

Техника наблюдений звезд с высоким спектральным разрешением

В.Е. ПАНЧУК,
доктор физико-математических наук
САО РАН

Для того, чтобы оценить место и роль приборов высокого спектрального разрешения, созданных в начале



1970-х гг. для 6-м телескопе БТА, следует вспомнить основные этапы развития данного направления.

ИСТОРИЯ НАПРАВЛЕНИЯ И ТИПЫ ЗАДАЧ

Спектральное разрешение удобно определять безразмерной величиной $R = \lambda/\delta\lambda$, где λ – длина волны, а $\delta\lambda$ – ширина аппаратной функции спектрографа. Во второй половине XIX в. астрономы выполнили первые наблюдения звезд с высокими значениями R . В 1920-е гг. в сочетании с теорией

переноса излучения и первыми достижениями в физике атома, спектры звезд послужили эмпирической основой нового направления – астрофизики. По мере того, как возрастала величина R , выполнялись новые программы спектроскопии звезд. По фотографическим спектрам с $R \sim 1000$ была создана первая классификация звезд (каталог HD), к середине XX в. – двумерная клас-

сификация (по температуре и светимости), а позже, с применением электронно-оптических преобразователей и телевизионных сканеров, измерялись красные смещения далеких объектов. По спектрам с $R = 10\,000$ (нижняя граница диапазона высокого разрешения) можно исследовать спектроскопические двойные звезды, определять характеристики, химический

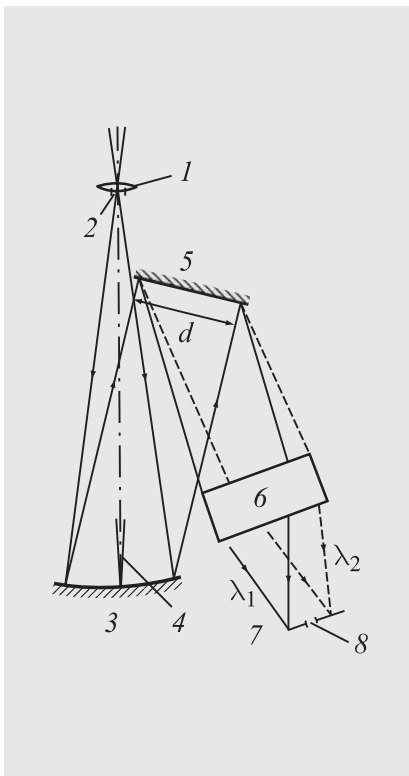


Схема классического дифракционного спектрографа: 1 – изображение звезды в фокальной плоскости телескопа, 2 – линейная ширина щели, 3 – вогнутое зеркало объектива коллиматора, 4 – угловая ширина щели, 5 – дифракционная решетка (штрихи перпендикулярны плоскости рисунка), 6 – линзовый (или зеркально-линзовый) объектив камеры, 7 – плоскость светоприемника, 8 – линейная ширина проекции щели на приемнике. Соотношение ширины щели (2) и ее проекции (8) пропорционально соотношению фокусных расстояний коллиматора и камеры.

состав и напряженность магнитного поля звездных атмосфер, измерять скорости осевого вращения звезд. При величине $R = 100\,000$ (верхняя граница диапазона высокого

разрешения) можно детально изучать профили атомных линий, что позволяет исследовать конвективные движения в фотосферах и особенности звездного ветра. Кроме того, измерение слабых атомных линий открывает возможность определения содержания химических элементов, критичных для теории звездного нуклеосинтеза. Эти элементы (литий, бериллий, бор, торий, уран, технеций) имеют низкую концентрацию и представлены в оптическом диапазоне немногочисленными линиями, профили которых искажены (блендированы) линиями элементов группы железа. Значения $R > 100\,000$ – это область сверхвысокого разрешения; здесь открывается возможность исследовать соотношения изотопов и тонкую структуру околосредних оболочек. В статье будут рассмотрены спектральные приборы, работающие в диапазоне $100\,000 > R > 10\,000$, созданные при участии автора.

Напомним основные этапы развития техники спектроскопии высокого разрешения. В первой четверти XX в. на подвесном призменном спектрографе 1,5-м телескопа обсерватории Маунт Вилсон (США) были определены светимости и лучевые (радиальные) скорости тысяч звезд. Увеличить R на подвесном призменном

спектрографе среднего разрешения возможно путем добавления призмы и удлинения фокусного расстояния камеры; в обоих случаях потери света и недостаточная жесткость конструкции оказывались критическими. Еще в 1880 г. в Парижской обсерватории был разработан фокус кудэ (от франц. *coudé* – ломаный) – оптическая система, позволяющая построить изображение астрономического объекта в неподвижном помещении. Впоследствии (начиная с 1911 г.) эта схема оказалась удобной для стационарного размещения крупногабаритной оптики призменного спектрографа упомянутого 1,5-м телескопа. В неподвижном спектрографе фокуса кудэ суммарная продолжительность фотографической экспозиции могла составлять десятки часов. В 1932 г. в обсерватории Маунт Вилсон был изготовлен спектрограф фокуса кудэ 2,5-м телескопа, оснащенный набором сменных фотографических камер и дифракционной решеткой с профилированным штрихом. Наблюдениям стали доступны звезды до 8-й звездной величины, и в 1935 г. доля публикаций в журнале “*Astrophysical Journal*” по результатам спектроскопии звезд составила уже 50%. Технологические ограничения на размеры дифракционных

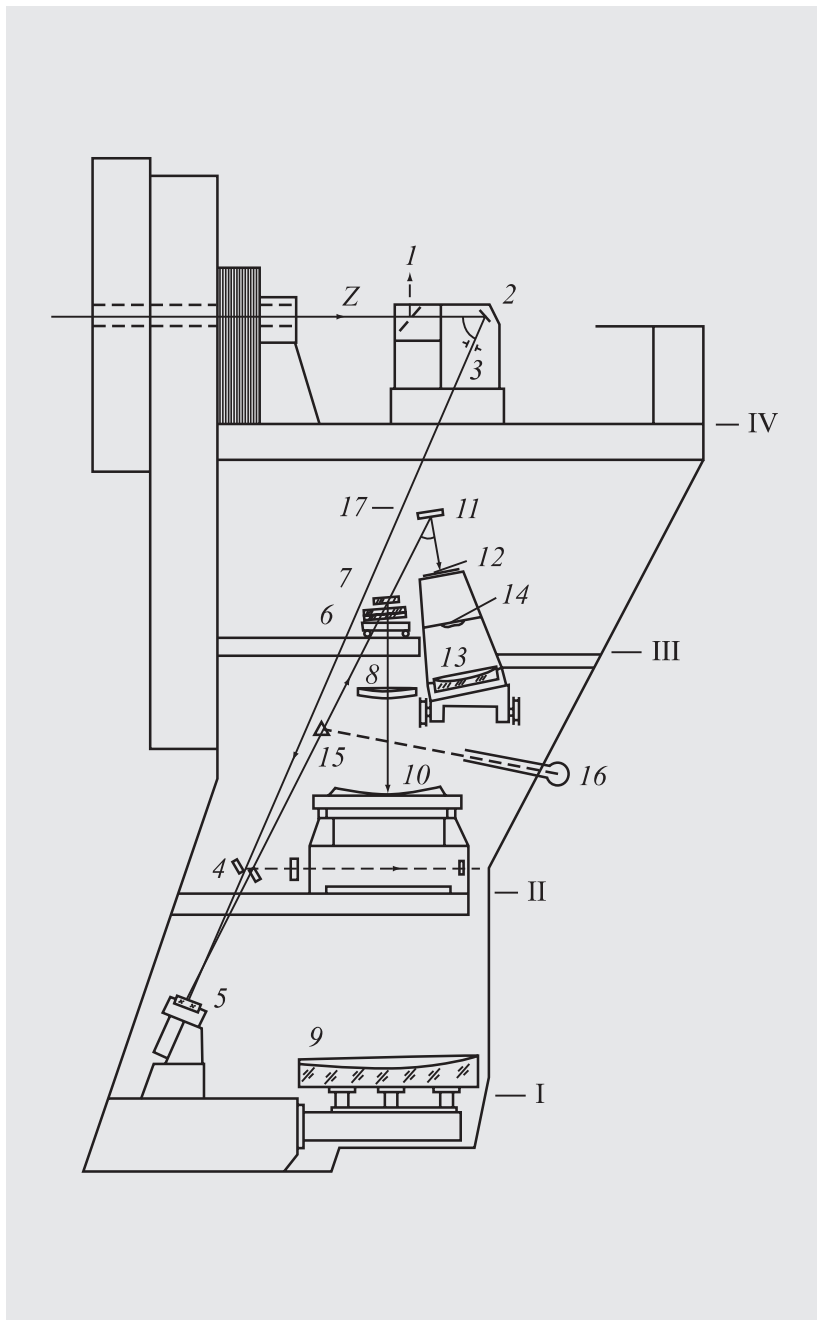


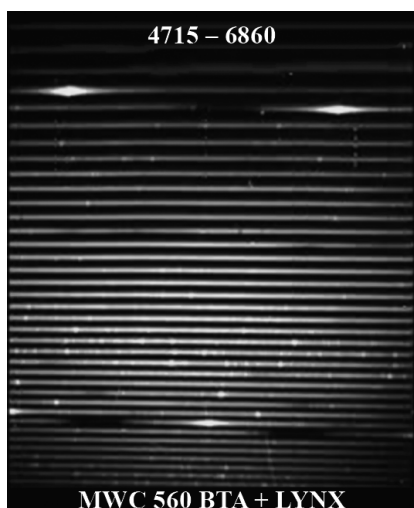
Схема расположения основных оптико-механических узлов Основного звездного спектрографа на БТА: 1 – канал просмотра поля зрения, 2 – поворотное зеркало, 3 – щель, 4 – зеркала канала фотоэкспонетра, 5 – зеркало коллиматора, 6 – призма, разводящая порядки дифракционной решетки длиннофокусной камеры, 7 – решетка длиннофокусной камеры, 8 – мениск, 9 – зеркало длиннофокусной камеры, 10 – кассетная часть длиннофокусной камеры, 11 – дифракционная решетка светосильных камер, 12 – коррекционная пластина камеры Шмидта, 13 – зеркало камеры Шмидта, 14 – корректирующая линза, 15 – зеркало канала калибровки, 16 – источник спектра фотометрической калибровки, 17 – место ввода новой порядкоразводящей призмы; I–IV – уровни пола этажей, Z – ось зенитного расстояния БТА. На 4-м этаже БТА впоследствии размещались новые спектрографы.

решеток были преодолены в 1950 г. путем использования составной (мозаичной) решетки в спектрографе фокуса кудэ на 5-м телескопе обсерватории Маунт Паломар (США).

Следующим достижением явилось изготовление решетки эшелле (от франц. *echelette* – лестница, работа-

ющей в высоких порядках дифракции. Первый звездный спектрограф с эшелле построили в 1963 г. крымские астрофизики И.М. Копылов и Н.В. Стешенко. Преимущество одноканальных фотоэлектрических приемников в спектроскопии высокого разрешения проявилось в конструкции корреляционных

фотометров (начиная с 1966 г.), на которых впоследствии были измерены радиальные движения десятков тысяч звезд. В близком ИК-диапазоне одноканальные приемники применялись в фурье-спектрометре для исследования атмосфер планет. В итоге, к середине 1960-х гг. идейные и технологичес-



Эшелле-спектр симбиотической звезды V694 Единорога (MWC 560), полученный в середине 1990-х гг. при вводе в эксплуатацию ПЗС-матрицы форматом 1060 × 1040 пикселей. Вверху – эмиссионная линия водорода H_α, изображаемая в двух соседних порядках, внизу – эмиссионная линия H_β. Двойная система формирует высокоскоростной (тысячи километров в секунду) джет, проявляющийся в виде широких абсорбционных компонент, смещенных относительно водородных эмиссий в коротковолновую сторону. В разреженной оболочке формируются узкие эмиссии, принадлежащие ионам железа.

кие аспекты в развитии спектроскопии высокого разрешения определились на два десятилетия вперед.

ПЕРВОЕ ПОКОЛЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ БТА

Посмотрим, какие из перечисленных достижений использовались в при-

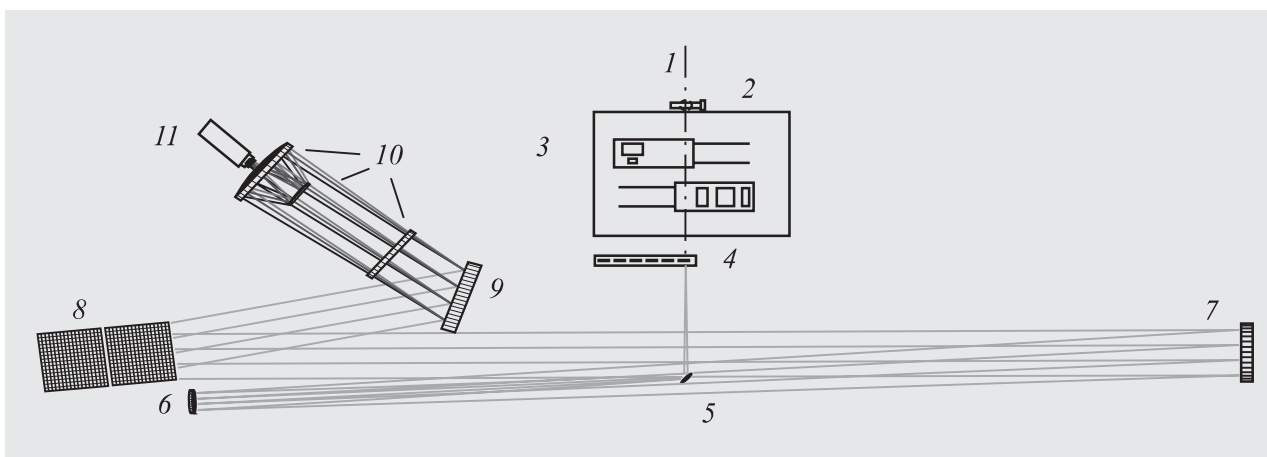
борах, разработанных для БТА. Альт-азимутальная установка телескопа исключала передачу света в неподвижное помещение, так как метод оптоволоконного сочетания телескопа и спектрографа появился только в конце 1970-х гг. В первоначальном перечне аппаратуры можно найти три фотографических спектрографа: основной звездный (ОЗСП), планетный (СП-124), бесщелевой с интерференционными реперами и спектрометр с интерферометром Фабри–Перо. Для этих приборов предполагалось иметь четыре варианта оптической системы в фокусах Нэсмита с относительными отверстиями 1:14,6, 1:30,7, 1:31,4 и 1:58,2. В главном фокусе (1:4) предполагалось устанавливать корреляционный фотометр для измерения лучевых скоростей звезд. Из перечисленного изготовили только ОЗСП и “СП-124”, дополненные эшелле-спектрографом среднего разрешения “СП-161”. Таким образом, из средств высокого разрешения на БТА оказались только две камеры ОЗСП (длиннофокусная камера 1:12 и камера Шмидта 1:2,3) с регистрацией в низких порядках дифракции.

Кроме формирования изображения спектра, функцией астрономического спектрографа является согласование масштаба изображения

звезды с элементом разрешения светоприемника. При масштабе изображения 1” в 1 мм (в фокусе Нэсмита БТА с относительным отверстием 1:30,7) желательного, чтобы ширина проекции щели в плоскости светоприемника составляла 3 пикселя ПЗС-матрицы, то есть около 0,04 мм. Наблюдая на ОЗСП с камерами 1:12 и 1:2,3, можем раскрыть щель спектрографа всего до 0,1” и 0,5”, что (при среднем качестве изображений на БТА в 1,6”) приводит к серьезным потерям света на входе спектрографа. Теоретические оценки спектрального разрешения составляют при этом R = 98 000 и R = 12 000 соответственно. На длиннофокусной камере, занимающей два этажа опоры телескопа, были обнаружены нестабильности изображения, снижающие разрешение в несколько раз. Таким образом, из всего набора спектральной аппаратуры промышленного исполнения для наблюдений с высоким разрешением оказалась пригодной только камера Шмидта (1:2,3), на которой (с R = 12 000) в фотографическую эпоху были выполнены обширные обзоры звезд в скоплениях и ассоциациях.

НОВЫЕ ПРИЕМНИКИ И НОВЫЕ СПЕКТРОГРАФЫ

Много лет работая на спектрографе, занимающем четыре этажа несущей



Оптическая схема Нэмитовского эшелле-спектрографа БТА: 1 – оптическая ось телескопа в фокусе Нэсмита, 2 – корректор положения изображения звезды на входной щели, 3 – узел предщелевых устройств, 4 – каретка со сменными входными щелями и резателями изображения, 5 и 6 – плоские ломающие зеркала коллиматора, 7 – вогнутое зеркало коллиматора – внеосевой параболоид, 8 – мозаичная эшелле-решетка, состоящая из двух частей, 9 – сменные решетки скрещенной дисперсии, 10 – зеркально-линзовый объектив камеры, 11 – приемник излучения с ПЗС-матрицей.

щей опоры оси “Z” БТА, автор пришел к выводу о необходимости горизонтального размещения элементов новых инструментов, в объеме с одинаковой температурой. Эта идея была реализована нами уже при работе с новыми приемниками – модулями двумерной телевизионной

системы счета фотонов и матрицами ПЗС. Вначале реконструировали спектрограф скрещенной дисперсии “СП-161”, использовавшийся во второй половине 1980-х гг. для наблюдений звезд шаровых скоплений. Относительно короткий период использования счетчиков фотонов оказался для нас наиболее трудоемким и наименее эффективным. Дело в том, что с предельной скоростью счета 0,5 события на канал в секунду за час экспозиции можно получить отношение сигнала к шуму не более 30, что недостаточно для большинства задач. А при увеличении времени экспозиции начинает проявляться нестабильность в работе приемника, состоящего из электронно-оптического преобразователя и электронно-лучевой трубки. Нестабильности в работе приемника были снижены только при переходе на ПЗС-матрицы.

В 1991 г. мы начали наблюдения слабых объек-

тов на ОЗСП, реконструировав камеру Шмидта (1:2,3) для применения двумерного счетчика фотонов, а затем для ПЗС-матриц. Проницающая способность ОЗСП возросла на несколько звездных величин, что позволило, в частности, выполнить в 1994 г. программу исследования абсорбционных спектров ярких квазаров.

Развивая идею размещения новых приборов на уровне четвертого этажа опоры БТА, в 1990 г. мы построили два эшелле-спектрографа, что позволило регистрировать большой участок спектра на первых ПЗС-матрицах малого формата.

Следующим резервом увеличения высокого спектрального разрешения на большом телескопе является увеличение диаметра (d) пучка, попадающего на дифракционную решетку. Если первые эшелле-спектрографы БТА имели $d = 100$ мм, то уже в 1998 г. начались наблюдения



Эшелле-спектр холодной звезды, полученный на спектрографе НЭС через ячейку, заполненную парами молекулы йода. Широкие и более темные абсорбции принадлежат спектру звезды, узкие линии – спектр, формирующийся в более холодной абсорбционной ячейке. Такой метод наблюдений используется при высокоточных измерениях лучевых скоростей, в задачах изучения пульсаций звездных атмосфер с малыми амплитудами и при поисках экзопланет. При наблюдениях использован резатель изображения, поэтому каждый спектральный порядок изображен трижды.

на нэсмитовском эшелле-спектрографе (НЭС, $d = 235\text{--}270\text{мм}$). На этом приборе используются составная (мозаичная) эшелле размером $300 \times 600 \text{ мм}^2$ и кварцевая зеркально-линзовая камера, позволяющая работать во всем окне атмосферной прозрачности. Увеличение d в 2,5 раза, по сравнению с предыдущими спектрографами, позволяет либо

увеличить R на такую же величину, либо увеличить проникающую способность на одну звездную величину.

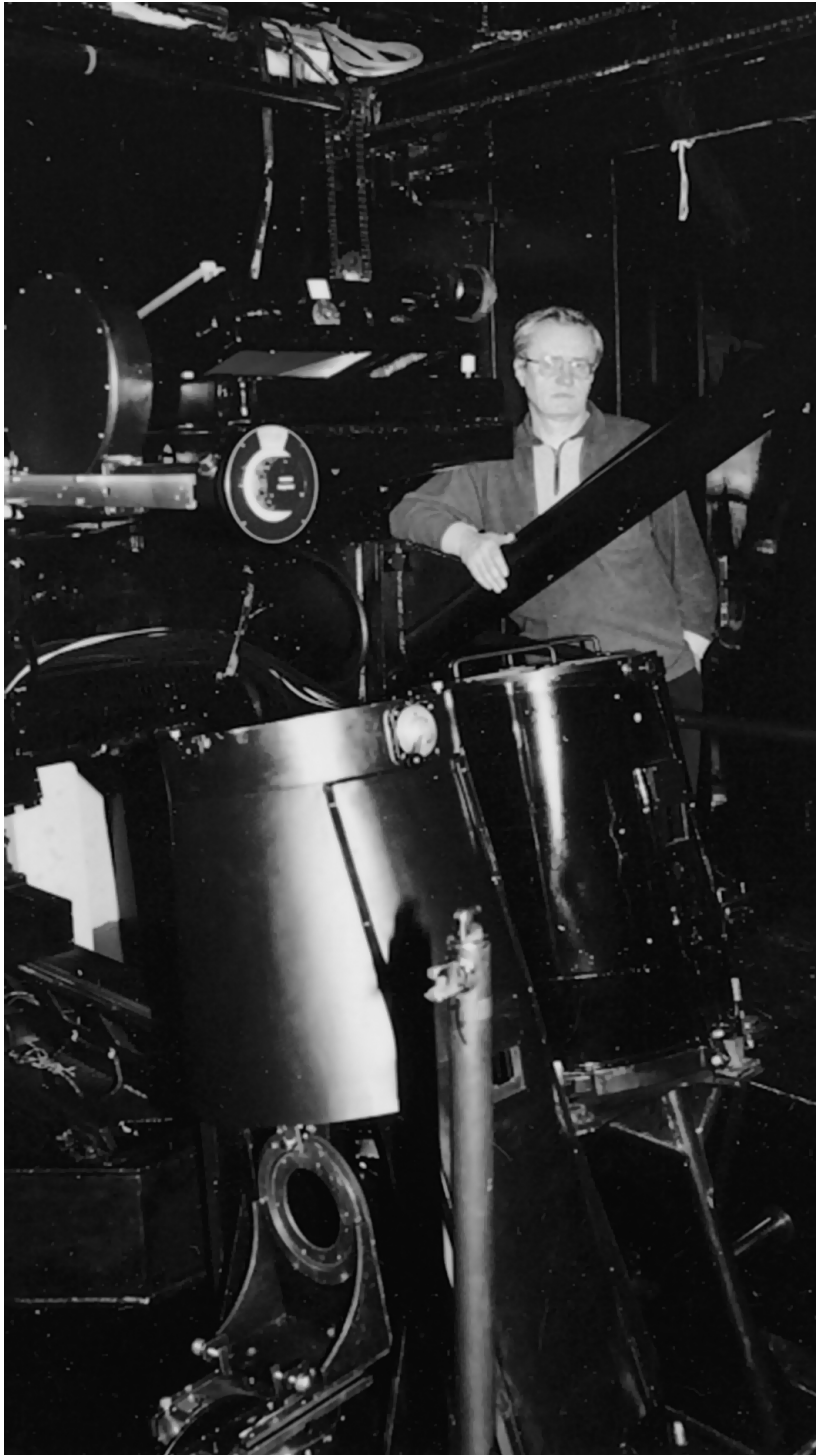
Следующим шагом стало переоснащение ОЗСП дифракционными решетками размером $320 \times 360 \text{ мм}^2$, перехватывающими весь пучок ($d = 258 \text{ мм}$). На этом авторская программа перевода спектроскопии высокого разрешения на предельные значения диаметра коллимированного пучка (d) завершилась. Подчеркнем, что при реализации программы использовались габаритная оптика и дифракционные решетки, созданные в конце 1980-х гг. на Ленинградском оптико-механическом объединении и в Государственном оптическом институте им. С.И. Вавилова. В последующую четверть века средств на оптические элементы аппаратуры высокого спектрального разрешения для БТА не предусматривалось; обсерватория уделяла внимание телескопам меньшего калибра.

“БОРЬБА ЗА СВЕТ”

Из параметров спектрографа, на который мы еще можем повлиять, остается s – ширина его щели. Ширину щели, согласованную с элементом разрешения светоприемника, уменьшать нельзя. Увеличивать s так, чтобы “поймать”

все изображение звезды – тоже нельзя: “проиграем” в спектральном разрешении. Остается способ “нарезки изображения” звезды на полосы, ширина которых согласована с разрешением ПЗС-матрицы, с последующей “упаковкой” этих полосок по высоте щели. На БТА применяются оригинальные “резатели” изображения, разработанные с учетом особенностей спектральной аппаратуры и астроклимата. При наблюдениях с “резателем” изображений каждый порядок эшелле-спектра звезды изображается кратно, по количеству таких долей (срезов), и на входе спектрографа используется практически весь свет, “собранный” телескопом.

Еще один шаг в повышении эффективности наблюдений с высоким разрешением состоял в снижении потерь, определяемых нестабильным поведением изображения звезды. В первые годы эксплуатации ОЗСП БТА обнаружилось расхождение между теорией и практикой – проникающая способность спектрографа оказалась на одну звездную величину ниже оценок. Причин тому несколько: мягкие условия технического задания на точность сопровождения объекта (напомним, что БТА является первым в мире телескопом с управляющей ЭВМ); колебания центра



Спектрограф ОЗСП, размещенный на 3-м этаже БТА. На переднем плане – реконструированная камера 1:2,3; вверху – реконструированный узел крупногабаритных дифракционных решеток.

изображения звезды из-за атмосферных условий; частая работа системы управления БТА в переходных режимах (“сопровождение” – “коррекция”); последнее вызывало возбуждение собственных частот телескопа.

Проблему потери света из-за колебаний изображения на входе спектрографа мы решили путем разработки оптического корректора положения звезды; в результате астрономы получили выигрыш в одну звездную величину и

удобный режим наблюдений, а ресурс системы управления телескопом был существенно продлен.

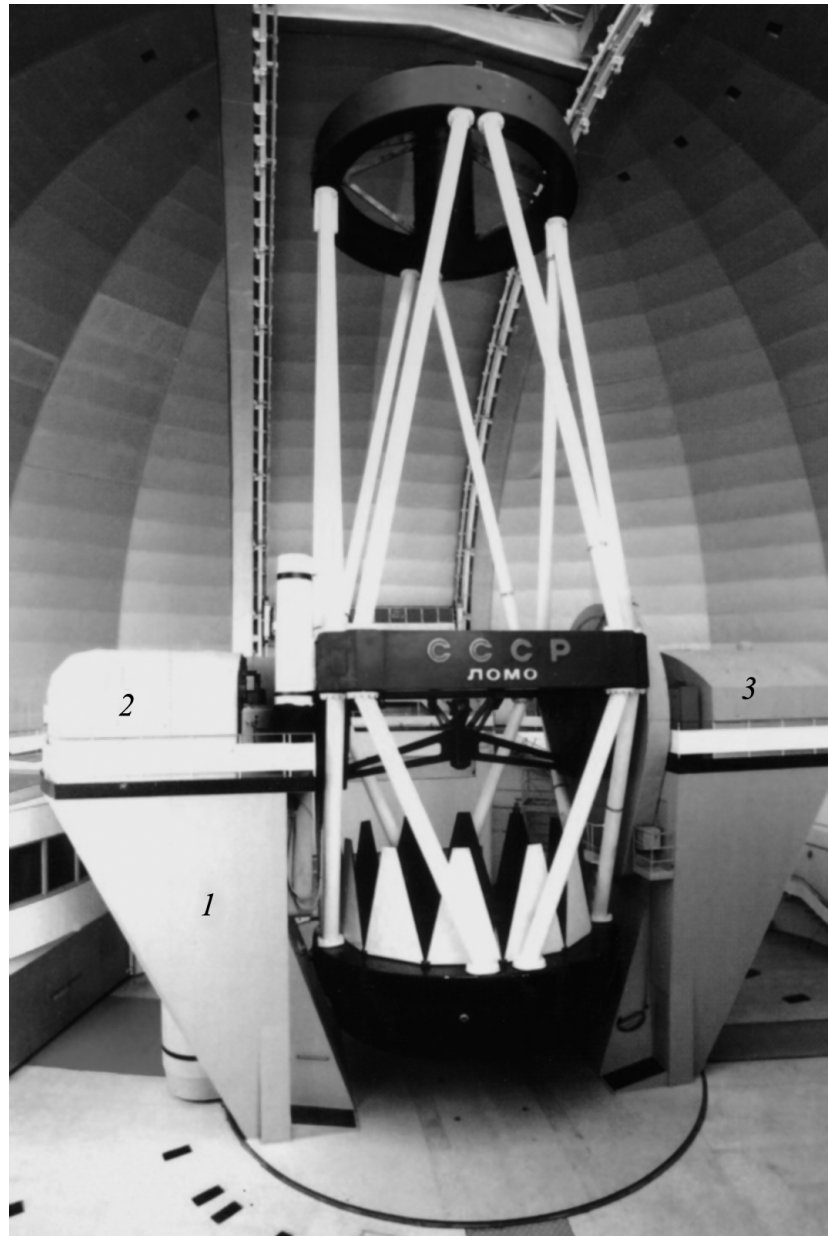
Заметим, что все работы с крупногабаритными спектрографами высокого разрешения, расположенными в фокусе Нэсмита, выполнялись на БТА без прекращения ежемесячных наблюдений по программам спектроскопии звезд. С этой целью, в частности, для первичного фокуса БТА нами был изготовлен еще один эшелле-спектрограф.

Итак, в самые тяжелые для нашей науки годы (надеюсь, они завершаются) удалось продолжить развитие техники наблюдений с высоким спектральным разрешением на БТА. Только за счет новых оптико-механических приборов, устройств и численных методов нам удалось увеличить пропускную способность наблюдений на три и более звездных величины. Сопоставимый выигрыш получен и в результате применения ПЗС-матриц,

Телескоп БТА с указанием мест размещения стационарных спектрографов: 1 – Основной звездный спектрограф, 2 – два эшелле-спектрографа высокого разрешения, 3 – эшелле-спектрограф среднего разрешения. В кабине первичного фокуса (черный цилиндр вверху) может устанавливаться эшелле-спектрополяриметр высокого разрешения.

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ТЕХНИКИ НАБЛЮДЕНИЙ

Применение методов спектроскопии высокого разрешения в России будет расширяться хотя бы потому, что телескопы, установленные в свое время в районах с минимальной подсветкой неба, сегодня оказываются мало пригодными для наблюдений объектов низкой поверхностной яркости. Приборы высокого разрешения, используемые в лунные ночи, будут использоваться и в безлунные, так как фон ночного неба и далее будет возрастать. Что касается БТА, то здесь перспективы методов наблюдений в значительной мере определяются многопрограммным статусом телескопа. Любая, самая современная аппаратура будет использоваться только в какой-то части от полного наблюдательного времени на БТА. Спектрографы высокого разрешения традиционно относятся к категории самых дорогих приборов,



поэтому на нескольких телескопах спектрографы фокуса кудэ используются как с большим телескопом (диаметром зеркала 3,6–2,2 м) так и со вспомогательной оптикой (диаметром 0,6–1,4 м). В Европейской Южной Обсерватории (Чили) с переносом ряда наблюдательных программ на 8-м телескопы для спектроскопии высокого разрешения освободились телескопы диаметром 1,5 м,

2,2 м и 3,6 м. Основные результаты по высокоточным измерениям доплеровских смещений поступают именно с этих телескопов, превращенных из многопрограммных в специализированные. В мире уже функционируют телескопы-роботы, изначально разработанные под узкие спектроскопические программы.

В России пока нет специализированного телескопа, оснащенного

только спектрографом высокого разрешения, что и определяет уровень конкурентоспособности наших наблюдателей звезд. Здесь напомним, что в дополнение к 6-м БТА планировалось создать 2,6-м телескоп САО, используя опыт разработки 2,6-м телескопа Крымской астрофизической обсерватории, оставшиеся чертежи и технологическое оборудование. Этот проект, инициированный Д.Д. Максуповым, закрыт в конце 1960-х гг., но впоследствии был построен 2,6-м телескоп для Бюраканской астрофизической обсерватории. В нашей обсерватории потребность в большом вспомогательном телескопе сохраняется до сих пор. Действительно, все разработки и наблюдения (в том числе и более подходящие для телескопа среднего диаметра) выполнены на 6-м телескопе, что на многие годы определило высокий уровень трудозатрат на частые переходы от одного метода наблюдений к другому.

Отвлекаясь от научно-организационных проблем, перейдем к перспективам развития техники наблюдений. Около 30 лет развивается метод передачи света от телескопа к спектрографу по оптическому волокну. Этот метод прочно обосновался на телескопах диаметром 1–2,2 м и даже

используется на некоторых зеркалах диаметром 3,6 м. Упомянутые телескопы установлены преимущественно в местах с хорошим качеством изображений, так что задача согласования изображения звезды с параметрами оптического волокна решается относительно легко (в отличие от БТА). Однако на больших телескопах по-прежнему используются и спектрографы высокого разрешения без оптоволоконного сочетания (например, HIRES на 10-м телескопе Кека и UVES на 8-м телескопе VLT). Итак, по характеристикам дифракционных решеток пределы достигнуты; качество звездных изображений определяется астроклиматом и наличием (или отсутствием) адаптивной оптики, эффективность ПЗС-матриц близка к предельной. Можно еще понизить потери света на многочисленных оптических поверхностях спектрографа и увеличить одновременно регистрируемый диапазон длин волн, если построить двойной спектрограф, состоящий из коротковолновой и длинноволновой частей, оптимизированных как по оптике, так и по приемникам. Однако пределы развития дифракционных спектрографов высокого разрешения уже ощущаются некоторыми специалистами. На БТА остался один резерв оптимизации –

уменьшение потерь на входе спектрографа с помощью методов адаптивной оптики.

В заключение напомним о классической работе П. Жакино (1954), где показано, что по произведению светосилы (L) на спектральное разрешение (R) призма на порядок уступает дифракционной решетке, а интерферометр Фабри–Перо на два порядка (в среднем) превосходит дифракционную решетку (при равных размерах основных оптических элементов). К материалу призмы предъявляются высокие требования однородности по объему, у решетки – высокие требования только к поверхности. Размеры дифракционных решеток быстро “обогнали” размеры призм, эпоха переменных спектрографов осталась в прошлом. Размеры пластин интерферометров пока в несколько раз уступают размерам решеток, так что теоретический выигрыш на два порядка перед решеткой – лучше свести к десятикратному. В любом случае переход на интерференционные спектрографы представляется перспективным. Этот вопрос заслуживает отдельной публикации.

Выражаю признательность своим соавторам по разработке спектральной аппаратуры и выполнению наблюдений на БТА.

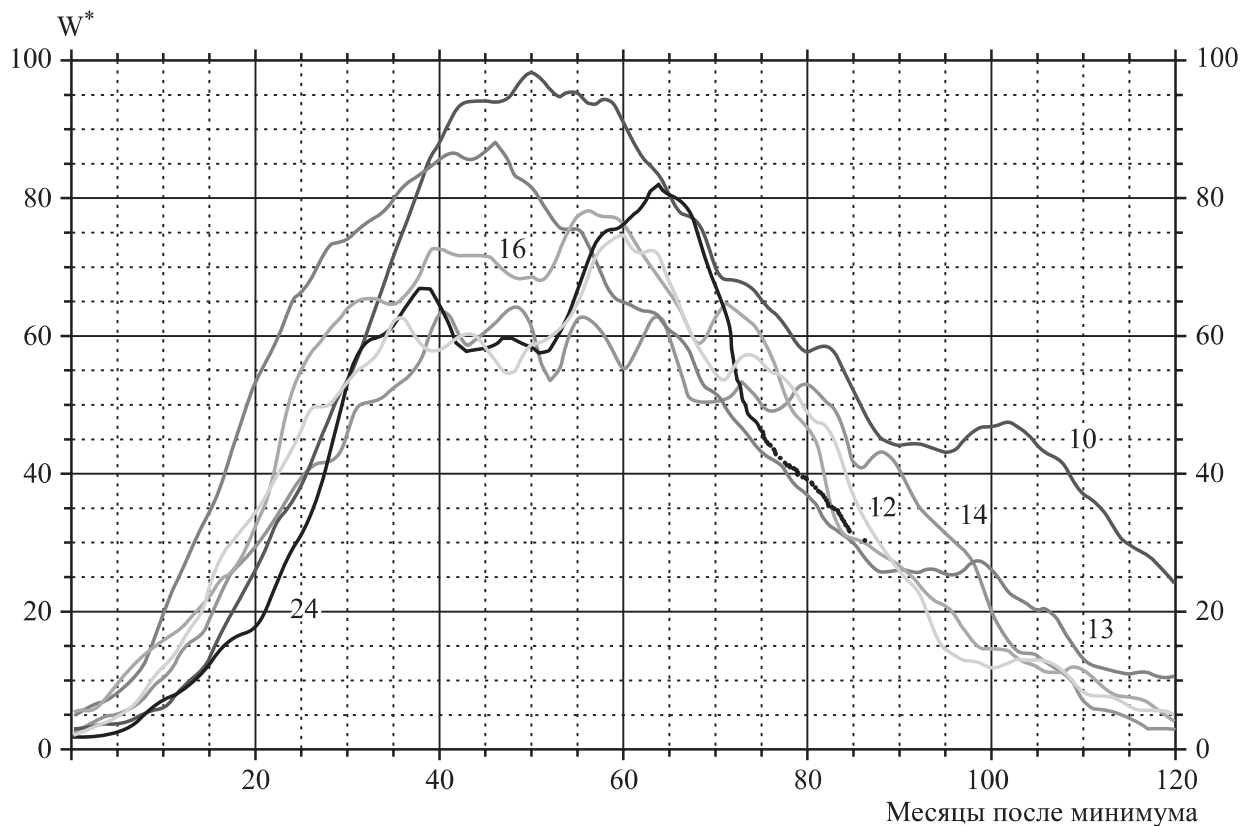
**Солнце
в августе–сентябре 2016 г.**

Солнечная пятнообразовательная активность в рассматриваемый период 2016 г. менялась от среднего до очень низкого уровней. Число групп пятен на видимом диске Солнца в эти месяцы менялось от 0 до 6. Все группы пятен были небольшими и спокойными, кроме одной большой и спокойной группы Северного полушария, которая вышла из-за восточного лимба Солнца 30 августа и, постепенно распадаясь, ушла за западный лимб 12 сентября. Из

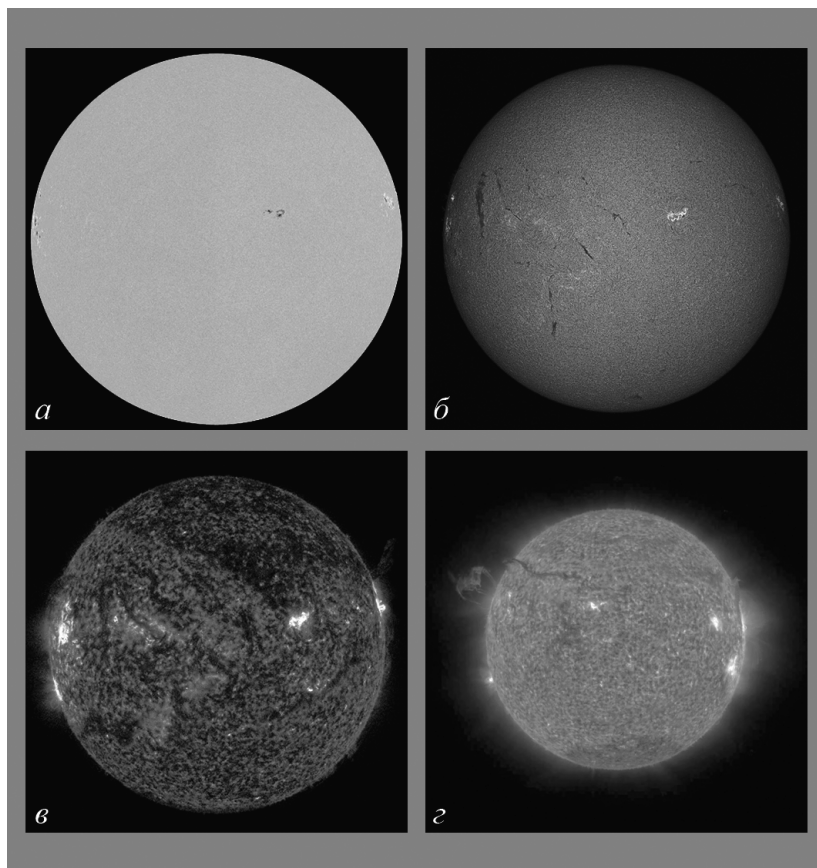
25 групп солнечных пятен 22 появились в Северном полушарии. Кривая роста сглаженных за год значений относительного числа пятен продолжает уверенно идти на спад. Текущие среднемесячные значения чисел Вольфа (мы, как и Служба состояния околоземного пространства – www.swpc.noaa.gov – будем придерживаться старой, классической системы) $W_{авг.} = 30,4$ и $W_{сент.} = 26,8$. Сглаженное значение этих индексов в феврале и марте 2016 г.

составило $W^* = 31,6$ и $W^* = 30,4$ соответственно.

В эти месяцы возникла тенденция длительного рекуррентного (повторяющегося через оборот Солнца) наступления периода (около 8 сут) геомагнитных возмущений, а на последних двух оборотах длительных (до 5 сут) магнитных бурь. Данный период связан с высокоскоростными потоками солнечного ветра от низкоширотной громадной корональной дыры на северном полюсе Солнца, а также с



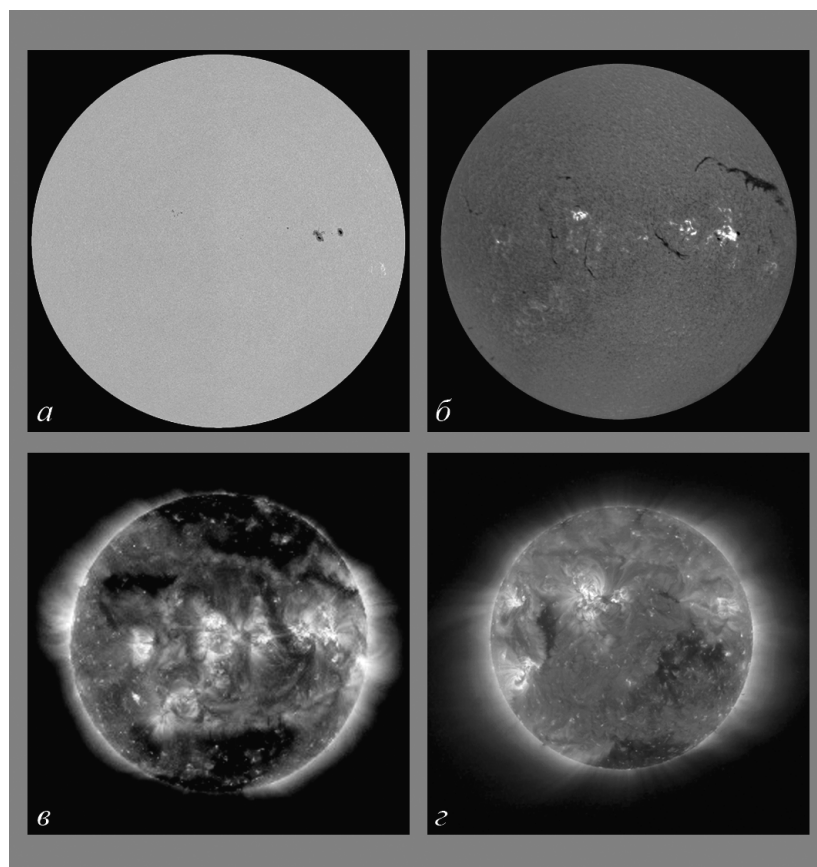
Ход развития (86 месяцев) текущего 24-го цикла солнечной активности среди всех достоверных (начиная с 1849 г.) солнечных циклов. W^* – сглаженные за 13 месяцев относительные числа солнечных пятен в старой, классической системе.



Солнце 8 августа 2016 г.:
 а – фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$);
 б – в самой сильной линии водорода H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$);
 в – в линии крайнего ультрафиолета He II ($\lambda = 304 \text{ \AA}$);
 г – обратная сторона Солнца в линии крайнего ультрафиолета He II ($\lambda = 304 \text{ \AA}$). Космические солнечные обсерватории “SDO” и “STEREO-A” (<http://sdo.gsfc.nasa.gov/data/>).

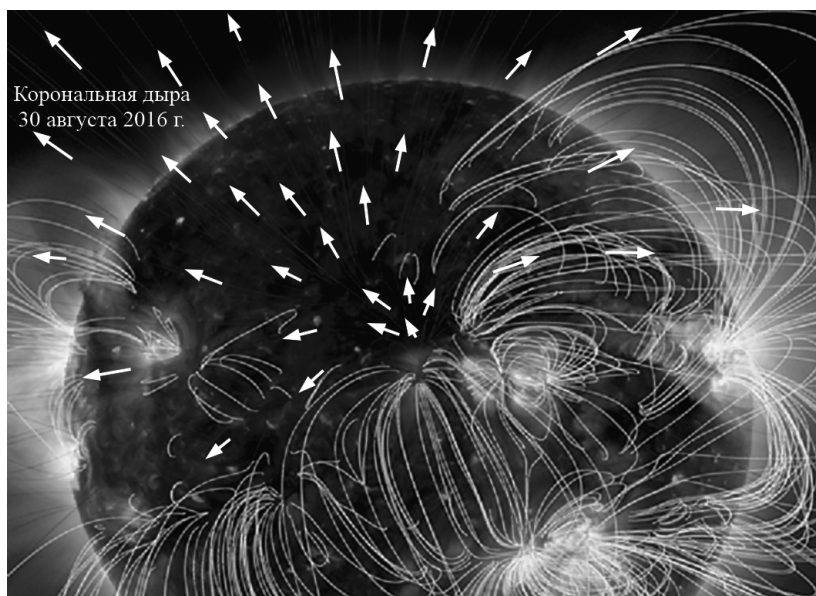
прохождением Земли по орбите вблизи точки осеннего равноденствия.

До 4 августа пятнообразовательная активность оставалась на очень низком уровне, затем на среднем, уменьшившись 20–21 августа до низкого. Минимальное ежедневное значение относительных чисел солнечных пятен отмечено 3 августа ($W = 0$), максимальное – 8 августа ($W = 81$). Вспышечная активность находилась на среднем уровне 7 августа, когда в беспятенной активной области вблизи западного лимба произошла солнечная вспышка рентгеновского балла M1.3.



Солнце 9 сентября 2016 г.:
 а – фотосфера в непрерывном спектре ($\lambda = 4500 \text{ \AA}$);
 б – в самой сильной линии водорода H_{α} ($\lambda = 6563 \text{ \AA}$);
 в – в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ($\lambda = 193 \text{ \AA}$);
 г – обратная сторона Солнца в линии крайнего ультрафиолета Fe XII ($\lambda = 193 \text{ \AA}$). Черные области на последних двух снимках – корональные дыры. Космические солнечные обсерватории “SDO” и “STEREO-A” (<http://spaceweather.com>).

Большая корональная дыра, существовавшая в северном полушарии Солнца в августе–сентябре 2016 г., с расчетными силовыми линиями магнитного поля в линиях крайнего ультрафиолета $\lambda = 94 \text{ \AA}$ (Fe XIV), $\lambda = 335 \text{ \AA}$ (Fe IX) и $\lambda = 193 \text{ \AA}$ (Fe XII). Изображение синтезировано из снимков космической солнечной обсерватории “SDO” (<http://www.solarmonitor.org/>).



Низкий уровень вспышечной активности рентгеновского балла С наблюдался 5, 8, 9, 15, 28 и 31 августа. Выбросы солнечных волокон (11 событий) наблюдались 3, 4, 5 (2), 9, 11, 15, 16, 19 и 29 (2) августа. Корonoграфы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали 34 корональных выброса вещества разной интенсивности. Пять рекуррентных корональных дыр проходили по видимому диску Солнца, и высокоскоростные потоки от них внесли определенный вклад в геомагнитные возмущения (особенно от рукавов приполярных дыр светила, спускавшихся до низких широт). На средних широтах Земли отмечены три магнитные бури: 2–3, 23–24 и 30 августа. Всего же в геомагнитном поле зарегистрировано 9 сут с возмущенной геомагнитной обстановкой. На геостационарных орбитах очень высокий поток ($> 10^7$ частиц на квадратный метр) релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ

зарегистрирован 1, 4–16 и 25–29 августа.

До **13 сентября** уровень пятнообразовательной активности Солнца в основном оставался средним, 14–17 сентября – низким, 18 сентября – снова стал средним, затем – низким и в последний день месяца – очень низким. На видимом диске Солнца наблюдались небольшие группы солнечных пятен (от 4 до 1), причем 13 из них локализовались в Северном полушарии. Максимальное наблюдаемое число солнечных пятен отмечено **9 сентября** ($W = 79$), минимальное – 30 сентября ($W = 12$). Вспышечная активность была на низком уровне лишь 22, 25 и 27 сентября. Выбросы солнечных волокон (17 событий) состоялись 3 (2), 4, 5, 6, 9, 13, 14 (2), 16 (2), 19 и 27 (5) сентября. Корonoграфы космической обсерватории “SOHO” зарегистрировали больше 49 корональных выбросов вещества разной интенсивности, среди которых один был типа “частичное гало II” (угол распространения

90° – 180°). В сентябре наблюдались пять рекуррентных корональных дыр и одна вновь образовавшаяся. В геомагнитном поле отмечены две умеренные (1–2 и 19–20 сентября) и две малые магнитные бури (30 августа–5 сентября), 25–30 сентября, источниками которых стали в основном возмущения от выбросов солнечных волокон и высокоскоростные потоки от корональных дыр. Всего за месяц было отмечено 12 сут с возмущенной геомагнитной обстановкой. На геостационарных орбитах очень высокий поток релятивистских электронов с энергиями больше 2 МэВ наблюдался 2–15, 21–22 и 27–30 сентября.

Текущее состояние солнечной активности и ее прогноз на русском языке можно найти в интернете (<http://www.izmiran.ru/services/saf/>). Страница обновляется каждый понедельник.

*В. Н. ИШКОВ,
ИЗМИРАН
ГЦ РАН*