АСТРОФИЗИКА

ТОМ 23 ОКТЯБРЬ, 1985 ВЫПУСК 2

УДК: 524.338:520.82

ОБ ИЗМЕНЕНИЯХ БЛЕСКА АНТИВСПЫХИВАЮЩЕЙ ЗВЕЗДЫ V 346 ORI

Г. У. КОВАЛЬЧУК

Поступила 20 июля 1984
Принята к печати 24 июня 1985

В работе изложены результаты анализа наблюдательного материала по фотоэлектрическим наблюдениям антивспыхивающей звезды V 346 Ori, полученным в 1979—1983 гг. в ГАО АН УССР. Для процесса переменности характерны внезапные глубокие ослабления блеска с амплитудой до 2^m (V), сопровождающиеся специфическими изменениями показателей цвета и свидетельствующие о значительной роли в изменениях блеска пылевого компонента околозвездного вещества. Привлечение эруптивной модели, предполагающей наличие у звезды хромосферы, позволило определить оптические характеристики околозвездного поглощающего вещества и определить зависимость коэффициента поглощения от длины волны в виде $\varkappa \propto \lambda^{-1.4}$. Наблюдается полное совпадение оптических свойств межзвездного и околозвездного веществ в видимой области спектра и заметное увеличение коэффициента поглощения последнего в ультрафиолете (по сравнению с межзвездной средой). Антивспыхивающие звезды предлагаются как один из возможных источников пополнения запасов пыли в межзвездном пространстве.

1. *Введение.* По программе многоцветной фотометрии быстрых неправильных переменных с непериодическими ослаблениями блеска — называемых в дальнейшем антивспыхивающими звездами (АВЗ) — в ГАО АН УССР выполнена фотоэлектрическая *UBVRI*-фотометрия переменной звезды V 346 Ori. Основанием для включения переменной в список программных звезд послужили обнаруженные при фотографических наблюдениях особенности изменения ее блеска [1—3], ранний спектральный класс [4] и обнаружение в излучении звезды *ИК*-избытка [5].

2. *Объект исследования.* На протяжении всей недолгой истории изучения переменности V 346 Ori — ~ 50 лет — основной акцент делался на поиски периодических составляющих в изменениях блеска. Однако классификация Цесевичем [3] V 346 Ori как полуправильной пульсирующей типа RS Cnc с накладывающимися периодами $P_1 \approx 17^d$ ($\Delta m = 0^m.2$) и

$P_2 \approx 150-200^d (\Delta m = 2^m)$ не подтвердилась при дальнейших наблюдениях. Безуспешными оказались попытки Соловьева [1] отнести переменную к типу UG.

Отмеченные Соловьевым [2] характерные детали картины переменности V 346 Ori — резкие и глубокие (амплитудой до $2^m.5$) ослабления блеска со столь же резкими последующими возвращениями к нормальному состоянию, а также наличие в минимуме блеска неправильных и быстрых — до 1^m в сутки — колебаний яркости послужили основанием для отнесения переменной V 346 Ori к типу RW Aur [6] (в современной классификации Isa [4]).

3. *Наблюдения.* В течение 1979—1983 гг. (103 наблюдательных ночи) нами было получено ~ 480 пятицветных оценок блеска переменной в системе *UBVRI*. Все результаты наблюдений (в форме таблиц), а также детальное описание методики обработки и редукции результатов наблюдений из инструментальной системы в стандартную, совместно с детальным описанием применяемой при наблюдениях аппаратуры, приведены в работе [7]. Настоящая работа посвящена анализу особенностей изменения блеска и показателей цвета и их интерпретации. На рис. 1 приведена кривая изменения блеска переменной в фильтре V, построенная с использованием среднесуточных значений блеска.

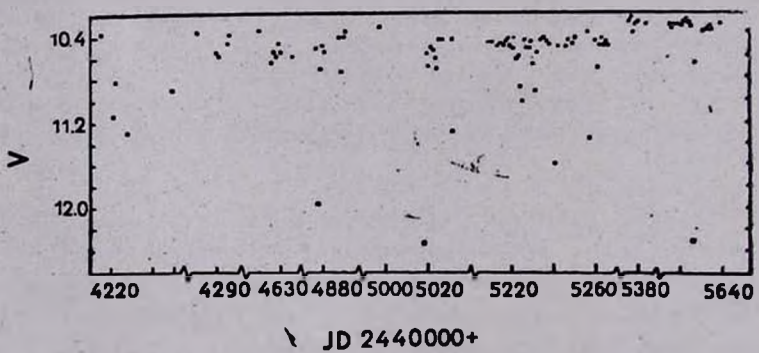

Рис. 1. Кривая изменения блеска V 346 Ori за 1979—1983 гг.

4. *Анализ результатов наблюдений.* 1. *Нормальный блеск.* Из рис. 1 видно, что и в состоянии нормального блеска звезда переменна с амплитудой до $0^m.3$ (V). Заметной особенностью этого процесса переменности являются значительные вариации цветов, причем не всегда наблюдается корреляция между их изменениями и изменениями блеска.

В те ночи, когда блеск переменной контролировался непрерывно в течение 30—80 минут с целью изучения быстрых колебаний яркости, отме-

чена такая же сложная картина изменений блеска и показателей цвета (рис. 2, JD 2444877). Иногда отмечаются квазирегулярные вариации блеска с синхронными изменениями показателей цвета. Однако в большинстве ночей никакой зависимости в изменениях блеска и показателей цвета не наблюдается, равно как не наблюдается ее и в изменениях показателей цвета.

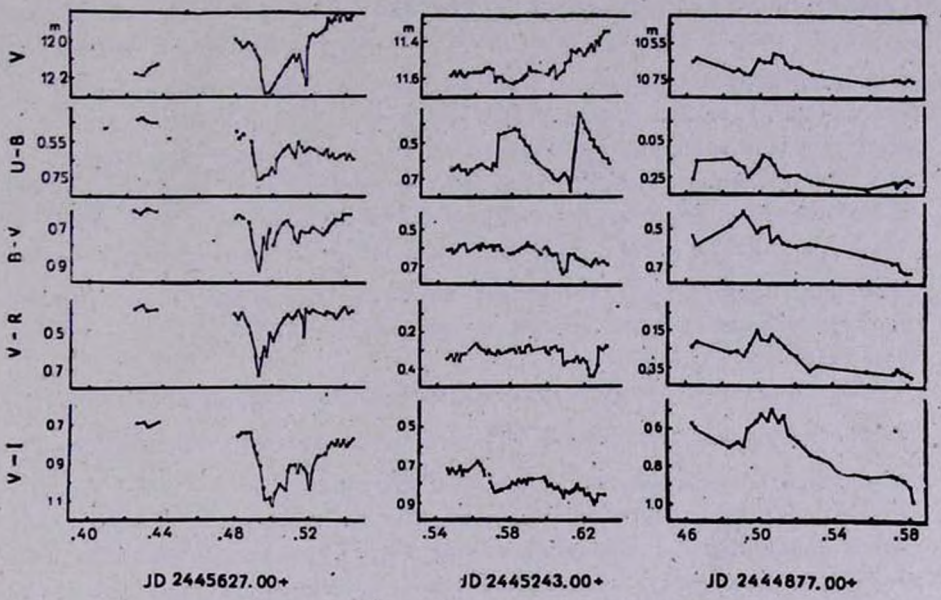

Рис. 2. Изменения блеска и показателей цвета переменной на разных этапах ослабления блеска: a). Начальная стадия выхода из минимума; b). Изменения блеска и показателей цвета вспышечноподобного характера на восходящей ветви минимума; c). Через день после выхода звезды из минимума.

В предминимальные ночи никаких отклонений блеска переменной в фильтре V от нормального значения его не обнаружено, но изменения показателей цвета в эти ночи являются, на наш взгляд, свидетельством начала каких-то бурных процессов в недрах и на поверхности звезды, приводящих вскоре к феномену антивспышки. Например, в ночи перед минимумами JD 2444875, 5032, 5242, 5259, 5626 показатели цвета $U—B$, $B—V$, $V—I$ уменьшились, но показатель цвета $V—R$ стал меньше только в две из этих пяти ночей.

Необходимо отметить, что в послеминимальные ночи (когда блеск звезды был только на $0^m.2—0^m.3$ (V) слабее нормального) амплитуда вариаций блеска и показателей цвета заметно превышала аналогичные значения для ночей, далеко отстоящих от ослабленного состояния.

К числу интересных проявлений переменности следует отнести и общее увеличение блеска переменной в 1983 г. на $0^m.2$ в видимой области спектра при одновременном уменьшении показателей цвета $U-B$, $B-V$, $V-I$ при неизменном показателе цвета $V-R$ (рис. 1).

2. *Антивспышки.* Глобальные ослабления блеска — антивспышки — наиболее характерная черта процесса переменности АВЗ — обнаружены и при наблюдениях переменной V 346 Orі. Для антивспышек типичны: а) резкий уход в минимум и б) более плавный выход из минимума. Максимальная зарегистрированная амплитуда ослабления блеска — $1^m.92$ (V) (JD 2445627). Как и у всех АВЗ [8], глубина минимума растет с переходом в ультрафиолетовую область спектра. Из наших наблюдений следует, что продолжительность минимума — от 1 до 3—5 дней. Так, в начале наблюдательного сезона в две последовательные ночи (JD 2444219 и ... 4220), а также в даты ... 4226 и ... 4236 звезда находилась в ослабленном состоянии, на $0^m.4-0^m.6$ (V) слабее нормального. С уверенностью можно говорить только о длительности минимумов ... 4876 и ... 5627 — не более двух дней.

Максимальная скорость уменьшения яркости переменной отмечена в течение минимума ... 5627 — $0^m.088$ час$^{-1}$; скорость изменения блеска на восходящей ветви этого минимума — $0^m.066$ час$^{-1}$.

Примечательной особенностью процесса переменности V 346 Orі является различная направленность изменений показателей цвета на нисходящей и восходящей ветвях минимума — начальные стадии ослабления блеска ($\Delta m = 1^m.4-1^m.6$), как правило, сопровождаются увеличением показателей цвета (по сравнению с нормальным состоянием) (рис. 3). При дальнейшем ослаблении яркости переменной ниже $\sim 11^m.6$ (V), звезда становится голубее (уменьшение показателей цвета) по мере уменьшения блеска. Однозначный ответ на вопрос о направленности изменений показателей цвета при выходе звезды из минимума дают наблюдения в ночь ... 5627, когда при общем увеличении блеска переменной на $0^m.3$ (V) показатели цвета $U-B$, $B-V$, $V-R$ и $V-I$ возросли соответственно на $0^m.20$, $0^m.07$, $0^m.02$ и $0^m.06$ (рис. 2). Кроме того, следует отметить появление в изменениях яркости (при ослабленном блеске звезды) заметной переменности вспышечноподобного характера (... 5243, рис. 2).

5. *Обсуждение результатов.* При анализе результатов наблюдений главная задача заключалась в том, чтобы из существующих моделей переменности АВЗ выбрать наиболее полно объясняющую наблюдаемую картину переменности модель. При этом учитывались следующие факторы:

1. Наличие у переменной ИК-избытка [5] несомненно свидетельствует о наличии возле звезды пылевой оболочки.

2. Из диаграммы «цвет-величина» (рис. 3) видно, что увеличение показателей цвета переменной на начальных этапах уменьшения блеска следует закону межзвездного поглощения (на рис. 3 это направление отмечено стрелкой), что также может быть приписано действию околозвездной пыли.

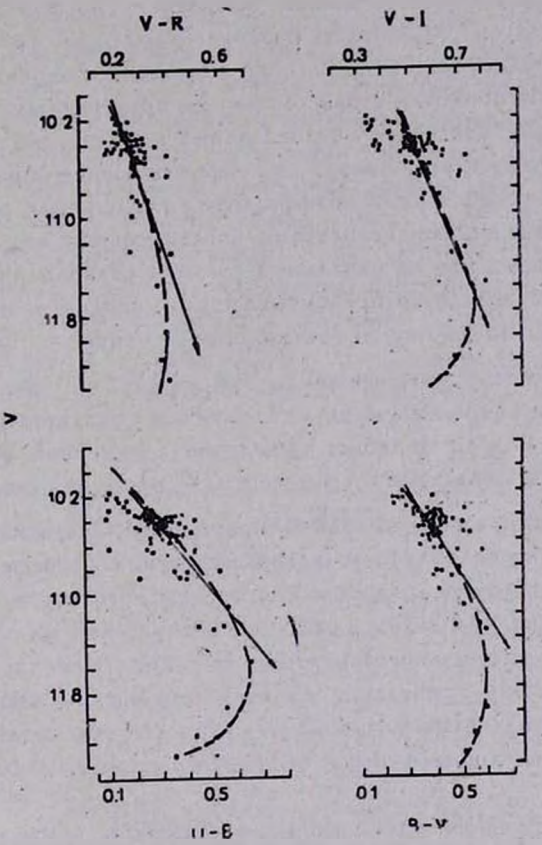

Рис. 3. Диаграмма «цвет—величина» переменной V 346 Ori. Точки — наблюденные значения, штриховая линия — расчетная зависимость. Стрелкой указано направление изменения показателей цвета по закону межзвездного поглощения.

3. Спектр переменной, тип переменности, общие особенности изменения блеска и показателей цвета близки к аналогичным характеристикам ряда АВЗ [9—11], для объяснения особенностей переменности которых А. Ф. Пугачем была предложена [10] и разработана в деталях [11, 12] эруптивная модель переменности АВЗ.

С учетом всех приведенных выше соображений в качестве рабочей мы взяли эту модель. Согласно ей [10], глобальные ослабления блеска вызваны появлением между наблюдателем и *верхними слоями фотосферы звезды* облака (облаков) поглощающего вещества. Подобная строгая пространственная локализация крайне важна, ибо одним из «краеугольных камней» модели является предположение о наличии у АВЗ области существования источников дополнительного излучения, расположенной выше пылевого облака. Такую область условно назовем хромосферой. Появление на луче зрения между наблюдателем и *верхней границей фотосферы — нижней границей хромосферы* заметного количества поглощающего вещества, образующего либо оболочку с равномерно распределенным в ней абсорбентом, либо оболочку, состоящую из отдельных конденсаций [13, 14], должно привести к покраснению звезды, причем отношение общего поглощения к селективному и зависимость коэффициента поглощения от длины волны определяются оптическими свойствами поглощающего вещества.

Из рис. 3 видно, что на начальных стадиях ослабления блеска наблюдаемая картина совпадает с предсказываемой моделью — наблюдается покраснение звезды по закону межзвездного поглощения [15]. Мы уже отмечали, что по достижении звездой блеска $\sim 11^m.6 (V)$ дальнейшее уменьшение ее яркости сопровождается уменьшением показателей цвета. В рамках эруптивной модели подобное поведение переменной объясняется эффективным «вмешательством» хромосферы — при уменьшении блеска ниже $11^m.6$ (V) в излучении звезды начинает преобладать излучение хромосферы (при сильно ослабленном пылью излучении фотосферы). При определенном распределении энергии в спектре хромосферы будет наблюдаться приведенный на рис. 3 ход изменения показателей цвета при уменьшении яркости до минимального значения. В дальнейшем диссипация облака поглощающих частиц приведет к постепенному увеличению блеска, сопровождающемуся увеличением показателей цвета, обусловленным перераспределением долей хромосферы и фотосферы в общем балансе излучения звезды.

На заключительном этапе выхода из минимума, когда оптическая толща поглощающего вещества уменьшится настолько, что в излучении системы «фотосфера + хромосфера» снова начнет доминировать излучение фотосферы, следует ожидать уменьшения показателей цвета. Такая картина предсказываемых моделью изменений показателей цвета полностью совпадает с наблюдаемой (рис. 3).

Нам представляется возможным мелкомасштабные изменения блеска переменной в ослабленном состоянии объяснить в рамках предположения о переменности излучения хромосферы. Конечно, альтернативой этому объяснению может быть привлечение механизма диссипации облаков по-

глощающего вещества неоднородной структуры при удалении их от звезды. Однако нестационарность излучения хромосферы должна проявиться именно в моменты заметного ослабления излучения фотосферы, свидетельством чему могут быть наблюдения в ночь JD 2445627 (рис. 2), когда на фоне начавшегося выхода из минимума наблюдались синхронные вариации блеска и показателей цвета, амплитуда которых была максимальной в ультрафиолетовой области спектра.

Переменность излучения хромосферы, по-видимому, отражена и в изменениях блеска вспышечноподобного характера с максимальной амплитудой в ультрафиолете (рис. 2, JD 2445243). В пользу наших предположений о значительной нестационарности излучения хромосферы можно привести и результаты исследования переменности блеска АВЗ V 351 Ori, у которой в глубоком минимуме наблюдалась вспышка амплитудой до $0.^m5$ в ультрафиолетовой области спектра [16].

Пользуясь методом, предложенным А. Ф. Пугачем [10, 11], нам удалось получить оценки некоторых параметров фотосферы и хромосферы, а также оптические характеристики поглощающего вещества. Результаты вычислений приведены в табл. 1, где: $(m_{max})_{набл.}$ и $(m_{min})_{набл.}$ — полученные из наблюдений значения блеска переменной в максимуме и минимуме блеска;

Таблица 1

Параметр	Фильтр				
	U	*B*	*V*	*R*	*I*
$(m_{max})_{набл.}$	$11.^m05$	$10.^m82$	$10.^m49$	$10.^m20$	$9.^m95$
$(m_{min})_{набл.}$	13.13	12.63	12.28	11.88	11.63
A	0.91	0.76	0.58	0.41	0.35
$(m_{max})_{испр.}$	10.14	10.06	9.91	9.79	9.60
$(m_{min})_{испр.}$	12.22	11.87	11.70	11.47	11.28
I	0.53	0.58	0.66	0.78	0.98
t	0.08	0.09	0.08	0.06	0.02
Закон поглощения околозвездной пыли	1.79	1.31	1.00	0.68	0.50
τ_{max}	4.82	3.53	2.70	1.85	1.35
m_{lim}	12.32	12.20	12.29	12.04	12.93

$(U-B)_{хр.}=+0.^m11$
$(B-V)_{хр.}=+0.09$
$(V-R)_{хр.}=-0.34$
$(V-I)_{хр.}=-1.63$

A — межзвездное поглощение в направлении на переменную, вычисленное по избытку цвета; $(m_{max})_{испр.}$ и $(m_{min})_{испр.}$ — исправленные за межзвездное поглощение значения максимального и минимального блеска переменной; I и i — относительные интенсивности фотосферы и хромосферы в каждом из фильтров системы $UBVRI$; τ_{max} — оптическая толща поглощающего вещества, соответствующая наблюдаемому минимуму блеска в фильтре V; m_{lim} — теоретические возможные минимальные значения блеска переменной (при $\tau \to \infty$).

Внизу таблицы приведены цвета хромосферы, полученные из ее интенсивностей в соответствующих фильтрах системы $UBVRI$.

С использованием данных табл. 1 вычислен ожидаемый ход изменения показателей цвета при уменьшении блеска переменной до минимального его значения при законе поглощения, характерном для межзвездной среды [15]. Вычисленные показатели цвета $B—V$, $V—R$, $V—I$ (на рис. 3 штриховой линией показано их изменение при изменениях блеска переменной) совпадают с наблюденными, однако для цвета $U—B$ удовлетворительное согласие вычисленной и наблюденной кривых получено при законе поглощения $\tau_U = 1.79\ \tau_V$ (для межзвездной среды $\tau_U = 1.57\ \tau_V$).

Зависимость коэффициента поглощения от длины волны в нашем случае описывается законом:

$$\varkappa \propto \lambda^{-1.4}.$$

Подобная зависимость получена и для антивспыхчвающих звезд V 351 Ori [9], RZ Psc [10], UX Ori, VX Cas, WW Vul [11], звезды R CrB [17]. Повышенная поглощательная способность околозвездной пыли в ультрафиолетовой области спектра (по сравнению с таковой для межзвездной среды), на наш взгляд, может служить свидетельством того, что мы действительно имеем дело со «свежей» пылью, только что образовавшейся в окрестностях звезды. Согласно [18], именно «...в первичном процессе образуются малые частицы, состоящие из силикатов (диэлектрики) или из железа или графита (проводники) и ответственные за экстинкцию в ультрафиолетовой области спектра».

6. *Выводы.*

1. V 346 Ori — типичная АВЗ с присущими этому классу объектов особенностями изменения блеска и показателей цвета. Основной процесс переменности — нерегулярные и резкие ослабления блеска с амплитудой до 2^m (V) и длительностью 3—5 суток. В состоянии нормального блеска звезда показывает неправильные и быстрые изменения яркости с амплитудой до $0.^m3$ (V) и вариации показателей цвета с максимальной амплитудой в ультрафиолете.

2. Начальные стадии ослабления блеска сопровождаются покраснением звезды, приписываемым нами действию образующейся спорадически в окрестностях звезды пыли. На последующих этапах ослабления яркости до минимального значения покраснение звезды сменяется ее поголубением, интерпретируемым нами как появление в составе излучения звезды дополнительной эмиссии, мощность которой достигает 10% общего излучения ее в ультрафиолетовой области спектра. В качестве источника дополнительного излучения рассматривается хромосфера — некий аналог солнечной, но излучающая, по-видимому, в непрерывном спектре. Появление в моменты ослабленного блеска звезды изменений яркости вспышечноподобного характера можно рассматривать, на наш взгляд, как серьезный аргумент в пользу гипотезы о существовании хромосферы и значительной нестационарности ее излучения.

3. Полученные из анализа диаграммы «цвет—величина» оптические характеристики околозвездной пыли полностью совпадают с таковыми для межзвездной среды в видимой области спектра, что может служить свидетельством генетического родства пыли, образующейся на наших глазах в процессах эруптивного характера в атмосферах АВЗ, и пыли, миллионы и миллиарды лет существующей в космическом пространстве.

Однако заметное отличие коэффициента поглощения околозвездной пыли от коэффициента поглощения межзвездной среды в ультрафиолетовой области спектра, согласно теоретическим расчетам, может интерпретироваться как подтверждение возможности существования в околозвездном пространстве пылинок с размерами, меньшими, чем размеры частиц пылевого компонента межзвездной среды.

Главная астрономическая обсерватория
АН УССР

ON THE LIGHT CHANGES OF THE ANTIFLARE STAR V 346 ORI

G. U. KOVALCHUCK

The photoelectric observations of the antiflare star V 346 Ori were studied. A sudden deep weakening of the brightness up to $2^m(V)$ are the main process of variability. They are accompanied by the specific colour changes. The data are interpreted on the basis of an eruptive model. The present observations support the interpretation that the main importance in the decrease of brightness is the circumstellar dust. On the assumption that a global weakening of brightness are due to appearance in a close proximity to the variable of the absorbing

matter clouds, some characteristics of chromosphere, photosphere and absorbing matter were obtained. A good coincidence of "fresh" dust absorbing properties with those of interstellar media in BVRI bands has been shown as well as the increase of circumstellar dust coefficient absorbtion in UV (in comparison with interstellar matter). The wave dependence of a circumstellar matter absorbtion coefficient is such $\varkappa \propto \lambda^{-1.4}$. It has been suggested that antiflare stars can be one of the possible sources of dust production in interstellar space.

ЛИТЕРАТУРА

1. *А. В. Соловьев*, Астрон. цирк., № 41, 8, 1945.
2. *А. В. Соловьев*, Астрон. цирк., № 193, 26, 1958.
3. *В. П. Цесевич*, Астрон. цирк., № 52, 6, 1946.
4. *Б. В. Кукаркин, П. Н. Холопов, Ю. Н. Ефремов* и др., Общий каталог переменных звезд, М., 1969.
5. *I. S. Glass, M. V. Penston*, M. N. RAS, 167, 237, 1974.
6. *W. Wenzel*, Veröff. Sternwarte Sonneberg, B 5, 7, 1961.
7. *Г. У. Ковальчук*, Рукопись депонир. в ВИНИТИ, рег. № 2159-84. Деп.
8. *А. Ф. Пугач*, Антивспыхивающие звезды. Препринт Ин-та теорет. физики АН УССР, ИТФ-81-128 Р, Киев, 1981.
9. *Г. У. Ковальчук*, Кинематика и физика небесных тел, (в печати), 1985.
10. *А. Ф. Пугач*, Астрофизика, 17, 87, 1981.
11. *А. Ф. Пугач*, Астрофизика, 19, 739, 1983.
12. *А. Ф. Пугач*, Астрометрия и астрофизика, вып. 49, 55, 1983.
13. *H. E. Frohlich, S. Rossiger*, Mitt. Verand. Sterne, 6, 1, 1971.
14. *G. F. Gahm, H. L. Nordh, S. G. Oloffsson*, Icarus, 24, 378, 1975.
15. *G. V. Shults, W. Wiemer*, Astron. Astrophys., 43, 133, 1975.
16. *G. U. Kovalchuck*, IBVS, No. 2482, 1984.
17. *А. Ф. Пугач, Р. И. Гончарова, Г. У. Ковальчук*, В сб. «Фотометрические и поляриметрические исследования небесных тел», Наукова думка, Киев, 1985 (в печати).
18. *С. А. Каплан, С. Б. Пикельнер*, Физика межзвездной среды, Наука, М., 1979.