

ОЦЕНКА ВЕРОЯТНОСТИ ЯСНОГО НЕБА И КАЧЕСТВО ЗВЕЗДНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ БТА

В. Н. Ерохин, С. П. Пляскин

На основании многолетних данных (от 25 до 35 лет) метеостанций района БТА находится годовое распределение вероятности ясного неба. Это распределение сравнивается с реальным наблюдательным временем на 6-м телескопе с 1976 по 1978 г. Даются гистограммы качества изображения, определенные по 1100 визуальным оценкам во время наблюдений на БТА в течение двух лет.

Annual distribution of the probability of the bright sky has been found on the basis of long-term data (from 25 to 35 years) of meteorostations of the region where BTA is situated. This distribution is compared with the real observational time at the 6-m telescope from 1976 to 1978. Histograms of the quality of the image determined from 1100 visual estimates during two years observations at BTA are given.

Большое значение для выбора места установки телескопа, а также для эффективной его эксплуатации имеют такие астроклиматические характеристики, как количество ясного ночного времени и качество звездных изображений. В связи со слабой сравнимостью астроклиматических данных предварительные экспедиционные оценки качества звездных изображений не могут являться окончательными характеристиками, поэтому большой интерес представляет реальная статистика качества изображения на действующем телескопе.

Вероятность выполнения наблюдательных программ по астроклиматическим условиям зависит, помимо качества изображения, от вероятности ясного ночного неба, которая, в свою очередь, дает представление об ожидаемом количестве ясного ночного времени.

Исходным материалом для работы послужили данные из журналов наблюдений БТА о качестве звездных изображений и облачности, данные астроклиматической экспедиции, которая работала в п. Звездном (4.5 км от места установки БТА) с 1961 по 1966 г., а также наблюдательный материал ближайших к БТА метеорологических станций Западного Кавказа.

Вероятность ясного неба в районе установки БТА. В метеорологии период считается ясным, если в стандартные сроки наблюдений не было облачности более 2 баллов. Астрономы-наблюдатели считают период ясным, если в течение всего этого периода существовало безоблачное небо, хотя следует учесть, что в астроклиматических работах не существует строгого определения ясной ночи, а есть определение фотометрической ночи, которое было дано комиссией № 50 МАС [1]. Возникают естественные трудности при попытке совместить метеорологические и астроклиматические понятия из-за дискретности метеорологических наблюдений, но, учитывая такие достоинства метеорологических наблюдений, как существование очень длинных рядов при большой консервативности инструкций, можно сказать, что и для астрономов статистика метеорологического ясного неба имеет вполне самостоятельное значение без приведения этой статистики к фотометрическим ночам.

Для оценки эмпирической вероятности ясного неба в районе установки БТА были взяты ближайшие к БТА метеорологические станции: Архыз, Зеленчукская и Теберда, — расположенные соответственно на высотах 1450, 925, 1325 м над уровнем моря. Под эмпирической вероятностью ясного неба (P_{01}) понимается многолетняя повторяемость ясного неба, которая рассчитывается, как про-

цент отношения количества сроков с облачностью не более 2 баллов к полному числу измерений в месяце. Для полного представления о вероятности ясного неба в районе БТА по данным метеостанций были найдены коэффициенты корреляций по средней за месяц облачности между указанными выше пунктами и местом установки БТА. По данным астроклиматической экспедиции в п. Звездном условия по облачности в п. Звездном и на БТА практически одинаковы. В табл. 1 приводятся коэффициенты связи, рассчитанные по всем четырем стандартным срокам наблюдений в 01, 07, 13, 19 ч и для ночного срока 01 ч. Из табл. 1 видно, что корреляция метеорологических станций между собой

ТАБЛИЦА 1
Коэффициенты корреляции пунктов по облачности

Пункты	Сроки, ч	
	01, 07, 13, 19	01
БТА—Зеленчукская	0.87 ± 0.03	0.83 ± 0.06
БТА—Архыз	0.88 ± 0.03	0.81 ± 0.07
БТА—Теберда	—	0.82 ± 0.07
Архыз—Теберда	—	0.83 ± 0.06
Зеленчукская—Теберда	—	0.90 ± 0.04
Зеленчукская—Архыз	0.94 ± 0.02	0.90 ± 0.04

выше, чем корреляция места установки БТА с ними, что может говорить о большем сходстве в картине облачности над долинами. В ночной период корреляция между всеми пунктами уменьшается, и объяснить это возрастающим своеобразием в динамике ночной облачности не представляется возможным. Вероятно, в данном случае проявляется просто большая неточность в определении ночной облачности наблюдателями. Учитывая ошибки определения коэффициентов, можно принять, что место установки БТА со всеми метеорологическими станциями имеет равные корреляции. При этом коэффициенты связи являются достаточно высокими, чтобы можно было делать некоторые выводы о месте установки БТА, основываясь на статистике наблюдений окружающих метеостанций в масштабе, равном или большем, чем месяц.

Приведем на рис. 1 годовое многолетнее распределение повторяемости ясного неба ночью, определенное по сроку 01 ч для четырех пунктов, расположенных в горах, и одной предгорной метеостанции Черкесск. Верхняя кривая на этом рисунке показывает максимальные значения повторяемости ясного неба

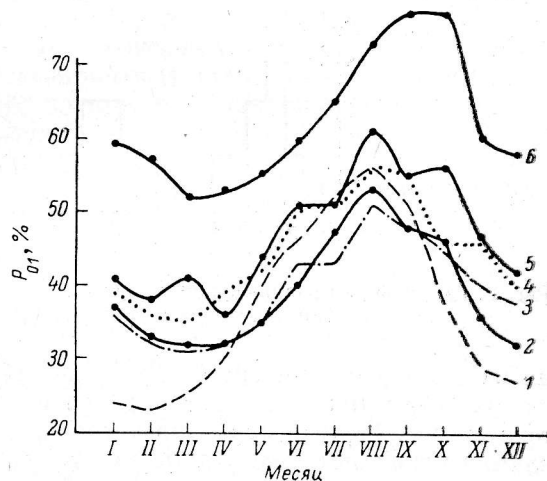


Рис. 1. Годовой ход повторяемости ясного неба ночью в срок 01 ч.

1 — Черкесск; 2 — Зеленчукская; 3 — Теберда; 4 — Кисловодск; 5 — Архыз; 6 — максимальное значение повторяемости ясного неба ночью по метеостанции Зеленчукская.

по метеостанции Зеленчукская, определенные за период в 25 лет. Следует отметить, что при интерпретации данных из рис. 1, естественно, нельзя полностью отождествлять понятия повторяемости ясного неба в срок 01 ч с повторяемостью ясного неба ночью, так как ясно, что условия по сроку в 01 ч не могут определить условий всей ночи. Ясное небо в ночной срок 01 ч может быть как в ясную, так и в полужасную (наблюдения не менее половины астрономической ночи) ночь, и маловероятно, что данный срок наблюдения будет единственным ясным «окном» в облачной ночи. По оценке на БТА наблюдательное время складыва-

ется почти на 80% из ясного и полужасного времени, и поэтому многолетнюю статистику (до 30 лет) ясного неба по сроку 01 ч при самом пессимистичном и, конечно, довольно грубом представлении можно отождествить с повторяемостью ясных и полужасных ночей в астрономическом смысле.

Приведенные на рис. 1 кривые повторяемости ясного неба для всех горных станций имеют хорошо выраженный годовой ход этой величины с амплитудой 20—25% и одинаковыми периодами экстремумов. Так, период с наибольшими значениями вероятности ясного неба от 50 до 60% отмечается с августа по октябрь. Неблагоприятный период для наблюдений, вероятнее всего, с февраля

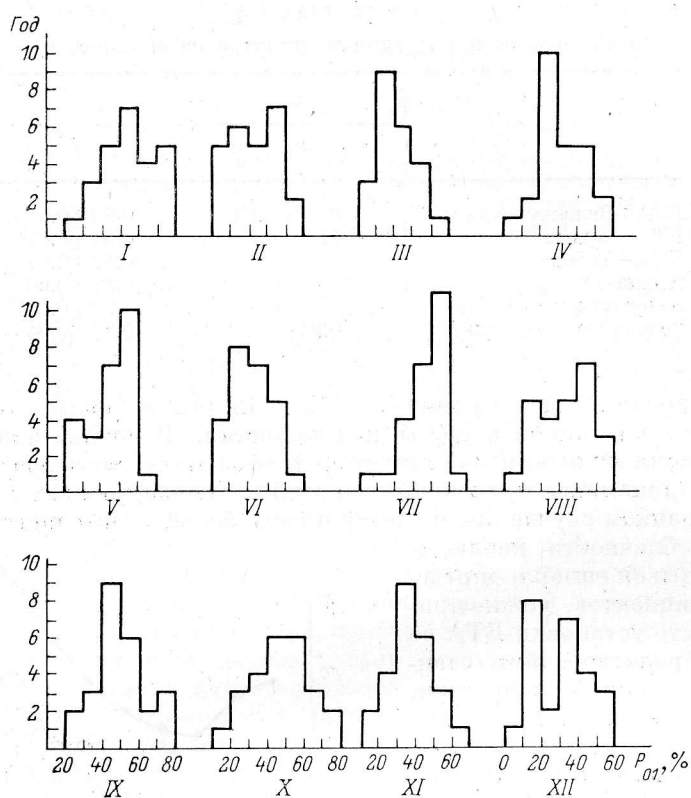


Рис. 2. Гистограммы распределения повторяемости ясного неба ночью для разных месяцев по данным метеостанции Зеленчукская с 1951 по 1975 г.

по март, за исключением Архыза, где наблюдается возрастание повторяемости ясного неба ночью в марте. Наибольшие значения повторяемости во все сезоны года на рис. 1 характерны для котловины Архыза, наиболее изолированной от влагонесущих потоков. Архыз по величине периода с наибольшей повторяемостью ясного неба и по уровню этой повторяемости превосходит Кисловодск. Меньшие значения повторяемости ясного неба (в среднем на 5—7% ниже, чем в Архызе) бывают в Теберде и в Зеленчукской.

Верхняя кривая на рис. 1 была получена путем отбора месяцев с наибольшей повторяемостью ясного неба за 25 лет по данным метеостанции Зеленчукская. Она дает представление о предельных величинах повторяемости ясного неба для каждого месяца в районе установки БТА. Так, с августа по октябрь максимально возможная величина повторяемости ясного неба может составить 70—80% от всего ночного времени, в то же время в зимний период можно считать крайне редким событием более 17 ясных ночей в месяц. Максимально возможная повторяемость ясного неба превышает средние значения повторяемости на 20—30%, причем наибольшая разница с максимальными значениями бывает в сентябре и октябре, что говорит о некотором чередовании благоприятных и неблагоприятных для наблюдений месяцев в осенний период. Действительно, по данным метеостанции Зеленчукская, за 25 лет наблюдений было всего

ТАБЛИЦА 2

Коэффициент устойчивости ясной погоды

Пункт	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Архыз	50	43	39	36	30	35	48	55	62	52	55	51
Теберда	54	45	44	42	34	40	48	53	65	64	67	57
Зеленчукская	54	43	44	49	36	44	55	56	64	61	60	57
Ленинград	25	27	33	24	30	27	30	23	17	14	28	21
Ташкент	44	37	35	39	46	67	81	89	77	66	52	52

два года, когда и сентябрь, и октябрь отличались неблагоприятными по ясному небу условиями, а в остальные годы наблюдались или оба месяца с высокими значениями повторяемости, или в равной мере чередовались месяцы с высокими или низкими значениями повторяемости ясного неба.

Чтобы оценить изменчивость условий, благоприятных для астрономических наблюдений, приведем на рис. 2 и в табл. 2 гистограммы распределения повторяемости ясного неба (P_{01}) ночью по данным метеостанции Зеленчукская с 1951 по 1975 г. и коэффициент устойчивости ясного неба для Зеленчукской, Теберды, Архыза, Ленинграда и Ташкента. Коэффициент устойчивости (в соответствии с работой [21]) найден как частное от деления числа ясных дней в процентах к повторяемости ясного неба в срок 01 ч за месяц наблюдений. Периодам с минимальными значениями вероятности из рис. 1 сопутствует наибольшая частота (P_{01}) в пределах от 20 до 30%, кроме того, в феврале отмечается повышенная частота появлений повторяемости — от 40 до 50%. К этому же типу двухвершинного распределения относятся декабрь и январь, причем в январе градации вероятности смещены на 10% выше, а в декабре, наоборот, — ниже по сравнению с февралем. Такой тип распределения повторяемости для зимних месяцев, очевидно, связан с довольно регулярным чередованием зимой условий относительно плохих или относительно благоприятных для астрономических наблюдений без промежуточных состояний, но при этом лучшими значениями при чередовании отличается январь и худшими — декабрь.

Коэффициенты устойчивости, приведенные в табл. 2, показывают, насколько устойчива возникающая ясная погода. Следует отметить, что в районе БТА ясная погода, возникающая с августа по январь, более устойчива, чем в другие месяцы года. Коэффициенты, данные для сравнения по Ленинграду и Ташкенту, показывают, что наибольшая инерционность атмосферных процессов, дающих ясную погоду, наблюдается в Средней Азии.

По степени устойчивости ясного неба район БТА занимает промежуточное положение между континентальной Средней Азией и приморским Ленинградом. В среднем для района БТА устойчивость ясного неба ночью значительно меньше, чем для Ташкента, хотя в Средней Азии минимальная устойчивость бывает в периоды наибольшей продолжительности ночного времени. Наиболее устойчивая ясная погода наблюдается в районе БТА в сентябре и октябре, т. е. мы имеем по гистограммам на рис. 2 наибольшее число случаев повторяемости (более 40%) с июля по сентябрь, а наиболее устойчивую погоду — в сентябре и октябре. Период с наибольшими значениями повторяемости ясного неба (рис. 1) с августа по октябрь имеет больше всего случаев градации вероятности ясного неба — от 60 до 70%. Разница в вероятностях ясного неба из рис. 1 для Архыза и Зеленчукской составляет за год примерно 8% при среднеквадратическом отклонении вероятностей 2—3%. При переходе от величин в процентах к годовому количеству часов ясного ночного времени, исходя из максимально возможного астрономического наблюдательного времени для данной широты, разница в 8% составит 130 ч при количестве наблюдательного времени 1090 и 1220 ч соответственно, определенного для Зеленчукской и Архыза по средней вероятности ясного неба в срок 01 ч.

Рассчитанное Новиковой [3] количество минимального ночного времени с ясной погодой составляет 635 ч для Северного Кавказа. Для БТА годовое

количество наблюдательного времени с 1976 по 1978 г. составляло соответственно 1280, 1447 и 1204 ч при среднем значении 1310 ч. В приведенном выше представлении сказано, что наблюдательное время складывается на 80% из ясного и полужасного времени, поэтому для сравнимости с наблюдательным временем, определенным по вероятности ясного неба, надо уменьшить реальное наблюдательное время на 20%. Тогда для БТА сумма ясного и полужасного времени составит примерно 1050—1100 ч, что хорошо согласуется с наблюдательным временем, определенным по вероятности ясного неба в срок 01 ч по метеостанции Зеленчукская.

В работе [4] были найдены значения вероятности ясного неба, определенной по сроку 01 ч как для всего Советского Союза, так и для Кавказа в целом, причем в работе указывалось, что для горного Кавказа данные схематичны. В связи с этой работой следует заметить, что наши данные по вероятности полностью

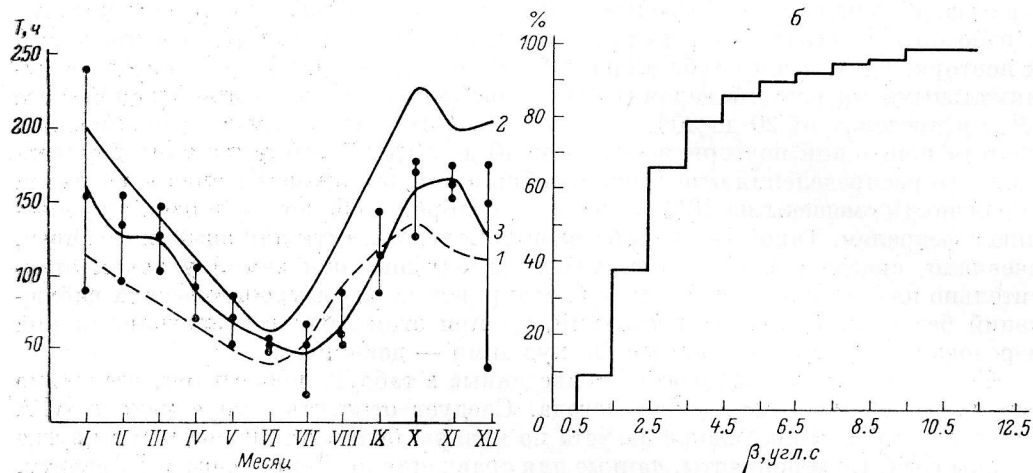


Рис. 3. Годовой ход наблюдательного времени, определенного из средней (1) и максимально возможной (2) повторяемости ясного неба для метеостанции Зеленчукская и реальное наблюдательное время БТА (3) (среднее за 3 года с отклонениями от средних).

Рис. 4. Дифференциальная (а) и интегральная (б) гистограммы распределения качества звездных изображений для БТА по 1100 оценкам в 1977—1978 гг.

согласуются с данными Берлянда для апреля и июля и намного превосходят значения вероятности по Берлянду в январе и октябре. На рис. 1 в данных метеостанции Черкесск хорошо проявляются вышеуказанные отличия равнины от горного района. Просмотр данных горных метеостанций Западного Кавказа по повторяемости ясного неба и представления Темниковой [5] о распределении осадков в горах Северного Кавказа [5] позволяют отметить увеличение вероятности ясного неба осенью по мере приближения к Главному Кавказскому хребту и возрастание этой величины к северо-западной части хребта. Зимой наблюдается почти такая же картина, но нет заметного увеличения вероятности ясного неба к северо-западной, более низкогорной части Главного Кавказского хребта. Причем для осени и зимы наблюдается сходное увеличение вероятности по мере приближения к Главному Кавказскому хребту, резкое возрастание сразу за Скалистым хребтом и увеличение в еще большей степени далее в изолированных горных котловинах типа Архызской. Водораздельные хребты, выдвигают

нутые в тропосферу и более открытые влагонесущим потокам, летом и весной имеют меньшую, чем на равнине, вероятность ясного неба. В зимний период изолированные горные котловины имеют безоблачное небо чаще, чем горные хребты, окружающие их. В связи с этим для БТА следует принимать самые низкие значения вероятности из всех приведенных в течение всего года (рис. 1). Таким образом, в наиболее благоприятный по ясному времени период с августа по октябрь (рис. 1) можно ожидать в среднем 14—15 ночей с ясным и полужасным небом. В период наибольшей продолжительности ночного времени из каждых десяти в среднем бывает 3—4 ночи, благоприятные для наблюдений. В самый пасмурный период за месяц наблюдений достаточно эффективными по ясному небу бывает не более десяти ночей.

В качестве заключения представим на рис. 3 годовой ход наблюдательного времени, определенного из средней и максимально возможной повторяемости ясного неба для метеостанции Зеленчукская, и реальное время БТА (среднее за 3 года с абсолютными отклонениями от средних). Получается неплохое согласие прогностических данных с реальными, учитывая, что реальные данные в среднем для сравнения надо уменьшить на 20%. Таким образом, многолетний статистический материал метеорологических станций по ясному небу может дать достаточное представление о потенциале ясного времени в каком-либо месте.

Качество звездных изображений БТА. Помимо оценки вероятности ясного неба в районе БТА мы рассмотрим важнейшую астроклиматическую характеристику — качество звездных изображений, которая наряду с количеством ясного времени определяет эффективность телескопа. Эта характеристика определялась на БТА с помощью различных методов [6, 7], но для анализа были взяты, как наиболее полные, визуальные оценки качества изображений из журналов наблюдений БТА за 1977—1978 гг. Визуальные определения качества изображений в угловых секундах проводились наблюдателями путем сравнения видимого диска звезды с известным калиброванным расстоянием (разрыв нитей креста, щель спектрографа и т. д.). В использованных данных из-за ограниченной информации отсутствует редукция качества изображений на индивидуальные особенности наблюдателей, на различную светоприемную аппаратуру и нет приведения указанной величины к зениту. Несмотря на указанные оговорки, реальность полученного материала на 6-м телескопе и большая статистика определяют этот материал как заслуживающий внимания.

На рис. 4 нами представлены дифференциальная и интегральная гистограммы качества звездных изображений, полученные по 1100 оценкам за два года, причем годы, взятые для анализа, являются характерными по погодным условиям для климата данной местности. Из рассмотрения рис. 4 следует, что чаще всего на БТА наблюдаются условия с качеством изображения от 1.5 до 2.5'' — до 310 ч в год и почти столь же часто, в среднем 300 ч в год, на БТА бывают условия наблюдений с качеством изображения от 2.5 до 3.5''. Таким образом, можно отметить (рис. 4), что мода данного дифференциального распределения или наиболее вероятное значение качества изображения находятся в пределах 2—3''. Из всего наблюдательного времени почти 70% 6-м телескоп работает при качестве изображения менее 3.5'', т. е. еще достаточно эффективно. Интересно, что количество наблюдательного времени с качеством изображения менее 3.5'' соответствует примерно времени наблюдений с ясным небом, а наблюдательное время с изображениями менее 5.5'' примерно такое же, как количество ясного и полужасного времени, т. е. большей ночной облачности определенно соответствует и большая нестабильность атмосферы.

Из гистограмм следует, что наблюдательная программа, требующая качества изображения менее 1.5'', имеет довольно малую вероятность получения наблюдательного материала при произвольном календаре наблюдений. Период наблюдений с такой программой должен быть увеличен в 10 раз по сравнению с необходимым минимальным временем с хорошими условиями. В распределении наблюдательного времени с данным качеством изображения наблюдается необычное возрастание времени в пределах 7.5—10.5''. По-видимому, это отклонение имеет чисто субъективный характер, когда астроном-наблюдатель под приведенными диаметрами подразумевает любые плохие изображения более 6''.

Добавляя к оценкам качества изображений дополнительные определения прозрачности и облачности, представим в табл. 3 для 1977 г. годовое распределение времени с хорошими (качественное определение прозрачности и облачности < 3 баллов) условиями наблюдений. По данным табл. 3 условия, когда

ТАБЛИЦА 3

Количество наблюдательного времени, ч, с изображениями $\leq 3''$,
облачностью менее 3 баллов и хорошей прозрачностью

Месяц	I	II	III	IV	V	VI	VII*	VIII	IX	X	XI	XII
Время, ч	71	28	25	17	14	20	—	33	32	81	47	12

* По этому месяцу нет данных об условиях наблюдений.

работа на БТА возможна почти с любой программой, наблюдались длительное время в январе и октябре. Эти месяцы соответствуют осеннему и зимнему максимуму в распределении ясного времени. Наиболее подходящие условия по качеству изображения и прозрачности из табл. 3 также хорошо соответствуют периоду с наибольшей устойчивостью ясного времени, приведенному в табл. 2. Указанные соответствия позволяют отметить желательность совмещенных оценок астроклимата по качеству изображений с другими характеристиками условий наблюдений в силу их определенной взаимосвязи.

Заключение. Представленные данные позволяют оценить возможную отдачу 6-м телескопа в получении наблюдательного материала, лимитированную количеством ясного времени и качеством звездного изображения, а также более эффективно планировать эксплуатационные работы на телескопе.

На основании представлений данной работы можно сделать следующие выводы.

1. С августа по октябрь в районе БТА наиболее вероятны ясные ночи, причем октябрь является самым эффективным месяцем по условиям погоды и продолжительности ночного времени.

2. Период наименьшей работы телескопа, связанный с ограничением по облачности и продолжительности астрономической ночи, наблюдается с апреля по июль.

3. Ясная погода, возникающая с августа по январь, более устойчива, чем в остальные месяцы года.

4. Вероятность ясного неба, определенная по многолетним метеорологическим данным (срок 01 ч), может использоваться для оценки астрономически ясного и полужасного времени.

5. Наиболее вероятное значение качества изображения на БТА от 2 до 3''.

6. Наблюдательная программа, требующая качества звездного изображения до 3.5'', имеет наибольшую возможность реализации.

7. Наблюдательная программа, требующая качества изображения до 1.5'', при произвольном календаре наблюдений для своей реализации требует в 10 раз большего времени, чем программа до 3.5''.

Литература

1. Щеглов П. В. Проблемы оптической астрономии. М.: Наука, 1980.
2. Справочник по климату СССР. Л.: Гидрометеоиздат, 1968, вып. 12.
3. Новикова Г. В. О метеорологических параметрах астроклимата. — В кн.: Атмосферная оптика. М.: Наука, 1970, с. 10—16.
4. Берлянд Т. Г. Вероятность ясного неба в ночное время над территорией Советского Союза. — Метеорология и гидрология, 1974, № 10, с. 50—56.
5. Темников А. Н. С. Климат Северного Кавказа и прилежащих степей. Л.: Гидрометеоиздат, 1964.
6. Снежко Л. И. О применении диафрагмы Гартмана в задачах исследования формирования звездных изображений. — Астрон. цирку., 1978, № 1002, с. 6—7.
7. Бадега Ю. Ю., Ерохин В. Н., Плахотниченко В. Л. Изучение свойств изображений в 6-м телескопе по следам звезд. — В кн.: Новая техника в астрономии. Л.: Наука, 1979, вып. 6, с. 108—114.

Поступила в редакцию 25.11.80