

УДК 524.77

ИЗМЕНЕНИЯ СПЕКТРАЛЬНОГО ТИПА ЯДРА СЕЙФЕРТОВСКОЙ ГАЛАКТИКИ NGC 3516 В 2016–2020 гг.

© 2020 г. В. Л. Окнянский^{1,*}, Х. М. Микаилов², Н. А. Гусейнов²

¹Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова,
Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга, Москва, Россия

²Шамахинская астрофизическая обсерватория НАН, Баку, Азербайджан

*E-mail: oknyan@mail.ru

Поступила в редакцию 16.06.2020 г.

После доработки 02.08.2020 г.

Принята к публикации 15.08.2020 г.

Представлены результаты спектральных наблюдений NGC 3516 в 2016–2019 гг., полученных с 2-м телескопом Шамахинской астрофизической обсерватории. В первой половине 2016 г. наблюдался интенсивный широкий компонент H β , что говорит о смене типа, в сравнении с 2014 г., когда он был почти не виден. Во второй половине 2016 г. широкий компонент H β снова ослабел и был практически не наблюдаем до конца 2019 г. В конце 2019 г. широкий компонент H β снова усилился, а в мае 2020 г. достиг типичного уровня для высокого состояния объекта. В течение 2016–2020 гг. мы наблюдали несколько смен спектрального типа NGC 3516.

DOI: 10.31857/S0004629920120087

1. ВВЕДЕНИЕ

Галактика NGC 3516 была открыта в 1785 г. Уильямом Гершелем и входит в классический список Сейферта [1]. Она является первой сейфертовской галактикой, у которой была обнаружена (в 1968 г.) спектральная переменность, и одновременно первым открытым активным галактическим ядром (АГЯ), которое меняет свой спектральный тип [2, 3]. Однако в 1968 г. было сделано ошибочное предположение, что переменными были запрещенные линии, а континуум и бальмеровские линии не менялись. Открытие переменности линии H α в NGC 3516 и одновременно первое измерение величины запаздывания переменности этой линии относительно континуума (для АГЯ в целом) были сделаны в 1973 г. [4].

Классификация АГЯ по типам основана на свойствах эмиссионных линий. К первому типу (Sy1) относятся объекты, имеющие в спектре широкие разрешенные линии (с полушириной на половине интенсивности (HWHM) более 1000 км/с) и относительно более узкие запрещенные линии с HWHM менее 1000 км/с. Ко второму типу (Sy2) относятся объекты, в которых разрешенные и запрещенные линии имеют примерно одинаковую HWHM, менее 1000 км/с (см. детали и ссылку, например, в [5]). С точки зрения унификационной модели (УМ) эти спектральные различия [6] объясняются наличием пылевого тора и его различной ориентацией по отношению к наблюдате-

лю. Существование АГЯ, меняющих свой тип за сравнительно короткое время (месяцы или менее), представляет серьезную проблему для УМ. В настоящее время известно несколько десятков меняющих свой тип АГЯ и они получили название Changing Look AGN (CL AGN, термин, не имеющий аналога в русском языке). Ядро NGC 3516 имеет значительную амплитуду переменности и интенсивно наблюдалось последние полвека (см. обзор в [3, 7]). После максимума в 2006 г. светимость объекта снижалась, и в 2012–2015 гг. объект находился в глубоком минимуме. В 2014 г. в NGC 3516 было зафиксировано изменение типа, когда широкая линия H β была практически не видна [3]. В конце 2015 г. – первой половине 2016 г. по фотометрическим наблюдениям было отмечено поярчение [3, 7]. К сожалению, не имеется опубликованных спектров объекта в 2016 г. Во второй половине 2016 г. объект ослабел и находился в состоянии низкой активности до конца 2018 г. (см., например, [3, 7]), а потом было зафиксировано пробуждение активности объекта в 2019 г. и значительная вспышка в континууме (в рентгене, УФ и оптическом диапазоне) в начале 2020 г., сопровождавшаяся новым изменением типа [8]. Ядро NGC 3516 было включено нами в список объектов в проекте мониторинга CL AGN [9]. Наши спектральные наблюдения приходятся на интервал 2016–2020 гг., когда в NGC 3516 происходили значительные изменения, а другие

Таблица 1. Информация о полученных спектрах (см. описание спектрографов 1–3 в тексте)

Дата	MJD	Апертура (")	Разр. (Å)	Дисп. (Å/пик)	S/N	Эксп. (сек)	Спектрограф
04.03.16	57452	2.4 × 12	10.6	5.3	70	450	1
07.04.16	57486	1.2 × 12	5.3	2.7	46	600	1
10.05.16	57519	1.2 × 30	5.3	2.7	53	600	1
03.08.16	57604	1.2 × 30	5.3	2.7	36	600	1
22.07.17	57957	1.1 × 40	4.2	2.1	30	900	2
23.07.17	57604	2.2 × 40	8.3	4.2	28	600	2
16.05.18	58255	2.2 × 80	8.3	4.2	45	2400	2
11.12.19	58586	2.2 × 80	8.0	4.0	66	1000	3
22.05.20	58992	2.2 × 80	8.0	4.0	150	1200	3
28.05.20	58998	2.2 × 80	8.0	4.0	150	1500	3
30.05.20	58998	2.2 × 80	8.0	4.0	150	1500	3

спектральные наблюдения (по публикациям) отсутствовали или были малочисленными. Описание этих наблюдений и результаты приведены в следующих разделах.

2. СПЕКТРАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Спектральные наблюдения галактики NGC 3516 в оптическом диапазоне проводились в 2016–2019 гг. на 2-м телескопе Шамахинской астрофизической обсерватории в течение 11 ночей. Для получения спектров были использованы три различных спектрографа: (1) 2 × 2 призмный спектрограф с ПЗС камерами FLI (4096 × 4096, 1 пиксель = 9 мкм [10]); (2) UAGS + объектив “Уран” ($f = 250$ мм, $f/2.5$) + ПЗС камера FLI (3056 × 2048, 1 пиксель = 9 мкм); (3) UAGS + объектив Canon EF ($f = 200$ мм, $f/2$) + ПЗС камера Andor (ikonL-936-BEX2-DD 2048 × 2048, 1 пиксель = 13.5 мкм). Диапазон длин волн составлял от 3800 Å до 8000 Å, а спектральное разрешение соответственно менялось между ~3.8–5.3 Å и 8.3–10.6 Å. Отношение сигнал/шум (S/N) в континууме вблизи линии H β составляло ~25–130. Спектрофотометрические стандартные звезды наблюдались каждую ночь. Первый спектрограф долгое время эксплуатировался в классическом варианте с регистрацией спектров фотографическим способом (см., например, [11]), а затем был модернизирован для регистрации спектров с помощью ПЗС матрицы [10]. Этот спектрограф использовался, в основном, для получения низкодисперсионных спектров слабых нестационарных звезд. Сделанные оценки точности измерения эквивалентных ширинок линий поглощения (менее 10%), конечно, мало применимы для оценки точности измерения широких эмиссионных линий в спектрах АГЯ, но могут служить

нижней оценкой величины ошибок. Исследования АГЯ, проведенные с этим спектрографом, опубликованы только в [12, 13]. Спектрографы (2) и (3) начали использоваться только в последние несколько лет, и поэтому публикаций по ним мало (см., например, [14, 15]).

Обработка спектров осуществлялась с помощью новой версии пакета программ DECH. Выделение всех спектров проводилось с использованием маски IRAF. Процесс включал вычитание темнового тока, поправки на плоские поля, удаление космических лучей, 2D линейризацию длин волн, вычитание спектра неба, вычитание спектра галактики (звездной составляющей) и т.д. В табл. 1 представлена краткая информация об оборудовании и журнал наблюдений. Спектральное разрешение и дисперсия указаны для области возле H β . Мы измеряли интенсивность линии H β по отношению к линии [OIII] λ 5007, которая считалась постоянной в течение наших наблюдений. На рис. 1 представлены примеры калиброванных спектров ядра галактики в относительных интенсивностях, полученных в 2016–2020 гг. На рис. 2 приведен пример калиброванного спектра в абсолютном потоке, полученный 22 мая 2020 г. На рис. 3 показаны примеры профилей H β в три даты. Как видно из табл. 1, наши спектральные данные неоднородны по способу получения и по качеству. Условно можно разбить данные на 2 группы: данные, полученные в 2016–2018 гг., где качество было ниже, и данные, полученные с декабря 2019 г. по май 2020 г., когда данные получены с новым спектрографом и более однородны.

О точности измерения интенсивности H β (по отношению к линии [OIII] λ 5007) можно судить по ее вариациям в близкие даты. Последние три спектра были получены в течение 8 дней, и размах

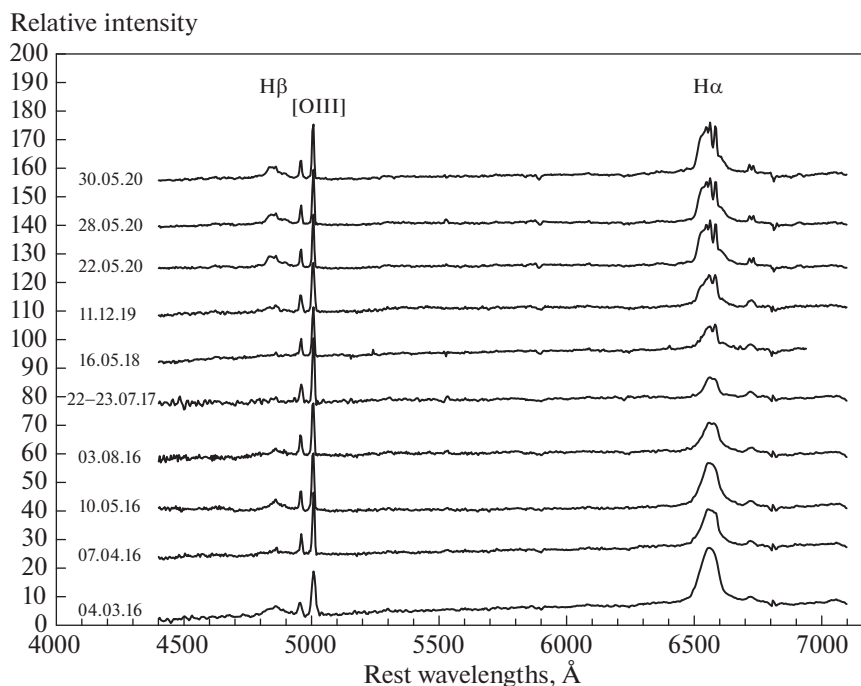


Рис. 1. Калиброванные спектры NGC 3516 в относительных интенсивностях (сдвинутые произвольно по оси ординат для оптимальной наглядности) за 2016–2020 гг.

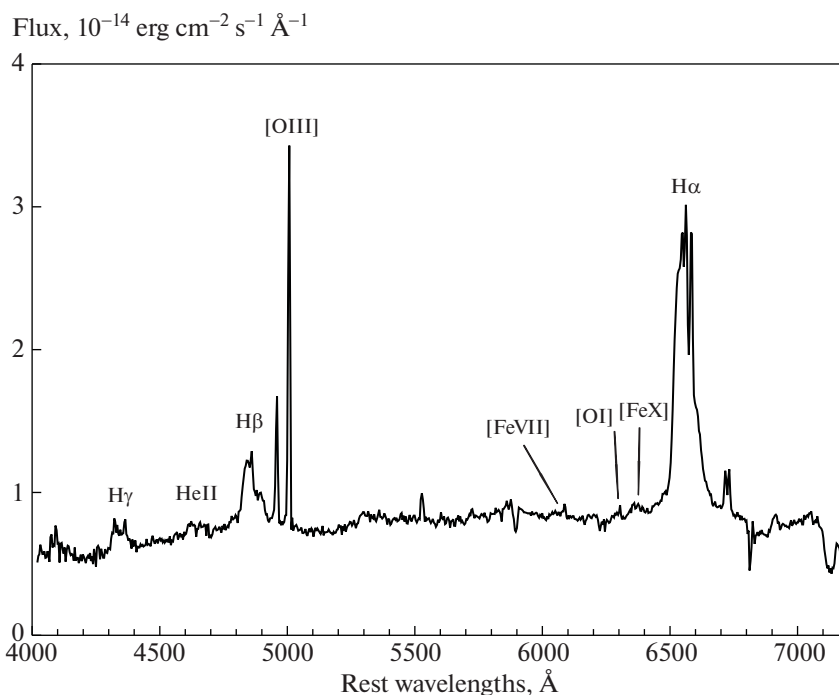


Рис. 2. Спектр ядра NGC 3516 (с убраным спектром звездной составляющей), полученный 22 мая 2020 г.

изменений интенсивности $H\beta$ составил около 10%, причем не исключено, что частично это связано реальной переменностью линии. Мы, однако, приняли консервативную оценку 10% в каче-

стве среднеквадратичной ошибки измерения линии в последних четырех спектрах.

В первых спектрах, полученных в 2016–2018 гг., ошибки измерений значительно больше, что свя-

3. РЕЗУЛЬТАТЫ

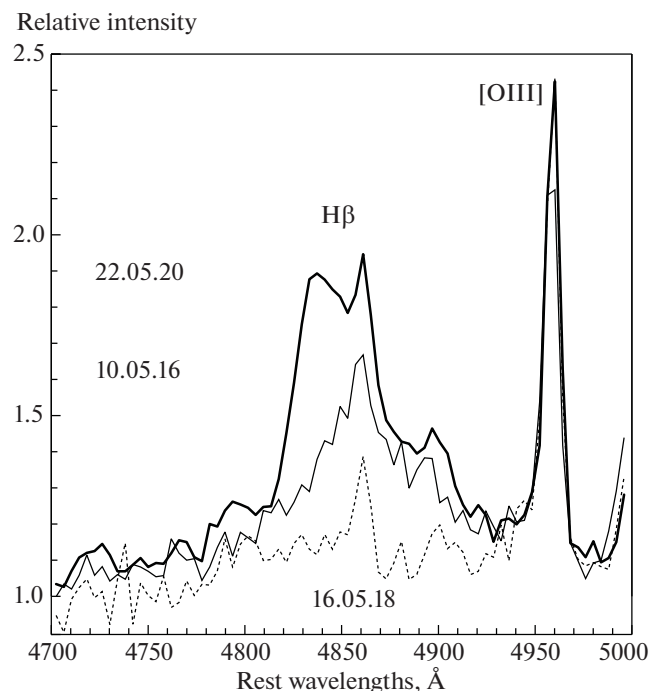


Рис. 3. Спектры NGC 3516 в области H β , нормированные к континууму в три даты, — 10 мая 2016 г., 16 мая 2018 г. и 22 мая 2020 г.

зано с особенностями спектрографов, различными ширинами спектральной щели и качеством погодных условий. Влияние ширины спектральной щели на измерение интенсивности H β может быть оценено по данным, полученным в близкие даты. По нашим оценкам изменение ширины щели от 1" до 2" может дать ошибку, не превышающую по величине ошибку измерения, которая в 2016–2018 гг. составляла по нашей оценке около 20%. Спектры, полученные в соседние ночи в октябре 2017 г., были объединены в один для уменьшения шумов. Отметим, что в случае слабой линии H β , когда широкий компонент почти не виден, ошибки могут быть значительно больше. В [3] делались оценки влияния ширины щели на измеренную интенсивность H β , и размах разброса не превышал 30% при изменениях щели в 2 раза, причем данные были получены на разных телескопах. Мы выбирали размер щели в зависимости от качества изображения, что частично уменьшает роль изменения условий и размеров щели на измерения интенсивности H β . Необходимо отметить, что ошибки в измерении эквивалентных ширин линий могут быть значительно больше, чем в измерении относительной интенсивности линий ввиду значительных коррелированных ошибок, связанных с процедурой проведения континуума. Изменения интенсивности H β в 2016–2020 гг. показаны на верхней панели рис. 4.

Как это хорошо видно из рис. 1, интенсивность широкого компонента H β испытывала значительные изменения: весной 2016 г. эта линия была типичной для Сейфертовских ядер типа 1, затем она ослабела к августу 2016 г. В 2017–2018 гг. широкий компонент H β был очень слабым, практически невидимым, что характерно для Сейфертовских ядер типа 1.9, а в конце 2019 г. линия H β снова начала расти, и в мае 2020 г. спектр снова стал типичным для Сейфертовских ядер типа 1. Эти выводы подтверждают опубликованные ранее результаты [7, 16]. Однако в 2016 г. не было опубликовано других результатов спектральных наблюдений NGC 3516. Наш результат о том, что весной 2016 г. объект фактически изменил свой спектральный тип по сравнению со спектром 2014 г. (см. [3]) и стал Сейфертовским ядром типа 1, является новым. По фотометрическим рядам и данным *Swift* [7] в конце 2015 г.—начале 2016 г. в объекте происходила вспышка, поэтому значительное усиление широких эмиссионных линий весной 2016 г. объясняется увеличением потока ионизирующего излучения от центрального источника. Таким же образом объясняется ослабление эмиссионных линий в 2017–2018 гг. и их усиление с конца 2019 г. по настоящее время, когда в объекте наблюдалась новая яркая вспышка в континууме [16].

На рис. 2 показан один из последних спектров, полученный 22 мая 2020 г. Хорошо видно усиление не только Бальмеровских линий H α , H β и H γ , но также линии HeII λ 4681 и корональной линии [FeX] λ 6374 (см. также [7]). Переменность профиля H β для трех дат 10 мая 2016 г., 16 мая 2018 г. и 22 мая 2020 г. показана на рис. 3. Переменность интенсивности H β относительно [OIII] λ 5007 показана на рис. 4. Для сравнения на этом рисунке приведены опубликованные ранее фотометрические данные (см. детали в [7]). Яркая вспышка в феврале-мае 2020 г. была обнаружена в [16], и это подтверждается нашими результатами о значительном усилении эмиссионных линий в мае 2020 г. Особенностью профиля H β в мае 2020 г. является появление очень яркого пика в голубом крыле, который доминирует в широком компоненте линии. Наблюдается также смещенный в красную сторону компонент, но значительно более слабый по интенсивности. Однако красный компонент, по-видимому, присутствовал и в 2016–2018 гг., а голубой пик появился и усилился только в последнее время. Таким образом, в течение 2016–2020 гг. объект находился в нестабильном состоянии и несколько раз менял свой спектральный тип. Состояния высокой активности и спектр типа 1 наблюдались в начале 2016 г. и в мае 2020 г.

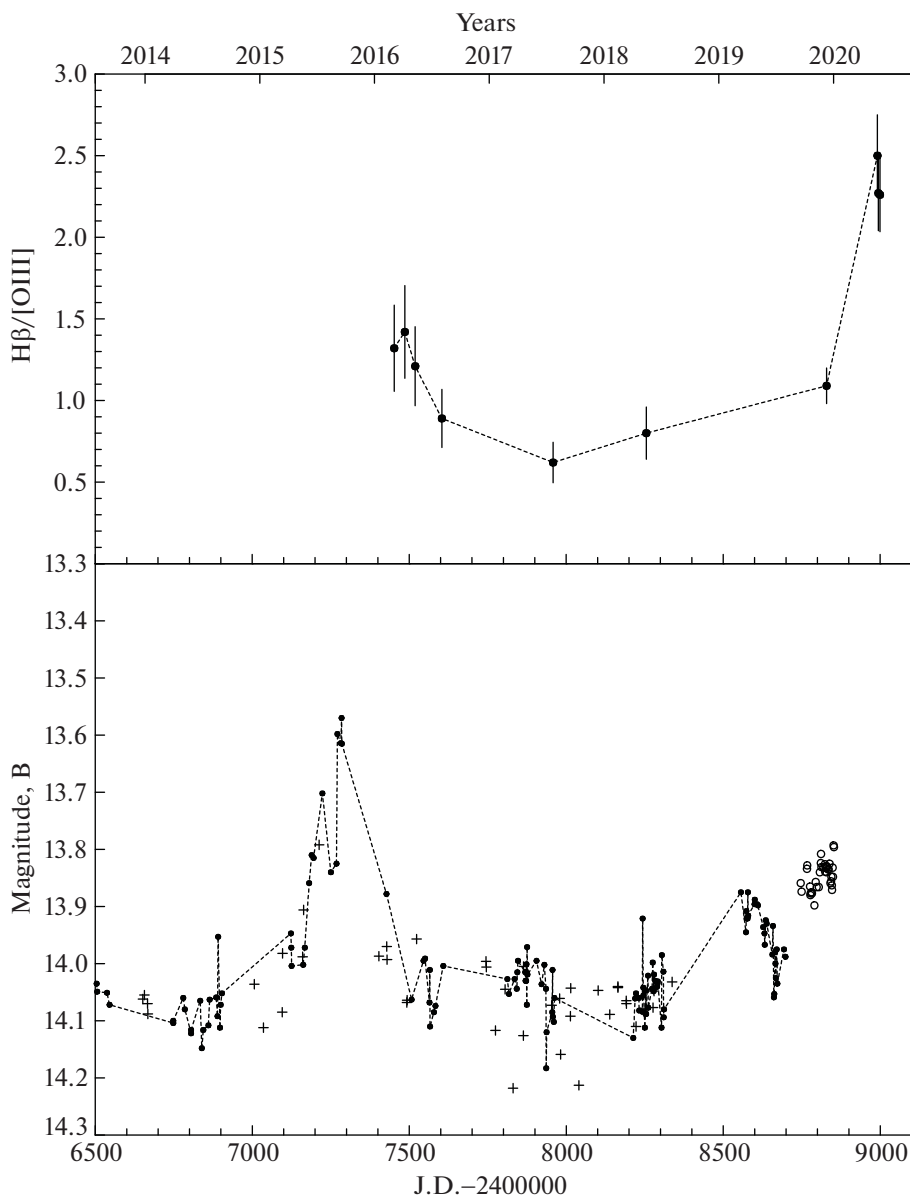


Рис. 4. Верхняя панель: переменность интенсивности $H\beta$ относительно $[OIII]\lambda 5007$ в 2016–2020 гг. Нижняя панель: кривая блеска NGC 3516 в фильтре B с апертурой $10''$ по опубликованным данным: точки – фотометрия в Крымской астрономической станции ГАИШ МГУ, крестики – фотометрия, проведенная в САО РАН, кружки – фотометрия, проведенная в КГО ГАИШ МГУ (см. текст).

4. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В 2016–2020 гг. нами проведены спектральные наблюдения ядра сейфертовской галактики NGC 3516. Полученные результаты показали значительную переменность $H\beta$, которую можно идентифицировать как изменения спектрального типа в 2016 и 2020 г. Интервал около 4 лет между высокими состояниями ядра NGC 3516 практически совпадает с найденным периодом в переменности объекта [17]. Мы сопоставили наши спектральные данные с опубликованными фотометрическими данными и обнаружили согласие най-

денной нами спектральной переменности с изменениями континуума. Таким образом, изменения спектрального типа можно интерпретировать как следствие изменения светимости центрального источника. В качестве возможных физических механизмов таких значительных изменений светимости в литературе рассматриваются переменное поглощение на луче зрения, различные типы неустойчивостей в аккреционном диске, приливное разрушение звезд сверхмассивной черной дырой, близкие к черной дыре пролеты звезд с потерей части оболочки и др. Ре-

куррентный характер изменений типа АГЯ может найти естественное объяснение как в моделях с неустойчивостями в аккреционном диске, так и в модели близких пролетов возле черной дыры звезд, двигающихся по вытянутым замкнутым орбитам. Необходимые ссылки и более подробное обсуждение возможных физических механизмов изменения спектрального типа можно найти, например, в [7, 12, 16, 18, 19].

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают признательность коллективу ШАО за помощь в организации и проведении спектральных наблюдений, а также А.М. Черепашуку и Д. Илич за полезные обсуждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. C. K. Seyfert, *Astrophys. J.* **97**, 28 (1943).
2. Y. Andrillat and S. Souffrin, *Astrophys. Lett.* **1**, 111 (1968).
3. A. I. Shapovalova, L. Č. Popović, V. L. Afanasiev, D. Ilić, Kovačević, A., A. N. Burenkov, V. H. Chavushyan, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **485**, 4790 (2019), 1902.10845.
4. A. M. Cherepashchuk and V. M. Lyutyi, *Astrophys. Lett.* **13**, 165 (1973).
5. E. A. Dibai, *Soviet Astronomy Letters* **7**, 248 (1981).
6. R. Antonucci, *Ann. Rev. Astron. and Astrophys.* **31**, 473 (1993).
7. D. Ilić, V. Oknyansky, L. Č. Popović, S. S. Tsygankov, A. A. Belinski, A. M. Tatarnikov, A. V. Dodin, N. I. Shatsky, N. P. Ikonnikova, N. Rakić, et al., *Astron. and Astrophys.* **638**, A13 (2020), 2004.01308.
8. V. L. Oknyansky, S. S. Tsygankov, A. V. Dodin, A. M. Tatarnikov, A. A. Belinski, N. P. Ikonnikova, M. A. Burlak, A. A. Fedoteva, N. I. Shatsky, E. O. Mishin, et al., *The Astronomer's Telegram* **13691**, 1 (2020).
9. V. L. Oknyanskij, N. A. Huseynov, V. M. Lipunov, A. M. Tatarnikov, N. I. Shatsky, S. S. Tsygankov, V. G. Metlov, I. R. Salmanov, and C. M. Gaskell, *Odessa Astronomical Publications* **29**, 92 (2016).
10. X. M. Mikailov, B. N. Rustamov, and I. A. Alekberov, *Azerbaijani Astronomical Journal* **9**, 23 (2014).
11. B. N. Rustamov, *Astronomy Letters* **27**, 34 (2001).
12. V. L. Oknyansky, C. M. Gaskell, N. A. Huseynov, V. M. Lipunov, N. I. Shatsky, S. S. Tsygankov, E. S. Gorbovskey, K. M. Mikailov, A. M. Tatarnikov, D. A. H. Buckley, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **467**, 1496 (2017), 1701.05042.
13. V. L. Oknyansky, C. M. Gaskell, N. A. Huseynov, K. M. Mikailov, V. M. Lipunov, N. I. Shatsky, S. S. Tsygankov, E. S. Gorbovskey, A. M. Tatarnikov, V. G. Metlov, et al., *Odessa Astronomical Publications* **30**, 117 (2017), 1711.02631.
14. D. Y. Tsvetkov, P. V. Baklanov, M. S. Potashov, V. L. Oknyansky, K. M. Mikailov, N. A. Huseynov, I. A. Alekberov, O. V. Khalilov, N. N. Pavlyuk, V. G. Metlov, et al., *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **487**, 3001 (2019), 1904.06586.
15. N. Z. Ismailov, K. M. Mikhailov, O. V. Khalilov, I. A. Alekberov, S. Bagirli, S. A. Alishov, L. Wyrzykowski, P. Zielinski, I. Gezer, and N. Ihanec, *The Astronomer's Telegram* **13861**, 1 (2020).
16. V. L. Oknyansky, H. Winkler, S. S. Tsygankov, V. M. Lipunov, E. S. Gorbovskey, F. van Wyk, D. A. H. Buckley, B. W. Jiang, and N. V. Tyurina, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* (2020), 2006.00001.
17. A. B. Kovacevic, L. C. Popovic, and D. Ilic, *Open Astronomy* **29**, 51 (2020).
18. V. L. Oknyansky, H. Winkler, S. S. Tsygankov, V. M. Lipunov, E. S. Gorbovskey, F. van Wyk, D. A. H. Buckley, and N. V. Tyurina, *Monthly Not. Roy. Astron. Soc.* **483**, 558 (2019), 1811.06926.
19. C. L. MacLeod, P. J. Green, S. F. Anderson, A. Bruce, M. Eracleous, M. Graham, D. Homan, A. Lawrence, A. LeBleu, N. P. Ross, et al., *Astrophys. J.* **874**, 8 (2019), 1810.00087.