокусе кудэ. В рабочем положении зеркало DM1 неподвижно относительно зеркал ММ, SM и посылает приходящий световой пучок строго по оси склонений DM1–DM2. Второе плоское эллиптической формы зеркало DM2 постоянно находится в пучке под углом  $45^\circ$  и посылает сходящийся световой пучок строго по оси прямых восхождений DM2–F<sub>2</sub>.

Дополнительные сведения о фокусе кудэ: относительное отверстие фокуса кудэ — 1:36; масштаб на входной щели  $5''73/\text{мм}$ . При поляризационных



Таблица 5. Характеристики ПЗС-фотометра телескопа Цейсс-1000 с ПЗС EEV 42-40

Параметр	Значение
Формат кадра	2048 × 2048 пикселей
Поле зрения	7'3 × 7'3
Масштаб (без бинирования)	0''216/пиксель
Фотометрическая система	Джонсона–Коузинса
Широкополосные фильтры	<i>U, B, V, Rc, Ic</i>
Спектральный диапазон	3600–10000 Å
Коэффициент усиления (gain)	
low	2.02e <sup>-</sup> /ADU
high	0.50e <sup>-</sup> /ADU
Шум считывания (режим погнал)	3.3e <sup>-</sup>
Времена экспозиций отдельных кадров	10–600с
Предельная звездная величина (на уровне 3σ)	
<i>U</i> , 300 с, seeing = 1''5	20 <sup>m</sup> 3
<i>B</i> , 300 с, seeing = 2''0	21 <sup>m</sup> 0
<i>V</i> , 300 с, seeing = 1''8	20 <sup>m</sup> 3
<i>R<sub>C</sub></i> , 300 с, seeing = 2''0	20 <sup>m</sup> 3
<i>I<sub>C</sub></i> , 300 с, seeing = 1''6	19 <sup>m</sup> 4
<i>R<sub>C</sub></i> , 3 ч, seeing = 1''8	22 <sup>m</sup> 7

наблюдениях перед щелевой частью на специальной раме устанавливается в сходящемся пучке анализатор циркулярной поляризации (АЦП) А. Во время наблюдений поворот входной четвертьволновой фазосдвигающей пластинки на 90° может осуществляться как с помощью шагового двигателя, управляемого компьютером, так и вручную, поворотом вращающейся оправы с помощью рычага.

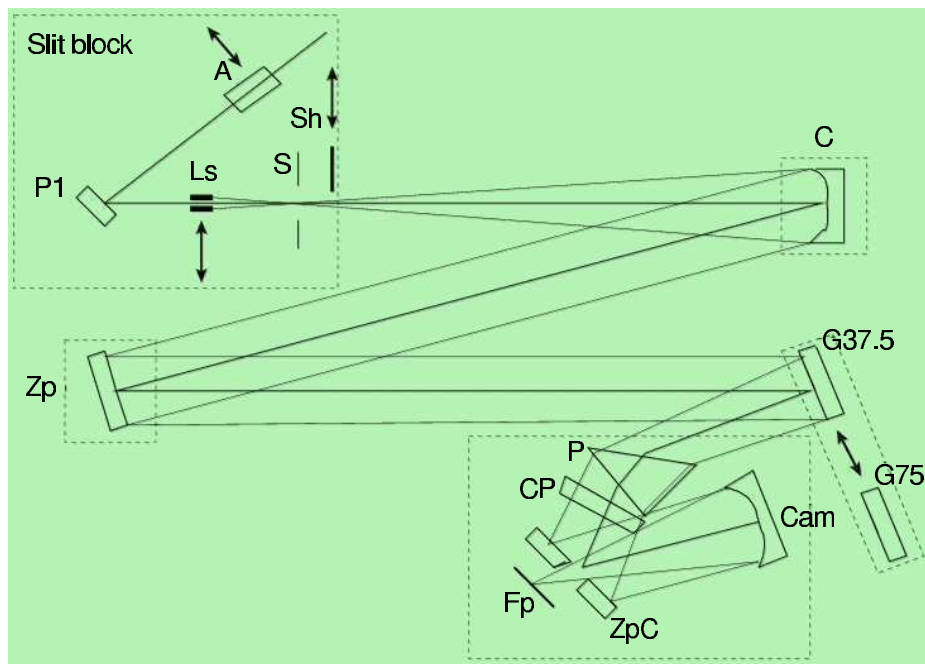
Дополнительные сведения об АЦП: разведение изображений — 2.3 мм, или 13.2''; рабочий интервал длин волн от 3300 до 9000 Å.

Плоское зеркало P1, переводящее пучок света в горизонтальную плоскость, наклонено относительно горизонта в сторону коллиматора на угол 111°49'36'', т.е.: 90° + (43°39'12'')/2 = 111°49'36''. Плоское зеркало P1 имеет возможность с помощью карданной передачи поворачиваться на 45° вокруг наклонной оси. Зеркало имеет два фиксированных положения: 1) переброс света в сторону щели спектрометра; 2) переброс света в сторону визуального подсматра поля.

Щель спектрометра S имеет два отсчетных барабана, позволяющих регулировать ширину щели в

пределах от 0 до 4 мм и длину щели в пределах от 0 до 15 мм. Величина «нормальной» щели спектрометра определялась экспериментально путем получения серии спектров рассеянного в атмосфере солнечного света с разной шириной щели. Измерения полуширины линии *FWHM* (Full width at half maximum; полная ширина на половине высоты) проводились в пикселях матрицы CRYOCAM по нескольким линиям и результаты затем усреднялись. Величина *FWHM* не меняется до ширины щели 1.07 мм, после чего увеличение ширины входной щели линейно увеличивает *FWHM* по зависимости:  $FWHM = 4.11287h + 0.110368$ , где полуширина линии — в пикселях матрицы CRYOCAM, а *h* — ширина входной щели спектрометра CEGS в миллиметрах. Также предусмотрено вращение щели вокруг оптической оси. Оно необходимо для нахождения оптимального наклона щели, т.е. такого, при котором проекция щели на дифракционную решетку должна быть перпендикулярна направлению её дисперсии.

Оптический затвор Sh имеет два режима работы: ручной и автоматический. Ручной режим ис-



**Рис. 5.** Оптическая схема кудэ-эшелле-спектрометра (CEGS): А — анализатор циркулярной поляризации (АЦП), P1 — плоское зеркало, Ls — лазер, S — щель спектрометра, Sh — оптический затвор, C — внеосевой коллиматор, G — дифракционные решётки, Zp — плоское зеркало P — блок призм, CP — коррекционная пластина, ZpC — плоское зеркало с центральным отверстием, Cam — зеркало камеры, Fr — ПЗС-матрица.

пользуется для отладки аппаратуры, автоматический необходим во время наблюдений. Управление затвором осуществляется дистанционно контроллером ПЗС-системы.

Внеосевой коллиматор С преобразует расходящийся после щели пучок света в параллельный и под углом  $3^\circ 3'$  направляет его на плоское зеркало Zp, стоящее на вращающейся вокруг вертикальной оси платформе с прецизионным механизмом вращения. Поворотом плоского зеркала Zp можно менять угол C–Zp–G, а также, отклоняя его в вертикальной плоскости, можно регулировать вертикальное положение пучка на дифракционной решетке G.

Набор дифракционных решеток (см. таблицу 6) позволяет работать в нескольких режимах наблюдений: высокой, средней, умеренной и низкой дисперсии. Данные дифракционные решетки располагаются в оправках со специальными подвижками, позволяющими перемещать решетки на направляющих. Рабочие углы  $\gamma$  (Zp–G–P) для решеток различаются. Для изменения угла  $\gamma$  при смене решеток изготовлен специальный механизм поворота стола решеток вокруг вертикальной оси. Крайние положения поворота угла решеток ограничены упорами, в которых закреплены индикаторы положения, позволяющие с высокой степенью точности выставить положение решетки по углу  $\gamma$ . После эшелле-решеток следует элемент кросс-дисперсии P, состоящий из двух 45-градусных

призм, изготовленных из оптического стекла ЛК8 и смонтированных в едином блоке. Далее следует элемент CP — коррекционная пластина. Следующий элемент — плоское зеркало с центральным отверстием, которое посылает уже разложенный по порядкам пучок света на зеркало камеры Cam с фокусным расстоянием  $f = 450$  мм. После зеркала камеры сходящийся пучок света проходит через центральное отверстие в плоском зеркале и попадает через оптическое окно на ПЗС-матрицу Fr. Вся ПЗС-система крепится к специальной прямоугольной платформе, имеющей юстировочные винты и микрометры-индикаторы по углам, что позволяет добиваться наилучшего совмещения плоского ПЗС-приемника с выпуклой менiscoобразной формой фокальной поверхности камеры.

Для высокодисперсионного метода наблюдений используются дифракционные решетки G37.5 и G75, предназначенные для работы в высоких порядках ( $N = 50-100$ ). При проведении спектрофотометрических исследований обычно используется эшелле-решетка 37.5 штр./мм. Она позволяет регистрировать одновременно до 60–70 перекрывающихся по длинам волн эшелле-порядков, а также излучение звезд спектрального класса A0–F0 до  $9000 \text{ \AA}$ . При проведении магнитных измерений обычно используется эшелле-решетка 75 штр./мм, дающая вдвое большее угловое разведение между порядками и таким образом позволяющая прово-

**Таблица 6.** Параметры дифракционных решеток эшелле-спектрометра CEGS

Тип решетки	Размер, мм	Угол блеска, град.	штр/мм
G37.5	200 × 300	63.5	37.5
G75	200 × 300	63.5	75
G600-1	200 × 200	24	600
G600-2	200 × 200	8	600

дить наблюдения с анализатором циркулярной поляризации, т.е. регистрировать зеемановские спектры. Обратная линейная дисперсия составляет в среднем  $4 \text{ \AA mm}^{-1}$ . При этом регистрируются одновременно до 30–35 не перекрывающихся по длинам порядков.

Для варианта наблюдений средней дисперсии используется дифракционная решетка G600-1, обеспечивающая обратную линейную дисперсию  $21 \text{ \AA mm}^{-1}$  на втором порядке и  $14 \text{ \AA mm}^{-1}$  на третьем порядке. Оба порядка регистрируются одновременно.

В режиме работы умеренной дисперсии используется дифракционная эшелле-решетка G600-2, обеспечивающая обратную линейную дисперсию  $50 \text{ \AA mm}^{-1}$ . В данном методе наблюдений в качестве основного диспергирующего элемента применяется призма, обеспечивающая обратную линейную дисперсию  $150 \text{ \AA mm}^{-1}$  в районе линии  $H\alpha$ .

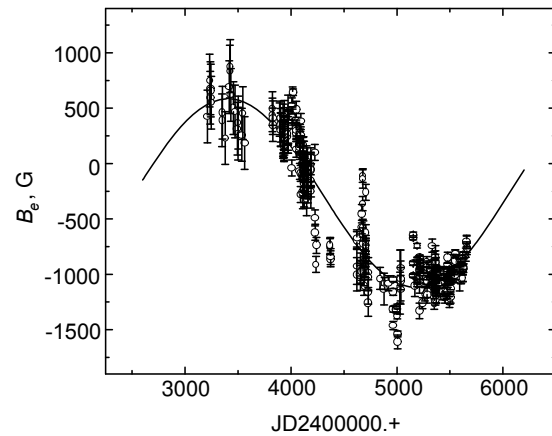
В последнее время наблюдения проводятся только в двух режимах: высокой и средней дисперсии. Для обоих вариантов (G37.5 и G75) предельная звездная величина в хорошую погоду для часовой экспозиции равна примерно  $7^m$ .

Дополнительные сведения о спектрометре: широкощельность — 17.3; угол между нормалью к первой грани первой призмы (по направлению светового луча от решетки) и прямой, соединяющей центр первой грани первой призмы с центром решетки, равен  $33^\circ$ .

С 2015 г. кудэ-эшелле-спектрометр работал с ПЗС-приемником EEV 4240, описанным выше. В настоящее время используется ПЗС-камера Apogee Aspen CG16M (Komarov and Semenko 2018).

Одним из перспективных направлений исследований магнитных полей звезд, проводимых на Цейсс-1000, является магнитный мониторинг долгопериодических магнитных звезд. Приведем два наиболее показательных примера.

Так, мы уточнили период магнитной переменности широко известной магнитной Ар-звезды



**Рис. 6.** Полный набор доступных измерений  $B_e$  в зависимости от времени (в JD) для  $\gamma$  Equ. Измерения  $B_e$  сделаны по линиям металлов. Сплошная линия — магнитная фазовая кривая, рассчитанная для периода 97.16 года (Bychkov et al. 2016).

$\gamma$  Equ (рис. 7). По оценкам, полученным на 1-м телескопе, он составляет

$$P_{\text{rot}} = 35462.5 \pm 1149 \text{ сут} = 97.16 \pm 3.15 \text{ год},$$

что больше принятого ранее значения.

Благодаря магнитному мониторингу на 1-м телескопе очень интересной Ар-звезды GY And удалось уточнить ее период и параметры переменности магнитного поля (Metlova et al. 2014):  $P_{\text{rot}} = 7936.5 \pm 22 \text{ дня}$  (21.7 года) (см. рис. 7).

### 5.3. Спектрограф UAGS

Для реализации метода спектроскопии протяженных астрономических объектов в диапазоне длин волн 360–1000 нм со средним спектральным разрешением используется Универсальный астрономический дифракционный спектрограф с длинной щелью (Спектрограф UAGS). Оптическая схема представлена на рис. 8.

В настоящее время UAGS является одним из основных штатных приборов в наблюдениях на Цейсс-1000. Для получения спектров используются дифракционные решетки R325, R400, R1302,

Таблица 7. Параметры дифракционных решеток спектрографа UAGS

Решетка	штрих/мм	Спектральный диапазон, Å	Дисперсия, Å/пиксель	Спектральное разрешение, Å
R325	325	3700–7500	2.5	7.5
R400	400	3600–8000	2.1	6.3
R1302 ( $\phi = 43^\circ 10'$ )	1302	3880–6300	0.5	1.5
R1302 ( $\phi = 53^\circ$ )	1302	5750–7050	0.7	2.1

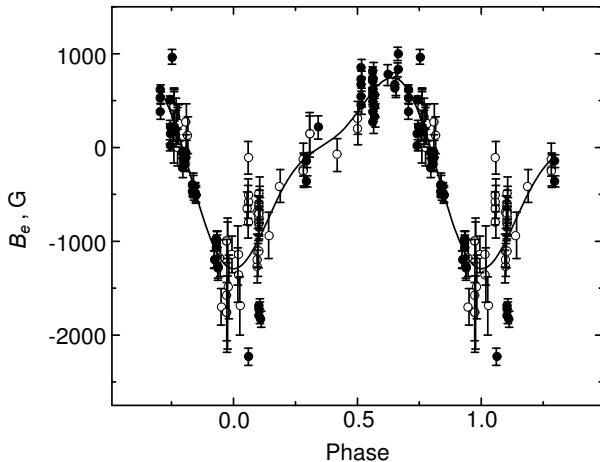


Рис. 7. Переменность магнитного поля Ар-звезды GY And с периодом  $P_{\text{rot}} = 7936.5 \pm 22$  дня. Заполненные кружки соответствуют результатам, полученным на Цейсс-1000 САО РАН, светлые кружки — из работы Metlova et al. (2014).

параметры которых приведены в таблице 7. Благодаря широкому выбору дифракционных решеток на спектрографе решается широкий спектр астрофизических задач — от изучения слабых внегалактических объектов (до 16 зв. вел.) до исследования ярких звезд (6–8 зв. вел.).

Регистрация спектра осуществляется с помощью ПЗС-приемника (E EV 4240,  $2048 \times 2048$ ,  $13.5 \times 13.5$  мкм), установленного на Шмидт–Кассегрен-камеру ( $F = 150$  мм). Спектры получают без бинирования в режиме *high* или *norm*, что соответствует дискретизации отсчетов  $0.52e^-/ADU$ , шуму считывания около  $2e^-$  и масштабу вдоль щели  $1.35''/\text{пиксель}$ .

Для калибровки спектра в длинах волн используется источник линейчатого спектра He+Ne+Ar. Выставление объекта в щели спектрографа и гидрирование (по офсетной звезде) осуществляется по изображению окружающего объекта поля размером  $5' \times 4'$ .

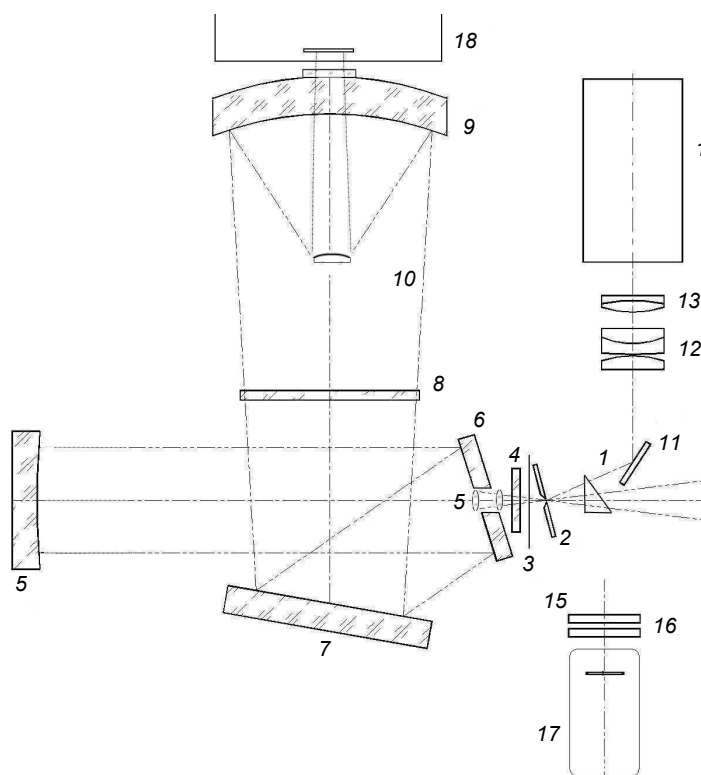
Эффективность спектрографа с решеткой R400 иллюстрирует рис. 9, на котором приведен спектр стандартной звезды BD +25°6455с.

На рис. 10 представлен спектр сейфертовской галактики I типа Agr 102B, полученный 28/29 июня 2017 г. с дифракционной решеткой R400, ширина щели  $4''$ , суммарная экспозиция  $1200 \times 8$  с. Яркость активного ядра галактики составляла  $V = 15^m 14$  в диафрагме  $10''$ . На рисунке указаны яркие эмиссионные линии и положение пиков в двугорбой широкой компоненте  $H\alpha$ .

## 6. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ НА ЦЕЙСС-1000 В НАСТОЯЩЕЕ ВРЕМЯ

С 2013 г. телескоп Цейсс-1000 выходит на новый уровень наблюдений: создается автоматизированная система управления с одновременной модернизацией целого ряда основных узлов телескопа (Vlasyuk et al. 2014). Проводится замена релейного управления электрическими приводами и преобразователями «угол–код» на осях телескопа, замена привода купола и установка преобразователя «угол–код», реконструкция электропривода и механизма фокусировки телескопа, реконструкция цепей электропитания и заземления на телескопе. Это позволило, в отличие от значительного числа существующих проектов автоматизации и роботизации астрономических телескопов, интегрировать все наблюдательные инструменты 1-м телескопа с его управляющей системой, в том числе и с возможностью проведения удаленных наблюдений на базе полностью автоматизированных программ наблюдений.

Замена систем управления приводами осей телескопа, датчиков главных осей, реализация алгоритмов расчетов и сопровождения с обратной связью по датчикам позволили повысить точность наведения телескопа до  $3''$  по прямому восхождению и  $7''$  по склонению, значительно улучшить качество сопровождения, в том числе с возможностью программного слежения для объектов с собственным движением. На рис. 11 приведен пример наблюдений комет и искусственных спутников (SAO RAS Report 2015). Отметим, что в своем текущем состоянии Цейсс-1000 может более–менее хорошо сопровождать только «высокие» спутники: GPS,



**Рис. 8.** Оптическая схема UAGS (для компактности рисунка элементы показаны в произвольном масштабе, цифрами указаны основные из них). Элементы 1, 11–17 относятся к предщелевой части спектрографа. 2 — щель спектрографа; 3 — затвор спектрографа; 4 — порядкоразделительный фильтр; 5 — зеркально-линзовый коллиматор; 6 — плоское диагональное зеркало; 7 — дифракционная решетка. Полукомпактная камера Шмидта–Кассегрена с полеспрямляющей линзой: 8 — коррекционная пластина, 9 — полукомпактное сложное зеркало камеры с полеспрямляющей призмой, 10 — вторичное зеркало камеры Шмидта. Узел подсмотра щели: 11 — плоское диагональное зеркало подсмотра щели, 12 — объектив переброса изображения щели, 13 — подфокусирующая линза, 14 — ПЗС-камера подсмотра. Узел осветительной системы спектра сравнения: 1 — отклоняющая призма, 15 — матовое стекло, 16 — фильтр, выравнивающий яркость линейчатого спектра, 17 — источник спектра сравнения. 18 — ПЗС-камера.

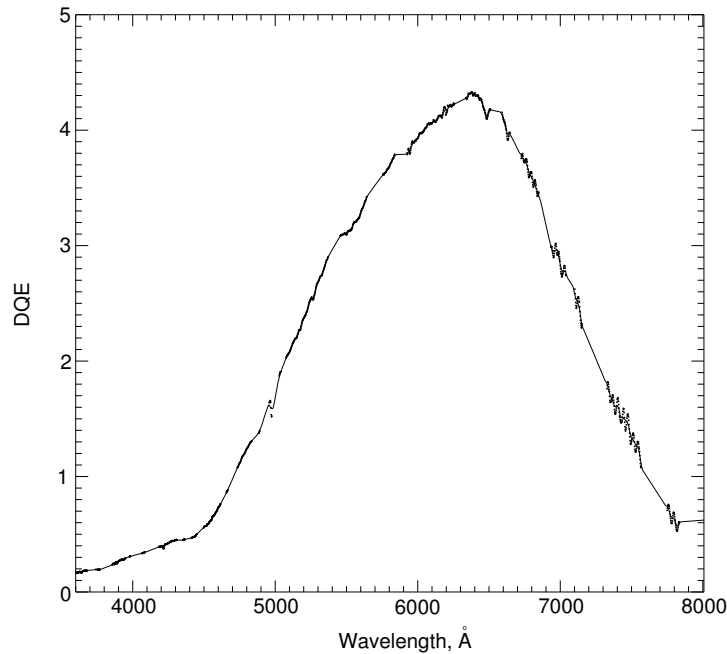
ГЛОНАСС и выше. Хорошо отслеживаются геостационарные объекты — скорость их смещения по небу укладывается в пределы двигателей 2-й ступени коррекции. Двигатели 1-й ступени коррекции плохо держат заданную скорость, поэтому более низколетящие, т.е. более «быстрые» спутники, сопровождаются плохо.

В 2015 г. была выполнена юстировка оптической системы телескопа. Она позволила восстановить качество оптической системы до первоначального состояния и довести уровень ее согласования к качеству изображений, близкому к дифракционному пределу. На рис. 12 показаны расчетные и реальные графики концентрации энергии в круге до и после юстировки (Drabek et al. 2017). В целом вся оптико-механическая система телескопа позволяет теперь получать качество изображений порядка  $0''.5$  по уровню 80% энергии в отличие от  $1''.26$  до юстировки.

В 2020 г. завершена работа по автоматизации фокусировки телескопа, что означает завершение

комплексной автоматизации всех систем управления телескопом. Наблюдения по всем методам стали проводиться в удаленном режиме бесперебойно. Комплексная автоматизация механики телескопа и юстировка оптической системы позволили значительно расширить наблюдательные возможности телескопа Цейсс-1000 САО РАН. Однако для реализации новых методов наблюдений на телескопе необходима и новая аппаратура.

С 2018 г. на телескопе проводятся технические испытания многорежимного фотометра-поляриметра (Multi-Mode Photometer-Polarimeter, ММРП) (Emelyanov and Fakhullin 2019). Прибор устанавливается в фокусе Кассегрена и комплектуется камерой Eagle-V с жидкостным охлаждением (до  $-100^{\circ}\text{C}$ ). Две турели по пять позиций могут использоваться с высокоэффективными интерференционными фильтрами широкополосной системы Джонсона–Коузинса (диаметром 50 мм, производства Astrodon), а также с более узкополосными фильтрами, центрированными на основ-



**Рис. 9.** Спектр стандартной звезды BD +25°6455 ( $V = 9^m76$ ) получен 27/28 августа 2018 г. при качестве изображения  $3''6$  (R400, ширина щели  $s = 4''$ ,  $T_{\text{exp}} = 600 \times 2$ ,  $\text{gain} = 2.08$ ).

ные эмиссионные линии изучаемых объектов. В поляриметрическом режиме имеется возможность изучения линейной и круговой поляризации. По сравнению со стеклянными фильтрами, применяемыми в ПЗС-фотометре, интерференционные дают заметное увеличение эффективности наблюдений, а сочетание нескольких методик в одном приборе делает ММРП современным инструментом для решения широкого круга фотометрических и поляриметрических задач.

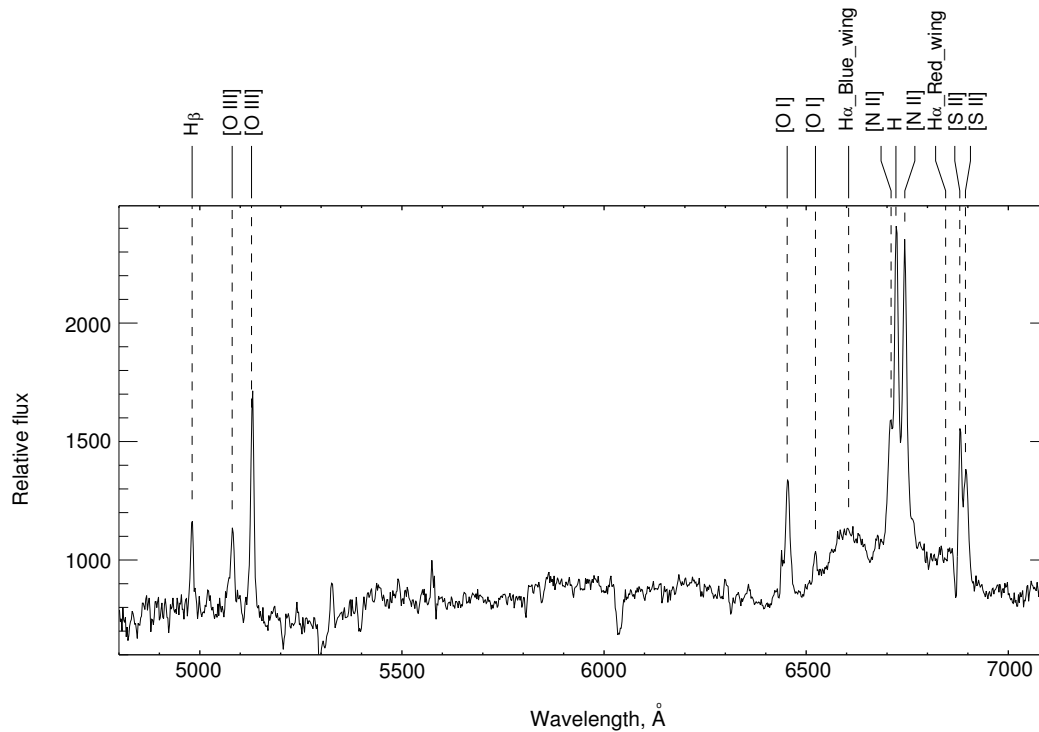
Один из примеров, иллюстрирующий его эффективность в режиме поляриметрии, приведен на рис. 13. Представлены результаты измерений круговой поляризации у ряда белых карликов с очень сильными магнитными полями, вплоть до нескольких сотен МГс, и белых карликов с нулевым полем (наблюдатели В. Н. Аитов и Г. Г. Валявин). По горизонтальной оси отложен номер наблюдательной ночи, по вертикальной — величина интегральной круговой поляризации в процентах. Две точки вверху (объединены эллипсом красного цвета) иллюстрируют наблюдения классического сильномагнитного белого карлика GRW +70°8247. Экстремально сильное магнитное поле этой звезды величиной около 360 МГс генерирует в ее спектре круговую поляризацию в 3–4%. Поляризация видна на уровне  $30\sigma$ . Этот результат, а также результаты наблюдений других магнитных белых карликов — WD 1312+098, демонстрирующего переменное из-за вращения магнитное поле, классического сильномагнитного белого карлика

WD 1748+708 (группы точек в синих эллипсах) и белых карликов с нулевым магнитным полем (одиночные, не объединенные в эллипсы точки) — подтверждают возможность использования поляриметра для измерений круговой поляризации у звезд вплоть до 17 звездной величины с точностью до 0.1%.

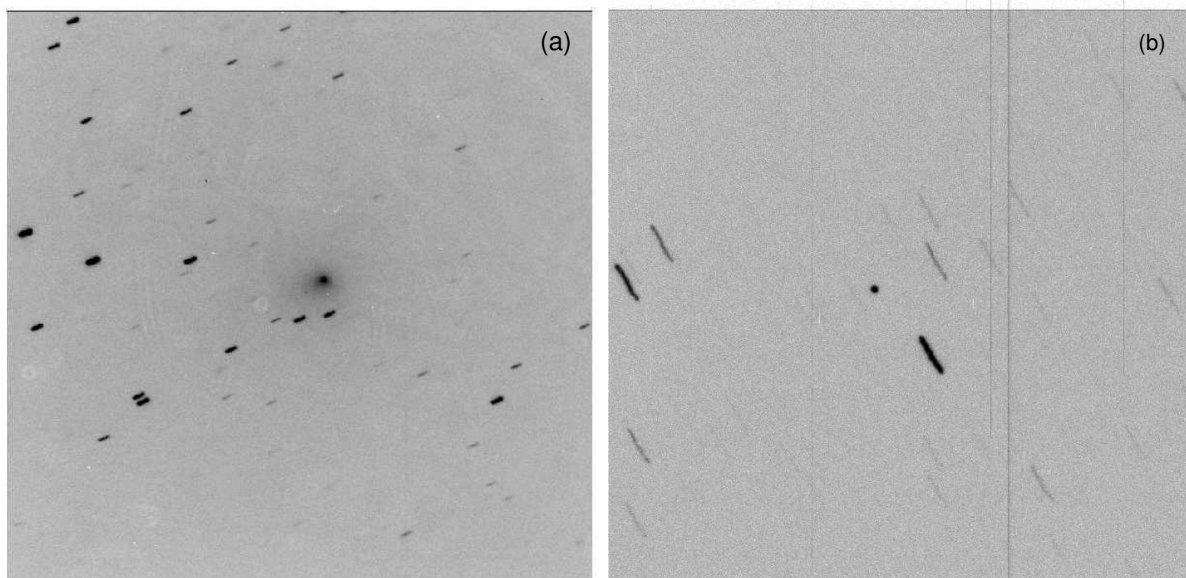
Еще одна из возможностей использования нового фотометра-поляриметра ММРП реализована в программе поиска кандидатов в поляры. Габдеев и др. (2020) развивают новую методику массового отбора таких объектов по результатам среднеполосной фотометрии.

Результаты многополосной фотометрии по данным, полученным на Цейсс-1000 с ПЗС-фотометром и фотометром-поляриметром ММРП, были использованы для построения кривой блеска необычной переменной звезды — красной новой V838 Mon (Goranskij et al. 2020).

Последние два года на телескопе ведутся также наблюдения с новыми «гостевыми» приборами: фотометром-картировщиком узких галактических линий с перенастраиваемыми фильтрами MaNGaL (Perepelitsyn et al. 2018) и Стоксполяриметром StoP. С помощью этих инструментов проводятся исследования ионизованного газа в галактиках и изучение областей формирования широких линий AGN (Malygin et al. 2020, Uklein et al. 2019).



**Рис. 10.** Спектр  $Sy1$  галактики Mrk 102B, полученный 28/29 июня 2017 г. на телескопе Цейсс-1000 с спектрографом UAGS+ПЗС-камера с EEV CCD 42-40. Подробнее см. в тексте.



**Рис. 11.** ПЗС-изображения (a) поля кометы 154P/Brewington (без редукиции,  $T_{\text{exp}} = 5$  мин) и (b) спутника GPS PRN-13 ( $T_{\text{exp}} = 1$  с).

## 7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье мы постарались относительно подробно описать все этапы истории Цейсс-1000 САО РАН, отразив наиболее важные, по нашему мнению, аспекты в работе как самого телескопа, так и устанавливаемого на нем оборудования. Мы

посчитали необходимым упомянуть все основные приборы и методы наблюдений. Примечательно, что три из них являются штатными на протяжении многих лет. Телескоп работает уже почти три десятка лет. За весь период наблюдений на Цейсс-1000 были проведены астрофизические исследования по

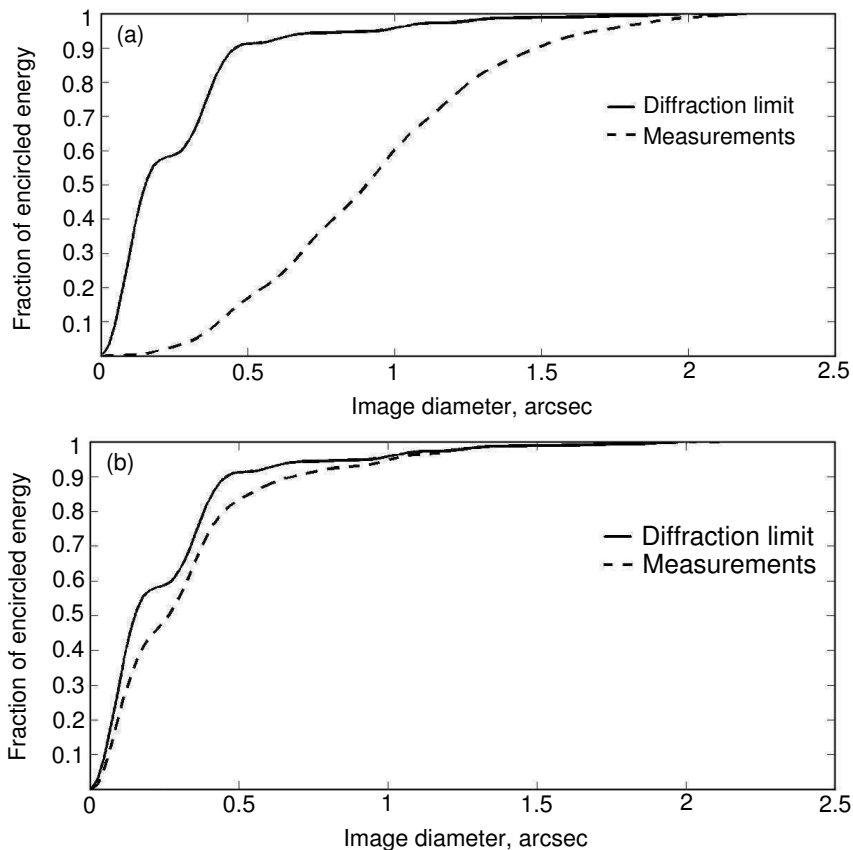


Рис. 12. Графики концентрации энергии в кружке до (а) и после (б) юстировки. Размер кружка EE80 составляет 1''26 и около 0''5 соответственно.

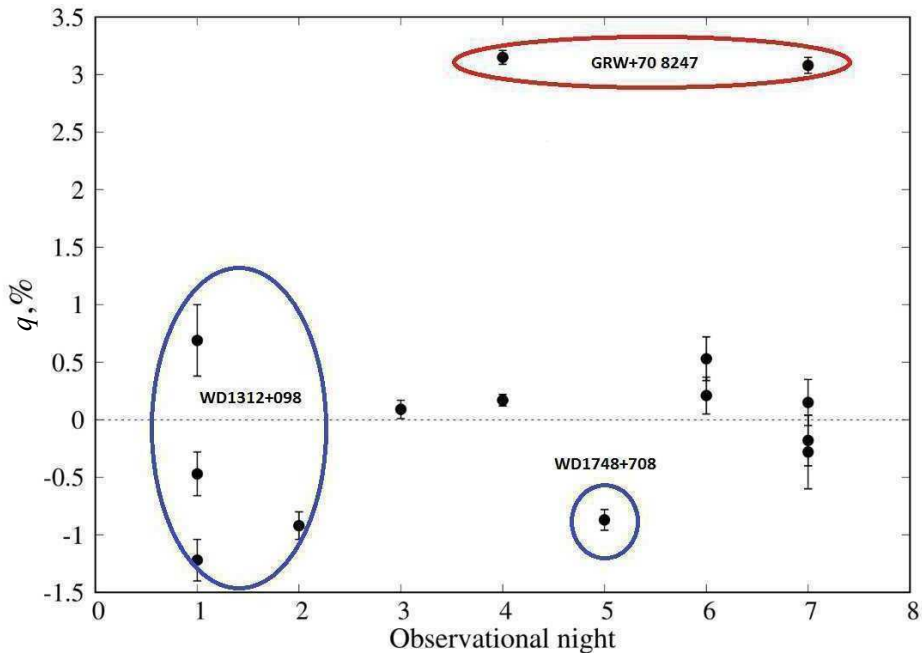


Рис. 13. Результаты измерений циркулярной поляризации излучения белых карликов по данным ММРР.



сотням программ. Один из последних примеров — наблюдения звезды, образовавшейся в результате слияния двух белых карликов (Gvaramadze et al. 2019). Чтобы сделать работу телескопа более эффективной и вывести ее на уровень, соответствующий современным требованиям, были проведены работы по модернизации целого ряда основных узлов телескопа и создана новая автоматизированная система управления. В результате повысились точность наведения и сопровождения объектов. А также появились новые возможности наблюдения объектов, имеющих заметное собственное движение, таких, как кометы, спутники и астероиды. Выполнение работ по юстировке оптической системы позволило улучшить ее качество и довести уровень ее согласования к качеству изображений близко к дифракционному пределу. В настоящее время телескоп является многозадачным инструментом с удаленным управлением и использованием различных наблюдательных комплексов. Создание новых приборов расширило список исследовательских работ. Появились новые наблюдательные программы по поиску одиночных магнитных белых карликов, по фотометрии тесных двойных систем и транзитов экзопланет. Поляриметрические исследования стали проводиться на регулярной основе. Актуальность штатного оборудования и современных методов наблюдений на Цейсс-1000 САО РАН подтверждается их непрерывной работой и большим количеством заявок, которые были, есть и, надеемся, будут в ближайшей перспективе.

#### ФИНАНСИРОВАНИЕ

В. Н. Аитов благодарит Российский фонд фундаментальных исследований (грант 18-29-21030) за поддержку его участия в наблюдениях. Наблюдения на телескопах САО РАН выполняются при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (включая соглашение № 05.619.21.0016, уникальный идентификатор проекта RFMEFI61919X0016).

#### КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. I. I. Balega, Y. Y. Balega, I. N. Belkin, et al., *Bull. Special Astrophysical Observatory* **35**, 9 (1993).
2. V. D. Bychkov, *Astrophysical Bulletin* **63** (1), 83 (2008).
3. V. D. Bychkov, L. V. Bychkova, and J. Madej, *Monthly Notices Royal Astron. Soc.* **455** (3), 2567 (2016).
4. V. D. Bychkov, V. P. Romanenko, and L. V. Bychkova, *Bull. Special Astrophysical Observatory* **49**, 147 (2000).
5. S. V. Drabek, V. V. Komarov, S. A. Potanin, et al., *Astrophysical Bulletin* **72** (2), 206 (2017).
6. E. V. Emelyanov and T. A. Fakhullin, in *Proc. 9th All-Russian science conf. on Systemnyj Sintez i prikladnaya sinergetika* (SFEDU Press, Rostov-On-Don, 2019), pp. 216–221.
7. A. F. Fomenko, V. V. Komarov, V. N. Komarova, and N. A. Fomenko, *Bull. Special Astrophysical Observatory* **55**, 146 (2003).
8. M. M. Gabdeev, T. A. Fatkhullin, and N. V. Borisov, *Astrophysical Bulletin* **75** (3), 360 (2020).
9. V. P. Goranskij, E. A. Barsukova, A. N. Burenkov, et al., *Astrophysical Bulletin* **75** (3), 325 (2020).
10. V. V. Gvaramadze, G. Gräfener, N. Langer, et al., *Nature* **569** (7758), 684 (2019).
11. N. V. Karpov, A. V. Sergeev, V. K. Taradii, and M. V. Andreev, *Izvestiya KRAO* **2**, 203 (2013).
12. N. N. Kiselev, M. N. Maksumov, and P. V. Shcheglov, *Jena Review* **33** (2), 88 (1988).
13. P. Köhler, D. Gutcke, and H.-J. Teske, *Jenaer Rundschau* **32**, 189 (1987).
14. G. I. Kokhirova, S. V. Kryuchkov, I. V. Nikolenko, et al., *Ecological Bull. Research Centers of the Black Sea Economic Cooperation* **4** (3), 83 (2017).
15. V. V. Komarov and E. Semenko, *Izvestiya SFedU. Engineering Sciences* **7**, 32 (2018).
16. E. Malygin, R. Uklein, E. Shablovinskaya, et al., *Contr. Astronomical Observatory Skalnaté Pleso* **50** (1), 328 (2020).
17. N. V. Metlova, V. D. Bychkov, L. V. Bychkova, and J. Madej, *Astrophysical Bulletin* **69** (3), 315 (2014).
18. V. A. Murzin, S. V. Markelov, V. I. Ardilanov, et al., *Uspekhi prikladnoi fiziki* **4**, 500 (2016).
19. F. A. Musaev, *Astronomy Letters* **22** (5), 715 (1996).
20. A. E. Perepelitsyn, A. V. Moiseev, and D. V. Oparin, *Izvestiya GAO* **226**, 65 (2018).
21. I. D. Romanenko, I. D. Naidenov, S. V. Moiseev, and V. D. Bychkov, *Bull. Special Astrophysical Observatory* **51**, 115 (2001).
22. V. Romanenko, *Mekhatronika, avtomatizatsiya, upravlenie* **5**, 42 (2006).
23. V. P. Romanenko, *Tech. Report № 136, SAO RAS (Special Astrophysical Observatory RAS, 1999)*.
24. *SAO RAS Annual Report 1993–94 (1995)*.
25. *SAO RAS Annual Report 1995 (1996)*.
26. *SAO RAS Annual Report 1996 (1997)*.
27. *SAO RAS Annual Report 1997 (1998)*.
28. *SAO RAS Annual Report 2014 (2015)*.
29. V. L. Afanasiev, A. N. Burenkov, V. V. Vlasyuk, and S. V. Drabek, *Tech. Report № 234, SAO RAS (Special Astrophysical Observatory RAS, 1995)*.
30. R. I. Uklein, E. A. Malygin, E. S. Shablovinskaya, et al., *Astrophysical Bulletin* **74** (4) (2019).
31. V. S. Vlasyuk, S. V. Drabek, V. V. Komarov, and V. V. Shergin, in *Ground-based and Space Optics-electronic Complexes* (Lytkarino, Russia, 2014), p. 81.
32. *Zeiss-1000, Technical documentation (GDR, 1982)*.

**Zeiss-1000 SAO RAS: Instruments and Methods of Observation**

**V. V. Komarov<sup>1</sup>, A. S. Moskvitin<sup>1</sup>, V. D. Bychkov<sup>1</sup>, A. N. Burenkov<sup>1</sup>, S. V. Drabek<sup>1</sup>,  
V. S. Shergin<sup>1</sup>, E. V. Emelianov<sup>1</sup>, V. N. Komarova<sup>1</sup>, V. P. Romanenko<sup>1</sup>, and V. N. Aitov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Special Astrophysical Observatory, Russian Academy of Sciences, Nizhnii Arkhyz, 369167 Russia

The paper describes the Zeiss-1000, one meter telescope of the Special Astrophysical Observatory of the Russian Academy of Sciences (SAO RAS), the history of the development of its observational methods and perspective areas of astrophysical research. Detailed attention is paid to instruments and methods of observation, which are in service nowadays.

Keywords: *telescopes—techniques: photometric, polarimetric, spectroscopic—methods: observational*