

NEWS

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

PHYSICO-MATHEMATICAL SERIES

ISSN 1991-346X

Volume 5, Number 303 (2015), 38 – 43

RESULTS OF THE SPECTRAL AND PHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF RS Ophiuchi

L. Kondratyeva, F. Rspaev, Y. Aimuratov

Fessenkov Astrophysical Institute, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: lu_kondr@mail.ru

Key words: variable stars, recurrent Novae, emission spectra, photometry, individual objects- RS Oph.

Abstract. Spectral and photometric observations of the object RS Oph were carried out in Fessenkov Astrophysical Institute in 2009–2014. The object is classified as a recurrent Nova, the last active stage was observed in February, 2006. Now the object is in the quiet stage. Its brightness varies within $0^m.5$ in B and V filters, and the – values don't not fall below $11^m.3$. Significant spectral changes of RS Oph are registered. So, during the last five years the absolute fluxes of H I, He I and Fe II emission lines have decreased by a factor of 2–4. Continuous changes of the emission profiles are observed. Average half widths of the lines (FWHM) equal to 210 ± 10 km/sec for H β and 230 ± 10 km/sec for H α . The V/R ratio changes from 0.4 up to 0.8. The broad wings of H α are registered on some spectrograms. Their extension varies from date to date, an average width for zero level of intensity equals to ~ 3000 km/sec. It is possible to assume that emission lines of hydrogen and helium are formed in the envelope, rather closed to the hot component, and the wide wings may to arise under the action of stellar wind from accretion disc. Thus, even in the quiet stage of the given object the active processes in accretion disc take place and they influence on the physical conditions in the surrounding gaseous envelope.

УДК 524.335

РЕЗУЛЬТАТЫ СПЕКТРАЛЬНЫХ И ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ RS Ophiuchi

Л. Н. Кондратьева, Ф. К. Рспаев, Е. К. Аймуратов

ДТОО «Астрофизический Институт им. Фесенкова», Алматы, Казахстан

Ключевые слова: переменные звезды, рекуррентные новые, эмиссионные спектры, фотометрия, индивидуальные объекты – RS Oph.

Аннотация. Спектральные и фотометрические наблюдения объекта RS Oph проводились в Астрофизическом Институте им. Фесенкова в 2009–2014 гг. Объект является рекуррентной Новой, его последняя активная фаза наблюдалась в феврале 2006 г. В настоящее время объект находится в «спокойной» стадии. Его блеск меняется в пределах $0^m.5$ в B и V фильтрах, при этом значения V величины не опускались ниже $11^m.3$. Отмечена значительная спектральная переменность RS Oph. Так, в течение последних 5 лет потоки излучения в линиях H I, He I и Fe II уменьшились в 2–4 раза. Наблюдаются постоянные изменения формы профилей. Средняя полуширина линий (FWHM) составляет 210 ± 10 км/с для H β и 230 ± 10 км/с для H α . Отношение V/R меняется от 0.4 до 0.8. На некоторых спектрограммах в профилях линии H α регистрируются широкие крылья. Их протяженность меняется от даты к дате, в среднем ширина на уровне нулевой интенсивности составляет ~ 3000 км/с. Можно предположить, что эмиссионные линии водорода и гелия образуются

в оболочке, в непосредственной близости от горячей компоненты, а широкие крылья могут формироваться под действием звездного ветра аккреционного диска. Таким образом, даже вневысшышечная стадия данного объекта отличается активными процессами, происходящими в аккреционном диске и влияющими на физическое состояние окружающей газовой оболочки.

Введение. RS Oph является карликовой рекуррентной (повторной) Новой [1]. Объекты данного класса отличаются тем, что время от времени они испытывают быстрые подъемы блеска, по амплитуде сравнимые со вспышками Новых. Но в отличие от последних, подобные события в жизни рекуррентных Новых происходят неоднократно. Впервые RS Oph проявила себя, как Новая в 1907 г. [1], затем последовал ряд вспышек 1933 [2], 1958 [3], 1985 [4]. Далее, в течение 21 года звезда пребывала в «спокойном» состоянии и только в феврале 2006 г. было зарегистрировано новое повышение блеска на 6^m за 2 дня [5]. Наблюдения, выполненные в то время в ультрафиолетовом диапазоне (Chandra and XMM-Newton), показали присутствие горячего газа с температурой $(0.2-7)10^{11}$ К. Радионаблюдения, проведенные в течение первых 13 дней после вспышки с Very Long Baseline Interferometry (VLBI), выявили присутствие сферической оболочки, расширяющейся со скоростью порядка 1000–2000 км/с. Со временем структура оболочки начала приобретать все более сложный биполярный характер [6].

Как правило, считается, что вспышки рекуррентных Новых обусловлены термоядерными взрывами вещества, которое из атмосферы красного гиганта переносится и накапливается на поверхности белого карлика или в его аккреционном диске. Вследствие коллимации потоков газа под влиянием магнитных полей может происходить формирование биполярных джетов. Возможно, также, что для образования джетов достаточно неоднородного распределения вещества ветра красного гиганта, а именно его преимущественного скопления в экваториальной плоскости [9].

Активные процессы, связанные со вспышкой рекуррентных Новых, и, в частности, RS Oph, проявляются, в основном, в виде значительных изменений потоков излучения в ультрафиолетовом, оптическом и рентгеновском диапазонах. Так, в оптическом спектре RS Oph во время вспышки наблюдались колебания уровня непрерывного спектра и появление линий высокого возбуждения: [OIII], [NII], NIII. Блеск RS Oph вернулся к «нормальному» состоянию только через 300 дней после вспышки 2006 г. В этот период в спектре были зафиксированы линии и полосы поглощения позднего типа, образующиеся в атмосфере красного гиганта, а также эмиссионные линии H β , HeI и [OI], излучаемые внутренними зонами образовавшейся газовой оболочки [8, 9].

1. Фотометрические наблюдения и обработка результатов. В Астрофизическом Институте исследования RS Oph проводились в 2009–2014 гг. Фотометрические наблюдения выполнялись в V R полосах на двух телескопах АФИФ. Использовались 1-метровый рефлектор фирмы Карл-Цейсс Йена и телескоп АЗТ-8 с диаметром зеркала 70 см. Приемниками излучения служили ПЗС матрицы ST-7 (765x510, 9 мк) и ST-8 (1530x1020, 9 мк). Набор BVR с фильтров создавал полосы пропускания, соответствующие стандартной фотометрической системе Джонсона-Моргана-Кузинса. Для каждого объекта подбирались стандарты аналогичного спектрального класса. Для RS Oph в качестве фотометрических стандартов использовались звезды HD 157841, HD 166662 и HD 167450. Проводилась коррекция получаемых изображений с учетом "плоского поля", темного фона и атмосферной экстинкции. Для измерения звездных изображений использовался стандартный пакет Maxim DL5. Результаты наших наблюдений приведены в таблице 1.

Прежде всего, следует отметить, что с самого начала наших наблюдений объект был значительно ярче, чем можно было ожидать, так как по данным [10], его блеск в «спокойной» стадии колебался в пределах: $V = 11^m.3 - 12^m.0$.

На рисунке 1 проиллюстрировано поведение блеска RS Oph, начиная с момента его последней вспышки (по данным из работы [8]) до настоящего времени. С 2012 г. наблюдается небольшое ослабление блеска, хотя его средний уровень остается достаточно высоким. Можно предположить, что причина наблюдаемых колебаний кроется в переменности белого карлика или его аккреционного диска.

Таблица 1 – Фотометрические данные для объекта RS Orp

Дата наблюдений	JD 2400000+	B mag	Vmag	Rmag
1	2	3	4	5
23.07.2009	55036.469	12.31±0.02	11.18±0.01	9.90±0.01
24.07.2009	55037.438	12.16±0.01	11.04±0.01	9.79±0.01
14.08.2009	55058.381	12.08±0.01	10.85±0.01	9.60±0.01
22.08.2009	55066.373	12.07±0.02	10.85±0.01	9.60±0.01
28.08.2009	55072.381	12.01±0.02	10.84±0.02	9.60±0.03
24.07.2011	55767.390	12.33±0.02	10.89±0.01	9.66±0.01
27.07.2011	55770.392	12.23±0.03	10.89±0.01	9.66±0.01
06.08.2011	55780.396	12.06±0.01	10.84±0.01	9.54±0.01
18.06.2012	56097.498	12.62±0.02	11.06±0.01	9.57±0.03
22.06.2012	56101.373	12.63±0.03	11.16±0.01	9.72±0.02
21.07.2012	56130.438	12.77±0.02	11.44±0.02	10.07±0.03
07.06.2013	56431.317	12.42±0.04	11.01±0.02	9.67±0.01
07.06.2013	56431.258	12.43±0.02	11.09±0.01	9.66±0.03
02.07.2013	56475.667	12.36±0.04	11.14±0.02	9.78±0.02
31.05.2014	56809.292	12.55±0.04	11.34±0.02	9.87±0.02
04.06.2014	56813.333	12.58±0.02	11.24±0.01	8.86±0.02
28.06.2014	56837.313	12.49±0.05	11.22±0.02	9.95±0.03
25.07.2014	56864.167	12.32±0.04	11.02±0.01	8.78±0.03

В столбцах таблицы даны: 1, 2 – дата и юлианская дата наблюдений, 3–5 – блеск объекта в звездных величинах в полосах В V R.

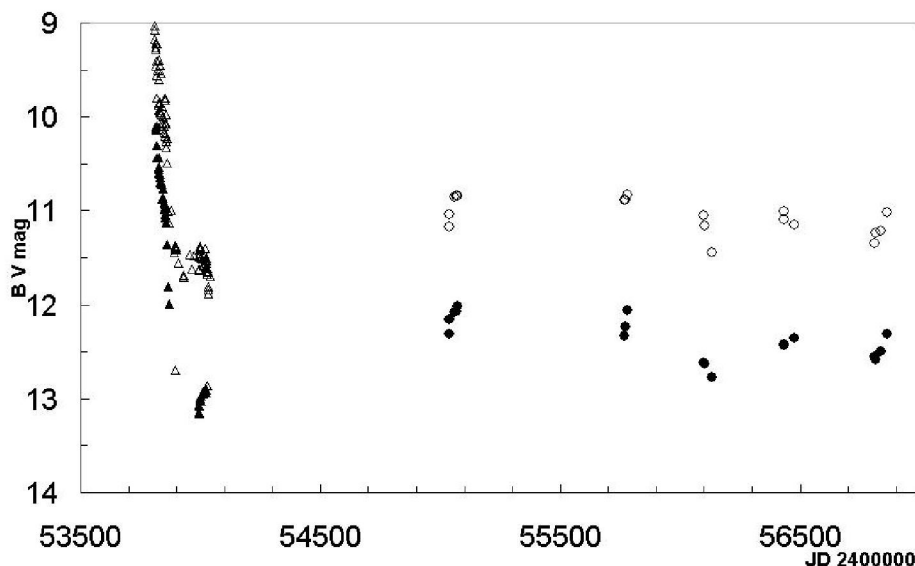


Рисунок 1 – Фотометрические данные для RS Orp. Ось X – юлианские даты, ось Y – B и V величины. Наши данные: B – кружки и V – колечки. Треугольники соответствуют данным из работы [8]

2. Спектральные наблюдения и обработка результатов. Спектрограммы объекта получены на щелевых спектрографах, оборудованных ПЗС-камерами ST-8 (1530×1020, 9 μm). Первый спектрограф (UAGS) установлен в касегреновском фокусе 1-м телескопа. Рабочая ширина входной щели 0.2 мм или 3" в проекции на небо, длина щели ≈ 100". Спектрограммы с дисперсией 0.5Å/пиксель охватывают ~ 800Å. Наблюдения проводились в двух спектральных диапазонах:

$\lambda 4400\text{--}5100\text{\AA}$ и $\lambda 6100\text{--}6900\text{\AA}$. Второй спектрограф установлен в касегреновском фокусе телескопа АЗТ-8. Размеры входной щели соответствовали $4'' \times 150''$. Спектрограммы с дисперсией $0.75\text{\AA}/\text{пиксель}$ покрывают $\sim 1200\text{\AA}$. Процедура обработки спектрограмм состояла из стандартных операций вычитания темнового тока, учета влияния атмосферной экстинкции и спектральной

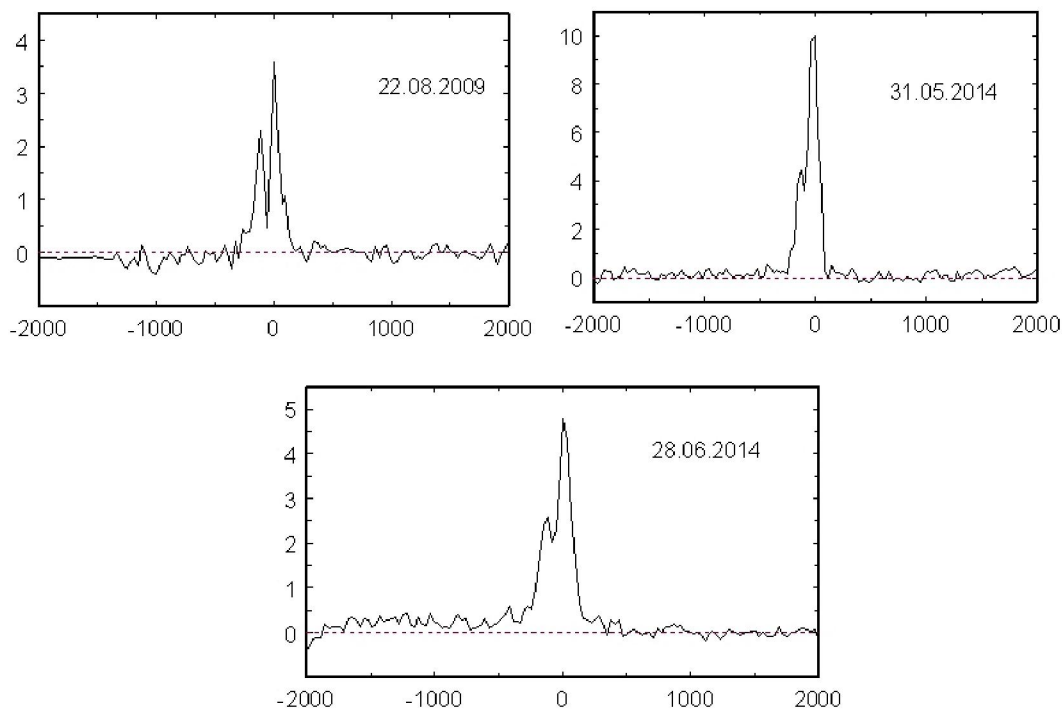


Рисунок 2 – Профили H β в спектре RS Orp. Ось X – шкала лучевых скоростей (км/с).
Ось Y – нормализованная интенсивность: $(I_{\lambda} - I_{\text{cont}}) / I_{\text{cont}}$

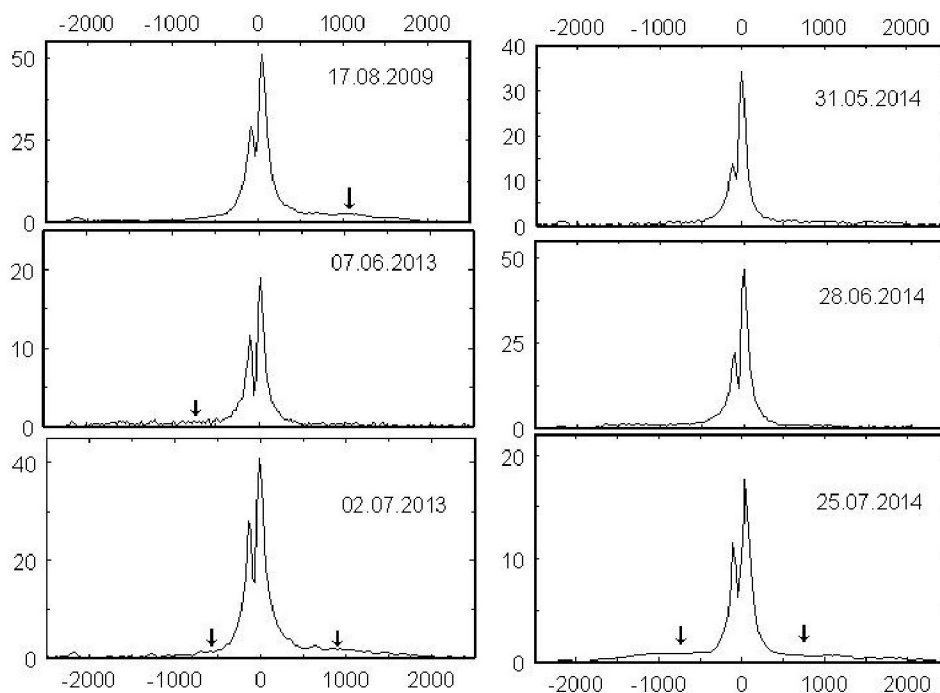


Рисунок 3 – Профили H α в спектре RS Orp. Ось X – шкала лучевых скоростей (км/с).
Ось Y – нормализованная интенсивность: $(I_{\lambda} - I_{\text{cont}}) / I_{\text{cont}}$. Стрелками указано положение широких крыльев

чувствительности аппаратуры. Одновременно с исследуемым объектом выполнялись наблюдения стандартной звезды HD 159975 с известным распределением энергии в спектре [11]. Спектрограммы, полученные с широкой щелью, использовались для определения спектральной чувствительности аппаратуры, а также для абсолютной калибровки потоков излучения.

В спектре объекта наблюдаются эмиссионные линии H β , HeI и FeII. Профили H β и H α разделены узкой линией поглощения (рисунки 2 и 3). Отмечаются постоянные изменения формы профилей. Средняя полуширина линий (FWHM) составляет 210 ± 10 км/с для H β и 230 ± 10 км/с для H α . Отношение V/R меняется от 0.4 до 0.8. На некоторых спектрограммах в профилях линии H α наблюдаются широкие крылья. Их протяженность меняется от даты к дате, в среднем ширина при нулевой интенсивности составляет ~ 3000 км/с.

Результаты измерения абсолютных потоков излучения эмиссионных линий приводятся в таблице 2. Можно заметить, что, на фоне отдельных колебаний потоков, проявляется тенденция к постепенному уменьшению их величины.

Таблица 2 – Характеристики эмиссионных линий в спектре RS Oph

Дата	JD 2400000	H β		FeII,4924		H α		HeI,6678	
		F $\cdot 10^{-12}$	EW	F $\cdot 10^{-13}$	EW	F $\cdot 10^{-11}$	EW	F $\cdot 10^{-13}$	EW
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
22.07.2009	55035.208					9.82	174	2.03	3.3
23.07.2009	55036.229	4.92	65	4.07	4.2	9.72	175		
17.08.2009	55061.158			4.10	4.1	2.83	85	1.65	4.3
22.08.2009	55066.154	3.86	19						
18.06.2012	56097.258	2.04	26	2.71	3.6				
07.06.2013	56431.367	2.00	31	2.70	3.8	2.79	136	5.75	3.0
02.07.2013	56476.233					0.92	88	0.95	0.9
31.05.2014	556809.27	2.02	34	3.15	3.8	0.92	89	4.78	3.7
28.06.2014	56837.275	1.89	22	1.89	2.2	1.91	129	3.62	3.3
25.07.2014	56864.156					2.08	115	2.18	1.2

В столбцах таблицы даны: 1, 2 – даты и юлианские даты; 3, 5, 7, 9 – абсолютные потоки в эрг/см²; 4, 6, 8, 10 – эквивалентные ширины в ангстремах.

Закключение. Проведенные нами фотометрические исследования свидетельствуют о том, что объект RS Oph действительно пребывает в «спокойной» стадии. Отмечаются колебания блеска в пределах $0^m.5$, и в целом значения V величины не опускались ниже $11^m.3$. В спектре объекта наблюдаются постоянные изменения формы профилей, потоков излучения, эквивалентных ширин. Можно ожидать, что эмиссионные линии водорода и гелия образуются в оболочке, в непосредственной близости от горячей компоненты, а широкие крылья, протяженностью от -2000 до $+2000$ км/с могут формироваться под действием звездного ветра аккреционного диска [12]. Отдельные слабые эмиссионные компоненты со скоростями ~ 1200 км/с, расположенные симметрично относительно центральной линии, были обнаружены в 2004 г. на фоне широких крыльев [13]. Возможно, их появления связано с выбросом фрагмента газа из аккреционного диска горячей звезды. Таким образом, даже невспышечная стадия данного объекта отличается активными процессами, происходящими в аккреционном диске и влияющими на физическое состояние окружающей газовой оболочки.

Работа выполнена по проекту «Исследование физических процессов в областях звездообразования и окооядерных зонах активных галактик».

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Cannon A. J. & Pickering E. C. A Probable New Star, RS Ophiuchi // Harvard College Observatory Circular. – 1905. - Vol. 99. – P. 1.
 [2] Joy A. H. & Swings P. Identification of the Post-Maximum Lines in the Spectrum of Nova RS Ophiuchi // AJ.- 1945. – Vol. 102. – P. 353.

- [3] Weber R. RS Ophiuchi // MNSSA. – 1958. – Vol. 17. – P. 71.
 [4] Saw D. R. B. Latest Nova Del reports // The Astronomer. - . 1967. – Vol. 4. – P. 129.
 [5] Bode M. F. & Kahn F. D. The outburst of RS Ophiuchi in 1985 // in Cosmical gas dynamics, Proc. of the Conference, Utrecht, VNU Science Press. -1985. – P.111.
 [6] O'Brien T., Bode M. F., Porcas R. W. et al. RS Ophiuchi // 2006, in Proc. of the 8th European VLBI Network Symp.
 [7] Bohigas J., Echevarria J., Diego F. & Sarmiento J. A. Spectrophotometry of RS OPH during the nebular phase // MNRAS. – 1989. – Vol. 238. – P. 1395.
 [8] Ness J-U., Starrfield S. The phases of X-ray emission of RS Oph // arXIV 0908.0082/v.1-2009.
 [9] Iijima T. Spectral evolution of the recurrent nova RS Ophiuchi during the 2006 outburst and some mysterious phenomena // A&A. – 2009. – Vol. 505. – P. 287.
 [10] Hachisu I., Kato M., et al. Optical light curves of RS Oph (2006) and hydrogen burning turnoff // ASPC. – 2008. – Vol. 401. – P. 206.
 [11] Харитонов А.В., Терещенко В.М., Князева Л.Н. Спектрофотометрический каталог звезд Алма-Ата 1988.
 [12] Zamanov R. Recurent Nova RS Oph:Flickering and Ha emission variability // BlgAJ. -2011. – Vol. 17. – P. 59.
 [13] Zamanov R., Bode M., Tomov N. Emission line variability of RS Ophiuchi // MNRAS. – 2004. - Vol. 363. – L26.

REFERENCES

- [1] Cannon A. J. & Pickering E. C. A Probable New Star, RS Ophiuchi//Harvard Colle Observatory Circular. – 1905. – Vol. 99. – P. 1.
 [2] Joy A. H. & Swings P. Identification of the Post-Maximum Lines in the Spectrum of Nova RS Ophiuchi.// AJ.- 1945. – Vol. 102. – P. 353.
 [3] Weber R. RS Ophiuchi //MNSSA. – 1958. – Vol. 17. – P. 71.
 [4] Saw D. R. B. Latest Nova Del reports // The Astronomer. - . 1967. – Vol. 4. – P. 129.
 [5] Bode M. F. & Kahn F. D. The outburst of RS Ophiuchi in 1985// in Cosmical gas dynamics, Proc. of the Conference, Utrecht, VNU Science Press. -1985. – P.111.
 [6] O'Brien T., Bode M. F., Porcas R. W. et al. RS Ophiuchi// 2006, in Proc. of the 8th European VLBI Network Symp.
 [7] Bohigas J., Echevarria J., Diego F. & Sarmiento J. A. Spectrophotometry of RS OPH during the nebular phase// MNRAS. – 1989. – Vol. 238. – P. 1395.
 [8] Ness J-U., Starrfield S. The phases of X-ray emission of RS Oph// arXIV 0908.0082/v.1-2009.
 [9] Iijima T. Spectral evolution of the recurrent nova RS Ophiuchi during the 2006 outburst and some mysterious phenomena// A&A. – 2009. – Vol. 505. – P. 287.
 [10] Hachisu I., Kato M., et al. Optical light curves of RS Oph (2006) and hydrogen burning turnoff//ASPC. – 2008. – Vol.401. – P. 206.
 [11] Kharitonov A.V., Tereschenko V.M., Knyazeva L.N. Spectrophotometricheskii Catalog of stars Almaty, 1988.
 [12] Zamanov R. Recurent Nova RS Oph:Flickering and Ha emission variability//BlgAJ. -2011. – Vol. 17. – P. 59.
 [13] Zamanov R., Bode M., Tomov N. Emission line variability of RS Ophiuchi//MNRAS. – 2004. - Vol.363. – L26.

RS Ophiuchi СПЕКТРЛІК ЖӘНЕ ФОТОМЕТРЛІК БАҚЫЛАУЛАРДЫҢ НӘТИЖЕЛЕРІ

Л. Н. Кондратьева, Ф. К. Рспаев, Е. К. Аймуратов

«В. Г. Фесенков атындағы Астрофизика институты» ЕЖШС, Алматы, Қазақстан

Тірек сөздер: айнымалы жұлдыздар; жаңа рекуррентті, эмиссиялы спектрлер, фотометрия, жеке объектілер – RS Oph.

Аннотация. RS Oph объектісінің спектрлік және фотометрлік бақылаулары В.Г. Фесенков атындағы Астрофизика институтында 2009–2014 жылдары жүргізілді. Объект Жаңа рекуррентті болып табылады, оның ең соңғы белсенді фазасы 2006 жылы байқалды. Қазіргі таңда объекті «тыныш» стадияда. Оның жалтыры 0m.5 в В шамасында өзгереді және соған қарамастан V шамасының мәні 11m.3 төмен түскен емес. RS Oph айтарлықтай спектрлік айнымалылығы белгіленді. Сөйтіп, H I, He I және Fe II сызықтарындағы сәулелену ағымдары соңғы 5 жыл аралығында 2–4 есе кішірейді. Профильдер формаларының тұрақты өзгерістері бақыланады. Сызықтардың орташа жарты ені (FWHM) H β үшін 210 \pm 10 км/с және H α үшін 230 \pm 10 км/с құрайды. V/R қатынасы 0.4 тен 0.8 дейін өзгереді. H α сызықтарының профилдерінің кейбір спектрограммаларында кең қанаттар тіркеледі. Олардың созылықлығы күннен күнге өзгереді, нөлдік қарқындылықтың деңгейінде ені орташа ~ 3000 км/с құрайды. Жанғыш компоненттерден тікелей жақындықта сутектің және гелийдің эмиссия сызықтары қабықта құрылатындығын, ал кең қанаттар аккрециялық дискінің жұлдыз желі әсерінен қалыптасатынын болжауға болады. Сөйтіп, осы объектінің тұтанудан тыс кезеңі аккрециялық дискте өтетін және қоршаған газды қататтың физикалық жағдайына әсер ететін белсенді процесстермен ерекшеленеді.

Поступила 15.15.2015 г.