

УДК 520.2

Первые результаты наблюдений на 2.5-метровом телескопе ГАИШ МГУ

А.М. Черепашук

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Государственный астрономический институт имени П.К. Штернберга, Университетский проспект, 13, Москва, Россия, 119992
cherepashchuk@gmail.com

Поступила в редакцию 13 ноября 2017 г.

Аннотация. Описаны характеристики недавно введенной в строй Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ и представлены первые результаты наблюдений на 2.5-метровом телескопе этой обсерватории.

THE FIRST OBSERVATIONAL RESULTS FROM THE 2.5-M TELESCOPE OF SAI MSU, *by* A.M. Cherepashchuk. The characteristics of the recently put into operation Caucasian Mountain Observatory of SAI MSU are described and the first observational results obtained with the 2.5-m telescope are presented.

Ключевые слова: телескоп, фотометрия, поляроастрометрия, инфракрасные наблюдения, сейфертовские галактики, черная дыра, спутники планет

1 Введение

В начале 1990-х годов, в связи с распадом СССР, ГАИШ МГУ потерял две высокогорные обсерватории, расположенные в Узбекистане и Казахстане. Поэтому нами, при поддержке ректора МГУ академика В.А. Садовниченко, были предприняты большие усилия по реализации строительства новой высокогорной обсерватории ГАИШ МГУ на российской территории.

В 2005 году, по инициативе ГАИШ, МГУ обратился в Правительство РФ с просьбой выделить целевые средства на закупку 2.5-метрового телескопа и установку его в горах Кавказа, вблизи г. Кисловодска. Соответствующее письмо было подписано ректором МГУ академиком В.А. Садовничим, министром образования и науки РФ А.А. Фурсенко и президентом РАН Ю.С. Осиповым. Правительство РФ удовлетворило эту просьбу, и в конце 2005 г. необходимые финансовые ресурсы были предоставлены. Далее последовали выбор фирмы-изготовителя для 2.5-метрового телескопа (французская фирма SAGEM/REOSC), составление соответствующего технического задания и заключение контракта на изготовление телескопа.

Параллельно с изготовлением телескопа университет стал хлопотать о выделении средств на капитальное строительство башни телескопа, а также научных, жилых и технических сооружений на территории обсерватории. Здесь серьезно помешал экономический кризис 2008–2009 гг., но в конце концов все трудности были преодолены.



Рис. 1. Вид обсерватории

Строительство обсерватории началось в октябре 2010 г. и завершилось в декабре 2013 г. Отладка телескопа заняла дополнительное время, поэтому официальное открытие Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ (сокращенно КГО ГАИШ МГУ) состоялось 13 декабря 2014 г. Описание обсерватории дано в статье (Садовничий и Черепашук, 2015).

2 Общие сведения о КГО

КГО ГАИШ МГУ расположена в урочище Шатджатмаз Малокарачаевского района Карачаево-Черкесской республики РФ. Выделенный местными властями земельный участок площадью 8.7 га находится в центральном секторе Большого Кавказа в интервале высотных отметок $2060 \div 2116$ м над уровнем моря в 27 км к югу от г. Кисловодска. КГО ГАИШ МГУ соседствует с Кисловодской горной астрономической станцией ГАО РАН. Руководство станции и ГАО РАН всегда активно помогали нам при решении вопросов, связанных со строительством, за что ГАИШ МГУ выражает свою признательность.

Общий вид обсерватории представлен на рис. 1. Площадь всех построек составляет 4162.9 м^2 (напомним, что все главное здание ГАИШ в Москве на Воробьевых горах занимает 4600 м^2). В верхней части обсерватории расположена башня с 2.5-метровым телескопом, а также четыре башни (с временными укрытиями) для установки в них, в будущем, телескопов до 1 м диаметром. В нижней части обсерватории размещены жилые помещения, объекты хозяйственно-производственного и инженерно-технического назначения, в том числе механическая мастерская, а также электронная, оптическая лаборатории и лекционный конференц-зал на 50 мест.

3 Астроклимат в КГО

С 2007 г. ведутся систематические астроклиматические исследования с помощью автоматизированного комплекса ASM, созданного в ГАИШ под руководством В.Г. Корнилова (Корнилов и др., 2014).

Наблюдения за период 2007–2016 гг. показали, что в среднем количество наблюдательного времени в КГО 1222 час/год ($180 \div 200$ ясных ночей в году). Качество изображения (по медиане) составляет 0.96 секунды дуги. При этом количество наблюдательного времени с качеством ≤ 0.5 секунды дуги $\sim 5\%$, а с качеством изображения ≤ 0.6 секунды дуги $\sim 10\%$.

Наиболее благоприятное время для наблюдений – с августа по март. Яркость ночного безлунного неба в КГО составляет в среднем 21.0 ± 0.3 зв. вел. с квадратной секунды в фильтре V.

4 2.5-метровый телескоп КГО

Основной инструмент обсерватории – 2.5-метровый альт-азимутальный автоматизированный зеркальный телескоп производства SAGEM/REOSC (Франция) системы Ричи – Кретьена.

Диаметр главного зеркала (выполненного из церодура, с практически нулевым коэффициентом теплового расширения) составляет 2.5 метра.

Высокая точность изготовления зеркал телескопа контролировалась в заводских условиях методами лазерной интерферометрии и была подтверждена первыми тестовыми испытаниями по звездам с помощью специального датчика, изготовленного в ГАИШ. Она обеспечивает концентрацию 80 % световой энергии в изображении звезды в пределах кружка диаметром 0.3 секунды дуги в режиме двухзеркальной системы Ричи – Кретьена, что соответствует лучшим мировым стандартам.

Оптическая система Ричи – Кретьена позволяет получать изображения звезд без заметных аберраций в поле зрения диаметром 10 угловых минут без линзового фокального корректора и до 40 угловых минут с трехлинзовым кварцевым корректором.

Телескоп имеет кассегреновский фокус и 4 фокуса Несмита. Скорость наведения телескопа 3 гр/сек.

5 Навесные приборы

5.1 Оптическая ПЗС-камера

Niels Bohr Inst, охлаждаемая жидким азотом: мозаика $2(2K \times 4K)$, размер пикселя 15 мкм (поле зрения $10' \times 10'$), а также ПЗС-камера $2K \times 2K$ с размером пикселя 15 мкм, обеспечивающая поле зрения $5' \times 5'$. Камеры укомплектованы наборами фильтров UBVRI, SDSS, а также набором узкополосных фильтров.

5.2 ИК-камера

ASTRONIRCAM со спектроскопическим модулем, охлаждаемая жидким азотом, работающая в диапазоне 0.9–2.5 мкм. Сравнительно низкий шум считывания (~ 13 электронов).

Фотометрический режим: изображения 1024×1024 элементов, поле зрения камеры $4'.7$, масштаб изображения $0.28''/\text{пиксель}$.

13 сменных охлаждаемых фильтров J, H, K, Ks, H2, Br Gamma, Kcont, CO, FeII, CH4on, CH4off, поляризатор 0° , поляризатор 90° .

Спектральный режим: щели шириной от $0.9''$ до $10''$, длиной до $300''$, спектральное разрешение $R = 1550$ (для щели $0.9''$).

Описание ИК-камеры дано в статье (Наджип и др., 2017).

5.3 Спекл-поляриметр

Двухлучевой поляриметр и спекл-интерферометр с компенсатором атмосферной дисперсии. Детектор – быстрая ПЗС-матрица с электронным усилением Andor iXon897.

Режимы работы: спекл-интерферометрия; поляриметрия, поляроастрометрия, быстрая фотометрия. Описание прибора дано в статье (Сафонов и др., 2017).

Принимаются меры по оснащению 2.5-метрового телескопа спектральной аппаратурой, а также меры по обеспечению режима работы телескопа с адаптивной оптикой.

6 Основные задачи

- Подготовка специалистов-астрономов высокого класса на астрономическом отделении физического факультета МГУ имени М.В. Ломоносова.
- Научные исследования в области физики звезд, планет, физики галактик, внегалактической астрономии; разработка и использование уникальных навесных приборов; наземная поддержка российских и международных космических программ, оптическая поддержка гравитационно-волновых, нейтринных наблюдений и т. п.

7 Первые результаты

- Опубликовано более 20 статей, в том числе в журналах с высоким импакт-фактором.
- На базе КГО успешно проведена студенческая практика в 2015, 2016 и 2017 гг.
- В июне 2016 г. проведена научная конференция “Современная звездная астрономия”.
- В августе 2016 и 2017 гг. в КГО проходила выездная подготовка олимпиадников Москвы в области астрономии.
- Основные научные результаты первого этапа наблюдений на КГО (2015–2017 гг.):
 - 7.1 Исследованы молодые двойные звезды в пылевых оболочках (ИК-наблюдения).
 - 7.2 Спекл-интерферометрическое открытие новых тесных двойных систем.
 - 7.3 Обзор ряда галактик, видимых с ребра, а также наблюдения сейфертовских галактик (в ИК-диапазоне).
 - 7.4 Наблюдения редкого типа “красной новой” в ИК и оптическом диапазонах.
 - 7.5 Продолжение программы фотометрических наблюдений ряда уникальных объектов Галактики.
 - 7.6 Оптическая и ИК-фотометрия рентгеновских двойных систем. Выявление вклада релятивистских джетов у рентгеновских новых с черными дырами в спокойном состоянии.
 - 7.7 Разработка и создание новой навесной аппаратуры для 2.5-метрового телескопа с элементами know-how.

8 Конкретные примеры

8.1. Получены UBVR I-изображения компонент А и В двойной системы RW Aig, звезды типа Т Тау, с весьма малым угловым разделением $1.45''$ (см. рис. 2). Выполнена надежная электрофотометрия

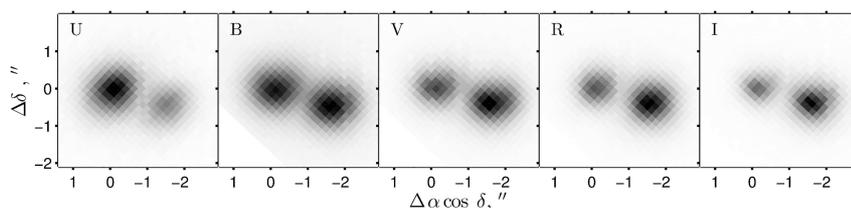


Рис. 2. Изображение компонент А и В двойной системы RW Aig в фильтрах UBVR I, полученное на 2.5-метровом телескопе КГО. Угловое расстояние между компонентами составляет $1.45''$

каждой из компонент системы RW Aig и изучена их переменность. Анализ полученных результатов и сравнение их с данными космического телескопа “Хаббл” показали, что каждая из звезд системы RW Aig время от времени затмевается уплотнениями в околосредном газопылевом протопланетном диске. Эти уплотнения состоят из сравнительно крупных пылевых частиц, поскольку, несмотря на сильные изменения блеска звезд, их цвет практически не меняется (Антипин и др., 2015).

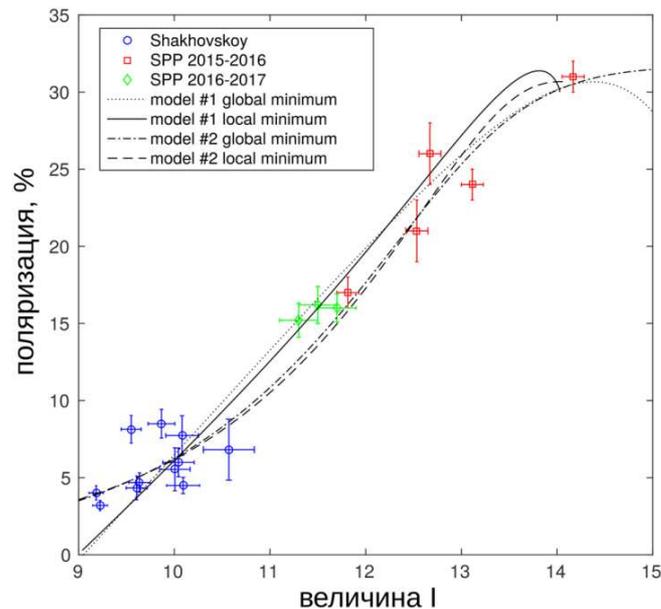


Рис. 3. Зависимость степени линейной поляризации звезды RW Aur A от блеска во время аномального затмения

8.2. Выполнены работы по спекл-поляриметрии астрономических объектов. Спекл-поляриметр 2.5-м телескопа, созданный Б.С. Сафоновым, – это прибор, предназначенный для исследования распределения линейной поляризации в астрономических объектах с дифракционным разрешением.

Подтверждена двойственность GJ3697 (Ховричев и др., 2016). Открыта двойственность у звезд WDS01189+6610A и ADS12727A. В режиме поляриметра удалось построить зависимость степени линейной поляризации от блеска во время аномального затмения RW Aur A (Ламзин и др., 2017), см. рис. 3.

Спекл-поляриметр может использоваться также в режиме поляроастрометрии, когда измеряются угловые отклонения центра поляризованного потока излучения от фотоцентра неполяризованного потока (Сафонов, 2015). На 2.5-метровом телескопе в режиме поляроастрометрии достигнута точность 10–20 мксек дуги. Проведен обзор молодых звездных объектов. Из 21 объекта значительная асимметрия поляризованного потока обнаружена у семи: CQ Tau, MWC349A, MWC361, RW Aur, RY Tau, VY Mon, V645 Cyg. Также значимый сигнал обнаружен у 4 звезд на поздних стадиях эволюции: μ Ser, R Leo, T Ser, V CVn.

8.3. Исследование Европы и Каллисто по спектральным данным в ИК-диапазоне (рис. 4).

Обнаружено подобие глобальных спектральных характеристик Европы и Каллисто, в частности, максимума распределения гидрата серной кислоты на восточном полушарии обоих спутников. Это указывает на общий механизм ионной имплантации на этих и других спутниках, находящихся в радиационных поясах Юпитера. На восточном полушарии Европы и Каллисто имеются спектральные признаки преобладания значительного количества водяного льда, а также гидратов, в частности, метанового гидрата (Бусарев и др., 2017).

8.4. ИК-наблюдения сейфертовской галактики NGC2617.

NGC2617 поменяла свой тип с Sy2 на Sy1 около 6 лет назад. Сейчас, по наблюдениям на 2.5-метровом телескопе, она возвращается к своему прежнему типу Sy2 (Окнянский и др., 2017).

8.5. Развитие коронографических методов исследований на 2.5-метровом телескопе КГО (Черепашук и др., 2017). Эти методы позволяют уменьшить на несколько порядков инструментальный фон, обусловленный дифракцией света яркого объекта на входной апертуре и спайдере телескопа.

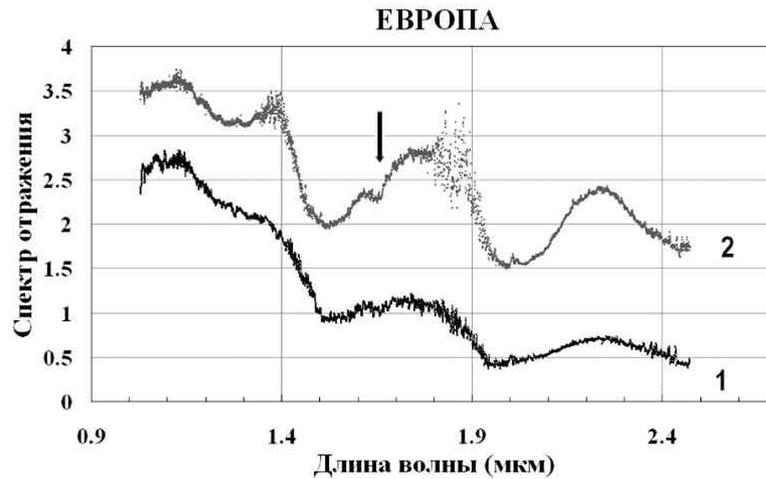


Рис. 4. Спектры отражения ведомой (1) и ведущей (2) полусфер Европы. Вертикальной стрелкой у спектра (2) показано предполагаемое положение полосы поглощения клатрата метана

8.6. Получены монохроматические изображения джета у звезды типа Т Тау, RW Aug A, в свете различных эмиссионных линий ([SII], H α , [FeII]) и изучена кинематика джета (Бердников и др., 2017), см. рис. 5.

8.7. Выполнены ИК (J, H, K) наблюдения рентгеновской двойной системы Суг X-3, синхронные с рентгеновскими (телескоп MAXI на МКС, 2–20 кэВ). Изучена кросс-корреляция ИК и рентгеновского потоков от системы.

8.8. Выполнена J, K и оптическая фотометрия рентгеновской новой с черной дырой A0620-00 в спокойном состоянии в двух стадиях активности (Черепашук и др., 2018), см. рис. 6.

Исследована зависимость среднего блеска системы, формы орбитальной кривой блеска и амплитуды иррегулярной переменности (фликеринга) от длины волны в диапазоне $\lambda\lambda 6400 \div 22000 \text{ \AA}$ для пассивной и активной стадий.

В 2015–2016 гг. система A0620-00 находилась в пассивной стадии, показывая регулярную орбитальную кривую блеска с относительно небольшим фликерингом. Менее чем за 230 дней система в 2016–2017 гг. перешла в активную стадию: ее средний блеск возрос на $0^m.2 \div 0^m.3$ во всех названных фотометрических полосах, форма орбитальной кривой блеска претерпела радикальные изменения, а амплитуда фликеринга возросла более чем вдвое во всех полосах.

Выполнено моделирование регулярных орбитальных кривых блеска A0620-00 в рамках двух моделей: модели с холодными пятнами на поверхности оптической звезды и модели без пятен, но с “горячей линией” в области взаимодействия газовой струи и диска. Обе модели позволяют хорошо описать наблюдаемые орбитальные кривые блеска как в пассивной, так и в активной стадии (см. рис. 6). Выявлена тесная корреляция светимости аккреционного диска и “горячей линии” с амплитудой фликеринга.

С использованием абсолютной калибровки потоков излучения построена зависимость среднеквадратичной амплитуды фликеринга (в потоках) как функция длины волны в интервале $\lambda\lambda 6400 \div 22000 \text{ \AA}$ с учетом межзвездного поглощения.

В активной стадии наблюдаемая амплитуда фликеринга ΔF_{fl} во всем исследованном интервале $\lambda\lambda 6400 \div 22000 \text{ \AA}$ убывает с увеличением λ и удовлетворительно описывается единой зависимостью $\Delta F_{\text{fl}}(\lambda) \sim \lambda^{-2}$, что соответствует тепловому спектру тормозного излучения оптически тонкой высокотемпературной плазмы.

В пассивной стадии величина $\Delta F_{\text{fl}}(\lambda)$ в коротковолновом диапазоне $\lambda\lambda 6400 \div 12500 \text{ \AA}$ описывается законом $\Delta F_{\text{fl}}(\lambda) \sim \lambda^{-4}$, что соответствует спектру теплового излучения оптически толстой

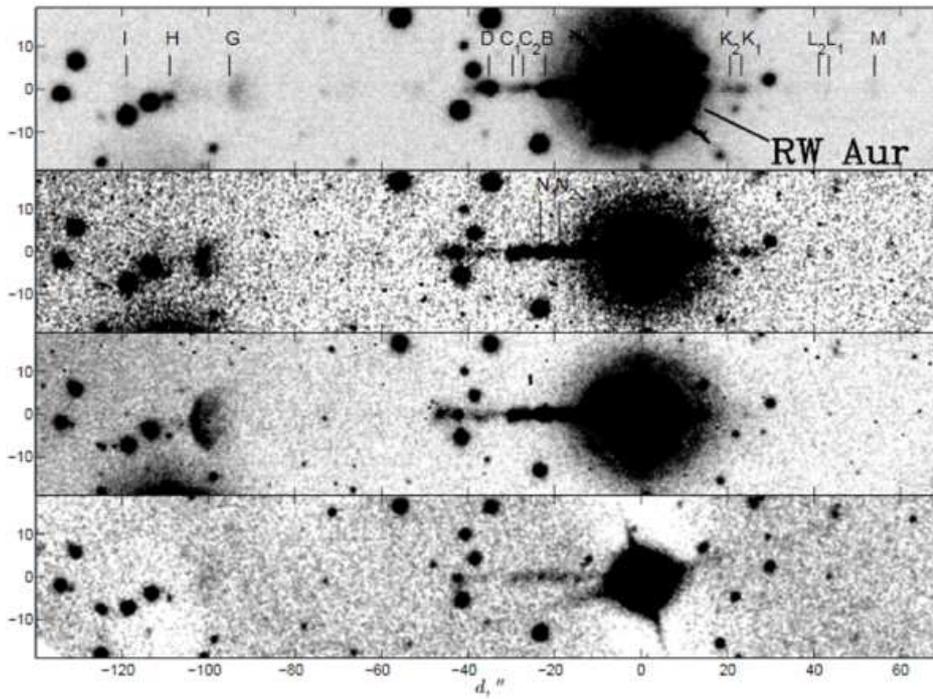


Рис. 5. Изображения джета у звезды типа Т Тау, RW Aur A (Бердников и др., 2017). Сверху вниз: линия [SII], 1995 г.; линия [SII], 2017 г.; линия $H\alpha$, 2017 г.; линия [FeII], 2017 г.

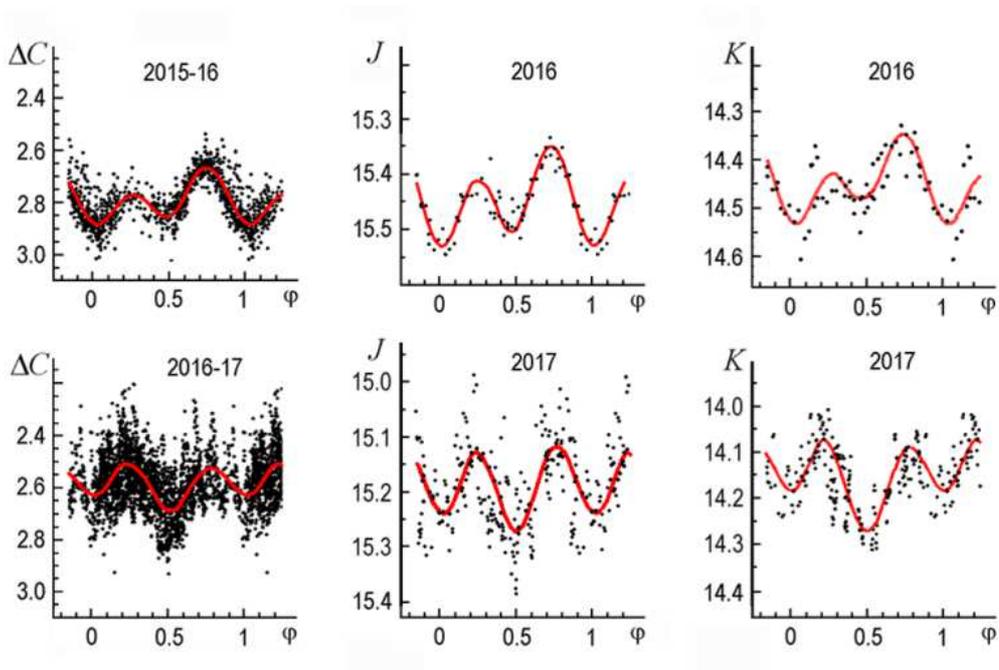


Рис. 6. Наблюдаемые и теоретические кривые блеска системы A0620-00 в пассивной стадии (вверху) и в активной стадии (внизу) в оптическом интегральном (белом) свете и в фильтрах J, K

высокотемпературной плазмы. В длинноволновом диапазоне $\lambda\lambda 12500 \div 22000 \text{ \AA}$ в пассивной стадии зависимость ΔF_{fil} от λ плоская: $\Delta F_{\text{fil}}(\lambda) \sim \text{const}$, что может соответствовать синхротронной компоненте излучения релятивистских джетов.

Зависимость ΔF_{fil} от среднего потока излучения системы в фильтре К менее крутая, чем соответствующие зависимости ΔF_{fil} для фильтра J и оптического диапазона.

Все эти особенности фликеринга позволяют предположить, что в механизме его формирования присутствуют две компоненты: тепловая и, по-видимому, синхротронная, что согласуется с недавним открытием переменной линейной поляризации в ИК-излучении системы A0620-00 (Рассел и др., 2016).

Благодарности. Работа поддержана грантом РФФ 17-12-01241.

Литература

- Антипин и др. (Antipin S., Belinsky A., Cherepashchuk A., Cherjasov D., Dodin A., et al.) // Inform. Bull. Var. Stars. 2015. N. 6126. P. 1.
- Бердников Л.Н., Бурлак М.А., Возякова О.В., Додин А.В., Ламзин С.А., Татарников А.М. // Астрофиз. бюлл. 2017. Т. 72. С. 304.
- Бусарев В.В., Татарников А.М., Бурлак М.А. // Астрон. вестник. 2017 (в печати).
- Корнилов и др. (Kornilov V., Safonov B., Kornilov M., Shatsky N., Voziakova O., et al.) // Publ. Astron. Soc. Pacific. 2014. V. 126. P. 482.
- Ламзин и др. (Lamzin S., Cheryasov D., Chuntonov G., Dodin A., Grankin K., et al.) // Stars: From Collapse to Collapse. Special Astrophysical Observatory conference. / Eds Balega Y.Y., Kudryavtsev D.O., Romanyuk I.I., Yakunin I.A. San Francisco: Astronomical Society of the Pacific. 2017. P. 356.
- Наджип А.Э., Татарников А.М., Туми Д.У., Шатский Н.И., Черепашук А.М., Ламзин С.А., Белинский А.А. // Астрофиз. бюлл. 2017. Т. 72. С. 382.
- Окнянский и др. (Oknyansky V.L., Gaskell C.M., Huseynov N.A., Lipunov V.M., Shatsky N.I., et al.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2017. V. 467. P. 1496.
- Рассел и др. (Russell D.M., Shahbaz T., Lewis F., Gallo E.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2016. V. 463. P. 2680.
- Садовничий В.А., Черепашук А.М. // Природа. 2015. Т. 3. С. 3.
- Сафонон (Safonov B.S.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2015. V. 451. P. 3161.
- Сафонон Б.С., Лысенко П.А., Додин А.В. // Письма в Астрон. журн. 2017. Т. 43. С. 383.
- Ховричев М.Ю., Куликова А.М., Соков Е.Н., Дьяченко В.В., Растегаев Д.А., Бескакотов А.С., Баалега Ю.Ю., Сафонон Б.С., Додин А.В., Возякова О.В. // Письма в Астрон. журн. 2016. Т. 42. С. 754.
- Черепашук А.М., Бугаенко О.И., Ким И.С., Попов В.С. // Астрон. журн. 2017. Т. 94. С. 185.
- Черепашук и др. (Cherepashchuk A.M., Katysheva N.A., Khruzina T.S., Shugarov S.Yu., Tatarsnikov A.M., Burlak M.A., Shatsky N.I.) // Mon. Not. Roy. Astron. Soc. 2018 (in press).