

УДК 004.9 + 520.84

## Архивы спектральных наблюдений КрАО. Каталоги объектов и изображений

А.А. Шляпников<sup>1</sup>, М.А. Горбунов<sup>1</sup>, М.А. Горбачев<sup>2,1</sup>, Р.Р. Акметдинов<sup>3</sup>

<sup>1</sup> ФГБУН “Крымская астрофизическая обсерватория РАН”, Научный, Крым, 298409  
*aas@crasrimea.ru*

<sup>2</sup> ФГАОУ ВО “Казанский (Приволжский) федеральный университет”, Казань, Татарстан, Россия, 420000  
*mark-gorbachev@rambler.ru*

<sup>3</sup> ФГБОУВО “МГУ имени М.В. Ломоносова”, Ленинские горы, 1, Москва, Россия, 119991  
*rusak812@gmail.com*

Поступила в редакцию 26 марта 2019 г.

**Аннотация.** Работа, описанная в данной статье, является продолжением ранее начатых исследований по архивным спектральным наблюдениям, выполненным в Крыму. Она охватывает интервал времени около 90 лет и содержит информацию о спектроскопии с использованием различных телескопов: от широкоугольных астрографов с объективной призмой до главного телескопа КрАО – ЗТШ. Рассмотрена краткая история инструментов, их оборудование. Статья проиллюстрирована возможностями сетевого доступа к каталогам наблюдений на различных инструментах в интерактивном атласе неба Aladin с переадресацией к оригинальным спектрограммам. Для них выполнено преобразование линейных координат отсканированных негативов в шкалу, соответствующую длинам волн. Показаны возможности учета спектральной чувствительности регистрируемых изображений для получения распределения энергии. Особенностью представляемой работы является связь оцифрованных оригинальных наблюдений и результатов их независимой обработки с данными, опубликованными для объектов в журнале “Известия Крымской астрофизической обсерватории”.

ARCHIVES OF CRAO SPECTRAL OBSERVATIONS. CATALOGS OF OBJECTS AND IMAGES, by A.A. Shlyapnikov, M.A. Gorbunov, M.A. Gorbachev and R.R. Akmetdinov. The work described in this article is a continuation of the previously initiated research on archival spectral observations carried out in Crimea. It covers a time interval of about 90 years and contains information about spectroscopy using various facilities: from the wide-angle astrographs with an objective prism to the main CrAO telescope – ZTSh. A brief history of telescopes and their equipment is presented. The article is illustrated with possibilities of a network access to the catalogs of observations taken with various instruments in the interactive Aladin Sky Atlas with the redirection to original spectrograms. To this aim, the linear coordinates of scanned negatives were converted into a scale which corresponds to the wavelengths. The possibilities of taking into account the spectral sensitivity of the recorded images by the absolute energy distribution are shown. A feature of this work is the connection of digitized original observations and results of their independent processing with the data published for objects in the *Izvestiya Krymskoi Astrofizicheskoi Observatorii*.

**Ключевые слова:** архивы наблюдений, базы данных, спектры, каталоги

---

## 1 Введение

Обширный архив спектральных наблюдений накоплен за более чем вековую историю астрономических наблюдений в Крымской астрофизической обсерватории (КрАО). Он включает в себя как фотопластинки и фото пленки, полученные на астрографах с объективной призмой и на телескопах с различными спектрографами, так и фотоэлектрические, телевизионные и ПЗС-записи (Polosukhina et al., 1998; Gorbunov, Shlyapnikov, 2013; Pakuliak et al., 2014).

Для большей части архивов составлено описание и подготовлены списки наблюдений и каталоги объектов в цифровом формате. Некоторые из них размещены на сервере КрАО и доступны в сетевом режиме. В данной работе собраны некоторые рекомендации по использованию спектральных архивов обсерватории.

## 2 Краткое описание архивов

### 2.1 Спектроскопия с объективной призмой

Коллекция спектральных наблюдений, выполненных с объективной призмой, состоит из трех частей, что обусловлено инструментами, на которых были получены негативы. В таблице 1 приведены основные характеристики астрографов и дисперсия для оцифрованных спектрограмм.

Таблица 1.

| Название спектрографа | Диаметр объектива (мм) | Фокусное расстояние (мм) | Дисперсия у линии $H_{\alpha}$ ( $\text{\AA}/\text{pix}$ ) |
|-----------------------|------------------------|--------------------------|--|
| Унар (Unar)           | 117                    | 600                      | 1.5  |
| Догмар (Dogmar)       | 167                    | 750                      | 1.4  |
| 400-mm                | 400                    | 1600                     | 1.5  |

Архив СОПКА<sup>1</sup> содержит около 1000 спектральных пластин, полученных на астрографах с объективами “Унар”, “Догмар” и 400 мм в период с 1929 по 1965 годы. Большую часть коллекции составляют негативы с наблюдениями, выполненными по проекту “План академика Г.А. Шайна”<sup>2</sup>, организованному для изучения структуры Галактики в 1950–1965 годах (Pronik, 2005). По результатам реализации этого проекта было составлено 13 каталогов, содержащих около 35 тысяч звезд, с определенными фотометрическими и спектральными характеристиками (Горбунов, Шляпников, 2017а; Горбунов, Шляпников, 2017б).

На рис. 1 представлен двойной 400-мм астрограф КрАО, использованный при реализации “Плана академика Г.А. Шайна”. В передней части одного из телескопов укреплялась объективная призма, в результате чего в фокальной плоскости астрографа получались изображения спектров звезд (см. рис. 3). Второй телескоп применялся для регистрации прямых изображений. Комбинация эмульсий позволяла проводить фотометрию в трех полосах.

Рисунок 2 иллюстрирует покрытие небесной сферы фотографическими пластинами из коллекции СОПКА. В основном негативы получены вдоль Млечного Пути.



Рис. 1. Двойной 400-мм астрограф КрАО

<sup>1</sup> Сокращения, используемые в ресурсе Крымской Астрономической Виртуальной Обсерватории (КрАВО): “Спектроскопия с объективной призмой. Коллекция астрографических негативов” (КрАВО СОПКА), или английский вариант “Spectroscopy with Objective Prism” (CrAVO SwOP).

<sup>2</sup> “План Г.А. Шайна” на сервере КрАО: <http://www.crao.ru/~aas/PROJECTs/SPP0SS/SPP0SS.html>.

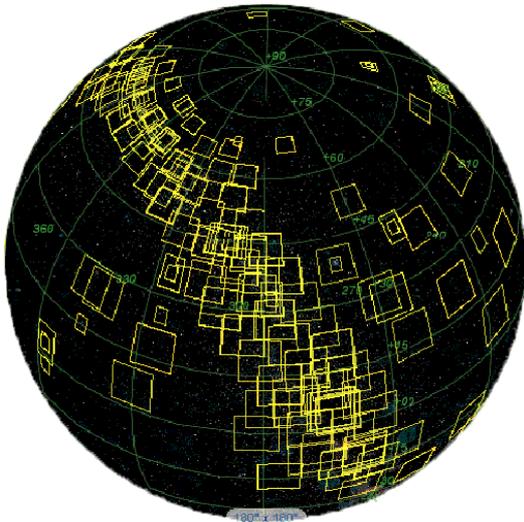


Рис. 2. Коллекция СОПКА на небесной сфере

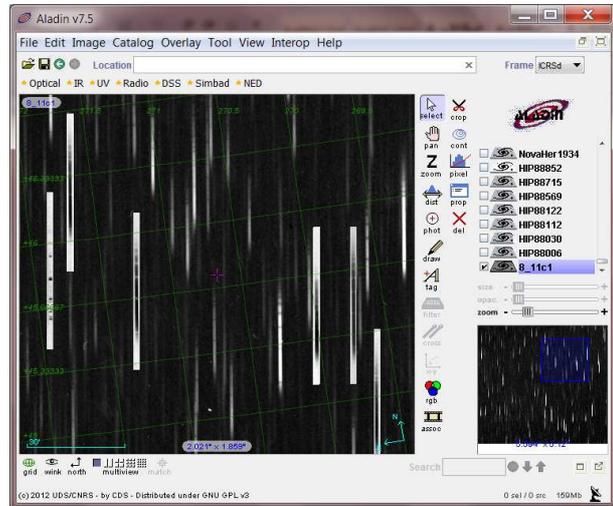


Рис. 3. Фрагмент негатива из архива СОПКА

На рис. 3 приведен фрагмент негатива из архива СОПКА, снятого с объективной призмой и загруженного в интерактивный атлас неба Aladin (Bonfanel et al., 2000). Выделены спектры, описанные в разделе 3.2.

## 2.2 Спектроскопия с целевыми спектрографами. Краткое описание

### 2.2.1 40-дюймовый рефлектор фирмы “Goward Grubb”

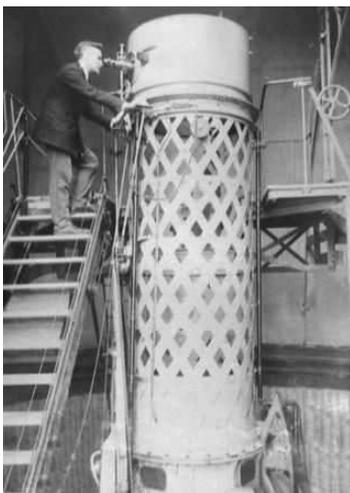


Рис. 4. Метровый телескоп Симеизской обсерватории

40-дюймовый (1000 мм) телескоп (рис. 4) для существовавшего тогда Симеизского отделения Главной Пулковской обсерватории был заказан в 1912 году английской фирме “Goward Grubb”. Сначала Первая мировая война, а затем последовавшие за ней события в Российской империи задержали доставку телескопа в Крым на 13 лет. Монтаж телескопа был начат в октябре 1925 года, а 28 мая 1926 года на нем был получен первый снимок. Телескоп имел фокус Ньютона – 5200 мм и фокус Кассегрена – 18600 мм. Впоследствии 40-дюймовый рефлектор был оснащен большим однопризменным спектрографом с термостатом и двумя камерами, имеющими разное фокусное расстояние, кварцевым спектрографом для ньютоновского фокуса и кассетой для прямых снимков (Шайн, 1926; Крючков и др., 2009).

Основной программой исследований на Симеизском 1000-мм рефлекторе стало наблюдение двойных звезд и определение лучевых скоростей звезд (Шайн, 1929; Shajn, Albitzky, 1932).

Телескоп был вывезен в Германию во время Второй мировой войны; после ее окончания найден, но оказался непригодным для восстановления.

### 2.2.2 48-дюймовый (1220 мм) рефлектор фирмы Цейса (Zeiss-50<sup>3</sup>)

48-дюймовый (1220 мм) телескоп<sup>3</sup> (рис. 5) был изготовлен немецкой фирмой “Карл Цейс” для Берлинско-Бабельсбергской обсерватории в 1909 г. Из-за Первой мировой войны и последовавшего за ней мирового кризиса телескоп начал свои регулярные наблюдения только в 1924 г. 48-дюймовый рефлектор оставался крупнейшим телескопом Европы в течение 20 лет (с 1924 по 1944 гг.). После Второй мировой войны телескоп был перемещен в Крымскую астрофизическую обсерваторию взамен разрушенного метрового телескопа Симеизской обсерватории. Телескоп имеет систему Кассегрена – Нэсмита с эквивалентным фокусным расстоянием 24000 мм. Был снабжен тремя спектрографами: большим “стеклянным”, кварцевым и дифракционным АСП-11. Последний спектрограф работал и в сочетании с электронно-оптическим преобразователем ФКТ-1А.

В статье И.М. Копылова (1954) приведена детальная информация об исследовании 48” телескопа, а история инструмента описана К.Н. Гранкиным (2013). Астрономические исследования на телескопе, выполнявшиеся в Крымской астрофизической обсерватории, представлены в статьях А.А. Боярчука (2013) и Т.М. Рачковской (2013).

Вторая часть 109-го тома “Известий КрАО” содержит материалы международной конференции “Телескоп Zeiss-50”: первые сто лет на службе астрономии”, которая прошла в обсерватории в 2012 году.



Рис. 5. 48” рефлектор КрАО

### 2.2.3 2600-мм телескоп имени академика Г.А. Шайна (ЗТШ)

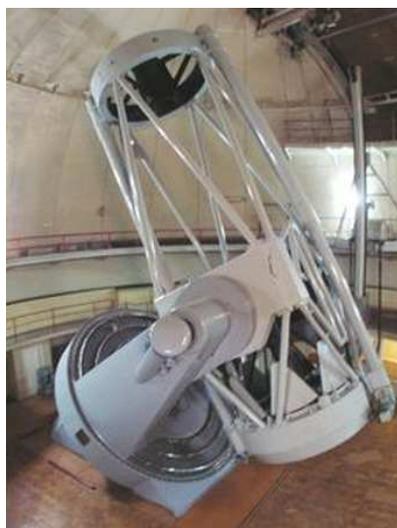


Рис. 6. Телескоп ЗТШ

Построенный на Ленинградском оптико-механическом объединении (ЛОМО) и названный в честь академика Г.А. Шайна, в 1961 г. начал работать ЗТШ – наибольший оптический телескоп КрАО (рис. 6). Инструмент имеет четыре оптические схемы, в которых было установлено следующее оборудование. В прямом фокусе (9965 мм) – бесцелевые спектрографы: СП-79, СП-80 и СП-110. В системе Кассегрена (42500 мм) – дифракционный ПЗС-спектрометр. В системе Нэсмита (40750 мм) – спектрографы: СП-72, СПЭМ с ЭОПом и ПЗС. В фокусе куде (104250 мм) – спектрографы: АСП-14, дифракционный ПЗС-спектрометр, звездный спектрограф с эшелле (Иоаннисиани и др., 1976; Гершберг, 1995).

Спектральный архив ЗТШ за период с 1964 по 2000 годы содержит информацию о 378 объектах, наблюдавшихся фотографическим способом (приблизительно по 3000 записей для прямых снимков и для регистрации с ЭОПом), и о 845 объектах, спектры которых были получены с ПЗС-детекторами (около 50000 изображений). На рис. 9 фотографические наблюдения обозначены желтыми маркерами, а ПЗС – красными окружностями.

<sup>3</sup> 1220-мм рефлектор в КрАО часто называли “Пятидесяткой”, округляя его 48 дюймов до 50.

### 2.2.4 Архивы наблюдений и базы данных

Спектральные фотографические архивы наблюдений, выполненные на трех описанных выше телескопах, содержатся в “стеклянной” библиотеке КраО. В основе баз данных лежат журналы наблюдений и публикации результатов их обработки.

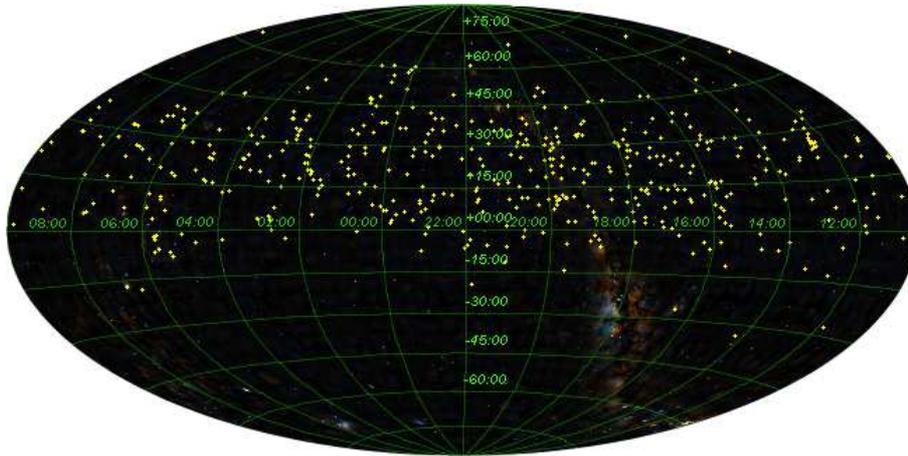


Рис. 7. Распределение на небесной сфере объектов, наблюдавшихся на 1000-мм телескопе

База данных спектроскопии на Симеизском 1-м телескопе содержит более 3000 записей. На основе нее создан ajs-файл (Aladin Java Script) для 491 объекта, который обеспечивает доступ к информации о звездах с помощью программы Aladin (рис. 7).

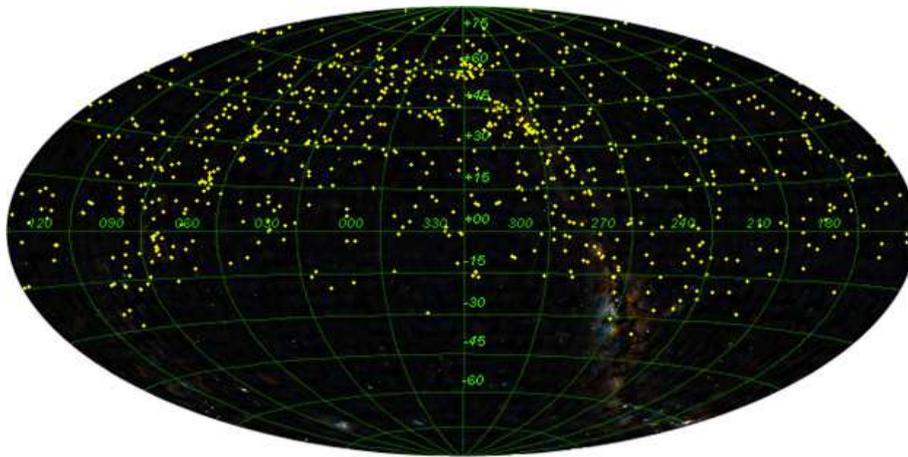


Рис. 8. Распределение на небесной сфере объектов, наблюдавшихся на 48'' телескопе

В 2013 году была опубликована статья “Небо пятидесятки”: каталог и библиография объектов, наблюдавшихся на Zeiss 50''. Обновляемая версия” (Шляпников, 2013) и ее дополнение (Долгов, Шляпников, 2013). В базе данных спектральных наблюдений содержится 5570 записей. Для доступа в Aladin создан ajs-файл, в который вошли 808 объектов (рис. 8).

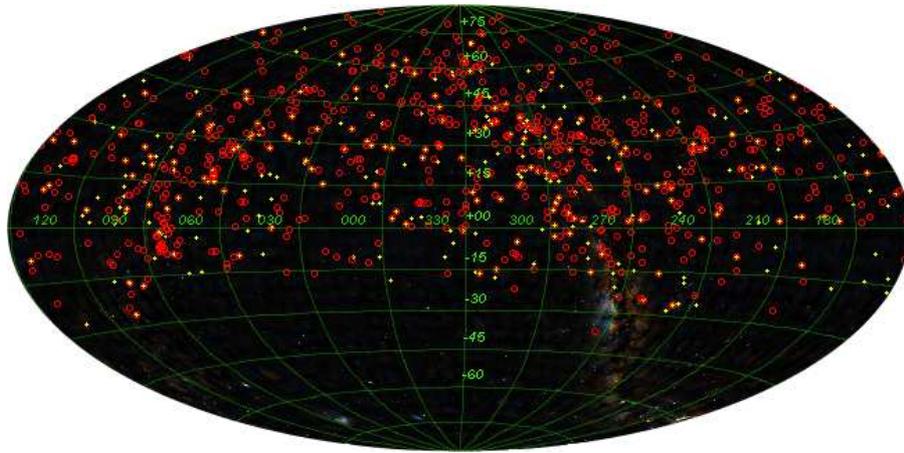


Рис. 9. Распределение на небе объектов ЗТШ (пояснения в тексте)

База данных спектральных фотографических наблюдений на ЗТШ включает 1223 записи об объектах. Информация доступна в интерактивном атласе неба Aladin (рис. 9).

### 3 Калибровки и примеры цифровых версий спектров

#### 3.1 Дисперсионные кривые и спектральная чувствительность

Калибровки по длинам волн цифровых версий наблюдений, выполненных с объективной призмой, производятся по наиболее характерным спектральным линиям. Для щелевых призмённых спектрограмм – по спектру сравнения. Примеры таких дисперсионных кривых приведены на рис. 10 и рис. 11.

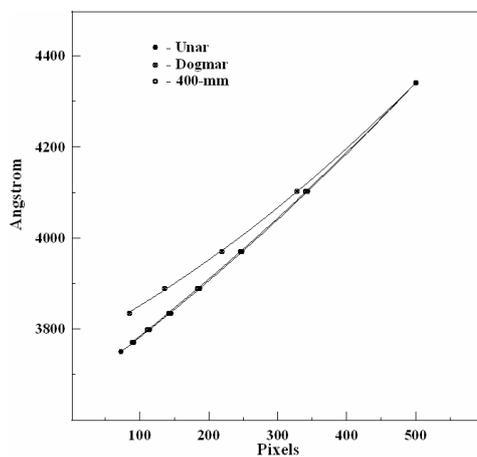


Рис. 10.

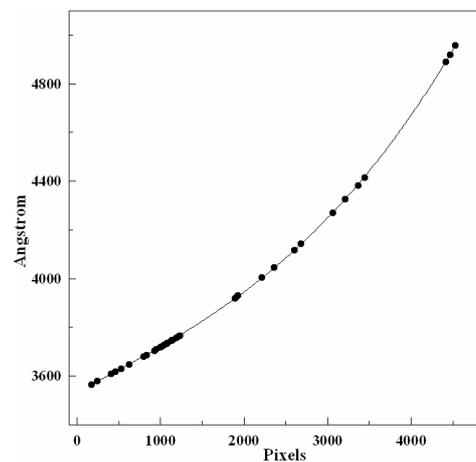


Рис. 11.

Сравнение нормированных данных спектрофотометрического стандарта (черная линия) с данными, извлеченными для объекта из оцифрованного негатива (красная линия), показано на рис. 12. А рис. 13 демонстрирует определенную спектральную чувствительность изображения (по данным рис. 12) для дальнейшей редукции спектров, извлеченных из негативов, полученных с объективной призмой.

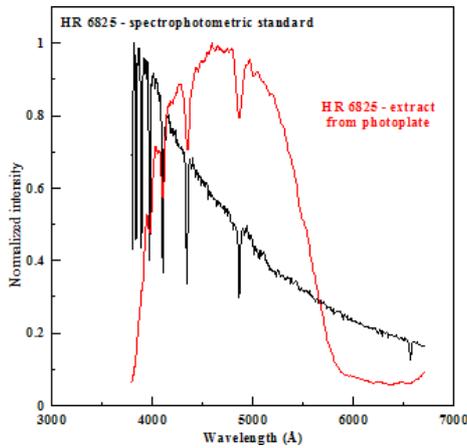


Рис. 12.

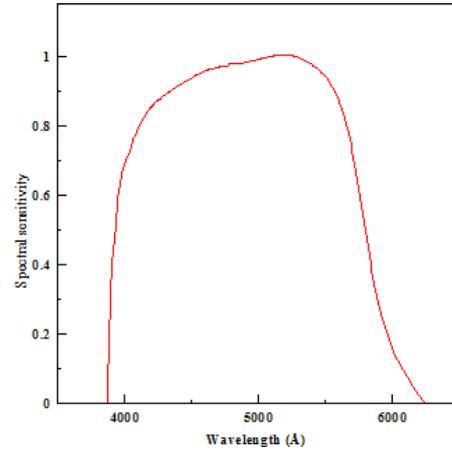


Рис. 13.

### 3.2 Редукция шкалы изображения спектра низкой дисперсии в ангстремы

Ниже, на рис. 14, представлен пример перевода шкалы пикселей в ангстремы для спектра из архива СОПКА. Рис. 14а иллюстрирует извлеченный с помощью программы Aladin из негатива, полученного с объективной призмой, спектр звезды HIP 88569 (в верхней части). Звезда имеет спектральный

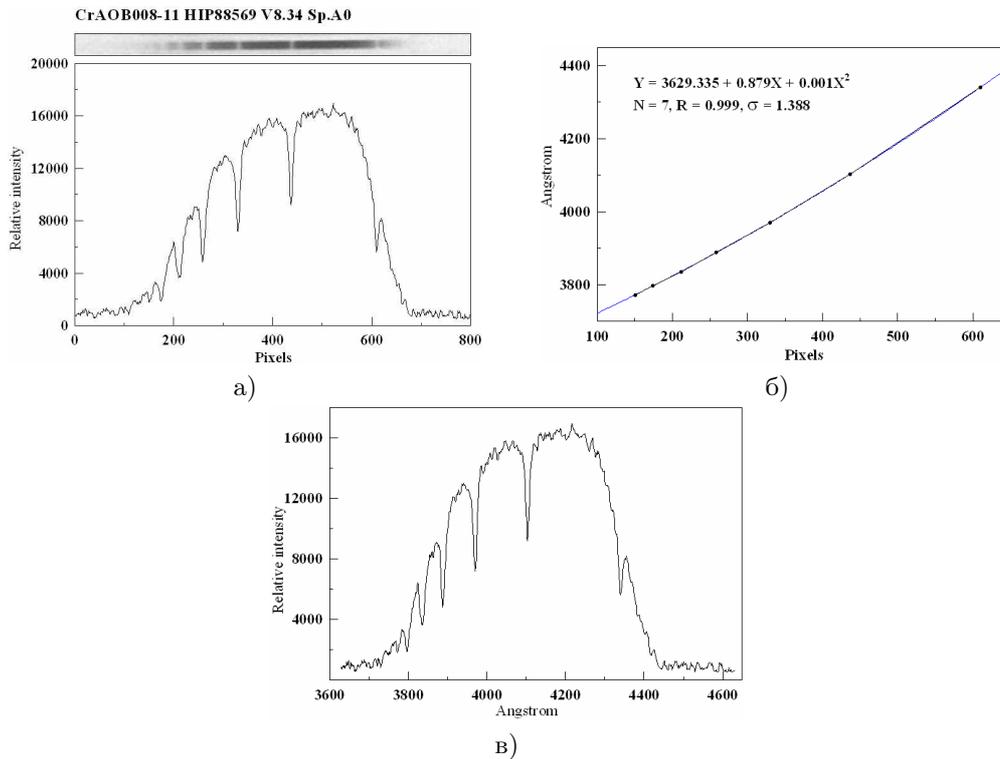


Рис. 14.

класс A0 и звездную величину  $8^m.34$  в полосе V. Сокращение CrAOV008-11 соответствует тому, что исходный негатив имеет номер 11 в коробке 8 архива спектральных наблюдений КрАО. В нижней части рисунка представлен фотометрический разрез изображения спектра.

На рис. 14б приведена калибровочная кривая для редукции шкалы пикселей в ангстремы, построенная по центрам тяжести основных спектральных линий HIP 88569 на уровне половины интен-

сивности в зависимости от соответствующей длины волны. Аппроксимирующая функция представляет собой полином второй степени с коэффициентами, найденными методом наименьших квадратов по семи значениям пиксел – длина волны. Коэффициент корреляции данных близок к единичному значению при ошибке в определении длины волны  $\sim 1 \text{ \AA}$ .

Рис. 14в представляет собой финальный результат трансформации шкалы пикселей в изображении спектра низкой дисперсии в шкалу длин волн, выраженную в ангстремах.

### 3.3 Перевод шкалы пикселей в ангстремы для спектров с высокой дисперсией

Трансформация шкалы пикселей в ангстремы осуществлялась по спектру сравнения (полый железный катод с аргоновым наполнением), который впечатан над и под спектрограммой AG Peg (рис. 15а). Для построения дисперсионной кривой (пример на рис. 11) положение центров тяжести

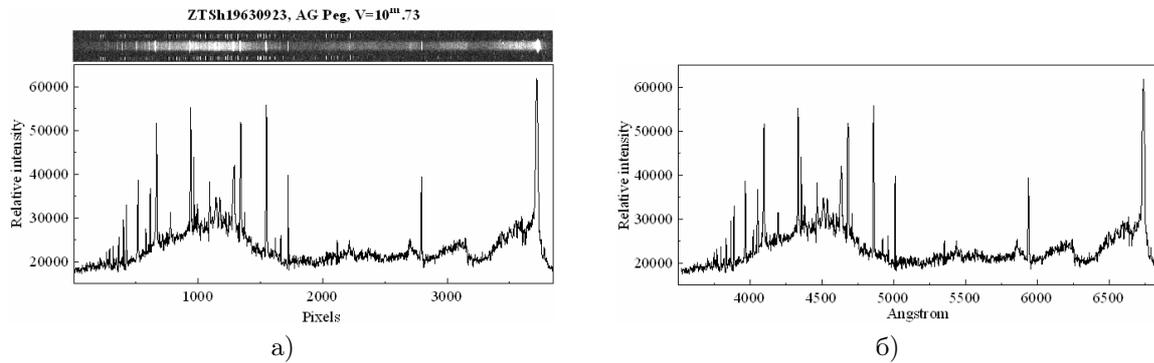


Рис. 15.

профилей избранных спектральных линий верхнего и нижнего фотометрического разреза спектра сравнения усреднялись с целью устранения возможного перекоса изображения. Результат перевода шкалы пикселей в ангстремы показан на рисунке 15б.

## 4 Интерактивный доступ и обработка цифровых версий спектров

### 4.1 Представление информации в HTML-формате

На рисунке 16 приведен фрагмент HTML-страницы, обеспечивающей доступ к цифровой версии спектрограмм из архива академика А.А. Боярчука. Здесь показаны дата получения негатива и его

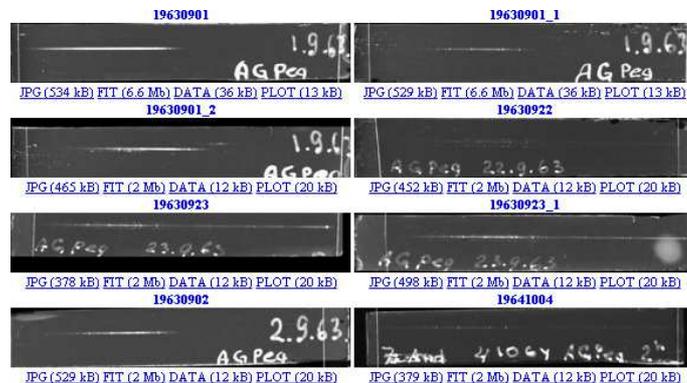


Рис. 16.

номер по журналу наблюдений, изображения уменьшенных копий негативов, гиперссылки (обозначены на рис. 16 синим цветом) к отсканированной фотопластинке в JPG- и FIT-форматах, переход к данным фотометрического разреза и отображающему его рисунку.

## 4.2 Идентификация спектральных линий

Для проведения идентификации спектральных линий в отсканированном спектре AG Peg его фотометрический разрез был подготовлен в формате, поддерживаемом программой *Specview*, разработанной в Научном институте космического телескопа (Busko, 2000). Программа является приложением Международной виртуальной обсерватории и обеспечивает интерактивный доступ к размещенной в сети информации, в том числе к спектральным архивам КрАО.

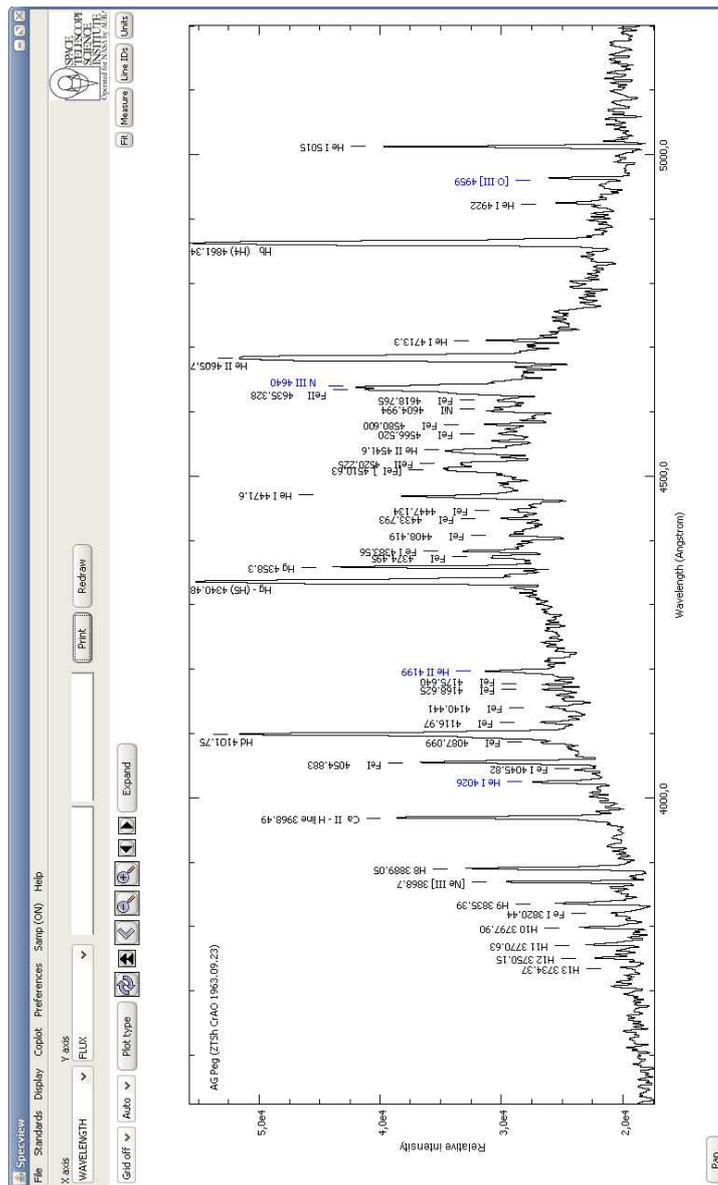


Рис. 17.

Из набора спектральных линий, содержащихся в базе данных *Specview*, отбирались те, которые наиболее хорошо видны. На рис. 17 показан интерфейс программы и указаны химические элементы с соответствующими им длинами волн. Синим цветом показаны небулярные линии.

Отметим, что независимая идентификация спектральных линий по оцифрованному спектру AG Peg хорошо согласуется с информацией, опубликованной для этой звезды в 35-ом томе “Известий Крымской астрофизической обсерватории”. В статье “Спектроскопические наблюдения симбиотических звезд Z And, AG Peg и AG Dra в 1963 г.” (Боярчук, Гершберг, 1966) приведена информация об относительных интенсивностях 50 спектральных линий AG Peg. На рис. 17 указаны 42 наиболее хорошо видимые спектральные линии на одном из оцифрованных архивных негативов.

Больше примеров цифровых версий фотографических спектральных архивов описано нами в статье “Examples of Digital Versions of the CRAO Spectral Photographic Archives” (Gorbunov, Shlyapnikov, 2013).

## 5 Заключение

При выполнении работы, описанной в статье, продолжена каталогизация спектральных наблюдений КрАО. Отработана процедура сканирования негативов на сканере Epson Perfection V370 Photo, их калибровка, написание HTML-, VOTable- и AJS-файлов для онлайн-доступа к архивной информации. На портале Крымской астрономической виртуальной обсерватории создана специальная страница, посвященная цифровым спектральным архивам КрАО, доступ к которой можно получить по ссылке: [http://www.crao.ru/~aas/Spectral\\_Digital\\_Archives/CrAVO\\_SDA.html](http://www.crao.ru/~aas/Spectral_Digital_Archives/CrAVO_SDA.html)

**Благодарности.** При подготовке базы данных авторы активно пользовались поддерживаемыми Центром астрономических данных в Страсбурге приложениями SIMBAD, Vizier и ALADIN, а также библиографическим сервисом SAO/NASA ADS. Мы признательны всем, кто обеспечивает их работу.

М.А. Горбунов и М.А. Горбачев благодарят Российский фонд фундаментальных исследований за поддержку проделанной работы за счет гранта № 18-32-00775.

## Литература

- Боярчук А.А., 2013. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 109. № 2. С. 113. [Boyarchuk A.A., 2013. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 109, no. 2, p. 113. (In Russ.)]
- Боярчук А.А., Гершберг Р.Е., 1966. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 35. С. 3. [Boyarchuk A.A., Gershberg R.E., 1966. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 35, p. 3. (In Russ.)]
- Гершберг Р.Е., 1995. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 90. С. 97. [Gershberg R.E., 1995. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 90, p. 97. (In Russ.)]
- Горбунов М.А., Шляпников А.А., 2017а. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 113. № 1. С. 10. [Gorbunov M.A., Shlyapnikov A.A., 2017a. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 113, no. 1, p. 10. (In Russ.)]
- Горбунов М.А., Шляпников А.А., 2017б. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 113. № 1. С. 20. [Gorbunov M.A., Shlyapnikov A.A., 2017b. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 113, no. 1, p. 20. (In Russ.)]
- Гранкин К.Н., 2013. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 109. № 2. С. 105. [Grankin K.N., 2013. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 109, no. 2, p. 105. (In Russ.)]
- Долгов А.А., Шляпников А.А., 2013. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 109. № 2. С. 165. [Dolgov A.A., Shlyapnikov A.A., 2013. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 109, no. 2, p. 165. (In Russ.)]
- Иоаннисиани Б.К., Тамбовский Г.А., Коншин В.М., 1976. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 55. С. 208. [Ioannisiani B.K., Tambovskii G.A., Konshin V.M., 1976. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 55, p. 208. (In Russ.)]
- Копылов И.М., 1954. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 11. С. 44. [Kopylov I.M., 1954. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 11, p. 44. (In Russ.)]
- Крючков С.В. и др., 2009. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 104. № 6. С. 188. [Kryuchkov S.V. et al., 2009. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 104, no. 6, p. 188. (In Russ.)]

- Рачковская Т.М., 2013. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 109. № 2. С. 118. [Rachkovskaya T.M., 2013. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 109, no. 2, p. 118. (In Russ.)]
- Шайн Г.А., 1926. Известия ГАО РАН. Т. 10. № 97. С. 450. [Shain G.A., 1926. *Izvestiya GAO RAN*, vol. 10, no. 97, p. 450. (In Russ.)]
- Шайн Г.А., 1929. Известия ГАО РАН. Т. 11. № 103. С. 199. [Shain G.A., 1929. *Izvestiya GAO RAN*, vol. 11, no. 103, p. 199. (In Russ.)]
- Шляпников А.А., 2013. Изв. Крымск. Астрофиз. Обсерв. Т. 109. № 2. С. 169. [Shlyapnikov A.A., 2013. *Izv. Krymsk. Astrofiz. Observ.*, vol. 109, no. 2, p. 169. (In Russ.)]
- Bonnarel F. et al., 2000. *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.*, vol. 143, p. 33.
- Busko I., 2000. *ASP Conf. Ser.*, vol. 216, p. 79.
- Gorbunov M., Shlyapnikov A., 2013. *Odessa Astron. Publ.*, vol. 26, p. 229.
- Pakuliak L., Shlyapnikov A., Rosenbush A., and Gorbunov M., 2014. In Singh H.P., et al. (Eds), *International Workshop on Stellar Spectral Libraries, ASI Conf. Ser.*, vol. 11, pp. 103–106.
- Polosukhina N.S., Malanushenko V.P., Galkina T.S., Yavorskaya N.I., 1998. *Bull. Crim. Astrophys. Obs.*, vol. 94, p. 224.
- Pronik I.I., 2005. *Kinem. Fiz. Nebesn. Tel, Suppl.*, vol. 5, pp. 250–258.
- Shajn G., Albitzky V., 1932. *Mon. Not. Roy. Astron. Soc.*, vol. 92, p. 771.