

Использование ЭВМ при изучении периодов изменения блеска переменных звезд

В. М. Григоревский

В статье изложены сведения о применении ЭВМ в Одесской Астрономической Обсерватории к решению ряда задач, связанных с изучением переменных звезд: отыскание периода, оценка точности фотометрической кривой, метод Герцшпрунга, изучение эффекта Блажко и др.

The Use of Electronic Computers in Studying Periods of Light

Variations of Variable Stars

by V. M. Grigorevsky

The paper deals with the use of electronic computers at the Odessa Astronomical Observatory for the solution of a number of problems related to the study of variable stars, such as: the determination of the period, the estimation of the precision of a photometric curve, the Herzprung method, the study of Blazhko effect and others.

С осени 1970 года на Одесской Астрономической Обсерватории группой сотрудников (С.С. Выхрестюк, В.М. Григоревский, Н.С. Згоняйко, В.Д. Мотрич и др.) проводятся работы по применению ЭВМ к исследованию кривых изменения блеска.

Настоящая статья содержит обобщение опыта указанных работ, проводившихся главным образом в следующих двух направлениях: отыскание периодов изменения блеска неисследованных переменных звезд и изучение изменений периода, в том числе эффекта Блажко.

1. Метод Х-3а.

Метод Лафлера-Кинмана-Холопова (Лафлер и др., 1965; Холопов, 1969) определения периодов изменения блеска был запрограммирован в варианте Х-3а (Холопов, 1970) на ЭВМ "Наири-С" и "Минск-22" (Григоревский и др., 1973а). Алгоритм Х-3а оказался весьма эффективным и надежным и позволил решить вопрос о периодах ряда звезд, долго не поддававшихся расшифровке. В качестве примера приведем звезду V912 Aq1.

Переменность этой звезды открыта Моргенротом (1935) почти сорок лет назад. Однако, тип переменности и период изменения блеска

до последнего времени установлены не были. В частности, в третьем издании ОКПЗ звезда предположительно отнесена к типу RR Лиры.

В результате обработки 194 фотографических наблюдений В.П.Несевича (алгоритм X-3a, ЭВМ "Наири-С") установлено, что V912 Aql — цефеида с периодом 4.4003403 и явной нестабильностью кривой изменения блеска (см. рис. 1). Возможно, что именно указанная нестабильность, не мешающая машинному определению периода, и явилась причиной того, что тип и период переменной обычными "ручными" методами до сих пор определены не были.

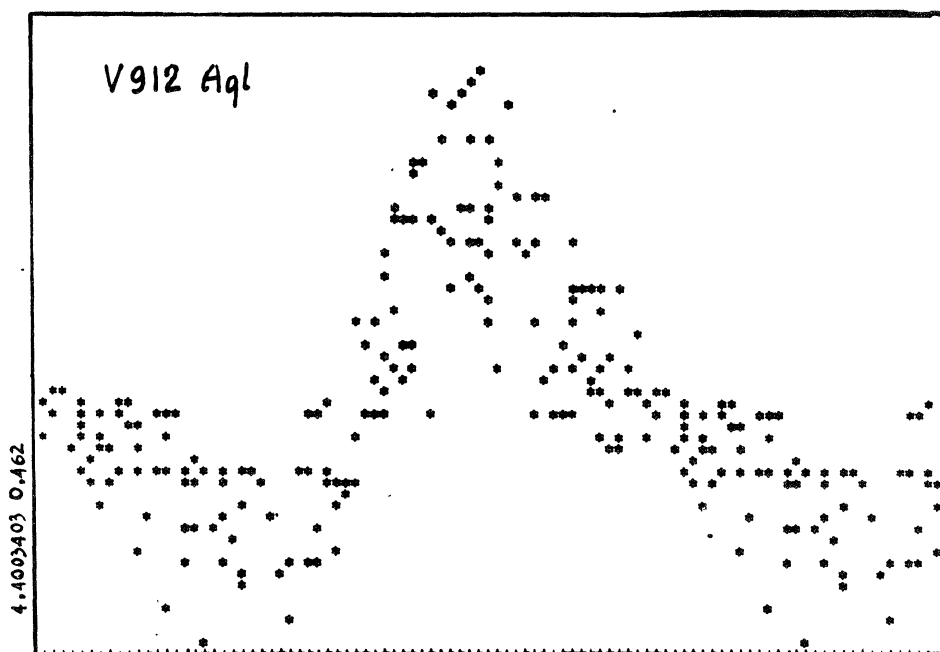


Рис. 1

Таким же способом были "разгаданы" и некоторые звезды, для которых из-за неудачного расположения наблюдений во времени, обычными методами трудно было отобрать один из нескольких сопряженных периодов.

2. Метод X-5.

Метод X-3a является надежным и весьма эффективным методом, однако требует больших затрат машинного времени, связанных с испытанием множества заведомо ложных периодов. Поэтому нами был запрограммирован и испытан метод X-5 (Холопов, 1970), свободный от указанного недостатка: испытанию подвергаются только те значения периода, которые для данной конкретной звезды возможны.

При наличии хороших наблюдений, эффективность этого метода чрезвычайна: даже на медленно работающей ЭВМ "Наири-С" время отыскания периода изменения блеска часто исчисляется минутами. Однако, алгоритм X-5 значительно уступает в эффективности алгоритму X-3a, если наблюдения недостаточно точны или плохо расположены во времени.

В качестве примера использования нами программы X-5 сошлемся на отыскание периода необычной периодической звезды КЗП 2662 (Саты-волдиев и др., 1972). Эта странная звезда на протяжении свыше 3000 дней изменяла свой блеск регулярно, с периодом $0^d.979$ (или $1^d.958$) затем свыше 300 дней блеск ее был постоянным и близким к максимальному, после чего правильные изменения блеска возобновились с несколько большим периодом ($0^d.981$ или $1^d.961$).

Несмотря на то, что из имевшихся в нашем распоряжении 231 оценки блеска, 47 оценок противоречили какому-либо значению периода, указанные выше значения периодов были найдены на ЭВМ "Наири-С" за 40 минут.

Улучшение периодов было проведено так же, как и в алгоритме X-3а, и здесь следует указать, что ни построенные средние кривые изменения блеска КЗП 2662, ни параметр рассеяния θ не позволяют отдать предпочтение одинарному или двойному значению периода.

Различие значений θ порядка 8-13 сотых в пользу одинарного периода. Чтобы проверить насколько значимо такое различие, мы просчитали задачу методом Монте-Карло на псевдослучайных числах.

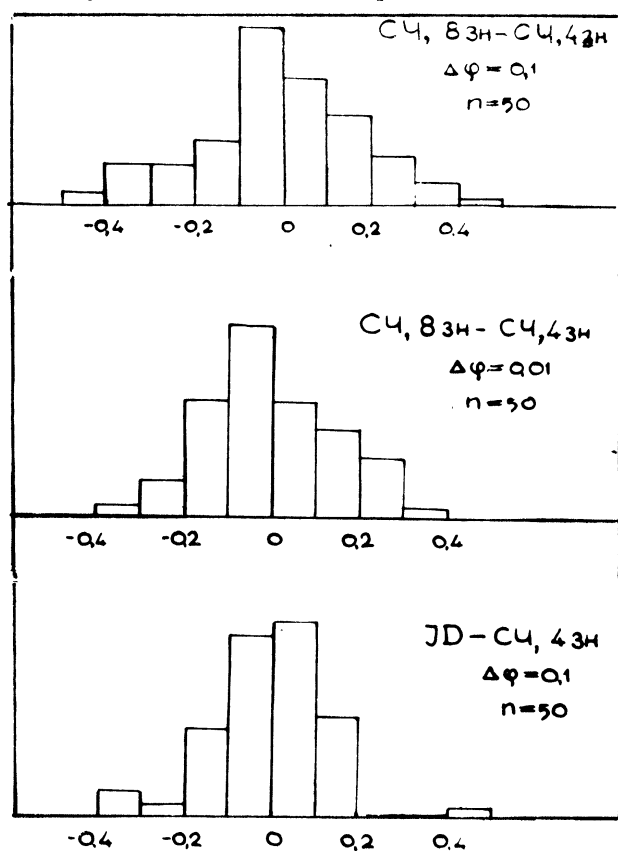


Рис. 2

Использовался алгоритм X-3а. В различных вариантах вычислялись значения параметра для серии пробных периодов и строилось распределение разностей $\Delta\theta = \theta_{i+1} - \theta_i$, соответствующих двум соседним значениям пробных периодов.

На рис. 2 представлены три варианта распределения $\Delta\theta$: в качестве юлианских дат брались 8-значные случайные числа и (нижний график) юлианские даты для реальной переменной звезды, а в качестве звездных величин — четырехзначные случайные числа. Сдвиг по фазе при вычислении пробных значений периода ($\Delta\phi$) указан на рисунках. Число рассмотренных $\Delta\theta$ во всех случаях равно 50.

Очевидно, что половина всех $\Delta\theta$ для случайных чисел лежит в пределах ± 0.10 , а бóльшая их часть — в пределах ± 0.20 . Таким образом, хотя эти результаты следует проверить на большем статистическом материале, все же можно утверждать, что указанное выше различие в значениях θ для КЗП 2662 не дает формальной возможности однозначного выбора одного из двух периодов.

Заметим, что подробное и всестороннее исследование изменений параметра θ в различных условиях, проведенное параллельно для реальных звезд и для случайных чисел, должно дать ответ и на вопрос о том, можно ли непосредственно методом X-5 получить значение периода с максимально возможной для данных наблюдений точностью (не строя сезонных кривых и т. п.).

3. О построении средних кривых.

Вычисление и построение средней кривой (после отыскания периода переменной) безусловно имеет смысл выполнять также на ЭВМ. Такие программы были составлены и на рис. 3 показан один из вариантов средней кривой, полученной на ЭВМ "Наири-С", а именно — средняя кривая звезды V912 Aql; те же наблюдения, что и на рис. 1, но точки усреднены.

Одновременно с графиком на печать выдаются и численные значения $\bar{\phi}$, $\bar{m}$ и n .

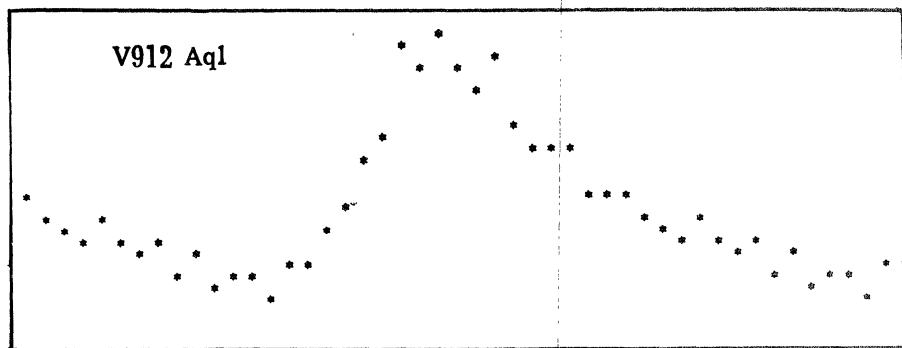
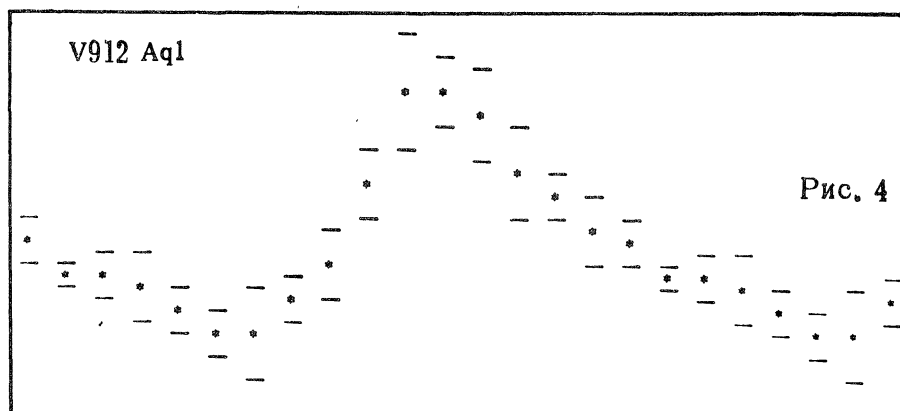


Рис. 3

0.26633	13.5822	9	0.76081	12.9974	8
0.29735	13.5279	5	0.79348	12.8599	4
0.33030	13.6349	6	0.83101	13.0899	7
0.36605	13.5849	4	0.85703	13.1699	4
0.38532	13.5749	2	0.88928	13.1828	7
0.42428	13.6579	5	0.92339	13.1918	11
0.45777	13.5340	5	0.95854	13.3283	6
0.48645	13.5355	9	0.98172	13.3249	4
0.51981	13.4459	5	0.01584	13.3216	6
0.54749	13.3474	4	0.05066	13.4049	4
0.57634	13.2071	7	0.08113	13.4366	9
0.60720	13.1200	9	0.10843	13.4771	7
0.63211	12.8274	4	0.14306	13.3949	4
0.66463	12.9219	5	0.16819	13.4799	7
0.69956	12.7985	7	0.20982	13.5049	6
0.73093	12.9044	9	0.23565	13.4799	5

Однако, с помощью ЭВМ мы получаем среднюю кривую и в другом варианте, а именно — с оценкой ее точности. На рис. 4 представлена средняя кривая той же V912 Aql. Нечетные строки таблицы дают, как и на рис. 3, значения $\bar{\phi}$, $\bar{m}$, n ; четные же содержат среднюю квадратичную ошибку σ данного значения $\bar{m}$, а также — границы доверительного интервала для данной точки при заданном уровне значимости. Эти границы нанесены на графике горизонтальными черточками, соединяя которые, мы получаем полосу, в которой с заданной вероятностью лежит истинная кривая. Уровень значимости можно задавать любым; на рис. 4 он принят равным 5% (вероятность 0.95).



0.27741	13.5628	14	0.77170	12.9516	12
0.0324	13.6330	13.4926	0.0569	13.0769	12.8264
0.34460	13.6149	10	0.84047	13.1190	11
0.0333	13.6904	13.5395	0.0574	13.2471	12.9910
0.41315	13.6342	7	0.91013	13.1883	18
0.0517	13.7617	13.5074	0.0290	13.2497	13.1269
0.47621	13.5349	14	0.96781	13.3269	10
0.0329	13.6061	13.4638	0.0380	13.4130	13.2409
0.53211	13.4022	9	0.02977	13.3549	10
0.0464	13.5095	13.2949	0.0258	13.4134	13.2965
0.59370	13.1581	16	0.09307	13.4543	16
0.0386	13.2404	13.0757	0.0162	13.4889	13.4197
0.85018	12.8799	9	0.15905	13.4490	11
0.0686	13.0386	12.7213	0.0333	13.5234	13.3747
0.71720	12.8581	16	0.22156	13.4936	11
0.0469	12.9580	12.7581	0.0393	13.5814	13.4058

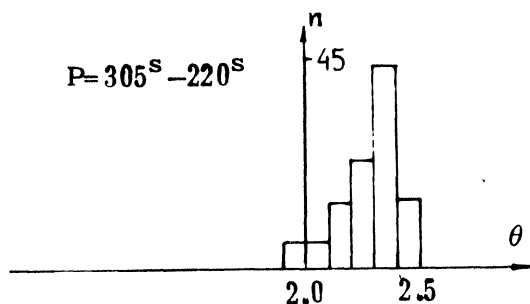
Средняя кривая с оценкой точности может быть использована для решения ряда практических задач. Назовем одну из них.

Параметр рассеяния θ в методе Х—За зависит только от разности ординат соседних точек кривой изменения блеска. Таким образом, если некоторая группа точек на кривой расположилась почти вертикально, либо наклонно, либо небольшим "облаком", а разности ординат соседних точек во всех трех случаях по модулю совпадают, — вклад этих то-

чек в θ будет одним и тем же, хотя их расположение может соответствовать различным значениям периода. Следовательно можно "сжать" кривую по ординате, т. е. улучшить период, отыскивая минимум суммы доверительных интервалов.

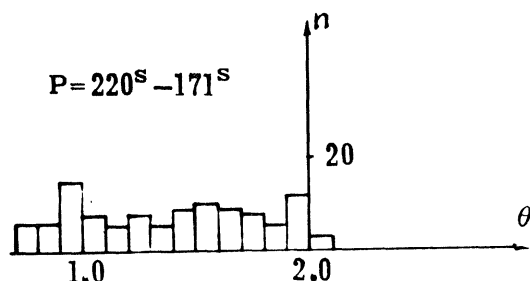
4. Об одном варианте улучшения периода в методе Х-3а.

С целью экономии машинного времени на этапах улучшения периода в методе Х-3а, нами был опробован метод построения кривых распределения



θ после каждой сотни испытанных пробных периодов (Григоревский и др., 1973 б). Распределения строились машиной в процессе счета.

На рис. 5 показаны распределения θ для трех сотен периодов, включающих в себя истинный период, оказавшийся для исследуемой фотометрической кривой равным 188 секундам.



Очевидно, что рис. 5 позволяет не только однозначно выбрать интервал пробных периодов для улучшения, но и дает возможность взять для этих вычислений величины $\theta_{\max}$, значительно меньшие, чем 1.3–1.6, принятые в методе Х-3а. А это, в свою очередь, существенно сократит время вычислений.

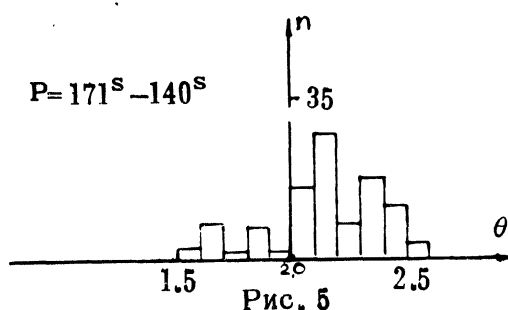


Рис. 5

Заметим, что построение графиков типа рис. 5 для случайных чисел устойчиво дает Гауссову кривую с высоким острым максимумом вблизи среднего значения θ , равного 2.0.

5. Другие методы отыскания периодов.

Нами были опробованы и другие методы отыскания периодов.

Метод скользящих разностей (Ищенко, 1964) является достаточно простым и надежным. Существенным его достоинством является тот факт, что при наличии двойной периодичности во многих случаях долгопериодическое колебание не мешает отысканию короткопериодического и наоборот.

Известным недостатком метода является "неравновесность" различных частей кривой "разность—период" (чем больше период, тем меньше разностей вычисляется из данной серии наблюдений), а также необходимость обработки довольно большого количества наблюдений.

Так для получения цикла в 65—75 суток у звезды Р CrA (Зданчук, 1971) было обработано весьма значительное количество наблюдений. Близкое значение цикла — 61.3 суток — было нами получено методом Х-3а весьма быстро, всего по 106 наблюдениям этой звезды, относящимся к двум сезонам.

Однако принципиальную сложность в использовании метода скользящих разностей, равно как и других опробованных нами весьма мощных статистических методов — автокорреляции и Бкй-Балло — создает необходимость иметь очень плотные ряды наблюдений.

Дело в том, что применение всех трех названных методов требует наличия равноотстоящих значений блеска звезды. Если для периодических переменных сглаженную кривую можно провести более—менее уверенно даже по небольшому количеству наблюдений, то как быть со звездами, скажем, полуправильными, или со звездами с двойной периодичностью, с нестабильностью кривой изменения блеска и т. п., — неясно. Отсутствие во времени плотных рядов наблюдений делает решение задачи указанными методами весьма неопределенным. А ведь зачастую для звезды мы имеем всего 1—2 наблюдения блеска в сутки.

Заметим, что методы Х-3а и Х-5 абсолютно не связаны с распределением наблюдений во времени. В частности, можно гарантировать, что если наблюдения правильной переменной не содержат очень грубых ошибок и пределы возможных значений периода заданы верно, — методом Х-3а период будет обязательно найден. В настоящее время мы пытаемся применить этот метод и к переменным со сложным характером изменения блеска.

6. Изучение изменений периодов переменных звезд.

Прежде всего нами был запрограммирован для ЭВМ метод Герцшпрунга. Особенности машинного алгоритма, опыт работы и некоторые научные результаты подробно изложены в статьях (Григорьевский и др., 1973г, 1973в). Здесь же мы отметим лишь следующее: поскольку метод Герцшпрунга не имеет строгого математического обоснования — трудно оценить величину реального выигрыша в точности от вычислений по этому методу на ЭВМ. Однако преимущества машинных вычислений заключаются и в том, что на ЭВМ считать проще и быстрее, чем вручную, а результаты получаются более однородными и объективными.

Нами предпринимаются также попытки применения ЭВМ к изучению кривых изменения блеска звезд с двойной периодичностью, например, эффекта Блажко у звезд типа RR Лиры.

Могут быть предложены различные способы изучения этого эффекта, например, Фурье — анализ, сравнение индивидуальных кривых блеска звезды с образом — синусоидой (Бёрнинг, 1963) и т. п.

Идея предложенного нами метода (Григорьевский и др., 1973д) заключается в использовании программы метода Герцшпрунга: выберем в качестве "стандартной" кривой одну из индивидуальных кривых

исследуемой звезды с эффектом Блажко. После этого будем приводить другие индивидуальные кривые "к шкале стандартной", т. е. вычислять коэффициенты k и b в уравнении

$$m_{\text{ст}} = m_{\text{набл}} \cdot k + b$$

Эти коэффициенты связаны с различиями "стандартной" и индивидуальных кривых, в частности k — с различием высот максимумов. Следовательно, находя методом Х-3а период изменения k , мы найдем период эффекта Блажко.

На рис. 6 показана зависимость значений k от высоты максимума для звезды RV Agi. Период эффекта Блажко, определенный по k методом Х-3а, оказался равным 0.316475.

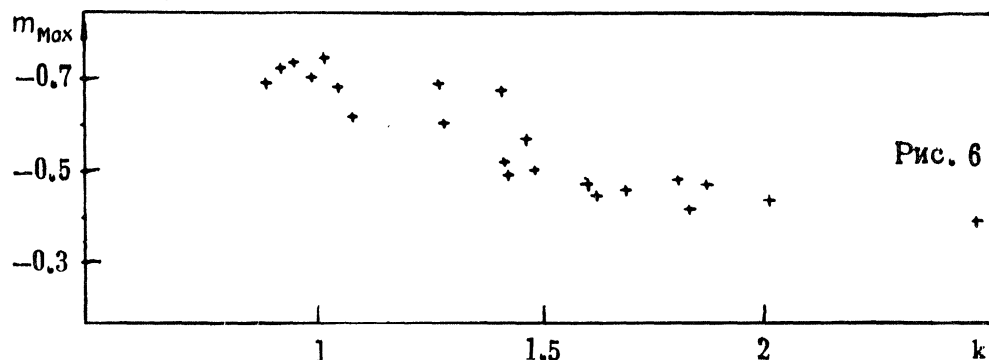


Рис. 6

7. Об определении на ЭВМ момента максимума блеска.

Звезды с несимметричной кривой.

Определение по средней кривой эпохи M_0 для элементов изменения блеска или приведение максимума стандартной кривой в методе Герцшпрунга на фазу 0.00 оказалось одной из тех задач, которая элементарно просто делается вручную, однако довольно сложна для ЭВМ. Поскольку же почти вся обработка кривых выполняется нами на ЭВМ, нужно было найти способ машинного определения M_0 .

Нами было испробовано представление кривой полиномом или тригонометрическим рядом. Однако положение экстремума (максимума) оказалось сильно зависящим от того, какой участок кривой аппроксимировался, от степени полинома, числа членов ряда и т. п.

После этого была предпринята попытка сгладить кривую, найти отношения разности ординат соседних точек к разности абсцисс, представить эти отношения (производные) полиномом второй или третьей степени и определить момент перехода производной через ноль.

Мы опробовали скользящие средние (по три точки со сдвигом на одну); скользящие средние по три точки, придавая центральной точке утроенный вес $([1 + II3 + III] : 5)$ и, наконец, сглаживание формулой Спенсера (Уиттекер и др. 1933). Результаты и в этих случаях оказались неудовлетворительными: при однократном сглаживании не удавалось по-

лучить плавного хода производной, если же сглаживание повторялось несколько раз — искажалась форма самой кривой.

Поэтому в настоящее время по совету Н.Е. Курочкина мы программируем на ЭВМ непосредственно метод Погсона: кривая блеска аппроксимируется полиномом и полиномом же аппроксимируется геометрическое место середин хорд кривой изменения блеска. Совместное решение этих двух уравнений должно дать точку экстремума.

Литература:

- Бёрнинг, 1963 — Burning F.J.M., BAN 17, 1, 22.
 Григоревский В.М. и др., 1973а, Проблемы космической физики, № 8, Киев.
 Григоревский В.М. и др., 1973б, Астрометрия и Астрофизика № 19, Киев.
 Григоревский В.М. и др., 1973в, Об изменении периодов некоторых цефеид, ПЗ — в печати.
 Григоревский В.М. и др., 1973г, О вычислениях методом Герцшпрунга на ЭВМ, ПЗ — в печати.
 Григоревский В.М. и др., 1973д, АЦ № 751.
 Зданчук, 1971, ПЗ 17, № 6, (132), 681.
 Ищенко И.М., 1964, ПЗ 15, № 2, (116), 143.
 Лаффлер, Кинман, 1965 — Laffler J., Kinman T.D., ApJ Suppl. 9, 100.
 Моргенрот, 1935 — Morgenroth O., AN 256, (№ 6135), 281.
 Сатыволдиев В. и др., 1972, АЦ № 723.
 Уиттеккер и др., 1933, Мат. обр. рез. наб. ГТТИ.
 Холопов П.Н., 1968, Сообщения ГАИШ № 158, 23.
 Холопов П.Н., 1970, Труды ГАИШ, том 40.

Одесская
астрономическая обсерватория

*Поступила в редакцию
17 апреля 1973 г.*