

УДК: 520.823

АНАЛИЗ МНОГОЦВЕТНЫХ ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЙ SS 433

Т. Р. ИРСМАМБЕТОВА

Поступила 14 ноября 2000

Принята к печати 15 января 2001

Представлены наблюдения быстрой фотометрической переменности SS 433 в фильтрах BVR, полученные на горе Майдамак в течение 12 ночей в 1989-90 гг. На базе многоцветных фотозлектрических наблюдений проводится анализ поведения показателей цвета $U-B$, $B-V$, $V-R$ в различных временных диапазонах. Обнаружено, что как для быстрой переменности в течение ночи, так и для переменности в масштабах орбитального периода существуют зависимости "цвет - блеск" для $U-(U-B)$, $B-(B-V)$, аналогичные хорошо известной зависимости $V-(V-R)$, с характерным признаком - при увеличении блеска показатели цвета уменьшаются. Показано, что покраснение объекта при уменьшении блеска вызвано не только затмениями. Поведение цветовых характеристик можно объяснить взаимодействием релятивистских джетов с атмосферой вокруг аккреционного диска.

1. *Введение.* SS 433 - рентгеновая тесная двойная система с движущимися эмиссионными линиями в спектре. В оптическом диапазоне наблюдаются периодические изменения блеска с орбитальным периодом 13.08 дня и периодом прецессии 162.5 дня с амплитудой около 1^m . Форма кривых блеска и глубина главного затмения меняются с прецессионной фазой. Состояние активности приводит к искажению формы кривых блеска, при этом амплитуда вспышек достигает $1^m.3$.

Основной массив наблюдательных данных SS 433 выполнен в фильтре V , поэтому анализу цветовых изменений посвящено немного работ. Наиболее изучено поведение показателя цвета $V-R$. Гладышевым [1] обнаружена корреляция между блеском в полосе V и показателем цвета $V-R$. Уменьшение блеска звезды в спокойном состоянии сопровождается увеличением $V-R$. Зависимость справедлива как для вариаций блеска вследствие прецессионных изменений, так и для орбитального периода. Наблюдаемые отклонения $V-R$ от этой зависимости в область больших значений показателя цвета связываются с активностью. Показатели цвета $U-B$ и $B-V$ ведут себя не так однозначно. На диаграммах "цвет - блеск" в работе [2] для $U-B$ и $B-V$ явно выраженных закономерностей не замечено. Многие наблюдатели считают показатель цвета $B-V$ постоянным при всех изменениях блеска [1,3]. Но в [4] приведены данные, свидетельствующие об увеличении всех показателей цвета в главном затмении в момент ТЗ (максимального раздвижения подвижных эмиссий). А именно: для

индивидуальной кривой, полученной в период JD 2446581-589, амплитуды покраснения следующие: $V - R = 0^m.23$, $B - V = 0^m.15$, $U - B = 0^m.10 - 0^m.15$.

В данной работе сделана попытка обнаружить какую-либо систематику в поведении голубых показателей цвета. В этих целях проведен анализ диаграмм "цвет - блеск", построенных аналогично зависимости $V - (V - R)$, т.е. $B - (B - V)$ и $U - (U - B)$.

2. *Наблюдения.* При исследовании использовался различный по характеру наблюдений фотометрический материал - как средние оценки за ночь, так и многочасовые мониторинги с временным разрешением в несколько минут. В табл.1 представлены наблюдения фотометрической переменности в районе прецессионной фазы ТЗ, которые проводились в

Таблица 1

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ SS 433 НА ГОРЕ
МАЙДАНАК

JD2444000+	B	V	R	JD2444000+	B	V	R
759.156	16.35	14.21	11.91	760.270	16.39	14.29	11.86
759.167	16.50	14.24	11.92	760.277	16.78	14.31	11.85
759.175	16.44	14.21	11.91	760.286	16.71	14.31	11.84
759.183	16.61	14.14	11.86	760.293	16.45	14.33	11.86
759.193	16.35	14.15	11.85	760.311	16.52	14.28	11.82
759.201	16.52	14.14	11.85	760.319	16.63	14.26	11.80
759.210	16.49	14.17	11.89	761.154	16.45	14.38	12.07
759.217	16.45	14.17	11.88	761.161	16.63	14.39	12.06
759.224	16.36	14.17	11.88	761.170	16.49	14.44	12.04
759.234	16.20	14.17	11.87	761.178	16.49	14.43	12.06
759.241	16.48	14.15	11.92	761.184	16.55	14.47	12.10
759.250	16.60	14.17	11.92	761.193	16.54	14.40	12.04
759.259	16.60	14.25	11.92	761.202	16.66	14.45	12.06
759.266	16.38	14.23	11.92	761.210	16.52	14.48	12.08
759.272	16.38	14.19	11.92	761.218	16.59	14.40	12.06
759.327	16.60	14.16	11.90	761.226	16.58	14.38	12.07
759.336	16.63	14.14	11.85	761.233	16.77	14.43	12.09
759.345	16.37	14.15	11.87	761.241	16.66	14.37	12.05
760.157	16.65	14.44	11.95	761.249	16.77	14.38	12.01
760.164	16.59	14.42	11.91	761.255	16.77	14.35	12.03
760.172	16.74	14.38	11.90	761.263	16.69	14.38	12.04
760.179	16.66	14.37	11.90	761.270	16.55	14.33	11.97
760.186	16.72	14.35	11.88	761.277	16.51	14.34	12.00
760.195	16.66	14.36	11.92	761.283	16.49	14.39	12.03
760.202	16.54	14.35	11.86	761.291	16.79	14.35	12.01
760.209	16.53	14.34	11.87	761.298	16.67	14.34	12.05
760.218	16.57	14.32	11.88	761.304	16.69	14.33	12.04
760.225	16.63	14.37	11.88	762.157	16.24	14.20	11.87
760.231	16.48	14.33	11.89	762.164	16.46	14.17	11.86
760.240	16.59	14.32	11.89	762.173	16.26	14.15	11.84
760.247	16.47	14.35	11.88	762.181	16.27	14.17	11.85
760.254	16.56	14.31	11.87	762.186	16.23	14.13	11.85
760.262	16.72	14.32	11.87	762.195	16.40	14.13	11.85

Таблица 1 (продолжение)

JD2444000+	B	V	R	JD2445000+	B	V	R
762.201	16.24	14.14	11.83	056.277	16.23	13.90	11.77
762.209	16.37	14.16	11.86	056.287	16.10	13.90	11.77
767.218	16.36	14.22	11.89	056.291	16.20	13.98	11.84
767.229	16.40	14.21	11.90	056.300	16.07	13.98	11.81
767.235	16.40	14.24	11.92	056.306	16.16	14.02	11.82
767.244	16.43	14.14	11.83	056.312	16.07	13.88	11.77
767.252	16.40	14.18	11.85	056.318	16.09	13.86	11.76
767.261	16.46	14.18	11.87	056.324	16.10	13.94	11.78
767.269	16.29	14.19	11.85	056.329	15.90	13.86	11.73
767.276	16.43	14.21	11.87	056.335	15.90	13.78	11.72
767.284	16.38	14.17	11.87	056.340	16.01	13.87	11.73
767.291	16.28	14.17	11.89	056.346	15.77	13.82	11.70
767.297	16.29	14.12	11.85	056.351	16.01	13.94	11.76
767.305	16.24	14.13	11.82	056.357	16.01	13.91	11.77
767.312	16.20	14.10	11.83	056.362	16.13	13.90	11.77
767.170	16.28	14.06	11.82	056.369	16.22	13.92	11.75
767.179	16.39	14.13	11.85	056.377	16.02	13.92	11.81
767.188	16.36	14.04	11.96	056.382	15.95	13.90	11.73
767.204	16.19	14.09	11.82	056.387	16.04	13.84	11.69
767.212	16.03	14.00	11.71	056.393	15.78	13.79	11.72
767.221	16.05	13.91	11.63	056.400	16.07	13.88	11.72
767.228	15.93	13.84	11.60	056.406	15.96	13.88	11.74
767.234	15.94	13.85	11.56	056.420	15.93	13.85	11.72
767.244	15.97	13.84	11.58	057.309	16.04	13.81	11.66
767.250	15.86	13.85	11.56	057.314	16.01	13.79	11.68
767.259	16.05	13.82	11.57	057.319	16.00	13.85	11.71
767.266	15.98	13.84	11.51	057.324	15.88	13.78	11.70
767.270	15.91	13.83	11.53	057.329	15.80	13.72	11.66
767.277	15.88	13.79	11.51	057.333	15.92	13.71	11.62
768.149	16.23	14.04	11.56	057.338	15.93	13.83	11.68
768.157	16.09	14.03	11.58	057.344	16.05	13.82	11.72
768.164	16.15	14.01	11.54	057.348	16.00	13.90	11.73
768.172	16.17	14.01	11.53	057.352	15.89	13.75	11.65
768.179	16.18	14.01	11.56	057.357	15.79	13.80	11.69
768.187	16.17	14.03	11.55	057.361	16.11	13.84	11.71
768.193	16.23	14.01	11.55	057.366	16.03	13.84	11.70
768.198	16.13	14.02	11.57	057.371	16.03	13.86	11.72
768.209	16.21	14.06	11.55	057.375	15.92	13.85	11.72
768.218	16.24	14.06	11.59	057.380	16.04	13.79	11.70
768.225	16.20	14.03	11.55	057.386	15.79	13.78	11.72
768.234	16.17	14.01	11.56	057.393	15.94	13.80	11.70
768.241	16.20	14.03	11.55	057.398	15.97	13.88	11.75
768.247	16.27	14.00	11.53	057.404	15.83	13.83	11.73
768.256	16.16	14.02	11.56	057.409	16.06	13.86	11.73
768.263	16.21	14.08	11.58	057.414	15.92	13.81	11.67
768.270	16.17	14.06	11.58	057.418	16.03	13.83	11.70
768.279	16.27	14.04	11.56	057.423	16.03	13.77	11.65
768.285	16.09	13.93	11.51	057.427	15.87	13.86	11.70
768.292	16.06	14.01	11.50	057.432	15.89	13.78	11.69
768.300	16.08	13.95	11.51	057.437	15.97	13.75	11.66
768.306	16.20	13.99	11.53	058.295	15.95	13.86	11.75

Таблица 1 (окончание)

JD2445000+	B	V	R	JD2445000+	B	V	R
058.300	16.03	13.91	11.75	060.333	16.44	14.23	11.98
058.306	16.03	13.80	11.70	060.337	16.47	14.16	11.99
058.312	16.02	13.90	11.74	060.342	16.49	14.19	11.99
058.316	16.15	13.90	11.76	060.346	16.66	14.17	11.97
058.321	15.92	13.89	11.76	060.350	16.38	14.22	11.99
058.325	16.03	13.81	11.71	060.355	16.35	14.18	11.94
058.330	16.18	13.83	11.73	060.359	16.32	14.21	11.96
058.335	16.05	13.86	11.78	060.364	16.26	14.21	11.95
058.347	16.23	13.90	11.78	060.369	16.46	14.17	11.96
058.353	15.97	13.83	11.72	060.373	16.41	14.16	11.96
058.359	15.94	13.78	11.71	060.378	16.47	14.24	11.99
058.371	15.77	13.69	11.71	060.387	16.37	14.23	11.99
058.386	15.90	13.73	11.65	060.394	16.43	14.15	11.95
058.390	15.85	13.75	11.68	060.398	16.41	14.26	12.01
058.395	15.90	13.83	11.70	060.402	16.34	14.20	12.01
058.400	15.92	13.90	11.76	060.407	16.43	14.23	12.01
058.405	15.93	13.77	11.67	060.411	16.39	14.25	12.03
058.409	16.08	13.87	11.78	060.416	16.61	14.29	12.04
058.414	16.04	13.88	11.73	060.420	16.39	14.26	12.04
059.302	15.95	13.87	11.77	060.424	16.27	14.22	12.01
059.309	15.99	13.91	11.81	060.430	16.49	14.21	12.03
059.313	16.04	13.84	11.74	060.434	16.75	14.22	11.98
059.317	16.09	13.88	11.80	061.289	16.81	14.54	12.21
059.322	15.88	13.81	11.77	061.294	16.69	14.56	12.20
059.326	15.99	13.90	11.77	061.300	16.92	14.56	12.18
059.330	16.12	13.88	11.78	061.305	16.96	14.50	12.19
059.336	16.12	13.96	11.85	061.310	16.95	14.52	12.16
059.340	16.23	13.97	11.82	061.315	16.74	14.49	12.13
059.344	16.11	13.93	11.81	061.321	17.25	14.56	12.18
059.349	16.02	13.96	11.83	061.327	16.77	14.51	12.23
059.358	16.15	13.95	11.82	061.332	16.83	14.52	12.23
059.362	16.27	13.96	11.84	061.336	16.86	14.57	12.26
059.367	16.05	14.01	11.84	061.341	17.04	14.62	12.26
059.372	16.07	13.99	11.85	061.347	16.84	14.63	12.25
059.376	15.98	13.99	11.85	061.351	16.83	14.65	12.31
059.380	16.06	14.00	11.84	061.356	16.89	14.62	12.28
059.385	15.98	13.90	11.81	061.361	17.08	14.62	12.27
059.389	16.08	13.95	11.79	061.366	16.79	14.63	12.27
059.395	16.11	13.95	11.84	061.371	16.80	14.58	12.29
059.401	15.91	13.85	11.80	061.376	16.86	14.62	12.28
059.405	15.85	13.92	11.80	061.380	16.88	14.59	12.23
059.410	16.08	14.01	11.86	061.385	16.90	14.65	12.28
059.414	16.18	13.94	11.85	061.389	16.94	14.56	12.24
059.419	16.07	13.97	11.83	061.394	17.25	14.60	12.27
060.294	16.35	14.17	11.96	061.398	16.75	14.61	12.25
060.300	16.39	14.20	11.99	061.404	16.77	14.66	12.27
060.305	16.37	14.20	11.98	061.409	17.08	14.68	12.28
060.310	16.39	14.12	11.96	061.414	17.26	14.62	12.26
060.314	16.57	14.16	11.97	061.418	16.87	14.67	12.28
060.319	16.32	14.18	11.95	061.423	16.96	14.58	12.23
060.323	16.41	14.22	11.96	061.429	17.19	14.59	12.28
060.327	16.23	14.22	11.97	061.434	17.04	14.58	12.29

1989г. и 1990г. (JD 2447759-768, 2448056-061) на горе Майданак. В течение 12 ночей получены ряды наблюдений SS 433 в фильтрах *BVR* при помощи одноканального фотометра "Одесса" со средним временным разрешением 6-9 мин. Один такой ряд получался в результате непрерывного 4-5-часового слежения за объектом на телескопе Цейсс-1000, использование которого позволило достичь относительно высокой точности измерений. Точность оценок следующая:

$$B = 0^m.05 + 0^m.07, V = 0^m.011 + 0^m.016, R = 0^m.007 + 0^m.009.$$

В качестве стандарта использовалась звезда C1, обозначение и величины которой указаны в [5]. В работе использовались также фотоэлектрические наблюдения быстрой переменности SS 433 в полосах *UBVRI* (JD 2446581-589, 2446939-951), выполненные В.Ю.Рахимовым на горе Санглок [4,6]. Средние оценки блеска *BVR* заимствованы из работы [7].

3. *Быстрая переменность.* Присутствие быстрой переменности в блеске SS 433 на временных масштабах от минут до десятков минут - надежно установленный факт. Согласно работам [4,8] быстрая фотометрическая и спектральная переменность в системе SS 433 наблюдается всегда, т.е. в любой фазе орбитального и прецессионного циклов. Минимальное время переменности в рассматриваемых наблюдениях - порядка 2 мин, присутствуют колебания и с большими временами, 10-30 мин. На временах 10^{-6} -10 с [9] переменность блеска не обнаружена. Быстрая фотометрическая переменность наблюдается во всех цветовых диапазонах, при этом амплитуда переменности растет от длинноволнового участка спектра к более короткому и достигает от $0^m.1$ в фильтре *R* до $0^m.5$ в фильтре *U*.

Быстрой переменности подвержены как релятивистские линии водорода, так и стационарные линии. Релятивистские линии водорода имеют сложную многокомпонентную структуру, изменяющуюся от ночи к ночи. В рамках наиболее основательной работы по этой теме [8], быстрая переменность параметров релятивистских линий на малых временах объясняется дискретностью струи, которая состоит из отдельных облаков ионизованного газа. Авторы делают вывод о том, что совпадение характерного времени переменности стационарных линий со временем быстрой переменности блеска в разных фильтрах указывает на причину возникновения самой быстрой переменности - результат прохождения релятивистских струй через оболочку, окружающую двойную систему.

Имеющийся наблюдательный материал позволяет проследить за динамикой изменений в цветовых характеристиках быстрой переменности. На рис. 1a-d представлены наблюдения SS 433, выполненные на горе Санглок и на горе Майданак в момент прецессионной фазы T3. Ряды наблюдений, полученные на Санглоке, имеют временное разрешение порядка 2 мин, но сами ряды прерывистые. Ряды наблюдений, полученные на Майданаке,

имеют временное разрешение порядка 7 мин и монотонные в течение всей ночи. В принципе, эти наблюдения подтверждают ранее полученные выводы о наличии и характере быстрой переменности.

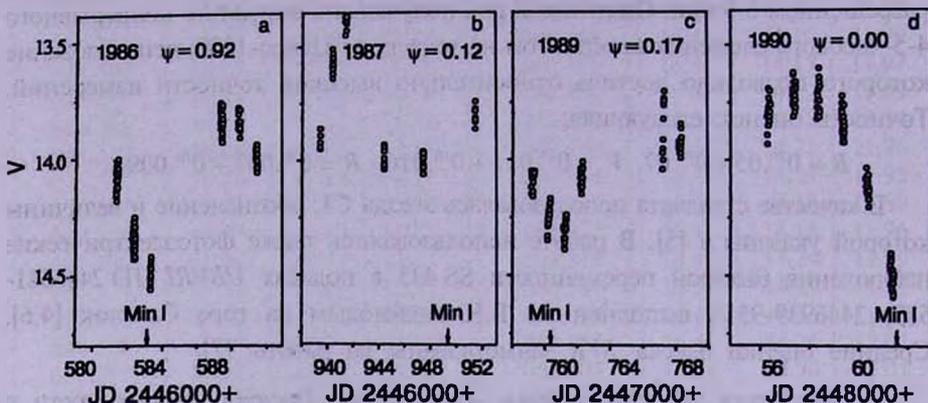


Рис.1. Фотометрическое поведение SS 433 в фильтре V за время наблюдений быстрой переменности. Стрелками указаны расчетные моменты главных минимумов блеска. а, б - наблюдения на Санглоке в 1986, 87гг; с, d - наблюдения на Майданаке в 1989, 90гг. В период наблюдений 1987г. и 89г. SS 433 находился в стадии активности.

Быстрая переменность в фильтрах $UBVRI$ на временах порядка 2-20 мин является неотъемлемой характерной чертой SS 433. Как видно из рис.1а-д, быстрая переменность не исчезает не только в моменты глубоких затмений, но и в моменты вспышек. Амплитуда колебаний блеска на этих временах растет от красного конца спектра к синему и в среднем составляет:

$$R = 0^m.10 \pm 0^m.05, V = 0^m.15 \pm 0^m.05, B = 0^m.35 \pm 0^m.10, U = 0^m.50 \pm 0^m.10.$$

В полосе I амплитуда быстрой переменности немного больше, чем в R (что выпадает из предыдущей последовательности амплитуд), $I = 0^m.20 \pm 0.05$. Показатели цвета чаще всего повторяют ход кривой блеска более коротковолновой составляющей. Например, характер изменений показателя цвета $U-B$ повторяет изменения блеска в фильтре U и т.д.

Существует более медленная переменность - за время порядка одного часа проходит плавная, синхронная во всех фильтрах волна, например в JD 2448058 (табл.1), с амплитудой $0^m.25$ в фильтре V . Переменность такого типа коррелирует, по крайней мере, в фильтрах BVR , амплитуда растет от R , V к B . Как и в случае быстрой переменности, рост блеска также сопровождается уменьшением показателей цвета. Наблюдения в JD 2447767 (табл.1) показывают другой тип волны, когда блеск плавно, примерно за 30 мин, вырос на $0^m.4$ в фильтре B , на $0^m.25$ в V и на $0^m.25$ в R , при этом потоки во всех фильтрах BVR показали необычную корреляцию. Если показатель цвета $B-V$ уменьшился на $0^m.15$, то $V-R$ не изменился. Существенно отметить, что в этот момент SS 433 находился в состоянии активности, в районе вторичного минимума.

На рис.2а-d приведены диаграммы "цвет - блеск", построенные по данным быстрой переменности для $U-(U-B)$, $B-(B-V)$, $V-(V-R)$ по наблюдениям, соответствующим рис.1а-d. Как видно из рисунка, для каждой ночи имеет место локальная зависимость "цвет - блеск", т.е. зависимость показателя цвета от его более коротковолновой компоненты. Полученный эффект можно было бы объяснить динамикой ошибок измерений, т.к. ошибки измерений увеличиваются с уменьшением блеска. Но на рис.2а-d видно, что величины ошибок гораздо меньше амплитуд полученных зависимостей.

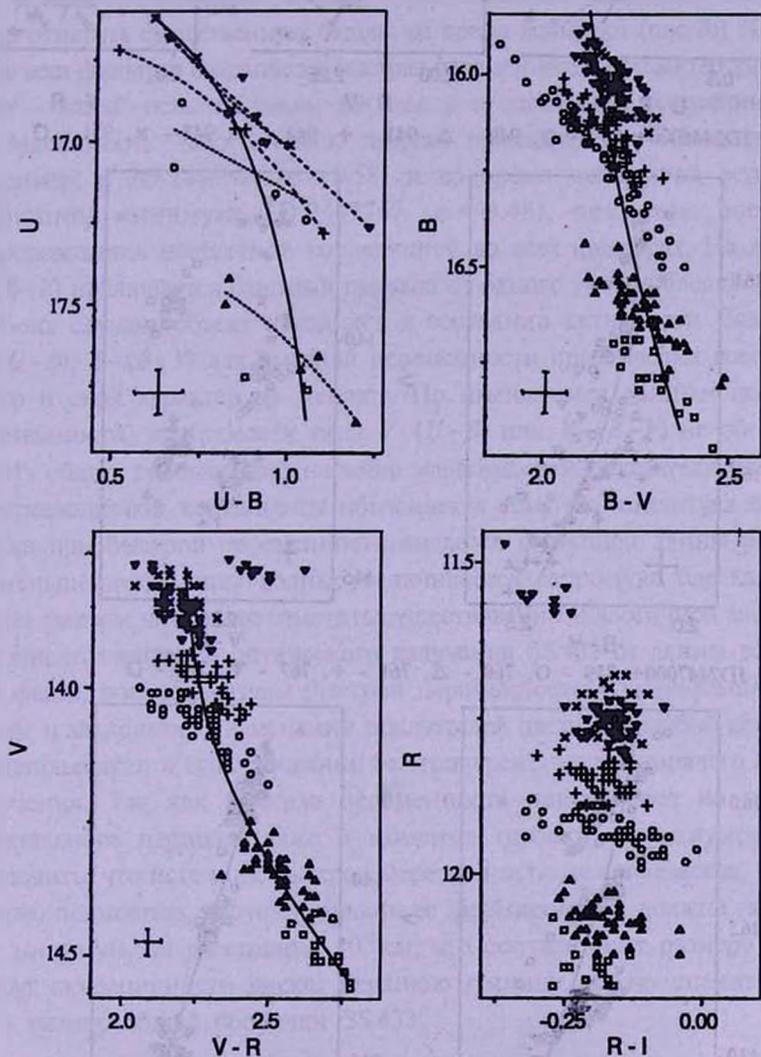


Рис.2. Диаграммы "цвет-блеск", построенные по результатам наблюдений быстрой переменности. Графики по пунктам а-d соответствуют данным рис.1а-d. Условные обозначения: Пунктирными линиями обозначены локальные зависимости $U-(U-B)$. Сплошными линиями - зависимости для орбитального периода.

а) JD2446000+ 581 - \circ , 582 - Δ , 583 - \square , 587 - ∇ , 588 - \times , 589 - $+$

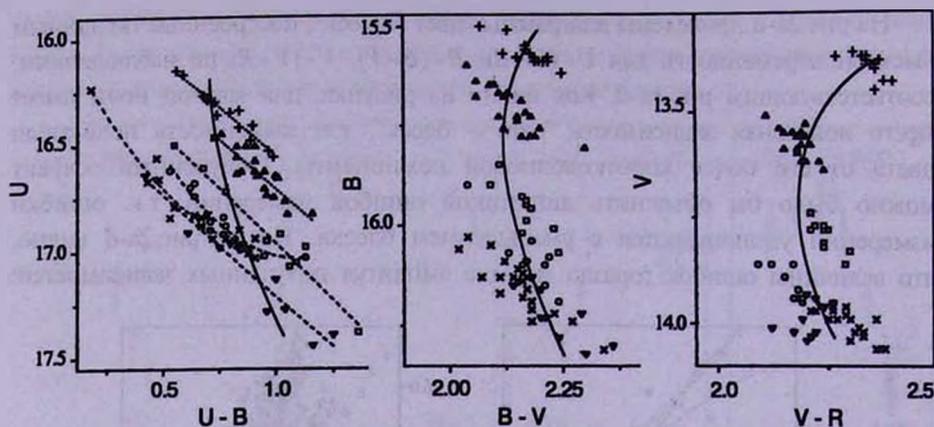


Рис.2b. JD2446000+ 939 - O, 940 - Δ , 941 - +, 944 - ∇ , 947 - x, 951 - \square

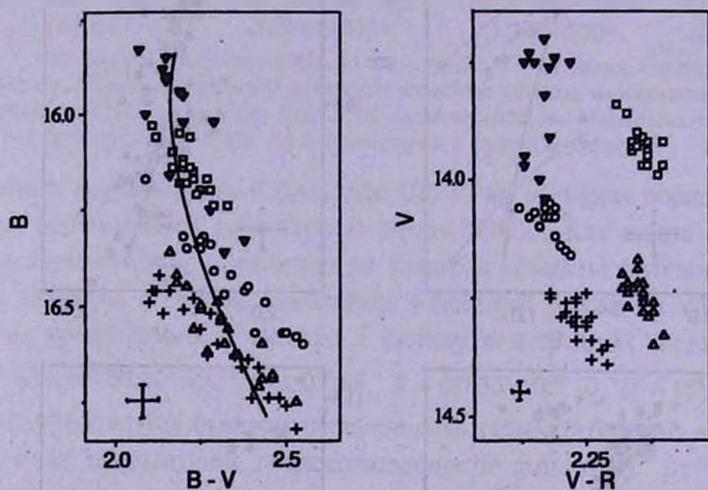


Рис.2c. JD2447000+ 759 - O, 760 - Δ , 761 - +, 767 - ∇ , 768 - \square

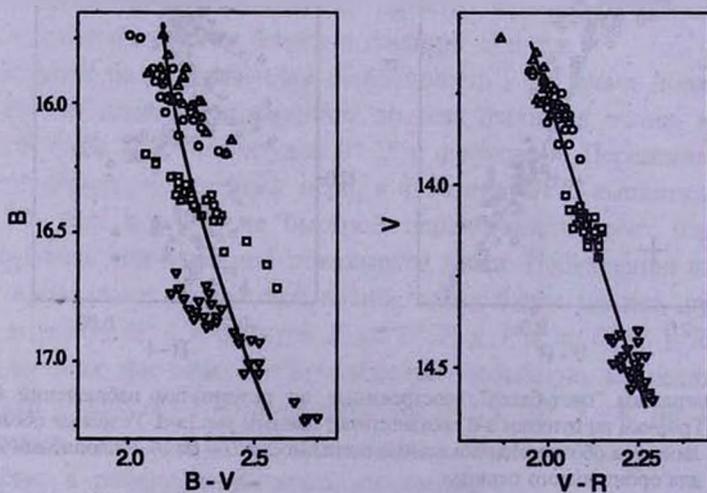


Рис.2d JD2448000+ 57 - O, 58 - Δ , 60 - \square , 61 - ∇

Кривые зависимостей для каждой отдельной ночи удовлетворительно аппроксимируются полиномом 2-ой степени и показывают следующие коэффициенты корреляции: в среднем наибольший коэффициент корреляции имеет зависимость $U-(U-B)$ - 0.9, затем $B-(B-V)$ - 0.8, и $V-(V-R)$ - 0.7. Все диаграммы имеют общий характерный признак - при увеличении блеска цвет объекта становится более голубым. Как видно из рис.2, диапазон изменений показателей цвета в течение одной ночи растет от $V-R=0^m.15$, $B-V=0^m.4$ до $U-B=0^m.7$. Диаграмма $U-(U-B)$ наиболее устойчива, даже по 3-5 точкам, полученным за одну ночь, строится уверенная зависимость. Надо отметить существенную деталь: во время вспышки (рис.2b) JD 2446940-41 во всех фильтрах сохраняется быстрая переменность, а характер зависимости "цвет - блеск" остается таким же, как и в спокойном состоянии.

Зависимость "цвет - блеск" иногда пропадает для показателя $V-R$, например, в JD 2446944 ($\phi = 0.58$) и во время небольшой вспышки во вторичном минимуме JD 2447767 ($\phi = 0.48$), при этом рост блеска сопровождается необычной корреляцией во всех фильтрах. На диаграмме $B-(B-V)$ наблюдается быстрый переход от одного уровня блеска к другому. В обоих случаях объект находился в состоянии активности. Зависимости $U-(U-B)$, $B-(B-V)$ для быстрой переменности практически всегда имеют место и свой характер не меняют. По имеющимся данным по быстрой переменности, зависимости типа $V-(U-B)$ или $V-(B-V)$ не обнаружены.

Из общих соображений наличие зависимостей показателя цвета от его коротковолновой компоненты объясняется тем, что амплитуда колебаний блеска при быстрой переменности является функцией длины волны, т.е. с уменьшением длины волны увеличивается амплитуда блеска. В связи с этим фактом интересно отметить существование аналогичной зависимости степени поляризации оптического излучения SS 433 от длины волны [10]. Два факта: рост амплитуды быстрой переменности с уменьшением длины волны и зависимость изменений показателей цвета от голубой компоненты свидетельствуют о существовании быстропеременного и горячего источника излучения. Так как быстрая переменность присутствует во всех фазах орбитального периода (даже в моменты глубоких минимумов), можно заключить, что источник быстрой переменности не затмевается, во всяком случае, полностью, поэтому область ее формирования должна находиться, как минимум, на расстоянии 10^{12} см, что соответствует размеру оболочки вокруг аккреционного диска. Верхнюю границу можно оценить как 10^{13} см - размер общей оболочки SS 433.

4. *Орбитальный период.* Подробная *UBVRI* - фотометрия проводилась в основном для прецессионной фазы ТЗ, поэтому изменения показателей цвета с орбитальной фазой хорошо известны именно для этой фазы прецессии. В работе [11] обнаружена линейная зависимость показателей

цвета $U-B$, $B-V$, $V-R$ от блеска системы в полосе V , в диапазоне $14^m-14^m.6$, т.е. в спокойном состоянии при прохождении главного минимума в момент ТЗ увеличивается не только показатель $V-R$, но и $B-V$, $U-B$, что связывают с затмением горячего источника излучения. По данным более ранних наблюдений 1979-81гг. [1] и [3], показатель цвета $B-V$ переменность с орбитальной фазой не испытывал и был постоянным в пределах $0^m.1$, в то время как $U-B$ менялся с орбитальным периодом. Подобный результат для прецессионной фазы в районе ТЗ был получен Шаховским и Сазоновым [12]. Поиск зависимостей показателей $U-B$ и $B-V$ от блеска в полосе V , предпринятый в работе [2] на базе фотометрических данных, результатов не дал.

Как видно из рис.2а,d последовательности, построенные по данным мониторинга одной ночи, составляют в свою очередь аналогичную зависимость для орбитального периода. Зависимость "цвет - блеск" для 13-дневного периода в спокойном состоянии имеет тот же характер, что и для быстрой переменности - с увеличением блеска коротковолновой компоненты показатели цвета уменьшаются. Изменения всех показателей цвета в пределах орбитального периода примерно одинаковы $0^m.15-0^m.20$. Изменения показателя цвета $R-I$ остаются практически в одних пределах, вне зависимости от вариаций в фильтре R , а сама диаграмма $R-(R-I)$ выглядит как размытое облако (рис.2а). В отдельные ночи появляется зависимость $R-(R-I)$, но с другим наклоном.

Надо отметить, что диаграммы на рис.2а,d относятся к спокойному состоянию SS 433, при этом "однодневные" последовательности отличаются от орбитальной большей степенью зависимости от блеска. Например, линейный коэффициент k для локальных последовательностей $B-(B-V)$ (рис.2а) имеет значения в диапазоне 0.65-0.95, а для орбитальной зависимости - 0.26. На рис.2б,с показано поведение SS 433 в активном состоянии - характер "однодневных" последовательностей практически не изменился, а вот орбитальные зависимости стали смещаться в область больших значений показателя цвета. Эта тенденция наиболее заметна для цвета $V-R$ (т.к. амплитуда блеска, вызванная орбитальным движением, немного больше амплитуды быстрой переменности) и также явно присутствует в поведении цвета $U-B$. Диапазон изменений показателя $B-V$ остается в пределах, характерных для внезатменного положения. Состояние активности оказывает различное влияние на соответствующие диаграммы: если зависимость $V-(V-R)$ полностью смещается вправо, т.е. в красную область и $V-R$ увеличивается на $0^m.25$, то в диаграммах $U-(U-B)$ и $B-(B-V)$ лишь верхняя часть кривой, соответствующая более яркому блеску, отклоняется в область больших показателей цвета. Зависимость $V-(V-R)$ уже достаточно известна и описана в [1] и [2] для различных состояний активности объекта, в отличие от зависимостей $U-(U-B)$ и $B-(B-V)$, которые ранее обнаружены не были.

Итак, в районе прецессионной фазы ТЗ, в спокойном состоянии показатели $U-B$, $B-V$, $V-R$ коррелируют с орбитальной фазой, при этом наибольшую корреляцию ($R=0.95$) имеет показатель $V-R$. Амплитуда переменности показателей $U-B$ и $B-V$ в течение ночи существенно превышает амплитуду, связанную с 13-дневной переменностью, поэтому корреляция этих показателей с орбитальным периодом проявляется не так ярко. В моменты Т1 и Т2 (когда аккреционный диск виден с ребра) показатели цвета $U-B$ и $B-V$ с орбитальным периодом практически не коррелируют, но при этом все равно строится зависимость "цвет - блеск" (см. следующий раздел). Само наличие такого характера зависимостей "цвет - блеск" отражает тот факт, что для орбитальной переменности, так же, как и для быстрой переменности, амплитуда изменений блеска в синем конце оптического спектра всегда больше, чем в красном, а изменения в показателях цвета зависят от колебаний блеска в соответствующем более коротковолновом участке спектра. Для орбитальной переменности это правило нарушается в период вспышечной активности.

5. *Зависимость орбитальных диаграмм "цвет - блеск" от фазы прецессии.* На рис.3а приведены диаграммы "цвет - блеск" по средним оценкам SS 433 за 1988-90гг. [7]. Каждая зависимость $B-(B-V)$, $V-(V-R)$ построена для определенной фазы прецессии $\psi = 0.0$ (ТЗ); 0.34, 0.66 (Т1, Т2); 0.5. Диаграммы построены по наблюдениям в спокойном состоянии и каждая точка соответствует средней оценке блеска SS 433 в ночь. Как видно из рисунка, диаграмма $B-(B-V)$ распадается на семейство зависимостей, с характерным признаком - при увеличении блеска в полосе B показатель цвета $B-V$ уменьшается. Существенная деталь - все зависимости сходятся в нижней части диаграммы, соответствующей наименьшему значению блеска в полосе B , что можно прокомментировать как проявление оптической звезды. Диапазон изменения $B-V$ в среднем от $1^m.6$ до $2^m.6$ и не зависит от фазы прецессии. Прецессия влияет лишь на уровень блеска в полосе B .

Зависимости $V-(V-R)$ для разных фаз прецессии практически сливаются в единую зависимость. Диапазон изменений показателя цвета $V-R$ от $1^m.8$ до $2^m.6$. Здесь хорошо видны основные прецессионные изменения в полосе V : в момент ТЗ объект имеет наибольший блеск и наиболее голубой цвет $V-R$, в фазе $\psi=0.5$ - наименьший блеск и наиболее красный цвет. В моменты Т1 и Т2 изменения в цвете и блеске являются как бы промежуточным звеном между моментами ТЗ и $\psi=0.5$.

Если на диаграммах оставить только точки, соответствующие фиксированному положению объекта в элонгациях $\phi = 0.15 + 0.35$, $\phi = 0.65 + 0.85$, то можно убедиться, что покраснение объекта с уменьшением блеска в масштабах орбитального периода вызвано не только затмениями.

Как видно из рис.3б, точки с наибольшими значениями показателя цвета и наименьшим блеском исчезли с диаграмм только для момента прецессии ТЗ. На диаграммах для остальных фаз прецессии уменьшилось лишь количество точек, в то время как пределы изменений показателей цвета и блеска остались почти такими же. Очевидно, что понижение блеска и покраснение в элонгациях довольно сложно объяснить, исходя из соображений геометрии. Поэтому явление покраснения с уменьшением блеска у SS 433 можно считать неким постоянным свойством.

Очевидна разница в поведении показателей $B-V$ и $V-R$ при прецессионных изменениях блеска, откуда следует, что показатели цвета

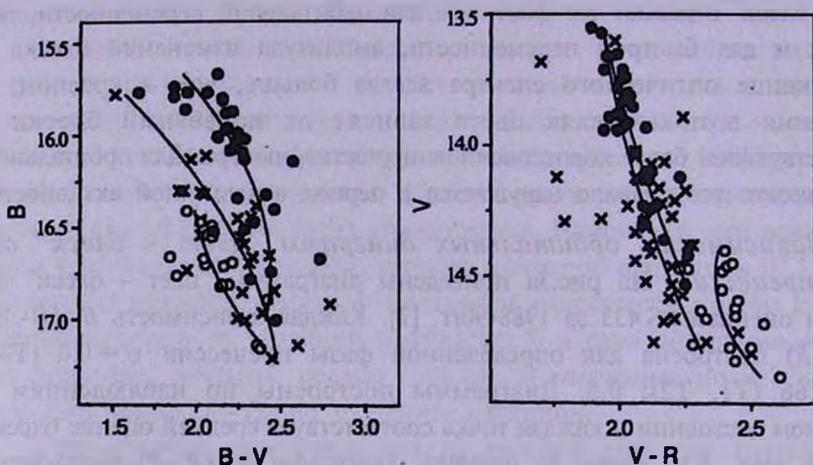


Рис.3а. Диаграммы "цвет-блеск", построенные по средним за ночь оценкам для фаз прецессии $\psi = 0$; $\psi = 0.34, 0.66$; $\psi = 0.5$. \bullet - наблюдения в прецессионной фазе $\psi = 0.0$; \times - $\psi = 0.34, 0.66$; \circ - $\psi = 0.5$.

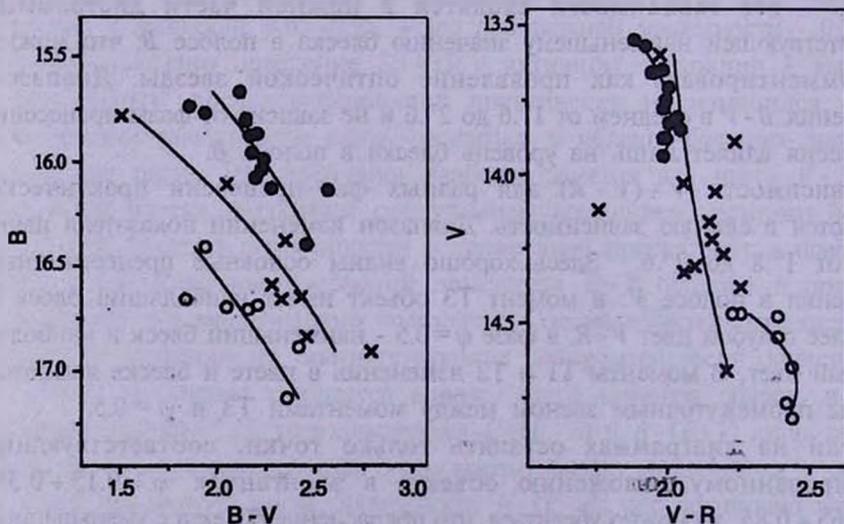


Рис.3б. Диаграммы "цвет - блеск" для тех же фаз прецессии в моменты элонгаций. Обозначения те же, что на рис.3а.

формируются различными источниками. При этом цвет наиболее голубого источника не зависит от прецессионной фазы в отличие от красного. Прецессионные изменения блеска имеют лишь геометрическую, а не физическую причину, следовательно красный компонент можно связать с оболочкой вокруг аккреционного диска, а голубой компонент - с горячими областями в местах выхода релятивистских джетов из-под фотосферы аккреционного диска. Разделение области, излучающей в оптическом диапазоне, на красный и голубой компоненты предлагается и в работе [2]. Правда, авторы не конкретизируют локализацию обоих компонентов в системе. В результате анализа спектральных данных в работе [11] возникла идея о горячих газовых коконах HeII вокруг основания релятивистских струй в области их появления из-под фотосферы аккреционного диска.

Кривые зависимостей одинаковых показателей цвета для различных фаз прецессии имеют различные параметры, поэтому если проводить анализ без предварительной сортировки данных по фазам прецессии, то получается неопределенной формы облако, особенно это касается диаграммы $B - (B - V)$.

6. **Заключение.** Из анализа многоцветных фотометрических наблюдений SS 433 получены следующие результаты:

1. Наличие и одинаковый характер зависимостей "цвет-блеск" для разномасштабных по времени колебаний блеска свидетельствуют о существовании быстропеременного горячего источника, который является доминантой оптического излучения и виден в полосах UBV . Голубой компонент пространственно жестко связан с джетами как результат сложной цепочки взаимодействий релятивистской струи с фотосферой аккреционного диска.

2. В системе присутствует и второй, более красный компонент, излучающий в RI , который имеет более протяженную структуру.

3. Эти выводы приводят к морфологической модели SS 433, предложенной Липуновым и Шакурой в 1982г. [13]. Согласно этой модели, аккреционный диск практически находится внутри фотосферы, а земной наблюдатель видит квазисферическую звезду с двумя прецессирующими пятнами. Горячие пятна образуются при взаимодействии струй с оболочкой.

Автор выражает благодарность С.Н.Фабрике за полезные советы и конструктивное обсуждение результатов.

Государственный астрономический институт им. П.К.Штернберга МГУ,
Крымская лаборатория, Россия - Украина

ANALYSIS OF MULTI-COLOR PHOTOMETRIC OBSERVATIONS OF SS 433

T.R.IRSMAMBETOVA

Rapid photometric *BVR* observations (during 12 nights) of SS 433 performed in 1989-90 at Mount Maidanak are presented. Color indices $U-B$, $B-V$, $V-R$ variations analysis has been made from multi-color photometric data in different time scales. It has been found that there are relations "color-magnitude" $U-(U-B)$, $B-(B-V)$ for both rapid and orbital variability, similar to the well-known relation $V-(V-R)$ with typical indication - the color of SS 433 becomes more blue, when brightness of short-wave component increases. It has been shown that the object's reddening with decreasing brightness is caused not only by eclipses but also by own variability. The behaviour of color indices can be explained by interaction of the relativistic jets with photosphere around accretion disk.

ЛИТЕРАТУРА

1. С.А.Гладышев, Астрон. циркуляр, No 1138, 1980.
2. В.П.Горанский, В.Ф.Есилов, А.М.Черепашук, Астрон. ж., 75, 383, 1998.
3. E.M.Leibowitz, T.Mazeh, H.Mendelson, J.C.Kemp, M.S.Barbuor, K.Takagishi, J.Jugaku, M.Matsuoka, Mon. Notic. Roy. Astron. Soc., 206, 751, 1984.
4. В.П.Горанский, И.М.Копылов, В.Ю.Рахимов, Н.Б.Борисов, Л.В.Бычкова, С.Н.Фабрика, Г.П.Чернова, Сообщ. САО, No52, 5, 1987.
5. С.А.Гладышев, В.П.Горанский, Н.Е.Курочкин, А.М.Черепашук, Астрон. циркуляр, No1145, 1980.
6. А.А.Aslanov, А.М.Cherepashchuk, V.P.Goranskij, V.Yu.Rakhimov, R.C.Vermeulen, Astron. Astrophys., 270, 200, 1993.
7. Т.Р.Ирсмамбетова, Письма в Астрон. ж., 23, 341, 1997.
8. И.М.Копылов, Р.Н.Кумайгородская, Н.Н.Сомов, Т.А.Сомова, С.Н.Фабрика, Астрон. ж., 63, 690, 1986.
9. Г.М.Бескин, С.И.Неизвестный, А.А.Пимонов, В.Л.Плахотниченко, С.Н.Фабрика, В.Ф.Шварцман, Астрофиз. исслед. Изв. САО, 20, 72, 1985.
10. J.F.Dolan, P.T.Boyd, S.N.Fabrika, S.Tapia, V.Buchkov, A.A.Panferov, M.J.Nelson, J.W.Percival, G.W.Citters, D.C.Taylor, M.J.Taylor, Astron. Astrophys., 327, 648, 1997.
11. В.П.Горанский, С.Н.Фабрика, В.Ю.Рахимов, А.А.Панферов, А.Н.Белов, Л.В.Бычкова, Астрон. ж., 74, 740, 1997.
12. Н.М.Шаховской, А.Н.Сазонов, Письма в Астрон. ж., 22, 580, 1996.
13. В.М.Липунов, Н.И.Шакура, Астрон. ж., 59, 632, 1982.