

Астроклимат в районе астрофизической обсерватории Молдавского государственного университета

В. П. Смыков

Институт прикладной физики Академии наук Молдовы,
ул. Академическая 5, Кишинев, МД-2028, Молдова

Поступила в редакцию 1.08.2004; принята к печати 1.09.2004.

По измерениям, проведенным в 1979–93 гг., исследованы астроклиматические характеристики в районе расположения Астрофизической обсерватории Молдавского госуниверситета. Закрытость горизонта определяется в основном деревьями и достигает 20° . Метеорологические характеристики близки к средним многолетним для данного региона. Количество ясных ночей в году около 100, количество ночных часов с ясным небом превышает 700 в год. Среднеквадратичная амплитуда дрожания изображений звезд чаще всего заключена в пределах 0.3–0.5 угловой секунды. Коэффициент экстинкции меняется от 0.24 до 0.88 звездной величины в полосе В и от 0.20 до 0.58 в V фотометрической системы UBV. Уровень фона ночного неба составляет в среднем $21.8^m/\square''$ в полосе В и 20.7 в V.

Ключевые слова: астроклимат

ASTRONOMICAL CLIMATE IN THE REGION OF ASTROPHYSICAL OBSERVATORY OF MOLDOVA UNIVERSITY, by V.P.Smykov. Using the measurements made in 1979–1993, astronomical climate characteristics in the region of the Astrophysical Observatory of Moldova State University were investigated. The obscurity of the horizon is mainly due to the trees and amounts to 20%. The meteorological characteristics are close to the mean characteristics of this region of many years. The number of clear nights in a year is about 100, the number of clear night hours is over 700 a year. The root-mean-square amplitude of star image flickering is most often within $0''.3 - 0''.5$. The extinction coefficients vary from 0^m24 to 0^m88 in the B band and from 0^m20 to 0^m58 in the V band of the UBV photometric system. The night sky background level is, on average, $21.8^m/\square''$ in the B band and $20.7^m/\square''$ in V.

Key words: atmospheric effects – site testing

1. Метеорологическая обстановка

1.1. Общая метеорологическая характеристика района расположения обсерватории

Астрофизическая обсерватория Молдавского государственного университета расположена в районе Центрально-Молдавской возвышенности (ЦМВ). Обсерватория находится на высоте 370 метров. Местность в этой части Молдовы холмистая и частично покрыта лесами. Обсерватория расположена на одном из холмов и, кроме юго-востока, окружена лесом. До ближайших крупных сел — 8 км, до Кишинева — 40 км.

Климат Молдовы умеренно-континентальный с короткой теплой и малоснежной зимой, продол-

жительным летом и небольшим количеством осадков, выпадающих главным образом в теплое время года в виде кратковременных ливней. Продолжительность солнечного сияния в среднем за год составляет от 2060 часов на севере, до 2320 на юге, что составляет 50–55% возможной продолжительности для интервала широт республики. Среднегодовая скорость ветра в зависимости от места составляет от 2.5 до 4.5 м/с. Вероятность скорости более 10 м/с составляет 6–10%. Среднемесячная относительная влажность воздуха колеблется от 60–70% летом, до 80–90% зимой. С туманами в Молдове наблюдаются в среднем за год 30–60 дней.

Возрастание высоты и значительные лесные массивы в районе Центрально-Молдавской воз-

Таблица 1: Среднемесячные значения атмосферного давления в мм. рт. ст. за каждый год и усредненные за 1979–83 годы

Годы\Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1979	730.0	732.9	729.0	728.6	734.2	732.5	731.9	730.8	734.3	735.8	732.9	731.4
1980	732.8	733.9	730.7	728.9	729.5	728.5	728.9	731.4	735.5	732.0	731.5	730.2
1981	740.2	732.5	730.0	731.2	730.0	732.0	730.3	-	735.0	732.0	730.9	723.7
1982	733.1	735.9	734.4	729.0	734.7	-	731.0	731.2	735.9	736.2	736.1	731.1
1983	732.8	731.0	731.0	728.5	-	-	-	-	-	-	-	-
1979-1983	733.8	733.2	731.1	729.2	732.1	731.0	730.5	731.1	735.2	734.0	732.9	729.1

вышенности приводят к увеличению количества осадков в этом районе (свыше 550 мм). Продолжительность туманов здесь также велика — от 200 до 500 часов. Более того, здесь вообще редко отмечалась их продолжительность менее 200 часов. Район ЦМВ также наиболее подвержен оледенению. В среднем здесь бывает за год 18 дней с гололедом и 16 дней с изморозью (Лассе, 1978).

1.2. Степень закрытости горизонта

Закрытость горизонта измерялась из-под куполов обоих имеющихся в обсерватории телескопов при помощи теодолита через 5° по азимуту с точностью 1° по высоте (см. рис.1). В месте нахождения телескопа АЗТ-3 закрытость горизонта составляет от 4° до 16°. С телескопа АВР-2, который находится несколько выше, закрытость меньше (от 0° до 9°), за исключением северо-востока, где она достигает 20°. В обоих случаях закрытость горизонта определяется деревьями, так как обсерватория находится на поляне, окруженной лесом. Поэтому, в принципе, подняв башню телескопа на несколько метров, закрытость горизонта можно существенно уменьшить.

1.3. Атмосферное давление, температура и скорость ветра

С января 1979 года в обсерватории проводились регулярные измерения атмосферного давления, с декабря 1979 г. — температуры воздуха, с декабря 1980 г. — скорости ветра. Эти наблюдения продолжались до апреля 1983 г. Измерения проводились 4 раза в сутки: в 7–8 часов, в 14–15 часов, в 20–21 час и около полуночи. Атмосферное давление измерялось барометром с точностью 0.2–0.3 мм. рт. ст., температура по ртутному термометру с точностью 1°С, скорость ветра ручным анемометром с точностью 0.3–0.5 м/с на высоте около 6 метров от поверхности земли.

В табл. 1 приводятся среднемесячные величины атмосферного давления в мм. рт. ст. за каждый год и усредненные — за 1979–1983 годы.

Явно выраженных сезонных изменений среднего давления не наблюдается. Вместе с тем хорошо заметны сезонные изменения перепада атмосферного давления, которые представлены на рис. 2. Наибольшие перепады атмосферного давления наблюдаются в зимние месяцы, наименьшие — в летние. Максимальное и минимальное зарегистрированное давление (750.8 и 707.8 мм. рт. ст.) наблюдалось в феврале 1979 года.

Данные о среднемесячной температуре воздуха приведены в табл. 2. Самые холодные месяцы январь и февраль, самые теплые — июнь и июль. Среднемесячный перепад температуры не показывает заметного сезонного хода и составляет в среднем около 20°С. Самые большие перепады температуры наблюдаются в марте, самые маленькие — в сентябре. За весь период наблюдений максимальная температура наблюдалась в июне 1981 года и составляла +34°С, минимальная — в январе 1981 года (–16°С). Самым нестабильным по температуре месяцем является март.

Скорость ветра в районе расположения обсерватории измерялась, как уже отмечалось, с декабря 1980 по июнь 1983 г., т.е. 2.5 года. Среднемесячные значения показывают слабо выраженный сезонный ход. В летние месяцы скорость ветра несколько ниже, чем в зимние и составляет в среднем 1.7 и 2.2 м/с соответственно. На рис. 3 показана гистограмма распределения скорости ветра в процентах от общего числа измерений по всем срокам наблюдений. Из нее видно, что преобладающая скорость ветра от 0 до 2 м/с, что составляет 60% от общего числа измерений. Почти в 80% случаев скорость ветра не превышает 3 м/с.

Распределение скорости ветра в ночное время показано на рис.4. Ночью в 68% случаев скорость ветра не превышает 2 м/с, а в 84% случаев 3 м/с. В ясные же ночи скорость ветра не превышает 2 м/с в 90% случаев. За год бывает лишь несколько ясных ночей со скоростью ветра более 4–5 м/с.

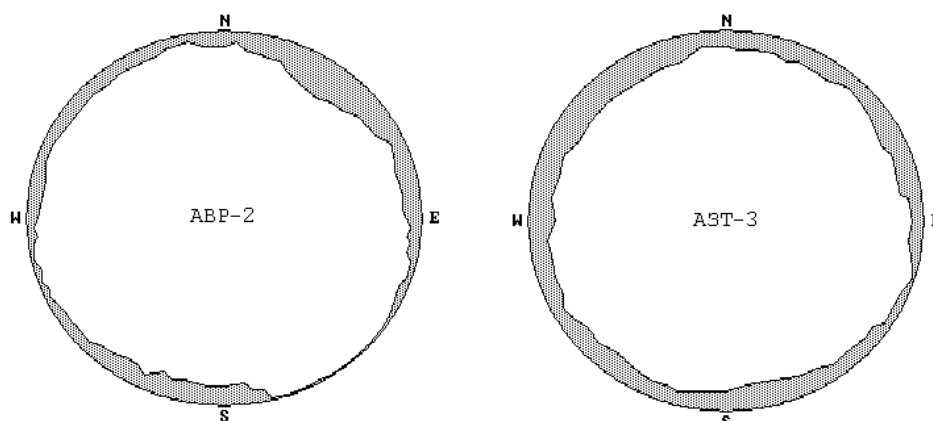


Рис. 1: Панорама закрытости горизонта из-под куполов телескопов ABP-2 и AZT-3.

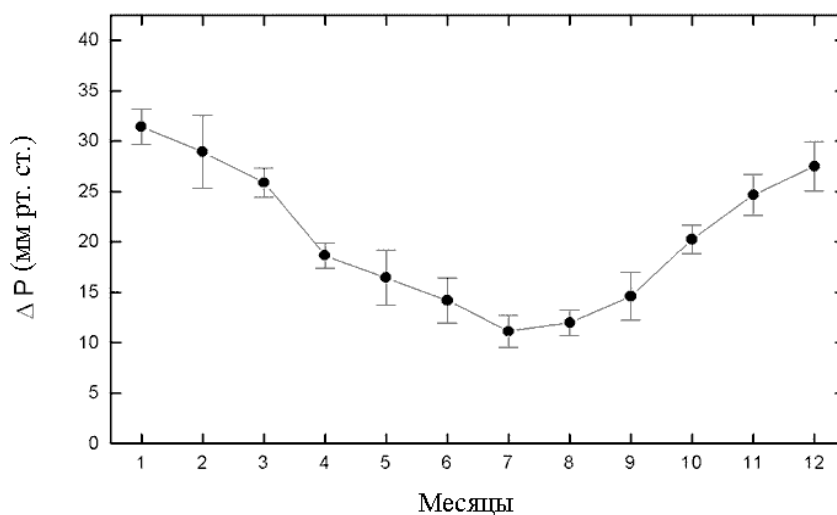


Рис. 2: Сезонные изменения разности между максимальным и минимальным атмосферным давлением в каждом месяце, усредненные за 1979–83 годы.

Таблица 2: Среднемесячные значения температуры воздуха в градусах Цельсия за каждый год и усредненные за 1979–83 годы

Годы\Месяцы	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1980	-5.9	-2.5	-0.5	7.5	13.0	17.5	19.5	18.0	12.8	10.0	2.9	0.2
1981	-4.9	-1.7	3.6	6.1	14.6	21.5	21.6	-	16.5	12.6	2.1	-0.1
1982	-3.3	-3.7	2.2	7.2	17.1	-	19.0	19.5	18.0	10.2	4.2	2.5
1983	0.4	-1.3	5.0	10.8	-	-	-	-	-	-	-	-
1980- 1983	-3.4	-2.3	2.6	7.9	14.9	19.5	20.0	18.8	15.8	10.9	3.1	0.9

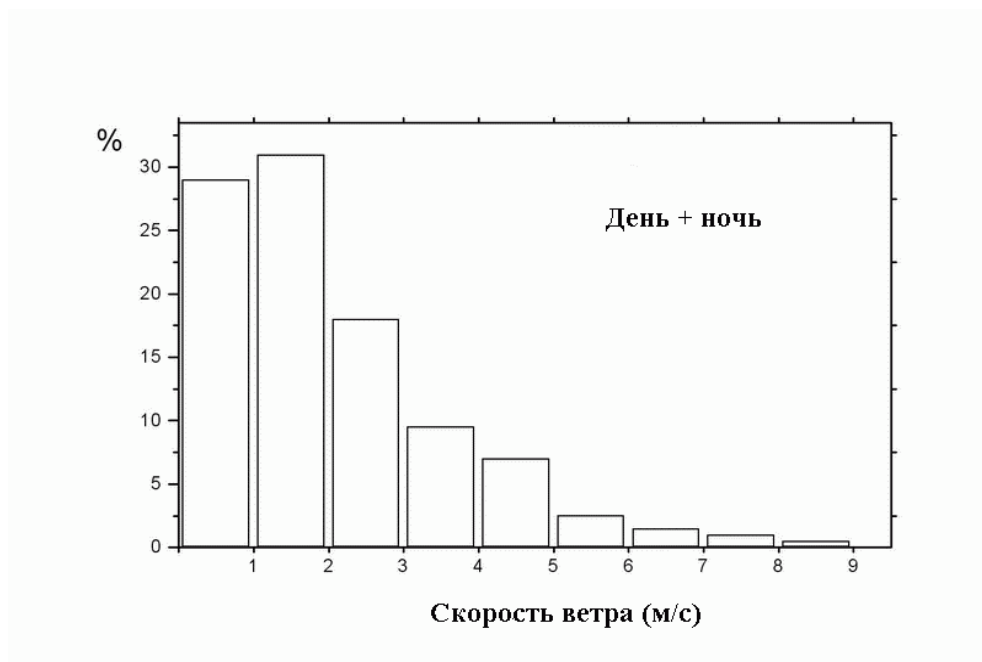


Рис. 3: Гистограмма распределения скорости ветра по всем наблюдениям.



Рис. 4: Гистограмма распределения скорости ветра по наблюдениям ночью.

1.4. Осадки, туманы

В течение 1980–82 годов кроме вышеописанных метеопараметров фиксировалось также наличие осадков и тумана. Если в какие-то сутки были хотя бы слабые осадки или небольшой туман в утренние часы, то эти сутки считались с осадками или

с туманом соответственно. С ноября по март более 60% суток наблюдаются с туманами, а самыми “туманными” являются ноябрь и декабрь. На эти два месяца приходится 31% всех суток с туманами. Реже всего туманы наблюдаются с мая по сентябрь. На эти месяцы приходится около 23% суток с туманами, которые возникают, как правило,

Таблица 3: Количество суток с осадками и с туманом за год и их среднее значение за 1980–82 годы

Год	С осадками	С туманом
1980	111	77
1981	102	72
1982	90	61
Среднее	101	70

после грозных дождей за счет интенсивного испарения и удерживаются некоторое время лесным массивом, окружающим обсерваторию, т.е. носят местный характер.

Мы подсчитали количество суток с осадками и туманом за каждый год, данные приведены в табл.3.

Если ночью были осадки и потом туман, то ночь считалась и с осадками и с туманом, т.е. входила в оба столбца. В результате число наблюдательных ночей меньше, чем сумма чисел в двух столбцах.

1.5. Количество ясного времени

Одной из наиболее важных астроклиматических характеристик является количество ясного времени. Наблюдения этого параметра проводились в течение 3.5 лет, т.е. с начала 1980 до середины 1983 года в такое же время, что и остальные метеопараметры, т.е. 4 раза в сутки. Облачность оценивалась визуально по 5-балльной шкале:

- 1 – сплошная облачность,
- 2 – облачно с разрывами,
- 3 – облаками занято около 50% неба,
- 4 – небо ясное с отдельными редкими облаками или с дымкой,
- 5 – полностью ясное небо.

Для характеристики вероятности ясного неба подсчитывалось число определений облачности данного балла за каждый месяц в процентах по всем срокам наблюдений и отдельно по наблюдениям ночью. Эти данные, усредненные за 3.5 года, представлены в табл. 4. Числитель соответствует всем срокам наблюдений, знаменатель — наблюдениям ночью. В последней строке дается сумма вероятностей облачности с баллами 4 и 5. В последней колонке приводятся усредненные величины за 3.5 года, из которых видно, что в среднем вероятность ясного неба в течение суток и в ночное время практически совпадает.

Астрономические наблюдения проводятся в ночи с оценками облачности 4 и 5 баллов. При подсчете количества ясных ночей в каждом месяце мы

вносили коррективы, опираясь на данные журнала наблюдений телескопа АЗТ-3. Если, к примеру, около полуночи небо было облачным, но по журналу наблюдений после полуночи велись наблюдения, мы считали, что только половина ночи была ясной. И наоборот, если около полуночи было ясно, но по журналу наблюдений после полуночи наблюдения были прекращены, считалась ясной также только половина ночи. Таким образом было подсчитано число ясных ночей в каждом месяце за 3 года (см. рис.5). Годовой ход аналогичен другим пунктам юго-западной Европы (Ерохин, Пляскин, 1983; Щеглов, 1980).

Больше всего ясных ночей бывает с мая по октябрь. Рекордным был сентябрь 1982 года — 19 ясных ночей. Всего за 3 года было 290 ясных ночей, что в среднем составляет 97 ночей в году.

Так как продолжительность ночи меняется в течение года, более информативным является количество часов с ясным небом. Оно получено путем умножения числа ясных ночей в каждом месяце на среднюю продолжительность ночи в данном месяце. За продолжительность ночи можно брать время от конца вечерних до начала утренних астрономических сумерек. Но практика автора за 15 лет наблюдений показала, что многие астрономические наблюдения можно проводить от конца вечерних до начала утренних навигационных сумерек. Поэтому за продолжительность ночи мы считали время от конца вечерних до начала утренних навигационных сумерек, т.е. когда Солнце находится ниже линии горизонта на 12° .

На рис. 6 представлен годовой ход среднемесячного количества ночных часов с ясным небом за 3 года. Наибольшее количество таких часов наблюдается в сентябре, октябре и январе — в среднем около 100 часов. Наихудшим в этом отношении является декабрь — чуть более 40 часов. Суммарное количество ночных часов с ясным небом за год составило 704, 747 и 1056, соответственно, в 1980, 1981 и 1982 годах. В среднем за три года получается 836 часов в год. Если ночное время считать от конца до начала астрономических сумерек, эти цифры нужно уменьшить примерно в 1.2 раза.

2. Качество изображений звезд

С 1979 по 1985 год нами было получено около 100 фотографических следов дрожания изображений звезд, около половины из которых — в 1982 году. Фотографирование проводилось только в полностью ясные ночи на воздушных массах не более 3.0–3.5. Использовался телескоп АЗТ-3 (система Кассегрена.) Диаметр зеркала 45 см, фокусное расстояние 10 м. Масштаб изображения 20.6 угл. сек. в 1 мм. Следы получены путем остановки ча-

Таблица 4: Количество определений облачности каждого балла за месяц в процентах от общего числа наблюдений в месяце, усредненное за 3.5 года. В последней строке — средние значения по всем наблюдениям

Месяц	Балл облачности					
	1	2	3	4	5	4+5
1	59/58	8/9	8/7	9/10	16/16	25/26
2	64/66	6/5	7/8	11/12	12/9	23/21
3	57/58	10/11	8/11	13/9	12/11	23/20
4	53/47	14/12	11/17	11/16	11/8	22/24
5	38/40	13/10	15/12	15/15	19/23	34/38
6	38/40	11/10	15/10	21/31	15/9	36/40
7	33/35	12/12	19/13	22/25	14/15	36/40
8	38/37	9/4	23/30	15/13	15/16	30/29
9	21/22	12/5	15/17	18/18	34/38	52/56
10	32/26	14/12	17/19	19/23	18/20	37/43
11	61/63	7/8	10/9	12/11	10/9	22/20
12	67/75	8/4	9/6	8/10	8/5	16/15
Среднее	48/48	10/8	13/13	14/16	15/15	29/31

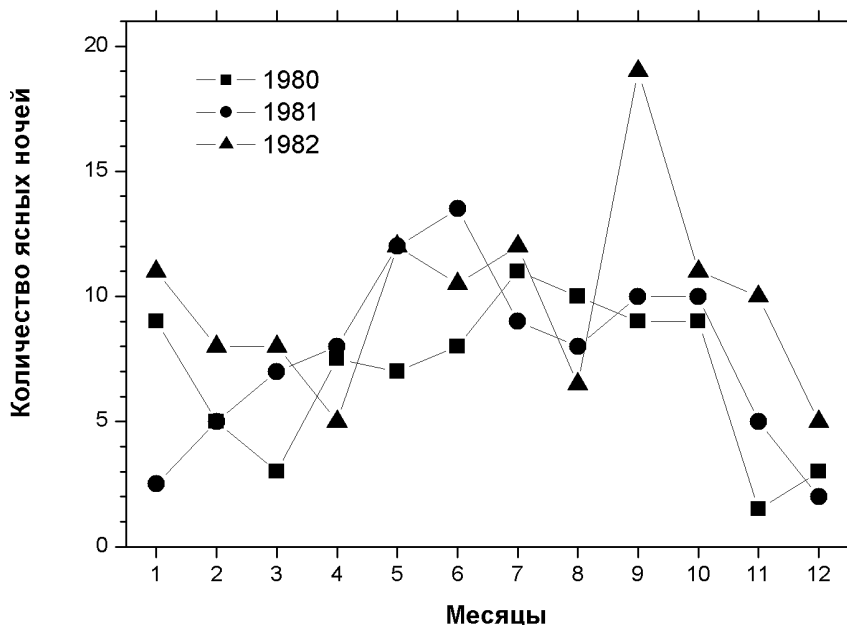


Рис. 5: Годовое изменение количества ясных ночей.

сового механизма телескопа. Линейный диаметр поля зрения в фокусе Кассегрена 60 мм. Изображение звезды проходит все поле зрения за 1.3 минуты. Часовой механизм останавливался за 1–2 минуты до появления звезды в поле зрения для полной остановки телескопа.

Следы измерялись по стандартной методике (см., например, работу Есикова и др. (1967)) на

микроскопе МИР-12 через 50 микрон. Использовалась центральная часть следа длиной 40 мм, что давало 800 отсчетов для каждого следа. Полученные среднеквадратичные амплитуды дрожания звезд приводились к зениту по закону $\sec Z$. Результаты представлены в виде гистограммы на рис. 7. Из нее следует, что чаще всего, более чем в половине случаев, наблюдаются дрожания в пре-

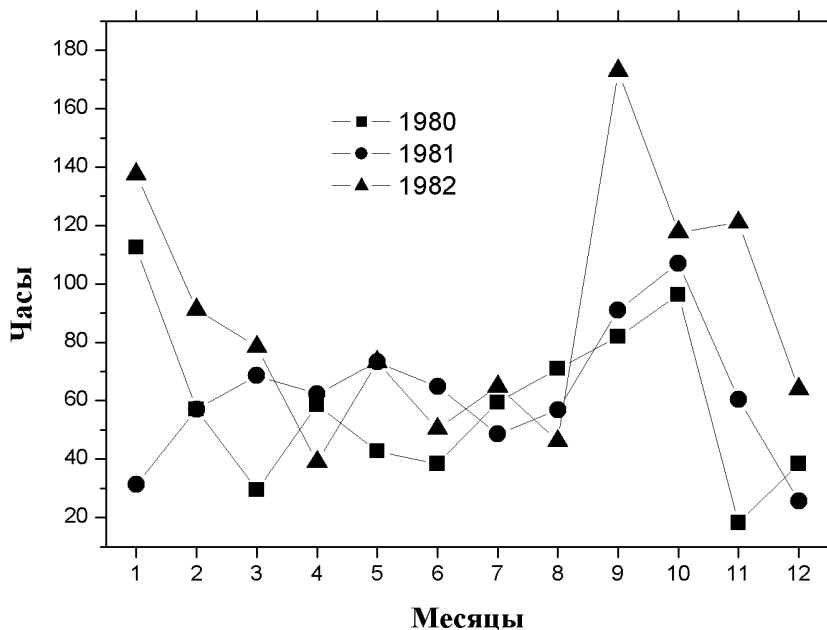


Рис. 6: Годовое изменение количества ночных часов с ясным небом.

делах 0.3–0.5 угл. сек. В каждую пятую ясную ночь (20%) среднеквадратичная амплитуда дрожания не превышает 0.3 угл. сек., в каждую вторую (50%) — 0.4 угл. сек. В 90% случаев дрожание не более 0.6 угл. сек.

3. Атмосферная экстинкция

Систематические измерения прозрачности атмосферы в Астрофизической обсерватории Молдавского госуниверситета велись Наку И.М. с 1979 по 1985 год. Наблюдения проводились при помощи звездного электрофотометра на телескопе АВР-2 ($D=20$ см, $F=3$ м) в 4-х участках спектра. Описание аппаратуры, методики наблюдений и обработки, а также результаты приведены в работах Наку, Чернобая (1981а,б) и Наку (1986).

Здесь же мы приводим (табл.5) средние значения коэффициентов экстинкции (α) за все время наблюдений вместе с длиной волны (λ) и полушириной применяемых интерференционных фильтров ($\Delta\lambda$). Полученные значения характерны для мест с небольшой высотой над уровнем моря (Ласе, 1978; Неизвестный, 1983).

Кроме того, автором в 1989–1993 гг. при исследовании фотометрической системы BV фотоэлектрического комплекса на базе телескопа АЗТ-3 (Смыков, 1990а) и наблюдениях переменных звезд

Таблица 5: Средние коэффициенты экстинкции в 4-х участках спектра, полученные в 1979–85 гг.

λ , нм	$\Delta\lambda$, нм	α , m
410	8	0.55
497	15	0.36
530	3	0.31
694	4	0.20

определялись коэффициенты экстинкции методом Бугера. Для полосы В таких ночей набралось 20, для V — 8. В полосе В коэффициент экстинкции меняется от 0.24 до 0.88 звездной величины со средним значением 0.47, в V — от 0.20 до 0.58 со средним значением 0.36, что близко к приведенным в табл.5.

4. Яркость фона ночного неба

Одной из наиболее важных астроклиматических характеристик является яркость ночного неба. Эта характеристика наряду с другими (прозрачность, качество изображений звезд) позволяет определить потенциальные возможности данного пункта для регистрации слабых космических излучений.

Специальных исследований фона ночного неба в АО Молдавского госуниверситета не проводи-

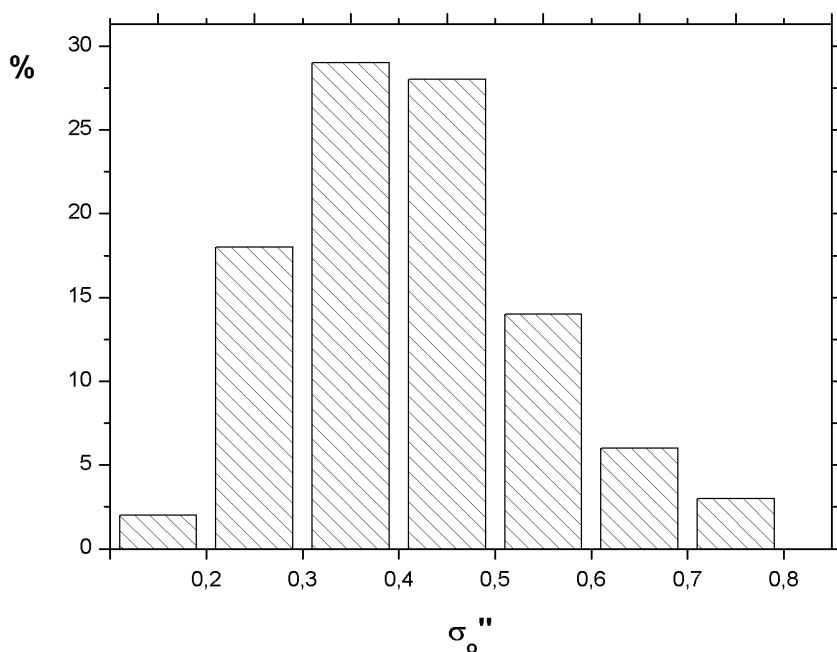


Рис. 7: Гистограмма распределения среднеквадратичной амплитуды дрожания звезд (угл. сек) в процентах.

лось. Но в 1989–1993 гг. автором велись фотоэлектрические наблюдения достаточно слабых ($14 - 14^m.5$) переменных звезд, во время которых тщательно измерялся фон неба через каждые 10 – 15 минут. Наблюдения проводились на телескопе АЗТ-3 ($D = 45$ см, $F = 10$ м) в фокусе Кассегрена при помощи фотоэлектрического комплекса в полосах В и V системы UVV. Регистрация осуществлялась методом счета фотонов. Время накопления составляло 100 сек. Использовалась диафрагма диаметром 22 угл. сек. Точность измерений фона при этом составляла 0.1 – 0.3 звездной величины.

Для определения уровня фона неба использовались только наблюдения, полученные в безлунные ночи после окончания астрономических сумерек на зенитных углах до 60° . Часть результатов опубликована в работе Смыкова (1990б). Всего таких ночей набралось 47, из них 2 ночи наблюдения проводились только в полосе В. Таким образом, для полосы В имеются данные за 47 ночей, для V за 45 ночей.

В результате обработки получено следующее. В голубой области спектра (В) уровень фона ночного неба меняется от 21.0 до $22.9^m/\square''$ со средним значением 21.8, в желтой (V) — от 20.3 до 21.6 со средним значением 20.7. Уровень фона сильно зависит от замутненности атмосферы. В ночи с очень чи-

стой атмосферой, что чаще наблюдается осенью и зимой, уровень фона приближается к своему минимальному значению.

5. Заключение

В результате проведенных исследований астроклиматических характеристик получено, что метеорологическая обстановка практически не отличается от средних климатологических данных региона. Обращает на себя внимание довольно низкая средняя скорость ветра, особенно в ночное время (< 2 м/с). Вместе с тем наблюдается около 20% суток с туманами, что довольно много. Количество ясного времени (около 1000 часов в год) характерно для данного географического региона. Качество изображений звезд можно считать неплохим для данной высоты над уровнем моря (около 400 м). То же самое можно сказать и об атмосферной экстинкции. Наилучшими месяцами для наблюдений являются сентябрь и октябрь.

Список литературы

- Ерохин В.Н., Пляскин С.П., 1983, Астрофиз. исслед. (Изв. САО), **17**, 40
 Есиков Н.П., Кузнецова Л.Х., Троицкая Т.С., 1967, в сб.: Об астроклимате Сибири, "Наука" Сиб. Отд., Новосибирск, 5

- Лассе Г.Ф., 1978, Климат Молдавской ССР, Ленинград, "Гидрометеиздат", 373 с.
- Наку И.М., Чернобай В.А., 1981а, деп.ВИНИТИ, N 5095-81
- Наку И.М., Чернобай В.А., 1981б, VI Всесоюзный симпозиум по распространению лазерного излучения в атмосфере, Тезисы докладов, ч.1, Томск
- Наку И.М., 1986, деп. ВИНИТИ, N 10
- Неизвестный С.И., 1983, Астрофиз. исслед. (Изв.САО), **17**, 26
- В.П. Смыков, 1990а, Тезисы докладов 14-21 января 1991 г., Кишинев, МолдГУ, **1**, 147
- В.П. Смыков, 1990б, Тезисы докладов 14-21 января 1991 г., Кишинев, МолдГУ, **1**, 146
- Щеглов П.В., 1980, Проблемы оптической астрономии, М., "Наука"