

АКТИВНОСТЬ ГАЛАКТИКИ SYG NGC 7469 В 2016–2021 гг. НАБЛЮДАТЕЛЬНЫЕ ДАННЫЕ В *UBVRI* ФИЛЬТРАХ

© 2024 г. Б. П. Артамонов^{1*}, Е. В. Шимановская¹, В. В. Бруевич¹,
О. Бурхонов², Ш. А. Эгамбердиев²

¹ Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга

Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

² Ulugh Beg Institute of Astronomy, Academy of Sciences of Uzbekistan, Tashkent, Uzbekistan

Поступила в редакцию 27.12.2024 г.

После доработки 27.02.2024 г.; принята к публикации 27.03.2024 г.

За период 2015–2021 гг. были проведены наблюдения сейфертовской галактики SyG 1 NGC 7469 в *UBVRI* Bessell фильтрах на 1.5-метровом телескопе Майданакской обсерватории, которые продолжают мониторинг NGC 7469 с 1990 г. Были получены ПЗС *UBVRI*-кадры и проведена стандартная обработка кадров за байс, фон неба, чистка за космические частицы и др. Все данные получены на ПЗС-камерах с глубоким охлаждением и субсекундными изображениями. Калибровки проводились по нескольким стандартным звездам в том же кадре, как и галактика. Результаты фотометрии в апертуре размером 13.5 угл. сек приводятся графически в окнах видности наблюдаемого периода. На построенных кривых переменности обнаружена медленная S-вспышка в фильтрах *UBVRI*, наблюдается медленное увеличение яркости с 2015 г., достигая максимума в 2019 г. Амплитуда S-вспышки имеет 0.5 зв. величин в фильтре *U* и уменьшается до нуля в фильтре *I*. На двухцветных диаграммах $(U-B)/(B-V)$ показатели цвета являются более голубыми в 5-секундной апертуре по сравнению с апертурой размером 30 угл. сек.

Ключевые слова: ПЗС-наблюдения, активные ядра галактик, переменность SyG NGC 7469.

DOI: 10.31857/S0320010824040025, **EDN:** NRUUKU

ВВЕДЕНИЕ

Галактика NGC 7469 относится к сейфертовским галактикам SyG 1 типа и характеризуется переменной яркостью в центральной части во всех наблюдаемых диапазонах волн от радио до жесткого рентгена. Вокруг ядра галактики находится кольцо молодых звезд размером 3 угл. сек, в котором активное звездообразование могло быть следствием влияния соседней галактики IC 5283 в 80 угл. сек от NGC 7469 (Замора, Диаз, 2023, и ссылки там).

Многочисленные работы по анализу переменности ядра галактики относятся к исследованиям связи рентгеновского и оптического излучения с физическим механизмом передачи энергии центральной машины к аккреционному диску. Одним из методов изучения активных ядер галактик является мониторинг синхронных наблюдений переменности, организованный на разных телескопах и разными наблюдателями. В качестве примера приведем работу Петерсон и др. (2014), в которой собраны наблюдательные спектральные и фотометрические данные из наблюдений в 2010 г. на разных телескопах нескольких стран, десятки наблюдателей которых участвовали в мониторинге.

* Электронный адрес: bartamon@mail.ru

В работах Дорошенко и др. (1989), Лютый и др. (1995) были представлены наблюдения NGC 7469 за периоды 1967–1987 гг. и 1990–1994 гг. в фильтрах *UBV* (частично в *UBVR*), в которых анализ кривых яркости показал, что переменность имеет амплитуды в фильтре *V* 0.5^m на период времени 3–5 лет, 0.1–0.2^m на 5–7 мес и менее 0.1^m в течение ночи. Обзор микропеременности в 1990–1998 гг. был проведен Меркуловой (2000). Сергеев и др. (2005) выполнили мониторинг 14 AGN (в их числе NGC 7469) в фильтрах *BVRI* на телескопах КрАО в 2002–2004 гг., на основе наблюдений провели оценки запаздывания вариаций в фильтрах *VRI* относительно вариаций в фильтре *B*.

В более поздних работах можно отметить наблюдения NGC 7469 в фильтрах *BVRI* в 2016–2019 гг. на Шемахинской обсерватории: Бинатова и др. (2023), наблюдения в *ugriz* фильтрах на 2-м Ливерпульском роботе-телескопе в течение четырех месяцев 2019 г. (90 наблюдений — почти каждую ночь): Винсентелли и др. (2023), наблюдения в *BVR* фильтрах на 1-м телескопе ТяньШанской обсерватории в 2013–2019 гг.: Шомшекова и др. (2020).

Мы представляем мониторинг *UBVRI* наблюдений NGC 7469 2016–2021 гг. как продолжение мониторинга на телескопах Майданакской обсерватории с 1990 г., большинство наблюдений

проведено на 1.5-м телескопе с близкими по качеству ПЗС-камерами с глубоким охлаждением. Майданакские мониторинги галактики NGC 7469 опубликованы в работах: Артамонов и др. (2010б), Уголькова и др. (2017).

Мониторинги SyG проводятся в рамках совместной российско-узбекской программы по исследованию AGN. Научной мотивацией долгосрочных мониторингов AGN является необходимость получения новых данных по поведению переменности AGN, которые позволяют уточнять или строить новые модели физических процессов в аккреционных дисках вокруг черных дыр. Мониторинг SyG в видимой области спектра без синхронных наблюдений в рентгеновской, ультрафиолетовой, инфракрасной областях и спектральных исследованиях малоэффективен. Тем не менее, наблюдения переменности в оптическом диапазоне показывают медленные и быстрые вспышки, отвечающие за разные механизмы излучения, Лютый (2005). Исследования задержки переменности в разных фильтрах дают представления о короне аккреционного диска, Винсентелли и др. (2023).

НАБЛЮДЕНИЯ И ОБРАБОТКА ДАННЫХ

Наблюдения сейфертовской галактики NGC 7469 проводились в Майданакской обсерватории (Узбекистан), которая имеет отличный астроклимат, продолжительностью около 2000 ясных часов и с качеством изображения 0.7 угл. сек (среднее за год). Детальные характеристики астроклимата даны в работах Артамонов и др. (1987), Эгамбердиев и др. (2000). Для наблюдений использовался 1.5-м телескоп АЗТ-22 системы Ричи–Кретьена с фокальным расстоянием 12 м. Оптические характеристики зеркала телескопа АЗТ-22 показывают значения, близкие к дифракционному пределу. Контроль оптики АЗТ-22 был проведен в цеховых условиях ЛОМО (изготовителя телескопа) и в Майданакской обсерватории с датчиком волнового фронта (изготовленным Потаниным, 2009). Результаты испытаний оптики телескопа АЗТ-22 приведены в работе Артамонов и др. (2010а). Телескоп АЗТ-22 находится в двойном куполе астрономической башни на высоте 19 м. Вентиляционная система башни позволяет подавить турбуленцию подкупольного пространства, см. Артамонов (1997). Приемной аппаратурой на телескопе АЗТ-22 является ПЗС-камера (SNUCAM) Spectral Instruments 4096×4096 с газовой системой охлаждения CrioTiger и набором фильтров *UBVRI* Bessel. Рабочая температура охлаждения составляет –108°C. Размер пикселя SNUCAM равен 15 мк или 0.27 угл. сек в фокальной плоскости АЗТ-22 (оптическая система 1:7.7). ПЗС-камера SNUCAM была установлена на телескопе АЗТ-22 Сеульским Национальным университетом (Южная Корея), и

параметры даны в работе Им и др. (2010), результаты изучения инструментальной фотометрической системы SNUCAM+*UBVRI* (Bessell) приведены в статье Лим и др. (2009).

В 2017 г. на период профилактического ремонта ПЗС-камеры SNUCAM была использована ПЗС-камера FLI MicroLine CCD с матрицей KAF-09000 фирмы Kodak размером 3056×3056 пикселей, размер пикселя составляет 12 мк и 0.21 угл. сек в фокальной плоскости телескопа. ПЗС-матрица охлаждается элементами Пельтье до разности температур 60°C относительно температуры окружающей среды. Камера была оснащена *BVRI* Bessel фильтрами.

В течение каждой наблюдательной ночи утром и вечером были получены кадры ПЗС-байсов, флэтов и теплового шума (для камеры FLI MicroLine). Для получения флэтов в фильтрах *UBVRI* телескоп наводился на участки неба без ярких звезд на вечернее и утреннее небо, подбирались экспозиция в пределах 7–30 с, чтобы кадры ПЗС имели не менее 10 000 отсчетов, были не слишком короткими из-за задержки затвора типа центральной диафрагмы и не слишком долгими (появление ночного неба со звездами). При обработке кадров флэты суммировались путем медианной фильтрации для получения суперфлэта.

Наблюдения галактики NGC 7469 проводились как последовательность фильтров *UBVRI* с экспозициями от 300 с (*U*) до 40 с (*I*). Продолжительность экспозиции подбиралась из требования получить не менее 10 000 отсчетов в пикселе в ядерной части галактики, что обеспечивает 1% точность фотометрии. С использованием стандартных процедур ESO-MIDAS (European Southern Observatory Munich Image Data Analysis System) были написаны программы для фотометрии отдельных объектов на ПЗС-кадре, вычета фона неба, приведения к плоскому полю, исправления за байс и удаления следов космических частиц. Фотометрическая калибровка измеренных звездных величин ядерной части галактики NGC 7469 проводилась по звездам сравнения (стандарты), которые были взяты из работ Дорошенко и др. (2005) и Пенстон и др. (1971). Были использованы от 4 до 6 звезд сравнения в фильтрах *BVRI* (Дорошенко и др., 2005), из которых 3 звезды имеют данные в фильтре *U* из работы Пенстон и др. (1971). Фотометрические оценки ядерной части галактики проводились при разных круглых апертурах размером 5, 10, 13.5, 20, 30 угл. сек.

После проведения фотометрической калибровки по звездам сравнения была определена звездная величина ядра галактики в соответствующих фильтрах как среднее из двух (иногда трех) ПЗС-кадров. Необходимо отметить, что оценка фотометрической ошибки, как разность среднего значения ядра галактики от значений в каждом фильтре двух кадров, зависит от скорости изменения яркости ядра. Временной интервал между циклом наблюдений в фильтрах *UBVRI* достигает несколько минут (время

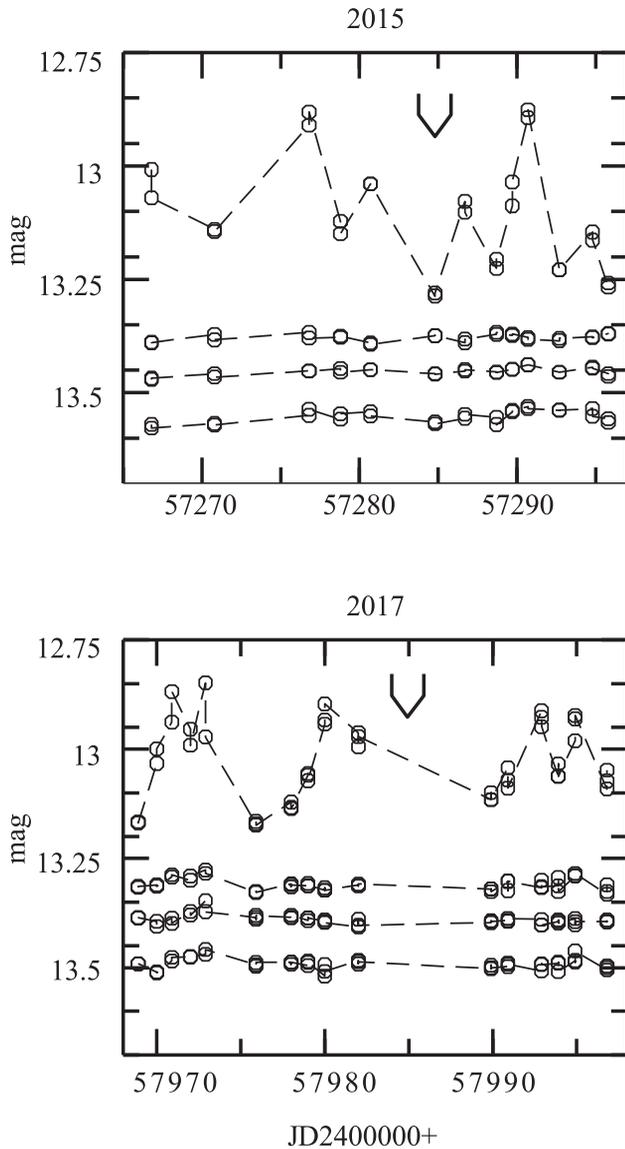


Рис. 1. Сравнение вариаций яркости центральной части NGC 7469 в фильтре *V* (2015 г., 2017 г.) с фотометрической ошибкой (детали см. текст).

экспозиций в каждом фильтре плюс время считывания сигнала), в который может измениться яркость галактики. Более надежной оценкой фотометрических ошибок является разность между калибровкой по стандартным звездам. На рис. 1 приводятся кривые яркости в фильтре *V* ядра галактики в круглой апертуре диаметром 13.5 угл. сек и в том же масштабе разность значений между стандартными звездами с номерами (6–8), (6–1), (6–4) и произвольно сдвинутой по оси ординат. Стандартные звезды с указанными номерами использованы из списка Дорошенко и др. (2005). Верхняя часть рис. 1 относится к данным за сентябрь 2015 г. (ПЗС-камера SNUCAM), нижняя – за август 2017 г. (ПЗС-камера FLI MicroLine). Статистический анализ изменений разности калибровок по стандартным звездам

(6–8), (6–1), (6–4) показал стандартное отклонение в звездных величинах 0.0136, 0.0092, 0.0138 для кривых на рис.1 (2015) и 0.0104, 0.0125, 0.0139 (2017). Фотометрические ошибки имеют значения 0.01 звездной величины, исключая очень редкие отклонения до 0.04 зв. вел. Изменения яркости ядра галактики на порядок больше, чем фотометрические ошибки. Отметим, что калибровка по нескольким звездам не приводит к увеличению точности измерения по сравнению с калибровкой по одной звезде, но дает уверенность в реалистической картине измеряемых значений яркости центральной части SyG NGC 7469.

АНАЛИЗ НАБЛЮДАТЕЛЬНЫХ ДАННЫХ

Результаты наблюдений представлены в графическом виде на рис. 2а–в в окнах видности как кривые переменности в фильтрах *UBVRI* в круглой апертуре диаметром 13.5 угл. сек. На оси ординат “mag” шкала в звездных величинах, диапазон 2.5 зв. вел. достаточен для описания значений *BVRI* яркости для всего периода наблюдений. Для удобства значения *U* яркости выделены в отдельном блоке на рисунках. На представленных кривых яркости не учтено галактическое поглощение, так как мы считаем, что значения поглощения получаются с некоторыми элементами моделирования, и важнее показать оригинальные наблюдаемые значения яркости NGC 7469. Можно визуальнo добавить поправку за поглощение на кривых яркости на рисунках. Поправки за галактическое поглощение в звездных величинах представлены в двух источниках: $A_U = 0.282$, $A_B = 0.250$, $A_V = 0.184$, $A_R = 0.146$, $A_I = 0.104$ (*S u F*) в работе Шлафли и др. (2011) и $A_U = 0.342$, $A_B = 0.297$, $A_V = 0.223$, $A_R = 0.181$, $A_I = 0.135$ (*SFD*) в Шлегель и др. (1998).

Наши наблюдения в 2019 г. в Bessell фильтрах хорошо согласуются по виду кривых яркости в Sloan фильтрах в наблюдениях из работы Винсентелли и др. (2023), в которой изучены задержки переменности между фильтрами.

Сравнение наших наблюдательных данных на период 2016–2019 гг. в фильтрах *BVRI* с данными, опубликованными в работе Бинатова и др. (2023), показало совпадение по величине звездных величин (одинаковый размер апертуры 13"5) в среднем по периоду, но практически нет совпадения по наблюдательным ночам. Объединение данных позволит увеличить плотность наблюдаемых рядов.

Мы провели сравнение *BVR* наблюдений с данными, полученными Шомшекова и др. (2020). Совпадений по датам наблюдений немного, в основном, в 2015 г. Наблюдается хорошее совпадение по виду кривых яркости, но отличаются звездные величины из-за разных апертур: майданакская 13"5 и казахстанская 6"5.

(В)

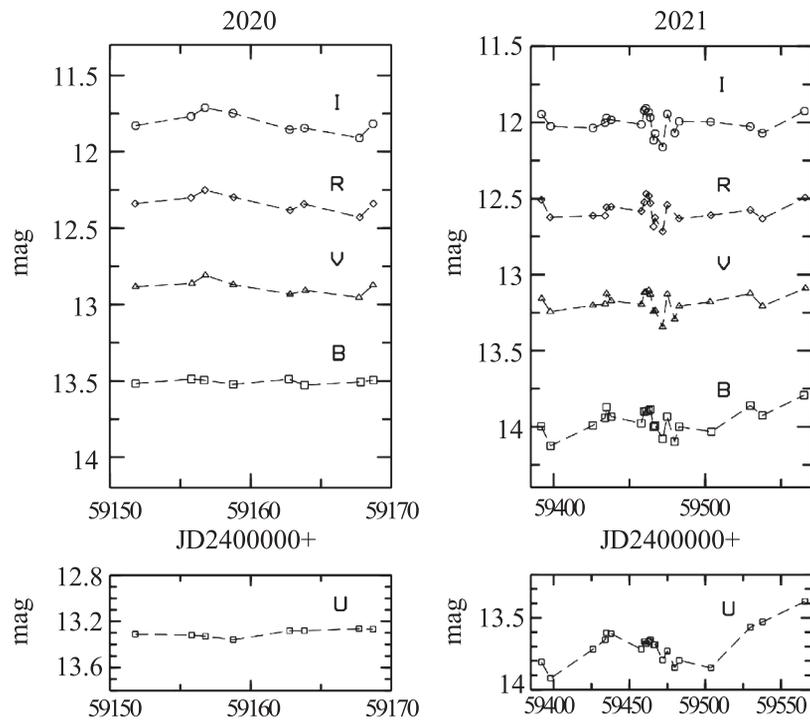


Рис 2. Изменение яркости центральной части галактики NGC 7469 в круглой апертуре 13"5 в фильтрах *UBVRI* в окнах видности периода наблюдений 2015–2017 гг. (а), 2018–2019 гг. (б), 2020–2021 гг. (в).

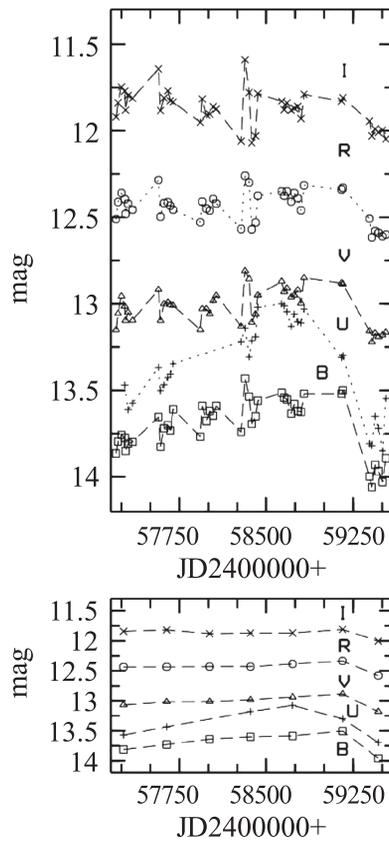


Рис 3. Изменение яркости центральной части галактики NGC 7469 в круглой апертуре 13"5 в фильтрах *UBVRI* в 2015–2021 гг. В верхней части графика даны значения яркости с усреднением за месяц в каждом году, в нижней части даны значения с усреднением за каждый год.

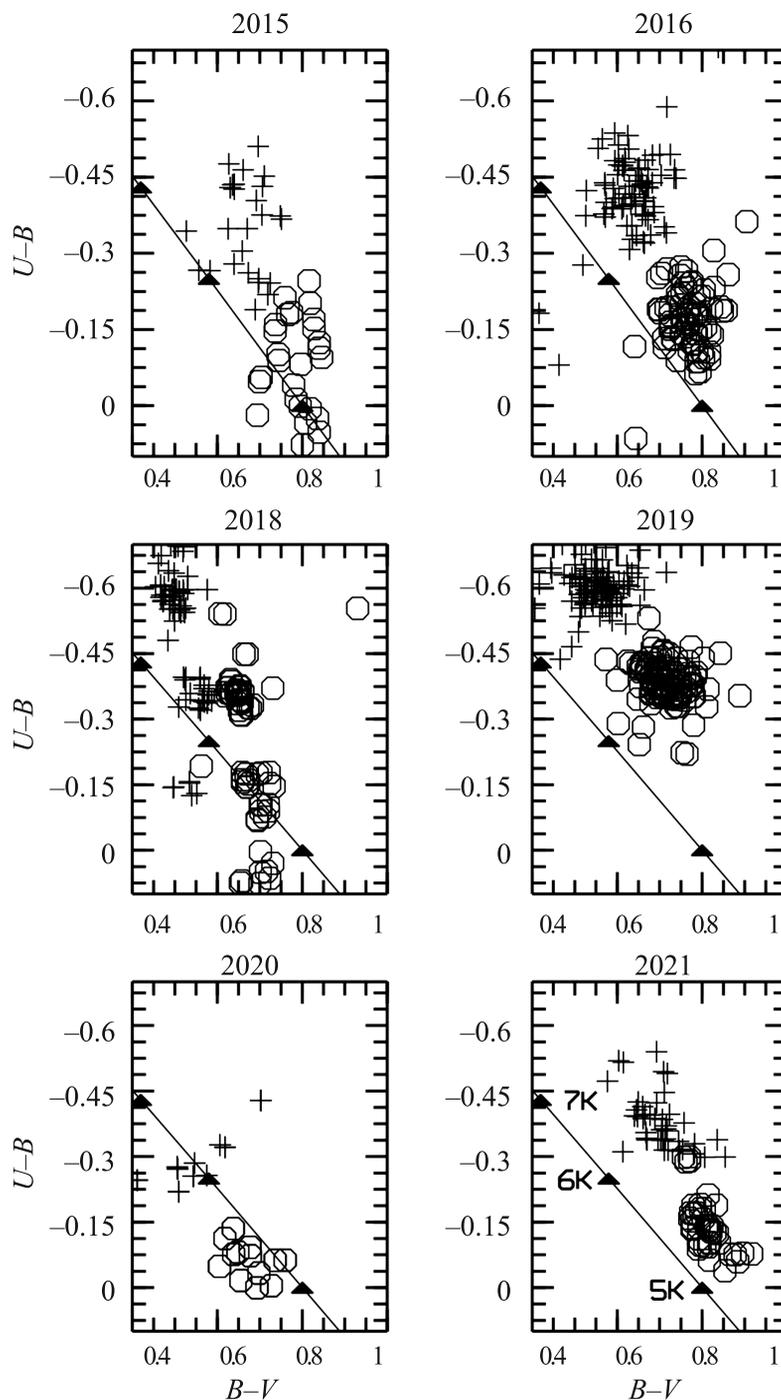


Рис. 4. Двухцветные диаграммы $(U-B) - (B-V)$. На диаграмме показаны данные показателей цвета без учета галактического поглощения. Символ + использован для показателей цвета в круглой апертуре размером 5 угл. сек, кружком для 30 угл. сек.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ НАБЛЮДЕНИЙ

На рис. 3 даны усредненные наблюдательные данные в течение месяца и одного года для всего периода наблюдений. Такой подход позволяет увидеть характер переменной яркости центральной части SyG галактики NGC 7469 на разных временных интервалах.

Отметим, что усреднение для двух кадров, разделенных периодом около 9 мин в цикле наблюдения в одну ночь, не должно существенно влиять на результат среднего измерения вариаций яркости центральной части SyG галактики NGC 7469.

Анализ переменности галактики NGC 7469 удобнее рассмотреть в терминах: S-медленная

вспышка и F-быстрая вспышка, предложенных Лютым и Проником (1975). Излучение аккреционного диска состоит из излучения оптически толстого (близкого к чернотельному) и нетеплового излучения короны диска механизмом репроцессинга, Лютый (2005).

Майданакские наблюдения за период 1990–2014 гг. (Артамонов и др., 2010б; Уголькова и др., 2017) показали две S-вспышки с максимумом в 1997–1998 гг. и 2010–2011 гг. продолжительностью 6–7 лет и амплитудой 0.5–0.6 зв. вел. в максимуме, F-вспышки имеют продолжительность от нескольких дней до двух месяцев и амплитуду 0.1–0.2 зв. вел.

Новые наблюдения 2015–2021 гг. показали наличие S-вспышки в фильтрах *UBVRI*, наблюдается увеличение яркости с 2015 г., достигая максимума в 2019 г., с амплитудой до 0.5 зв. вел. в фильтре *U*, 0.25 зв. вел. в *B*, 0.1 в *V*, 0.05 в *R*, близка к 0 в *I*. Увеличение яркости NGC 7469 от 2015 г. до 2019 г. также обнаружено в работах Бинатова и др. (2023) и Шомшекова и др. (2020). Во всех фильтрах на рис. 3 видно уменьшение яркости от 2020 г. до 2021 г. Быстрая компонента переменности F близка по параметрам для наблюдений в 1990–2014 гг. Структура аккреционного диска обсуждается во многих работах, в качестве примера можно посмотреть Сейфина и др. (2018), Винсентелли и др. (2023), Сергеев и др. (2005) и ссылки в этих работах.

На рис. 4 приводится двухцветная диаграмма $(U-B)/(B-V)$ показателей цвета для круглых апертур, крест показывает значения в апертуре диаметром 5 угл. сек, кружок в апертуре – 30 угл. сек. Для сравнения на диаграмме даны значения температуры чернотельного излучения на кривой (5, 6, 7 К). Практически невозможно разделить галактику и ядро с аккреционным диском, но при уменьшении апертуры центральная часть галактики становится более голубой. Отметим, что в 5 секундную апертуру входит кольцо звездообразования (диаметр 3 угл. сек), состоящее из молодых звезд. Мы планируем продолжить анализ центральной части галактики в следующей работе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2015–2021 гг. проведены наблюдения SyG галактики NGC 7469 и получены следующие результаты:

1. Обнаружена медленная S-вспышка, которая начинается в 2015 г. и достигает максимума в 2019 г., амплитуда вспышки имеет 0.5 зв. вел. в фильтре *U*, 0.25 в *B*, 0.1 в *V*, 0 в *I*.
2. Во всех фильтрах наблюдается быстрое уменьшение яркости от 2020 г. к 2021 г.
3. Быстрые вспышки имеют такие же параметры, как в предыдущих майданакских наблюдениях.

4. На двухцветных диаграммах $(U-B)/(B-V)$ показатели цвета более голубые в апертуре диаметром 5 угл. сек, чем в 30-секундной апертуре. Кольцо звездообразования размером 3 угл. сек вокруг ядра галактики может внести вклад в “поголубение” в 5-секундную апертуру.

В следующей части мы планируем провести исследования задержки переменности в разных фильтрах. Авторы благодарят коллектив ночных ассистентов-наблюдателей на телескопе АЗТ-22 Майданакской обсерватории. Авторы благодарны референтам за полезные советы и замечания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Артамонов и др. (B.P. Artamonov, V.V. Bruevich, A.S. Gusev, O.V. Ezhkova, M.A. Ibrahimov, S.P. Ilyasov, S.A. Potanin, Yu.A. Tillaev, and Sh.A. Ehgamberdiev), *Astron. Rep.* **54**, 1019 (2010a).
2. Артамонов и др. (B.P. Artamonov, V.V. Bruevich, A.S. Gusev, O.V. Ezhkova, L.S. Ugol'kova, and E.V. Shimanovskaya), *Astron. Rep.* **54**, 767 (2010b).
3. Артамонов и др. (B.P. Artamonov, S.B. Novikov, and A.A. Ovchinnikov), *Methods for Increasing the Efficiency of Optical Telescopes* (Ed. S.A. Gladyshev, Mosc. Gos. Univ., Moscow, 8, 1987).
4. Артамонов (B.P. Artamonov), *Proc. SPIE* **2871**, 737 (1997).
5. Бинатова и др. (Z.F. Binnatova, B.I. Abdullayev, and N.A. Huseynov), *Astron. J. Az.* **18**, 47 (2023).
6. Винсентелли и др. (F.M. Vincentelli, M. Beard, I. Mc Hardy, E. Cackett, K. Horne, and M. Pahari), *Astron. Nachrichten* **344**, Iss. 4 (2023).
7. Дорошенко и др. (V.T. Doroshenko, V.M. Lyutyi, and V.Yu. Rakhimov), *Sov. Astron. Lett.* **15**(3) (1989).
8. Дорошенко и др. (V.T. Doroshenko, S.G. Sergeev, N.I. Merkulova, E.A. Sergeeva, Yu.V. Golubinsky, V.I. Pronik, and N.N. Okhmat), *Astrophysics* **48**, 304 (2005).
9. Замора, Диаз (S. Zamora and A.I. Díaz), *arXiv*231012895Z (2023).
10. Им и др. (Myung-Shin Im, et al.), *JKAS* **43**, 77 (2010).
11. Лим и др. (Lim et al.), *JKAS* **41**, 1 (2009).
12. Лютый, Проник (V.M. Liutyi and V.I. Pronik), *IAU Symp.* **67**, 591 (1975).
13. Лютый и др. (V.M. Lyutyi, V.T. Doroshenko, et al), *Astron. Rep.* **21**, 581 (1995).
14. Лютый В.М., Письма в Астрон. журн. **31**, 723 (2005) [V.M. Lyutyi, *Astron. Lett.* **31**, 645 (2005)].
15. Меркулова (N.I. Merkulova), *Astron. J.* **119**, 631 (2000).
16. Пенстон и др. (M.V. Penston, M.V. Penston, and A.R. Sandage), *Publ. Astron. Soc. Pacific* **83**, 783 (1971).

17. Петерсон и др. (B.M. Peterson, C.J. Grier, K. Horne, R.W. Pogge, M.C. Bentz, G. De Rosa, K.D. Denney, P. Martini, et al.), *Astrophys. J.* **795**, 149 (2014).
18. Потанин (S.A. Potanin), *Astron. Rep.* **53**, 703 (2009).
19. Сейфина и др. (E. Seifina, L. Titarchuk, and L. Ugol'kova), *Astron. Astrophys.* **619**, A21 (2018).
20. Сергеев и др. (S.G. Sergeev, V.T. Doroshenko, Yu.V. Golubinskiy, N.I. Merkulova, and E.A. Sergeeva), *Astrophys. J.* **622**, 129 (2005).
21. Шлафли и др. (E.F. Schlafly and D.P. Finkbeine), *Astrophys. J.* **737**, 103 (2011).
22. Шлегель и др. (D.J. Schlegel, D.P. Finkbeiner, and M. Davis), *Astrophys. J.* **500**, 525 (1998).
23. Уголькова и др. (L.S. Ugol'kova, B.P. Artamonov, E.V. Shimanovskaya, V.V. Bruevich, O. Burkhonov, Sh.A. Egamberdiev, and N.V. Metlova), *Astron. Lett.* **43**, 233 (2017).
24. Шомшекова и др., (S.A. Shomshekova, E.K. Denis-syuk, R.R. Valiullin, A.V. Kusakin, I.V. Reva, and M.A. Krugov), *News Nat. Acad. Kazakhstan, Phys.-Mat. Ser.* **4**, 332, 127 (2020).
25. Эгамбердиев и др. (S.A. Ehgamberdiev, A.K. Ba-ijumanov, S.P. Ilyasov, M. Sarazin, Y.A. Tillayev, A.A. Tokovinin, and A. Ziad), *Astron. Astrophys. Suppl. Ser.* **145**, 293 (2000).