

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО  
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

**НАЦИОНАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ УЗБЕКИСТАНА  
имени МИРЗО УЛУГБЕКА**

*На правах рукописи*

УДК 520.16

**ИЛЬЯСОВ САБИТ ПУЛАТОВИЧ**

**КОМПЛЕКСНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АСТРОКЛИМАТА  
МАЙДАНАКСКОЙ ОБСЕРВАТОРИИ**

01.03.02 – Астрофизика и радиоастрономия

**АВТОРЕФЕРАТ**

диссертации на соискание ученой степени  
доктора физико-математических наук

Ташкент – 2011

Работа выполнена в Астрономическом институте им. Улугбека АН РУз

**Научный консультант:**

доктор физ.-мат. наук, профессор  
**Эгамбердиев Шухрат Абдуманнапович**

**Официальные оппоненты:**

доктор физ.-мат. наук  
**Ковадло Павел Гаврилович**

доктор физ.-мат. наук  
**Ахмедов Бобомурот Жураевич**

доктор физ.-мат. наук  
**Дудинов Владимир Николаевич**

**Ведущая организация:**

Государственный астрономический  
институт им. П.К. Штернберга при  
МГУ им. М.В. Ломоносова, г. Москва

Защита состоится «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г. в \_\_\_ час. \_\_\_ мин. на заседании Специализированного Совета Д.067.02.13 при НУУз имени Мирзо Улугбека по адресу: 100174, г. Ташкент, Вузгородок, физический факультет (кабинет- музей академика С.Азимова) НУУз.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Отзыв в двух экземплярах, заверенный печатью, просьба присылать по адресу Физического факультета Национального университета Узбекистана имени Мирзо Улугбека.

Автореферат разослан «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г.

**Ученый секретарь  
Специализированного Совета  
кандидат физ.-мат. наук**

**К.Т. Миртаджиева**

## 1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИССЕРТАЦИИ

**Актуальность работы.** В начале 60-х годов XX века стало очевидным, что эффективность крупных телескопов зависит от качества атмосферы в месте установки телескопа. С этого времени во всем мире начались интенсивные исследования астроклимата - параметров атмосферы, определяющих качество астрономического изображения (количество ясного ночного времени, его повторяемость, коэффициент экстинкции, степень искажения изображений небесных тел, а также их сезонные вариации) в местах установки крупных телескопов. В это же время Астрономическим институтом АН РУз (АИ АН РУз) были организованы экспедиции в высокогорные районы Центральной Азии с целью поиска места для астрономической обсерватории. В результате десятилетних исследований была выбрана гора Майданак, которая впоследствии стала Высокогорной астрономической обсерваторией АИ АН РУз [1].

В начале 90-х годов Майданакская обсерватория стала рассматриваться как важнейший узел мировой сети астрономических обсерваторий. Дело в том, что исключительное географическое положение Майданака посередине огромного Евразийского континента между Канарскими и Гавайскими островами, где расположены крупнейшие международные обсерватории, делает Майданак весьма привлекательным местом для наблюдательных программ, требующих непрерывного мониторинга таких астрономических объектов как, например, ядер активных галактик, квазаров, блазаров, уникальных переменных звезд и т.д. Поэтому необходимость в исследовании качества ночного атмосферного изображения на Майданаке с помощью стандартного, признанного мировым астрономическим сообществом инструмента, остро стала на повестку дня.

В последние десятилетия в астрономию стали внедряться новые методы наблюдений, использующие системы адаптивной оптики и спекл-интерферометрии на основе гибких оптико-механических устройств компенсирующих высокочастотные искажения волнового фронта, вызванные атмосферной турбулентностью. В связи с этим, кроме измерений традиционных параметров атмосферы, возникла необходимость оценить дополнительные параметры атмосферы Майданака, такие как внешний масштаб и угол изопланатизма волнового фронта, время атмосферной когерентности, а также скорость высотного ветра [2].

В начале XXI века в связи с появлением возможности установки на Майданакской обсерватории крупных телескопов, оснащенных адаптивными оптическими системами, оценка вклада различных слоев атмосферы в интегральное качество изображения стала важной задачей астроклиматических исследований, проводимых в этом астропункте. Кроме

того, для повышения эффективности уже существующих на обсерватории телескопов, возникла необходимость в количественной оценке вклада подкупольного пространства телескопа в искажения качества изображений.

Поэтому проведение широкомасштабных исследований параметров астроклимата Майданакской обсерватории, современными измерительными средствами, дающими объективную и полную оценку качества атмосферы, является актуальным.

**Степень изученности проблемы.** Первый этап астроклиматических исследований на горе Майданак продолжался до начала 90-х годов [3-10]. В результате этих исследований было установлено, что гора Майданак является весьма благоприятным местом для проведения астрономических наблюдений. Однако ранние измерения основного параметра астроклимата - качества ночного атмосферного изображения, хотя и были выполнены несколькими группами исследователей с использованием различных методик и приборов, проводились эпизодически и не охватывали длительных промежутков времени, что не давало возможности исследовать сезонные изменения и получить статистически весомые оценки качества атмосферы. Кроме того, данные, полученные разными методами, не всегда поддавались взаимной калибровке, что не только не позволяло сравнивать полученные результаты между собой, но и проводить сравнение качества изображения на Майданаке с данными, полученными на других обсерваториях мира. Например, результаты, полученные во время комплексных экспедиций по исследованию качества ночного изображения в период с начала 70-х до 90-х годов варьируются в широком диапазоне от 0.5 до 1.0 угловой секунды (угл.сек.) в зависимости от использованного метода и оборудования [6-8]. Полученные оценки не были сопоставлены с качеством изображения, получаемым в фокусе крупного телескопа. Кроме того, существенно расходились оценки относительно вклада различных слоев атмосферы (приземного, пограничного и т.д.) в интегральное качество изображения, что принципиально важно при проектировании башен телескопов. В то же время не было данных и о дополнительных параметрах атмосферы, актуальность которых возникла в связи с внедрением в практику астрономических наблюдений методов адаптивной оптики и интерферометрии.

**Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР.** Диссертационная работа выполнена в Астрономическом институте АН РУз в период 1996-2010 гг. в рамках научных проектов ГНТП Ф-2-2-7, ФА-Ф2-Ф060, А-13-163, ФА-Ф17-135 и 4И-5-10. Кроме того, исследования были поддержаны грантами Фонда Поддержки Фундаментальных Исследований (ФПФИ) АН РУз 3-96, 47-02 и 28-08, а также зарубежными грантами INTAS-96-367, NATO PST.CLG 975586.

**Целью исследования** является комплексное исследование основных параметров астроклимата Майданакской обсерватории новыми методами с использованием приборов, признанных в качестве стандартных при оценке астроклимата на ведущих обсерваториях мира. Проведение сравнительного анализа исследуемых параметров астроклимата с характеристиками астроклимата ведущих обсерваторий мира также входит в задачи исследования. В целях изучения вклада различных факторов в общее ухудшение качества изображения была поставлена задача проведения сравнительного анализа качества атмосферы на Восточной и Западной вершинах горы Майданак, исследование оптической турбулентности в приземном слое и свободной атмосфере, а также изучения влияния подкупольного пространства телескопа. Поскольку возможность проведения на Майданаке наблюдений с использованием систем адаптивной оптики и интерферометрии никогда не исследовалась, была поставлена задача по измерению специфических параметров атмосферы, таких как внешний масштаб и угол изопланатизма волнового фронта и время атмосферной когерентности.

**Задачи исследования:**

1. Проведение многолетнего мониторинга качества ночного атмосферного изображения на Майданакской обсерватории для оценки сезонных вариаций этого параметра и сравнения его с условиями атмосферы на других международных обсерваториях.
2. Сопоставление качества ночного изображения на Восточной и Западной вершинах горы Майданак для оценки аэродинамических свойств местности.
3. Сравнение качества изображения, полученного с помощью прибора DIMM (Differential Image Motion Monitor) на открытой местности, с реальным качеством на телескопе АЗТ-22 для разработки эффективных методов подавления искажений, вносимых подкупольным пространством телескопа в качество астрономического изображения.
4. Исследование вклада приземного слоя земной атмосферы в оптические искажения на основе микротемпературных измерений воздуха в приземном слое.
5. Анализ вариаций коэффициента экстинкции на горе Майданак на основе многолетних фотометрических данных.
6. Оценка дополнительных параметров атмосферы, таких как внешний масштаб и угол изопланатизма волнового фронта, время атмосферной когерентности и исследование высотного ветра на Майданакской обсерватории.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования является турбулентная атмосфера над Майданакской обсерваторией, которая вносит

основные искажения в качества астрономического изображения. Предметом исследования является основные параметры турбулентных процессов в атмосфере и их сезонные вариации, которые изучаются на основе многолетнего мониторинга с помощью современного оборудования.

**Методы исследований.** Для измерения атмосферного качества изображения применен метод регистрации дифференциальных дрожаний изображений звезд, который слабо чувствителен к ошибкам гидирующей системы телескопа и в настоящее время признан в качестве стандартного метода. Измеритель дифференциальных дрожаний изображений звезд был модифицирован в Астрономическом институте АН РУз и прокалиброван с аналогичными инструментами, использованными для оценки качества изображения на Международных обсерваториях Ла Силла и Параналь в Чили. Оценка оптической турбулентности приземного слоя произведена на основе метода измерений разности температур воздуха на различных высотах с помощью малоинерционных, высокочувствительных датчиков, установленных на специально сконструированной для этой цели на Майданаке мачте. Для измерения интегральной оптической турбулентности в свободной атмосфере применялся независимый метод анализа звездных мерцаний, полученных многоапертурной фотометрией. Наблюдения дополнительных параметров атмосферы – внешнего масштаба и угла изопланатизма волнового фронта и времени атмосферной когерентности основаны на измерениях углов прихода на разных участках волнового фронта, с помощью универсального инструмента GSM (Generalized Seeing Monitor), разработанного специалистами университета Ниццы и ГАИШ при МГУ [11]. Для оценки и анализа атмосферных параметров применялись современные численные методы. Расчеты выполнены с использованием программ, составленных на языках программирования Matlab и FORTRAN.

**Основные положения, выносимые на защиту:**

1. Впервые полученное в результате многолетнего мониторинга с помощью DIMM-инструмента, признанного в качестве стандартного прибора при оценке качества атмосферы на ведущих обсерваториях мира, медианное значение основного параметра атмосферы – качества ночного изображения на горе Майданак – **0.71 угл.сек.**
2. Проведенный сопоставительный анализ качества изображения на горе Майданак и в ведущих обсерваториях мира, а также их сезонных вариаций, который показал, что атмосферные условия этого пункта не уступают международным обсерваториям Параналь и Ла Сила в Чили, а также обсерватории Роке де лос Мучачос (OPM) на Канарских островах.
3. Изученное на основе многолетних метеорологических данных влияние метеопараметров на качество изображения.

4. Впервые проведенный на основе данных DIMM-инструмента сопоставительный анализ качества изображения на Восточной и Западной вершинах горы Майданак.
5. Полученная на основе сопоставления нескольких независимых экспериментов оценка вклада приземного слоя и свободной атмосферы в суммарную величину атмосферного искажения.
6. Впервые полученные количественные оценки искажений, вносимых подкупольным пространством телескопа на качество астрономического изображения на Майданакской обсерватории.
7. Проведенный анализ вариаций коэффициента экстинкции на Майданакской обсерватории на основе многолетних фотометрических наблюдений, в том числе ПЗС-наблюдений.
8. Впервые измеренные на Майданаке значения дополнительных параметров атмосферы – внешнего масштаба и угла изопланатизма волнового фронта и времени атмосферной когерентности.

**Научная новизна** работы состоит в том, что медианное значение ночного качества атмосферного изображения на Майданакской обсерватории и его сезонные вариации впервые получены на основе многолетнего мониторинга. Качество изображения на горе Майданак впервые сопоставлено с оценками этого параметра в ведущих обсерваториях мира – Ла Силла и Параналь в Чили, а также ОРМ на Канарских островах. Сравнение качества ночного изображения, полученное с помощью DIMM-прибора на Восточной и Западной вершинах горы Майданак позволило изучить аэродинамику района горы Майданак. Впервые осуществлено сравнение атмосферного качества изображения, полученное с помощью DIMM-прибора с реальным качеством астрономического изображения на телескопе АЗТ-22. Получены количественные оценки искажений, вносимых в астрономические изображения подкупольным пространством телескопа, а также даны предложения и рекомендации по минимизации их влияния на качество изображения.

Получена оценка вклада различных слоев атмосферы над горой Майданак в оптические искажения из микротемпературных измерений в приземном слое, анализа метеоусловий на подстилающей поверхности и измерений звездных мерцаний с помощью – многоапертурного анализатора звездных мерцаний MASS (Multi-Aperture Scintillation Sensor), разработанной сотрудниками ГАИШ МГУ. На основе многолетних фотометрических данных исследованы вариации коэффициента экстинкции. Получены его сезонные значения. Обнаружены вариации коэффициента экстинкции на горе Майданак, обусловленные извержением вулкана Пинатубо на Филиппинских островах в 1991 г.

С помощью GSM-инструмента, использованного в чилийских обсерваториях, впервые на Майданакской обсерватории проведены измерения дополнительных параметров атмосферы, таких как внешний масштаб и угол изопланатизма волнового фронта, время атмосферной когерентности, особенно необходимых для наблюдательных программ с использованием систем адаптивной оптики и интерферометрии.

**Научная и практическая значимость результатов исследования** заключается в том, что полученные результаты позволяют сравнить качество атмосферы Майданакской обсерватории с атмосферными условиями на ведущих международных обсерваториях мира, что является весьма ценной информацией при проведении совместных наблюдательных программ. Полученные в диссертации результаты могут быть использованы при проектировании и установке на Майданаке крупных телескопов и их башен. Разработанные в диссертации методы анализа могут быть использованы при выборе мест для учебных обсерваторий вузов республики, а также для определения предельных возможностей этих обсерваторий.

**Реализация результатов.** Разработанные в процессе выполнения диссертации приборы и методы оценки качества изображения, атмосферной экстинкции и других параметров атмосферы были использованы при изучении астроклимата Радиоастрономической обсерватории Суффа, в выборе места для учебных обсерваторий в Самарканде, Андижане и Паркенте. Результаты диссертационной работы используются при планировании и проведении совместных международных наблюдательных программ с использованием телескопов Майданакской обсерватории. Некоторые результаты работы также могут быть использованы при проведении занятий по курсу практической астрофизики, а также могут быть включены в специальные курсы для студентов смежных отраслей науки, таких как физика атмосферы, метеорология, геофизика.

**Апробация работы.** Основные результаты работы представлены на VI и VII международных симпозиумах "Оптика атмосферы и океана" (Томск, 1999, 2000), на XXIV Генеральной Ассамблее Международного астрономического союза в Манчестере (Англия, 2000), на международном совещании IAU "Astronomical site evaluation in the visible and radio range" в г.Марракеш (Марокко, 2000), на семинарах Астрофизической лаборатории университета г.Ниццы (Франция, 1999, 2001), на международной научной конференции "JENAM-2000" (Москва, 2000), на семинаре Национальной солнечной обсерватории в Гусоне (США, 2004), на XII и XIII международных симпозиумах "Atmospheric and ocean optics. Atmospheric physics" (Томск, 2005, 2006), на III международной конференции космических информационных технологий в Пекине (Китай, 2009), на астрофизическом семинаре специализированного совета Д067.02.13 при



НУУз, на научных семинарах Астрономического института АН РУз, а также в целом ряде республиканских конференций и совещаний.

**Опубликованность результатов.** Основные результаты диссертации опубликованы в 32 научных публикациях, в том числе 19 статьях: из них 11 - в рецензируемых научных журналах, 4 – в республиканских журналах, 4 - в сборниках трудов международных и республиканских конференций, 13 – в тезисах докладов.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из Введения, 5 глав, заключения и списка литературы, из 201 наименования. Полный объем диссертации составляет 200 страниц текста, объем основного текста составляет 200 страниц, включая 50 рисунков и 19 таблиц.

**Личный вклад автора.** Представленные в диссертации результаты получены непосредственно автором. В период 1996-2007гг. в течение более 650 ночей диссертант лично участвовал во всех астроклиматических кампаниях, результаты которых представлены в данной диссертационной работе. Диссертант участвовал в лабораторных испытаниях микротемпературных датчиков в Астрофизической лаборатории университета г.Ниццы в 2001г. Метод анализа высотного ветра над горой Майданак предложен диссертантом. Диссертанту принадлежит разработка экспериментальной установки для оценки инструментальной ошибки определения координат точечного источника DIMM-прибора. Статьи по исследованию атмосферной экстинкции на Майданаке написаны при равном участии авторов. В статье по исследованию влияния подкупольного пространства диссертант участвовал в наблюдениях и интерпретации результатов. В статье по исследованию качество изображения на Восточной и Западной вершинах горы Майданак вклад автора является определяющим. Материалы, опубликованные в трудах научных конференций, были написаны и доложены лично диссертантом. Обобщение результатов и основные выводы, приведенные в заключительном разделе диссертации, сформулированы лично диссертантом.

Таким образом, личный вклад соискателя в диссертационную работу и получение научных результатов, которые выносятся на защиту, являются определяющим. В постановке некоторых задач исследований принимал участие научный консультант проф. Ш.А. Эгамбердиев.

## **2. ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Во введении** дается краткое описание рассматриваемой проблемы, обосновывается актуальность темы исследования, научная новизна работы, формулируются цель и задачи исследования, приводятся основные результаты, выносимые на защиту и перечень публикаций по теме диссертации.

**В первой главе** описаны основные параметры, характеризующие оптические свойства земной атмосферы над астропунктом.

В §1.1 дается обзор исследований количества ясного времени на горе Майданак. При оценке пригодности того или иного пункта для астрономических наблюдений в первую очередь рассматривается количество ясного времени в данной местности, поскольку этот параметр астроклимата пропорционален количеству информации, обеспечиваемой наземным оптическим телескопом. В этом же параграфе сравниваются оценки количества ясного наблюдательного времени, полученные в период 1978-1985гг. и подытоженные в работе Гладышева и Широковой [7], с оценками этого параметра, полученными на основе измерений на приборе DIMM в период 1996-2002гг. Сравнение этих данных показало, что количество ясного наблюдательного времени на Майданакской обсерватории за последние 20 лет практически не изменилось. Оно составляет около 60% от максимально возможных значений. В абсолютных единицах это соответствует 2000 часам в году. Для сравнения этот параметр на обсерваториях Ла Силла и Параналь в период 1983-1995 гг. составил 59% и 78%, соответственно.

Установлено, что сезонные вариации ясного времени на Майданаке и обсерватории Ла Силла находятся в антикорреляции, то есть максимальное число ясных ночей на горе Майданак приходится на июнь-сентябрь (более 80%), в то время как на Ла Силле наоборот – максимум приходится на зимние для северного полушария месяцы.

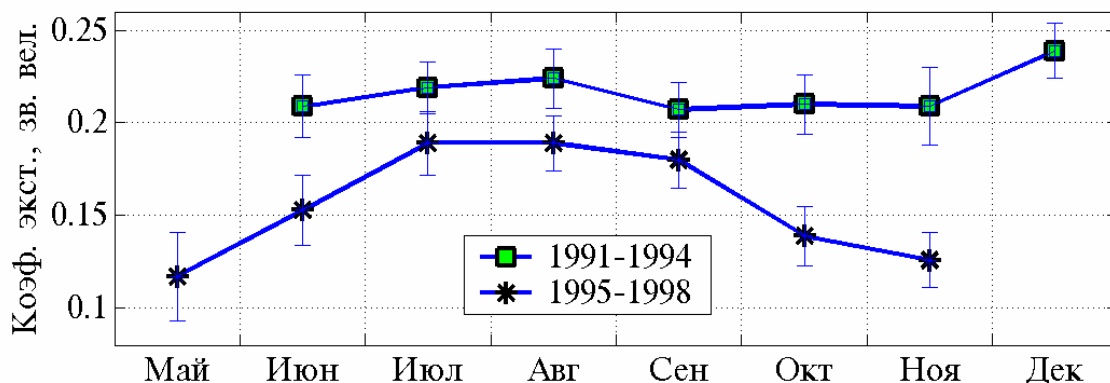
Очевидно, что на качество наземных астрономических наблюдений влияют метеорологические условия, поэтому изучение метеорологических параметров является неотъемлемой частью любых астроклиматических исследований. В §1.2 приводится анализ метеорологических параметров на основе многолетних данных, полученных с помощью автоматической метеостанции «Basic Weather Station», установленной на башне инструмента DIMM, на высоте 6 метров над уровнем подстилающей поверхности. В летние месяцы ночная температура на горе Майданак составляет в среднем около  $+13^{\circ}\text{C}$ , тогда как зимой средняя температура опускается до  $-7^{\circ}\text{C}$ , но иногда может опускаться и до  $-15^{\circ}\text{C}$ . Весной и осенью средняя температура составляет  $2^{\circ}\text{C}$  и  $6^{\circ}\text{C}$ , соответственно. Температурные флуктуации в ночное время составляют до  $5^{\circ}\text{C}$ .

Средняя скорость приземного ветра на Майданаке по нашим данным составляет 2.9 м/с. Для сравнения средняя скорость на обсерватории Параналь составляет 7.2 м/с [12]. Анализ статистического распределения скорости ветра на горе Майданак показал, что примерно в 75% от общего количества случаев скорость ветра не превышает значения 4 м/с. Штиль наблюдается в 8% случаев от общего числа измерений. Максимальное значение скорости ветра – 15.8 м/с, регистрировалась в феврале.

Преобладающее направление ветра – Юг–Юго-Восток. Все эти данные хорошо согласуются с результатами предыдущих наблюдений.

В §1.3 дается обзор исследований фона ночного неба на Майданаке. При оценке качества атмосферы обсерватории среди прочих астроклиматических факторов находится и свечение ночного неба. А именно фон ночного неба совместно с качеством изображения накладывает принципиальное ограничение на предельно достижимую звездную величину для данного пункта. Многочисленные исследования, проведенные на горе Майданак в период с 1970 г. по 1985 г., показывают, что интенсивность фона ночного неба на этой горе в фильтре V лежит в пределах  $21^m.3$ – $22^m.9$  [13-14], что обеспечивает успешность наблюдений предельно слабых небесных объектов. Поскольку уровень светового загрязнения в последующий период практически не изменился, то этот параметр в окрестности горы Майданак остается практически на том же уровне.

В §1.4 дается обзор исследований атмосферной экстинкции на горе Майданак, проведенный разными авторами на протяжении более чем 20-летних исследований. Вариации атмосферной экстинкции на горе Майданак нами были изучены на основе многолетних измерений, полученных в фотометрической системе UBVR в период 1991-2002 гг. Исследования сезонных вариаций коэффициента экстинкции в период 1991-1994 гг. дали завышенные оценки коэффициента экстинкции по сравнению с периодом 1995-2002 гг. (рис.1). Такое поведение коэффициента экстинкции оказалось связанным с выбросами в атмосферу пепла при извержении в 1991 г. вулкана Пинатубо (Филиппинские острова), расположенного на расстоянии более 6000 км от Майданака. Извержение вулкана Пинатубо привело к увеличению коэффициента экстинкции над Майданакской обсерваторией на величину  $0.05^m$  в фильтре V. Этот эффект был также обнаружен и для обсерваторий ОРМ и Ла Силла [15]. Ежемесячные значения коэффициента экстинкции в фильтре V, полученные в диссертации, а также их сезонные вариации в период 1995-2002 гг. не сильно отличаются от значений, полученных Железняковой [16] в период 1981-1982 гг. По результатам наших исследований средние значения экстинкции на Майданакской обсерватории по данным наблюдений 1995-2002 гг. составляют  $0^m.64 \pm 0^m.07$  (медианное  $0^m.63$ ) в U-фильтре,  $0^m.33 \pm 0^m.06$  (медианное  $0^m.32$ ) в B-фильтре,  $0^m.20 \pm 0^m.05$  (медианное  $0^m.19$ ) в V-фильтре и  $0^m.14 \pm 0^m.05$  (медианное  $0^m.13$ ) в R-фильтре. Оценки коэффициента экстинкции, полученные на основе ПЗС- данных UBVR-фотометрии, выполненной на телескопе АЗТ-22



**Рис.1. Сезонные изменения коэффициента экстинкции на Майданаке в фильтре V. Верхняя кривая соответствует периоду влияния вулкана Пинатубо, нижняя – последующему периоду.**

в период с 1996 г. по 2005 г. также хорошо согласуются с предыдущими результатами, полученными нами.

Средние величины экстинкции на Майданаке по данным АЗТ-22 составили  $0^m.49 \pm 0^m.07$  в U-фильтре,  $0^m.29 \pm 0^m.05$  в В-фильтре,  $0^m.18 \pm 0^m.05$  в V-фильтре,  $0^m.12 \pm 0^m.04$  в R-фильтре и  $0^m.08 \pm 0^m.06$  в I-фильтре. При этом в весенне-летний период величины экстинкции во всех полосах примерно на  $0^m.05$  больше, а в осенне-зимний – на  $0^m.05$  меньше среднего. В среднем, величина атмосферной экстинкции в летний период на Майданакской обсерватории в 1.5-2 раза больше, чем на лучших обсерваториях Чили, Гавайских и Канарских островах.

Параграф 1.5 посвящен определению основного параметра атмосферы – качества ночного изображения и методам его измерения. Под этим термином в астрономии понимается степень размытости изображения звезды в фокусе крупного телескопа. Применяя методы анализа искажений волнового фронта можно непосредственно анализировать его флуктуации, а значит получать количественную информацию о качестве изображения, без использования крупного телескопа.

Теоретический размер дифракционного изображения точечного источника света в фокусе крупного телескопа в отсутствии атмосферы определяется выражением:

$$FWHM = \frac{4}{\pi} \frac{\lambda}{D}, \quad (1)$$

где  $D$  – диаметр объектива телескопа,  $\lambda$  – длина волны. Качество изображения  $\epsilon_{FWHM}$  (полная ширина изображения на половине максимальной

интенсивности при длительном времени экспозиции в фокусе большого телескопа, наблюдающего точечный объект через турбулентную атмосферу, определяется следующим выражением:

$$\varepsilon_{FWHM} = 0.98 \frac{\lambda}{r_0} \quad (2)$$

где  $r_0$  – радиус когерентности, часто называемый также параметром Фрида.

Основным препятствием при изучении многолетней стабильности этого параметра на горе Майданак являются ошибки фотографического и визуального метода оценки качества изображения. Эти вопросы также подробно обсуждаются в данном параграфе.

**Вторая глава** посвящена исследованию основного параметра атмосферы - качества ночного изображения на Майданакской обсерватории. Для измерения  $\varepsilon_{FWHM}$  в настоящей работе использован измеритель дифференциальных дрожаний изображений звезд – DIMM.

В §2.1 приводится анализ ранних исследований качества изображения, проведенных на горе Майданак в период 70-90-х годов прошлого столетия. Ранние измерения качества изображения на Майданаке проводились в основном, тремя группами исследователей из Астрономического института АН РУз и ГАИШ МГУ с помощью различных методов и инструментов. Из проведенного нами анализа следует, что результаты оценок качества ночного изображения на горе Майданак, полученные ранее другими авторами различаются в 1.5-2 раза. Это различие в оценках качества изображения вряд ли можно объяснить глобальными временными изменениями астроклимата, так как за рассматриваемый промежуток времени существенных гидрологических, промышленных или иных изменений, способных повлиять на астроклимат в окрестности горы Майданак, не произошло.

Анализ показал, что телескоп АЗТ-7 и двухлучевой прибор (ДЛП) дают заниженное по сравнению с DIMM значение  $\varepsilon_{FWHM}$ , а фотоэлектрический прибор (ФЭП) и интерферометр когерентности (ИК) наоборот - завышенное (т.е. худшее значение  $\varepsilon_{FWHM}$ ). Занижение значений  $\varepsilon_{FWHM}$ , полученных с помощью приборов АЗТ-7 и ДЛП, связано с субъективной избирательностью и тем, что визуальные наблюдения нечувствительны к низкочастотным изменениям дрожания. Завышенные значения качества изображения  $\varepsilon_{FWHM}$ , полученные приборами ФЭП и ИК обусловлены следующими обстоятельствами. Регистрируемая с помощью ФЭП величина дрожания изображения звезды может увеличиваться из-за вклада мерцаний в сигнал из-за хроматизма линзового объектива ФЭП в коротковолновой области. ИК также как и ФЭП регистрирует атмосферное дрожание звезды по Полярной звезде, а, следовательно, он свободен от дрожаний, обусловленных

неточностями системы слежения. Однако вследствие суточного движения Полярная звезда может перемещаться под углом к зеркалу Ллойда, что приводит к ухудшению измеренных значений  $\varepsilon_{\text{FWHM}}$ .

Параграф 2.2 посвящен теории измерения дифференциальных дрожаний изображений звезд. Этот метод был предложен еще в 60-годах прошлого столетия [17] и реализован на практике лишь после появления цифровых ПЗС-приемников [18]. Преимуществом дифференциального метода измерений дрожаний изображений звезд является его слабая чувствительность к дефектам системы слежения и дрожаниям самого инструмента.

В §2.3 описаны оптическая схема и принцип работы DIMM-прибора. Этот инструмент был разработан специалистами Европейской Южной обсерватории (ЕЮО) для оценки качества атмосферы на международных обсерваториях Ла Силла и Параналь в Чили. Он изготовлен на основе стандартного телескопа Celestron-11 с диаметром главного зеркала 279 мм и с относительным фокусным расстоянием 2800 мм. Инструмент снабжен диафрагмой с двумя круглыми отверстиями по 80 мм в диаметре, расстояние между центрами которых составляет 200 мм. Диафрагма вплотную крепится к коррекционной пластинке Шмидта. На одном из отверстий закреплена призма с преломляющим углом в 195 угл.сек. В качестве светоприемника используется ПЗС-матрица ST-5 с квадратными пикселями размером 10x10 мкм. Инструмент позволяет строить на приемнике два изображения одной и той же звезды, отстоящих при номинальном фокусе на расстоянии 121 пиксель. В наблюдениях с помощью этого инструмента измеряются  $\sigma_l$  и  $\sigma_t$  – среднеквадратичные флуктуации дрожаний изображения звезды в продольном и поперечном направлениях, которые связаны с параметром Фрида  $r_0$ , определяющим оптические свойства турбулентной атмосферы, выражениями [18]:

$$\sigma_l^2 = 2\lambda^2 r_0^{-\frac{5}{3}} [0.179 D^{-\frac{1}{3}} - 0.0968 d^{-\frac{1}{3}}] \quad (3)$$

и

$$\sigma_t^2 = 2\lambda^2 r_0^{-\frac{5}{3}} [0.179 D^{-\frac{1}{3}} - 0.145 d^{-\frac{1}{3}}] \quad (4)$$

где  $\lambda$  – длина волны (500 нм),  $D$  – диаметр входных зрачков DIMM-инструмента,  $d$  – расстояние между зрачками.

Далее, размер атмосферного изображения звезды для отдельной компоненты определяется по формуле (2). Затем усреднением этих двух значений вычисляется величина качества изображения.

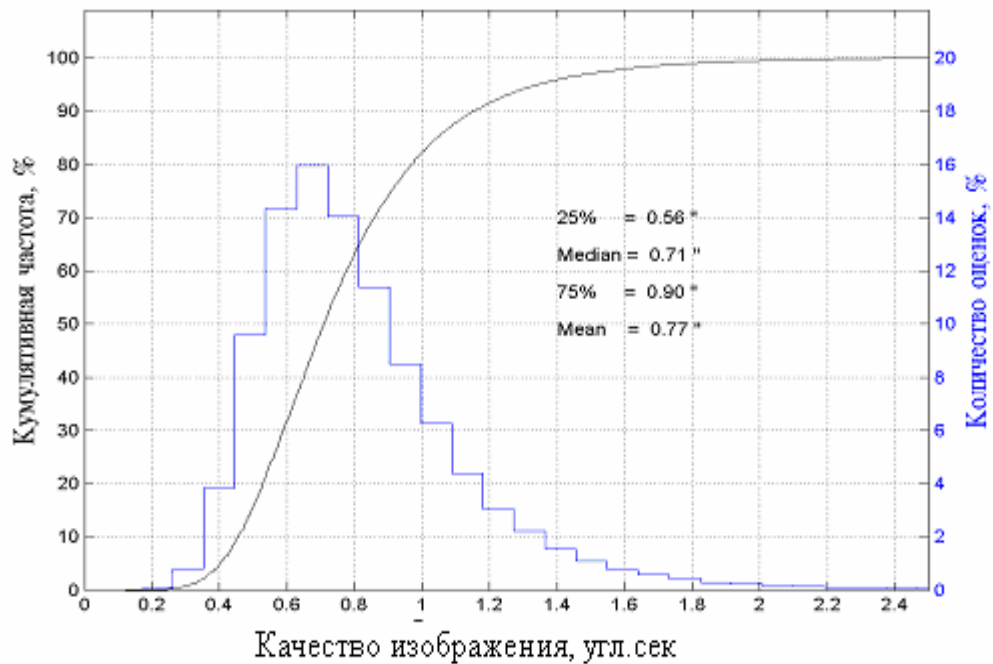
Результаты мониторинга ночного качества изображения на Майданакской обсерватории с помощью DIMM-прибора в период с августа

1996 г. по июнь 2006 г. приводятся в §2.4. Общее число наблюдательных ночей за весь период составило 1394. Медианное и среднее значение ночного качества изображения  $\varepsilon_{FWHM}$  за весь период наблюдений составило 0.71 и 0.77 угл.сек., соответственно (рис.2). Значения  $\varepsilon_{FWHM} \leq 1$  угл.сек. наблюдались в 82% случаев. Анализ данных показал, что самое лучшее качество изображения на горе Майданак наблюдается в осенний (октябрь-ноябрь) период.

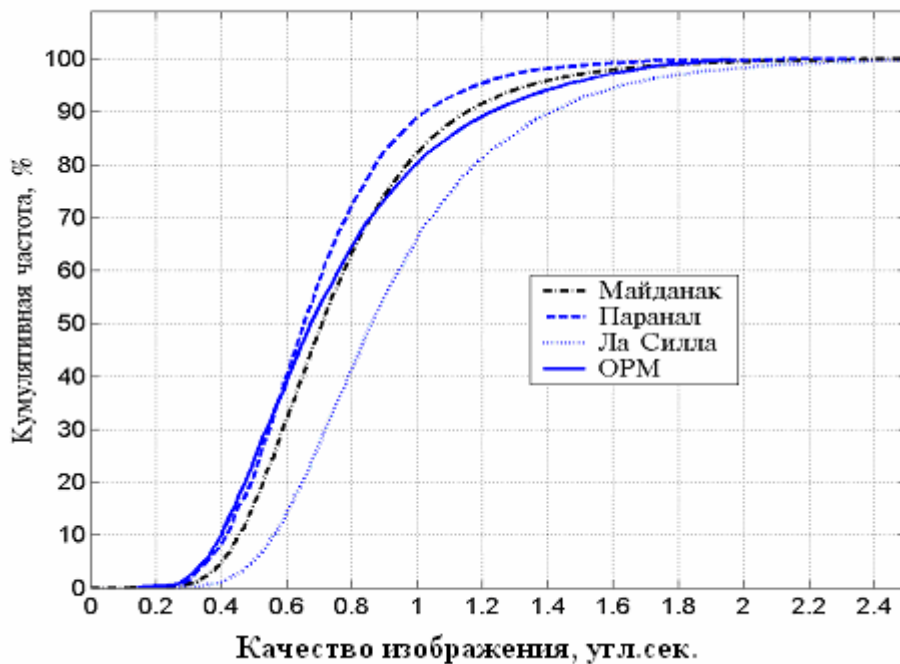
В 1997 г. из-за попадания молнии DIMM-прибор, поставленный на Майданак Европейской Южной обсерваторией, вышел из строя. В этом же году был создан новый DIMM-прибор. Так как составные части прибора, в том числе и ПЗС-камера, были полностью заменены, появилась необходимость исследовать точность восстановленного прибора. Для оценки инструментальной ошибки определения координат точечного источника DIMM-прибора была разработана экспериментальная установка, описание которой приводится в §2.5. Установка позволяет определить вариации расстояния между центрами тяжести двух изображений точечного источника на ПЗС фотоприемнике. Результаты эксперимента показали, что точность измерений вариаций положения звезды в приборе DIMM лежит в пределах 0.01 угл. сек. Объективность оценок, получаемых с помощью DIMM-инструмента, подтверждена также взаимной калибровкой с GSM-монитором, проведенной на Майданаке в 1998 г. Значения качества изображения, измеренные DIMM-инструментом и GSM-монитором практически всегда находились в хорошем согласии.

В §2.6 приводится сравнение качества изображения на горе Майданак с данными, полученными на международных обсерваториях Ла Силла и Параналь в Чили и ОРМ на Канарских островах [19-20]. На этих обсерваториях также систематически проводятся измерения качества изображения с помощью взаимно откалиброванных DIMM-инструментов. Медианные значения качества изображения на обсерваториях Параналь, ОРМ и Майданак близки, и составляют 0.66, 0.68 и 0.71 угл.сек., соответственно, а на обсерватории Ла Силла качество изображения несколько хуже, ее медианное значение составляет 0.87 угл.сек. (рис.3). Из приведенного нами анализа можно делать вывод о том, что качество атмосферного изображения на Майданаке сравнимо с условиями на лучших обсерваториях мира.

**В третьей главе** представлены результаты сравнения качества ночного изображения на Западной и Восточной вершинах горы Майданак. Исследовано влияние подкупольного пространства телескопа АЗТ-24, установленного на Восточной вершине, а также сравнение данных DIMM-прибора с реальным качеством изображения в фокальной плоскости телескопа АЗТ-22, установленного на Западной вершине горы Майданак.



**Рис.2. Статистическое распределение качества изображения на Майданакской обсерватории построенное на основе данных, полученных в период с августа 1996г. по июнь 2006г.**



**Рис.3. Кумулятивное распределение качества изображения на Майданаке, на обсерваториях ЕЮО Параналь и Ла Силла в Чили и ОРМ на Канарских островах.**

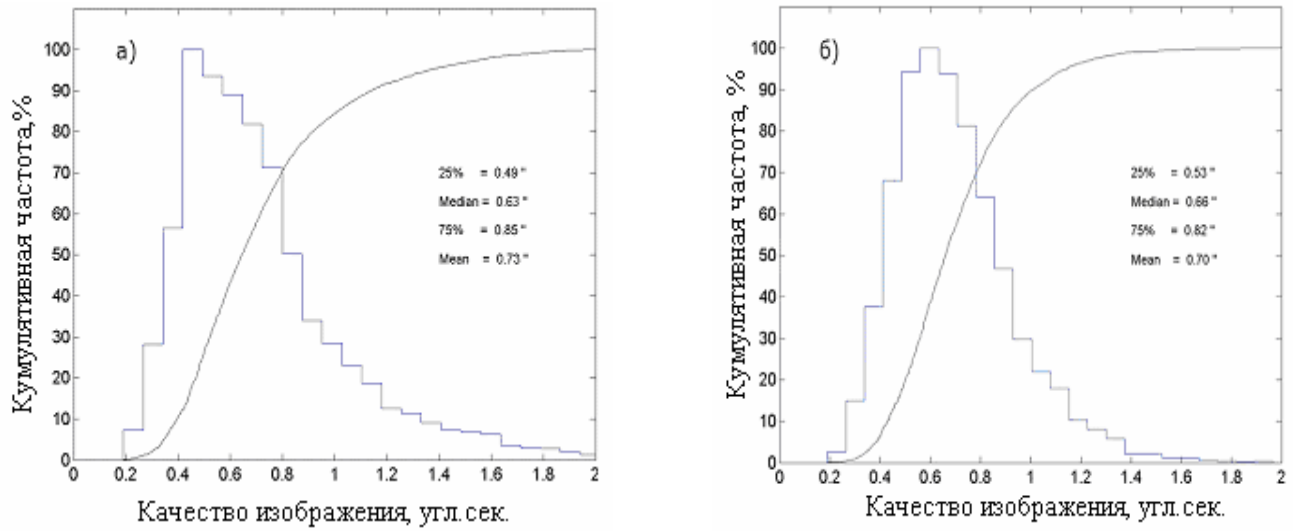


Как известно, искажения волнового фронта излучения звезды при прохождении через земную атмосферу, обуславливается турбулентными движениями в приземном, пограничном слоях и в свободной атмосфере. Определение вклада каждого отдельного слоя, является довольно сложной задачей, требующей измерений с применением сложной аппаратуры. Выбранное для астрономических наблюдений место считается хорошим, если доля искажений, вносимых приземным слоем минимальна. Косвенной проверкой этого обстоятельства может служить измерения атмосферных искажений на двух близкорасположенных вершинах с различной аэродинамикой.

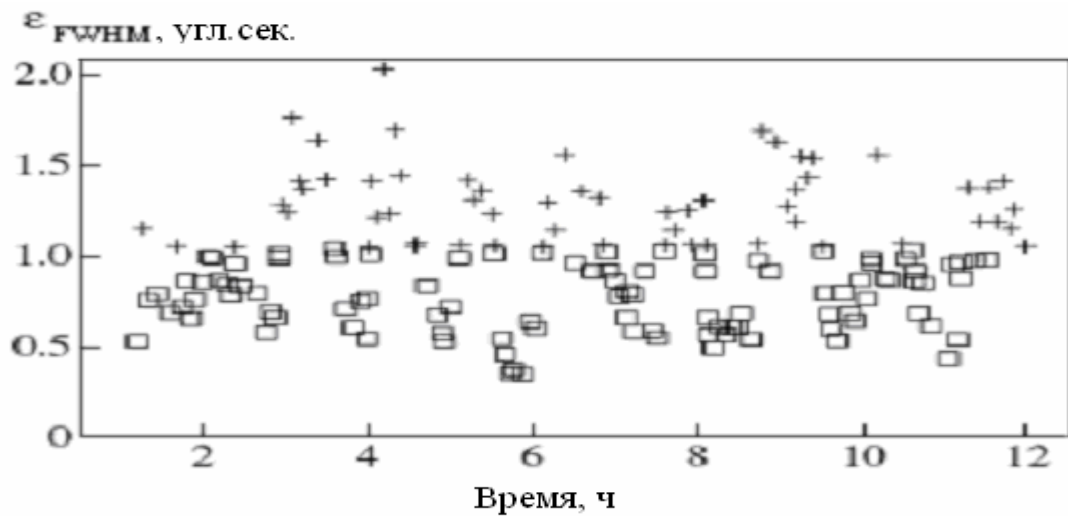
В §3.1 проводится сопоставительный анализ качества изображения на Западной и Восточной вершинах в период, когда качество изображения на горе Майданак было наиболее стабильно. Наблюдения выполнялись в период сентябрь-ноябрь 1996 года на Западной вершине и в аналогичный период 1997 года на Восточной вершине (рис.4). Медианные значения качества изображения на Западной и Восточной вершинах горы Майданак составили 0.63 и 0.66 угл.сек., соответственно. Несмотря на разность высот (около 100м) и различную аэродинамику рельефа обоих вершин, качество изображения на этих двух вершинах в период наблюдения не сильно отличалось. Это косвенно указывает на то, что качество изображения в районе горы Майданак, определяется искажениями в верхних слоях атмосферы, а не приземным слоем.

Хорошо известно, что башни телескопов служат источником температурных, а следовательно, и оптических неоднородностей, ухудшающих качество астрономического изображения. Поглощая солнечную радиацию в дневное время, поверхность купола нагревается. Из-за разности температур наружного воздуха и поверхности башни, после захода Солнца вокруг башни появляется собственный инверсионный слой, в котором и возникают температурные неоднородности. В §3.2 представлены результаты исследования влияния подкупольного пространства телескопа АЗТ-24 в сентябре 1997 г., когда DIMM-инструмент был установлен внутри башни этого телескопа. В результате измерений было установлено, что при включенном режиме вентиляции поступление воздуха через щель купола настолько эффективно, что качество изображения подкупольного пространства достигает значений полученных на открытом воздухе примерно за 30 минут (рис.5).

Известно, что реальное изображение, получаемое в фокальной плоскости крупного телескопа, установленного внутри купола всегда отличается от предсказанного по измерениям астроклиматическим прибором значения. В §3.3 обсуждаются результаты сравнения реального качества



**Рис.4. Статистическое распределение качества изображения на Западной (а) и Восточной (б) вершинах горы Майданак.**



**Рис.5. Регистрация качества изображения в подкупольном пространстве при включенном оборудовании (квадратики) и периодическом выключении вентиляции (крестики) в ночь с 26 на 27 сентября 1997 года.**

изображения в фокальной плоскости телескопа АЗТ-22 с оценками, полученными с помощью DIMM-прибора, установленного на «открытом» воздухе.

Синхронные оценки качества изображения, полученные в период с 1996 по 2005 гг. с помощью DIMM-инструмента и телескопа АЗТ-22 позволили оценить влияние на качество изображения подкупольного пространства телескопа. Общее число ПЗС-изображений различных астрономических объектов, совпадающих по времени с наблюдениями DIMM-инструмента, составило 21610.

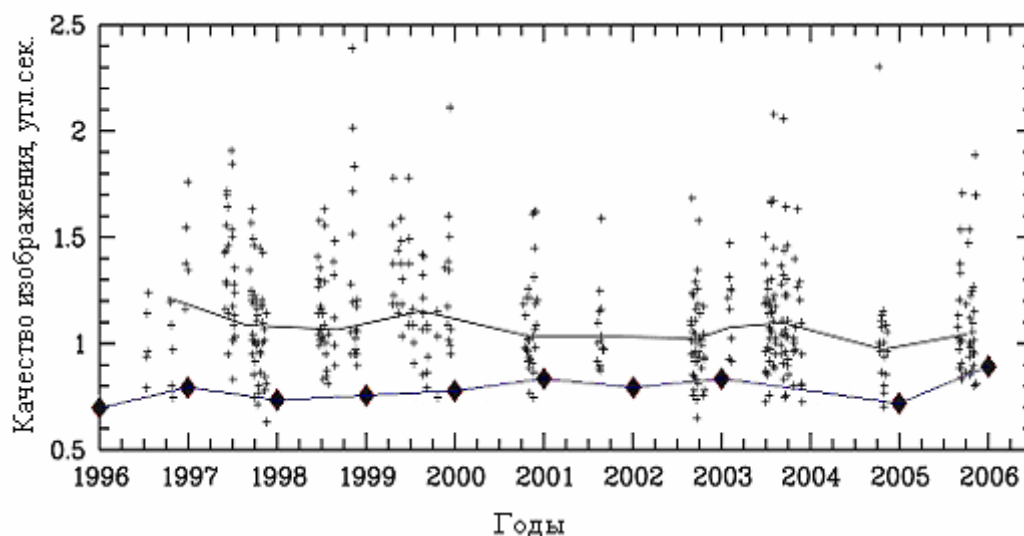
Медианное значение качества изображения для DIMM-инструмента и АЗТ-22 составило 0.71 угл.сек. и 1.06 угл.сек., соответственно. Разница между двумя значениями составила 0.35 угл.сек. (рис.6). Вентиляционная система АЗТ-22, очевидно, не имеет достаточной мощности, чтобы обеспечить быстрое высасывание нагретого воздуха из под купола телескопа, вследствие чего термические неоднородности в подкупольном пространстве телескопа полностью не устраняются. Характерное время установления стабильных условий в подкупольном пространстве составляет 2-2.5 часа после окончания астрономических сумерек.

**Четвертая глава** посвящена изучению вклада приземного слоя и свободной атмосферы над горой Майданак в оптическую интегральную турбулентность.

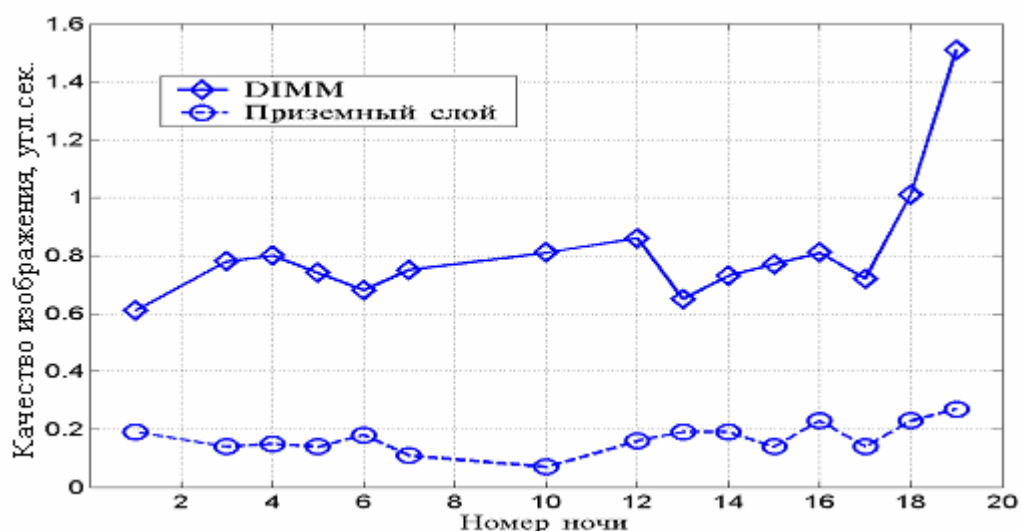
В §4.1 описана теория микротемпературных измерений. Результаты измерений микротемпературных флуктуаций с целью оценки оптической турбулентности в приземном слое, проведенные на Майданакской обсерватории летом 2002 г. приводятся в §4.2. Эти измерения были выполнены с помощью аппаратуры, разработанной в университете г. Ниццы (Франция) [21]. Микротемпературные измерения воздуха, выполненные с помощью датчиков, установленных на различных высотах метеорологической мачты высотой 25.5 м, смонтированной на горе Майданак, позволили получить вертикальные профили структурного коэффициента показателя преломления воздуха  $C_N^2(h)$ . Качество изображения, обусловленное приземным слоем, нижняя граница которого находится в 5.5 м от земной поверхности, а верхняя – 25.5 м, вычислялось по формуле, взятой из работы [22]:

$$\mathcal{E}_{5.5-25.5} = 5.25 \lambda^{-1/5} \left( \int_{5.5}^{25.5} C_N^2(h) dh \right)^{3/5}. \quad (5)$$

В период с 20 июля по 10 августа 2002 г. было получено более 15-ти ежедневных рядов данных микротемпературных измерений. На рис. 7



**Рис.6. Временной ряд реального качества изображения в фокальной плоскости телескопа АЗТ-22 (верхняя линия) и качества изображения, полученного с помощью DIMM-инструмента (нижняя линия) в период с 1996 г. по 2006 г.**

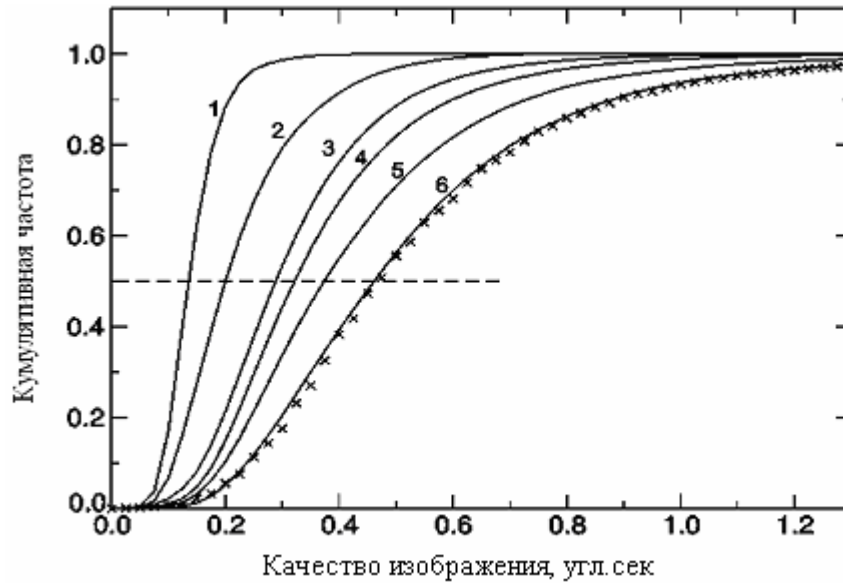


**Рис.7. Ночной ход интегрального по всей толще атмосферы качества изображения, измеренного прибором DIMM (верхняя кривая) и оцененного по микротемпературным измерениям в приземном слое (нижняя кривая) в период с 23 июля по 10 августа 2002 г.**

показана эволюция качества изображения, измеренного прибором DIMM по всей атмосфере (верхняя кривая) и измеренного в приземном слое (нижняя кривая) за вышеуказанный период. Результаты исследований во время этой кампании показали, что вклад приземного слоя в интегральную оптическую турбулентность составляет не более 8%.

В §4.3 представлены результаты измерений интенсивности оптической турбулентности в свободной атмосфере над горой Майданак. Для измерения использовался прибор MASS (Multi-Aperture Scintillation Sensor) – многоапертурный анализатор звездных мерцаний, разработанный и изготовленный Токовининым и Корниловым [23]. Прибор MASS представляет собой 4-х канальный быстродействующий фотометр, позволяющий измерять флуктуации световых потоков от достаточно яркой звезды в 4-х концентрических апертурах диаметром от 2 до 10 см. В качестве питающей оптики можно использовать любой телескоп с входной апертурой около 12-15 см без центрального экранирования и с фокусным расстоянием около 3 м. Особенностью данного метода является его нечувствительность к приземной турбулентности. Медианное значение качества изображения  $\varepsilon_{free}$ , обусловленное свободной атмосферой составило 0.46 угл.сек., что эквивалентно 48% вкладу (рис.8). Эта же величина для обсерваторий Серро Пачон и Лас Кампанас в Чили по измерениям 2003-2005 гг. составляет 0.40 и 0.48 угл.сек, соответственно [24-25].

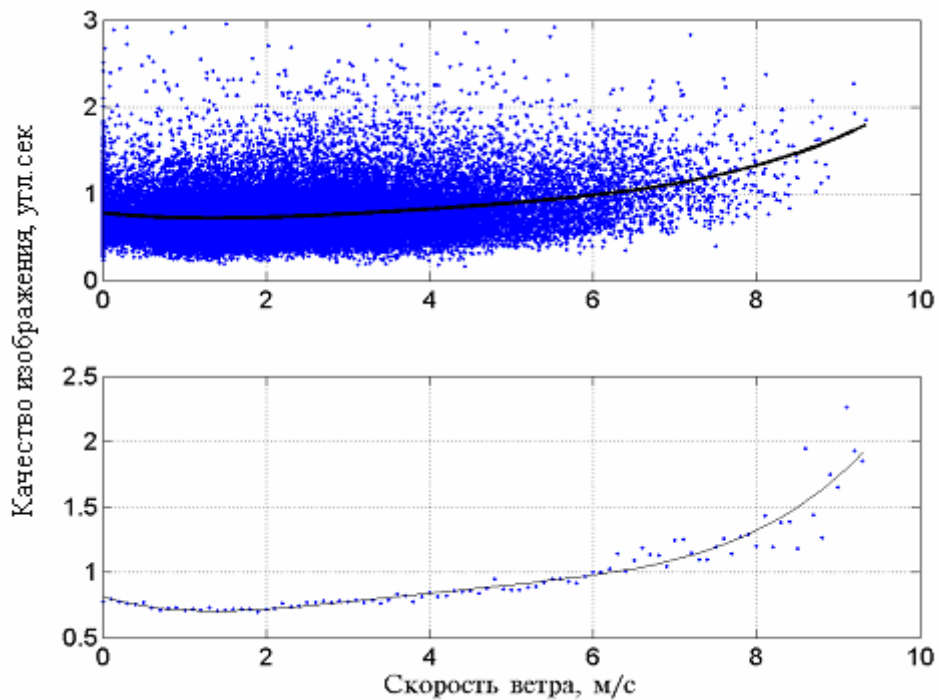
В §4.4 приведен анализ вклада различных слоев атмосферы - приземного, пограничного и свободной атмосферы – в общее ухудшение качества изображения. Вклад приземного слоя был оценен на основе микротемпературных измерений с помощью метеорологической мачты. Эти измерения дали возможность сделать вывод о том, что вклад слоя до 25 м от уровня почвы в общее качество изображения не превышает 10%. Вклад свободной атмосферы был получен из наблюдений на многоапертурном фотометре MASS. Оказалось, что свободная атмосфера дает около 50% всех искажений. Непосредственные измерения турбулентности пограничного слоя, который, по всей видимости, находится на высоте от нескольких десятков метров до 500 м над уровнем почвы горы Майданак, нами не проводились. Тем не менее, сравнение вкладов двух других слоев дало возможность оценить величину вклада турбулентности пограничного слоя в качество изображения. Он составляет около 40% от турбулентности всей атмосферы. А в случае исключительно хороших изображений (25% квантиль), полное качество изображения по наблюдениям с прибором DIMM в период 1996 - 1999 гг. составляет 0.55 угл.сек. Сравнивая с данными, приведенными на рис. 8, получаем, что вклад пограничного слоя свыше 60%, а на долю остальной атмосферы приходится менее 30% по мощности.



**Рис.8. Кумулятивное распределение вклада в качество изображения по нарастающей толще атмосферы: 1 – 16 км слой, 2 – 8 км и выше слой, 3 – 4 км и выше, 4 – 2 км и выше, 5 – 1 км и выше, 6 – вся атмосфера от 0.5 км и выше. Крестики – распределение интегральной оценки качества изображения.**

В §4.5 исследовано влияние на качество изображения скорости и направления ветра в приземном слое. Проанализированы ранние работы, посвященные изучению зависимости качества изображения от скорости приземного ветра на Майданаке. Согласно ранним исследованиям, при визуальных измерениях наблюдается линейная зависимость качества изображения от скорости ветра. А при фотоэлектрических измерениях она проявляется при больших значениях скоростях ветра. Анализ наших измерений качества изображения, сделанный на основе большого объема данных показал, что при малых ветрах качество изображения не зависит от скорости ветра. Лишь при полном отсутствии ветра наблюдается некоторое незначительное ухудшение качества изображения. При значениях скорости ветра превышающих 3 м/с наблюдается постепенное возрастание значений  $\varepsilon_{FWHM}$ , то есть ухудшение качества изображения (рис.9). Однако следует отметить, что скорость ветра, превышающая значения 5 м/с, на Майданаке наблюдаются всего лишь в 15% случаев.

**В пятой главе** представлены результаты исследований дополнительных специфических параметров атмосферы, особенно важных для наблюдений с использованием методов адаптивной оптики и интерферометрии. Пространственные и временные деградации волнового фронта, достигающего поверхность земли, необходимо компенсировать



**Рис.9. Зависимость качества изображения от скорости приземного ветра на горе Майданак в период с мая 2000 по октябрь 2002 гг. Нижний график построен усреднением качества изображения по интервалам значений скорости ветра  $\Delta V=0.1$  м/с.**

действием адаптивной оптики и интерферометра с широкой базой. Для этого кроме традиционных параметров нужна информация и о других дополнительных параметрах атмосферы.

В §5.1 даны определения специфических параметров атмосферы, таких как внешний масштаб турбулентности, угол изопланатизма и атмосферная постоянная времени волнового фронта. Измерения этих параметров на Майданакской обсерватории выполнены с помощью GSM-монитора.

В §5.2 описаны оптическая схема GSM-монитора и принцип его работы. Этот инструмент разработан Токовининым в лаборатории Астрофизики университета Ниццы (Франция) [26]. В период с 1997 по 2000 гг. он широко использовался в астроклиматических кампаниях на обсерваториях Ла Сила и Параналь в Чили [26-27], на Сан Педро Мартин в Мексике [28]. Установленный на Майданаке GSM-монитор состоит из четырех идентичных модулей для измерения угла прихода волнового фронта. Каждый модуль оснащен 10 см телескопом системы Максудова и модулем для регистрации положения изображения звезды с использованием решетки в фокальной плоскости с быстрой модуляцией

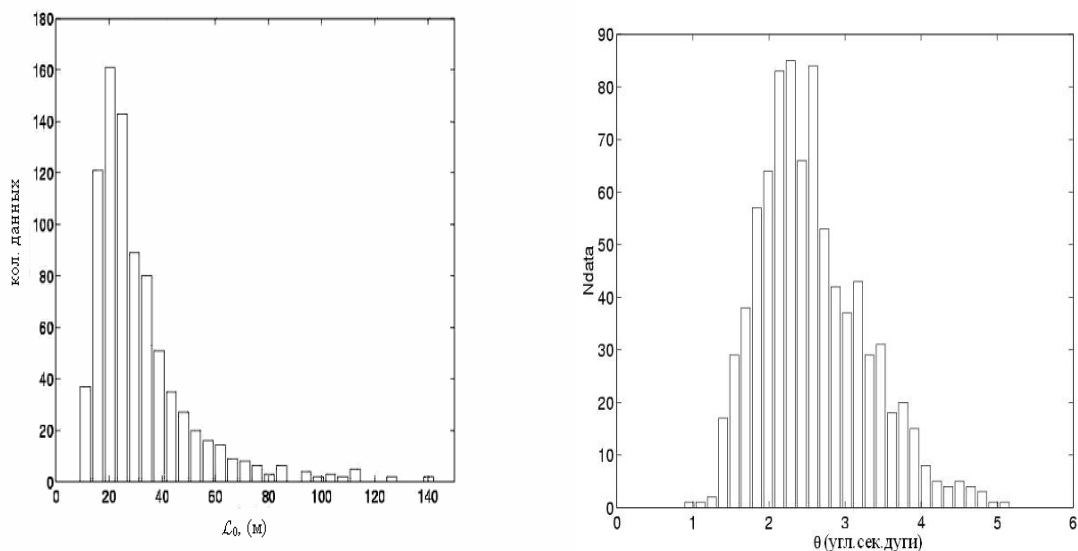
200 Гц. Световой поток, падающий на решетку, регистрируется фотоумножителями в режиме счета импульсов. Все четыре модуля работают синхронно и обеспечивают данными измерений угла прихода с временным разрешением 5мсек. Обработка заключалась в вычислении флуктуации угла прихода в каждом модуле и ковариации углов прихода, которые были вычислены после соответствующей нормализации для перевычисления таблицы нахождения внешнего масштаба волнового фронта  $\mathcal{L}_0$ .

В июле 1998 г. измерения вышеназванных параметров атмосферы с помощью GSM-монитора были выполнены и на горе Майданак. Результаты этих измерений приводятся в §5.3. Медианное значение внешнего масштаба волнового фронта  $\mathcal{L}_0$  на Майданаке составило 25.9 м, а угла изопланатизма  $\theta_0=2.48$  угл.сек. (рис.10). Соответствующие медианные значения этих параметров составили для обсерваторий Параналь 22.0 м и 1.90 угл.сек. [26], для Ла Силлы - 25 м и 1.26 угл.сек. [27] и для Сан Педро Мартин – 36 м и 2.8 угл.сек. [28]. Отсюда следует, что значения дополнительных параметров астроклимата на Майданаке сравнимы со значениями этих параметров на ведущих обсерваториях мира. Медианное значение угла изопланатизма волнового фронта представленное в этой работе, хорошо согласуется со значением 2.30 угл.сек., полученным по измерениям звездных мерцаний на Майданаке в период 1998-1999гг. [29-30].

Во время этой кампании была измерена скорость смещения волнового фронта из GSM-измерений. Время атмосферной когерентности  $\tau_0$ , оцененная из этих измерений, оказалась равным 12 мсек.

Известно, что субтропическое струйное течение действует как двигатель планетарной циркуляции, который увлекает за собой более низкие слои атмосферы. Таким образом, разумно предположить, что скорость всех турбулентных слоев, независимо от их высоты, связана с глобальным вращением в тропопаузе, на высоте, где давление воздуха равно 200 мбар. Оценки высотного ветра над горой Майданак на уровне тропопаузы на основе данных трех метеорологических станций Гидрометцентра Узбекистана в городах Коканд, Ташкент и Термез рассмотрены в §.5.4. Средняя скорость высотного ветра на уровне 200 мбар над Майданакской обсерваторией за 1991г. оказалась 26.8 м/сек, с преобладающим направлением – Запад. Средние значения скорости высотного ветра над Майданакком, полученные нами и в работе Корраско и др. [31] практически совпадают. Эта величина для обсерваторий Параналь и Ла Силла составляет 30.3 м/сек и 32.9 м/сек, соответственно. Однако следует отметить, что сезонные вариации высотного ветра на Майданаке проявляются слабее, чем на Паранале и Ла Силле (рис. 11). Это обстоятельство обеспечивает





**Рис.10. Гистограмма распределения внешнего масштаба (слева) и угла изопланатизма (справа), полученных на горе Майданак с помощью GSM в период с 16 по 24 июля 1998 г.**

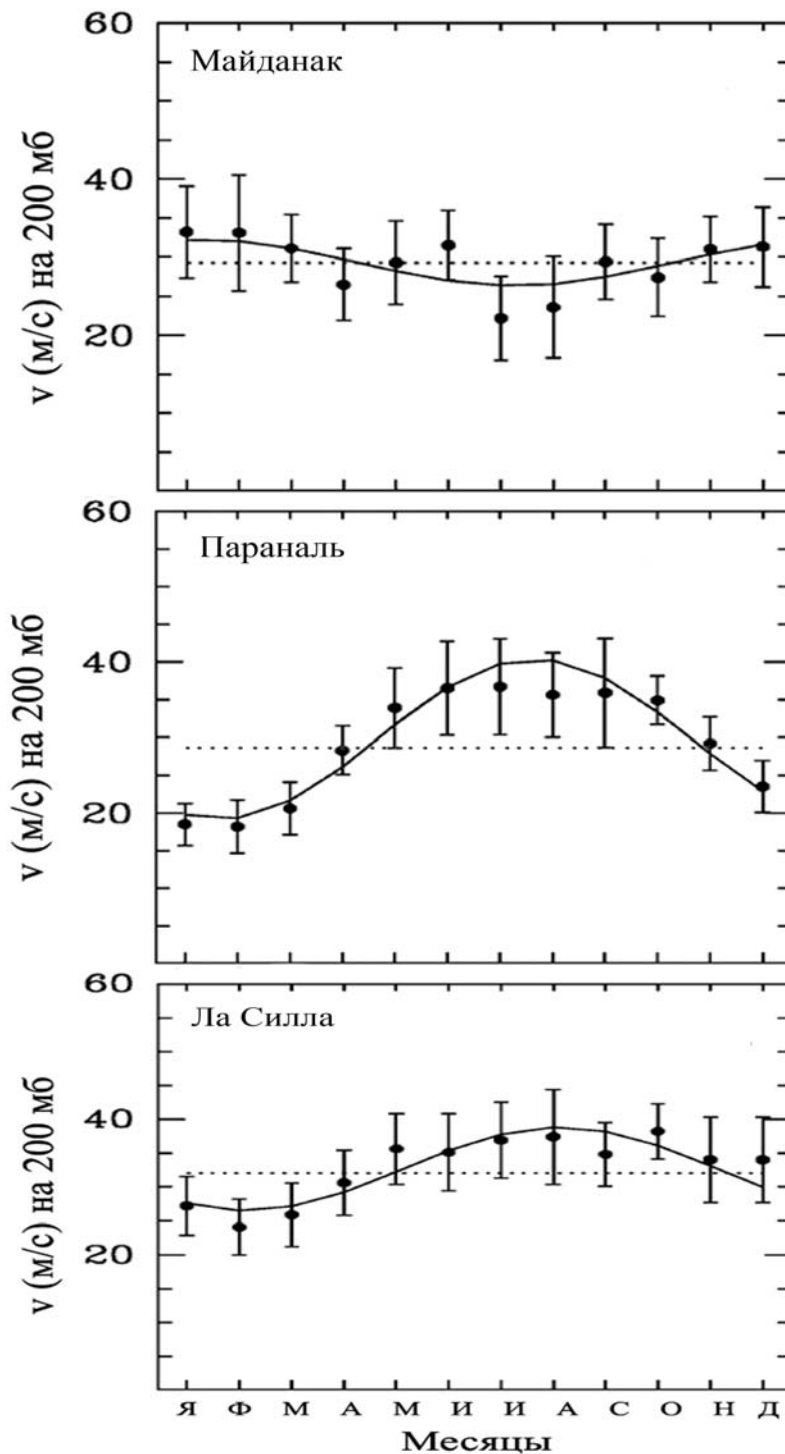
стабильность особо важных параметров атмосферы, необходимых для наблюдений с применением методов адаптивной оптики.

**В заключении** приводятся и анализируются основные результаты, полученные в диссертационной работе.

### 3. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные результаты астроклиматических исследований, проведенных в рамках диссертационной работы на Майданакской обсерватории в период с 1996 по 2009 гг. состоят в следующем:

1. Впервые осуществлен мониторинг основного параметра астроклимата – качества ночного изображения на Майданакской обсерватории в период с августа 1996 г. по июнь 2006г. Эти измерения были выполнены с помощью DIMM-инструмента, признанного в качестве стандартного прибора при оценке астроклимата на ведущих обсерваториях мира. Среднее и медианное значения качества изображения за весь период наблюдений составили **0.77** и **0.71** угл.сек., соответственно. Самое лучшее медианное значение (около 0.60 угл.сек.) наблюдается в ноябре.
2. Проведено сравнение оценок качества изображения, полученных на Майданакской обсерватории и международных обсерваториях Ла Силла и Параналь в Чили и ОРМ на Канарских островах в системе взаимно прокалиброванного прибора. Показано, что атмосферные условия Майданакской обсерватории сравнимы с условиями атмосферы над



**Рис 11. Скорость ветра на уровне 200 мбар: Среднемесячные значения скорости ветра на обсерваториях Майданак, Параналь и Ла Силла в период 1980-95 гг. по данным национального Центра по прогнозу окружающей среды США.**

обсерваториями Параналь и ОРМ, и лучше чем над Ла Силлой. В результате проведенного мониторинга Майданакская обсерватория стала **четвертой** обсерваторией в мире, для которой имеется многолетний банк наблюдательных данных о качестве атмосферного изображения.

3. Впервые в результате сопоставительного анализа оценок качества изображения, полученных на Западной и Восточной вершинах горы Майданак показано, что эти две вершины по качеству изображения сравнимы друг с другом. В период сентябрь-ноябрь 1996г. качество изображения на Западной вершине составило **0.63 угл.сек.** В период сентябрь-ноябрь 1997 г. медианное значение качества изображения на Восточной вершине составило **0.66 угл.сек.** Впервые установлено, что качество изображения в районе горы Майданак определяется искажениями в верхних слоях атмосферы, а не приземным слоем.
4. Оценен вклад различных слоев атмосферы в общее ухудшение качества изображения на основе измерений, проведенных на Майданаке с помощью микротемпературных датчиков и многоапертурной аппаратуры MASS. По результатам измерений относительный вклад приземного слоя составил всего в **8%**. Вклад пограничного слоя в интегральное значение качества изображения на Майданаке достигает до 40%, остальные искажения (около 50%) приходятся на долю свободной атмосферы.
5. Впервые осуществлено сравнение оценок качества изображения, полученных на телескопе АЗТ-22 и открытом воздухе с помощью DIMM-инструмента. Это позволило количественно оценить изменения качества изображения в подкупольном пространстве АЗТ-22. Показано, что характерное время установления стабильных условий в подкупольном пространстве составляет **2-2.5 часа** с момента окончания астрономических сумерек. После стабилизации температурных условий с включенной в подкупольном пространстве вентиляцией, между значениями качества изображения, полученных на АЗТ-22 и DIMM-инструменте наблюдается систематическая разность около **0.35 угл.сек.** В результате эксперимента по измерению параметра качества изображения в подкупольном пространстве телескопа АЗТ-24, установленного на Восточной вершине горы Майданак было установлено, что при включенном режиме вентиляции качество изображения может за **30 минут** стать таким, которые наблюдаются на открытом воздухе. Разность в установке стабильных условий в подкупольном пространстве телескопов АЗТ-22 и АЗТ-24 связана с тем, что вентиляционная система АЗТ-22, в отличие от системы АЗТ-24, не имеет достаточной мощности для более быстрого

обеспечения установки стабильных условий в подкупольном пространстве телескопа.

6. Выполнена оценка коэффициента атмосферной экстинкции на основе многоцветной фотометрии, полученной на горе Майданак в период с 1991 г. по 2002 г. Впервые показано, что значения коэффициента экстинкции в 1991-1994 гг. были подвержены влиянию извержения вулкана Пинатубо, расположенного на значительном расстоянии (около 6000 км) от Майданака. Это обстоятельство необходимо учитывать при вычислении среднего значения коэффициента экстинкции.
7. Впервые на Майданакской обсерватории проведена астроклиматическая кампания по измерению дополнительных параметров атмосферы, необходимых для оценки возможностей проведения наблюдений с помощью телескопов, оснащенных адаптивной оптикой и системами интерферометрии. Впервые проведенные с помощью универсального GSM-монитора измерения показали, что медианное значение внешнего масштаба  $\mathcal{L}_0$  и угла изопланатизма волнового фронта  $\theta_0$  составили **25.9 м** и **2.48 угл.сек.** Сравнение со значениями аналогичных параметров на ведущих обсерваториях мира подтверждает пригодность Майданакской обсерватории для наблюдений с высоким угловым разрешением. Медианное значение угла изопланатизма на горе Майданак, хорошо согласуется со значением 2.30 угл.сек., полученным по измерениям звездных мерцаний с помощью четырехканального фотометра в период 1998-1999 гг. Более длительные измерения оптической турбулентности в свободной атмосфере над горой Майданак с помощью MASS-инструмента, проведенные в 2005-2007 гг. показали немного заниженные значения (2.19 угл.сек) угла изопланатизма. Таким образом, полученные значения угла изопланатизма (больше 2 угл.сек) подтверждают слабый уровень турбулентности в свободной атмосфере над горой Майданак. Измерена скорость смещения волнового фронта из GSM-измерений. Время атмосферной когерентности  $\tau_0$ , оцененная из этих измерений, оказалась равным **12 мсек.** Оценки, полученные из MASS-измерений, дали значение **7 мсек**, что сравнимо с оценками  $\tau_0$  в Чилийских обсерваториях и в **2.5 раза** снижает требования к быстродействию системы адаптивной оптики, что примерно втрое увеличивает потенциальное число опорных звезд по сравнению с условиями на обсерваториях Серро Тололо и Серро Пачон. Такое значение времени когерентности благоприятствует также применению оптической интерферометрии.
8. Впервые на основе данных высотного ветра на уровне 200 мбар (на высоте ~11 км), полученных Гидрометцентром Узбекистана для станций Ташкент, Карши и Коканд, вычислены ежедневные значения скорости высотного ветра для Майданака. Установлено, что средняя скорость

высотного ветра составляет **27.0 м/сек** и сравнима со скоростью высотного ветра над ведущими обсерваториями мира, а ее сезонные вариации на Майданаке проявляются слабо, что обеспечивает стабильность параметров  $\theta_0$  и  $\tau_0$ .

#### **Рекомендации:**

1. На основе результатов исследования оптических искажений в приземном слое на горе Майданак рекомендуется устанавливать новые телескопы на высоте не менее 6 м от уровня подстилающей поверхности (а не 25-30м как это считалось раньше), что обеспечивает значительную экономию финансовых средств.
2. При конструировании систем адаптивной оптики для наблюдений на Майданакской обсерватории рекомендуется использовать значения специфических параметров атмосферы, полученных в диссертации.

#### **Цитируемая литература:**

1. Шевченко В.С. Результаты астроклиматических наблюдений на горе Майданак // Астрон. журн. – Москва, 1973. – Т. 50. Вып. 3. – С.632-644.
2. Martin F., Tokovinin A., Agabi A., Borgnino J., Zaid A. G.S.M.: a Grating Scale Monitor for atmospheric turbulence measurements. I. The instrument and first results of angle of arrival measurements // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. Berlin Heidelberg: Springer, – 1994. – V.108. – P. 173-180.
3. Новикова Г.В. Сравнения метеорологических характеристик изолированных вершин Средней Азии, Чили, Калифорнии, Астрон. циркуляр. Москва. – 1968. – № 491.– С.5-6.
4. Железнякова А.И. Результаты исследования прозрачности и влагосодержания атмосферы на астропункте Майданак // Астроклимат и эффективность телескопов (ред. Шевченко В.С., Курмаева А.Х.). Л.: Наука, 1984. – С. 55-59.
5. Кардополов В.И., Филиппев Г.К. О прозрачности атмосферы и фоне ночного неба на г. Майданак в июне-июле 1976 г. // Писма в астрон. журн. – Москва, – 1979. Т. 5. – № 2. – С. 106-109.
6. Артамонов Б.П., Новиков С.Б., Овчинников А.А. Результаты астроклиматических исследований 1975 года с целью выбора места для строительства обсерватории ГАИШ // Методы повышения эффективности оптических телескопов, (ред. Гладышева С.А.) изд. МГУ. М.: – 1987. – С. 16.
7. Гладышев С.А. и Широкова М.Г. Количество наблюдательного времени в ВСЭ ГАИШ на горе Майданак за 1979-1985г // Методы повышения эффективности оптических телескопов, (ред. Гладышев С.А.) Изд. МГУ. М.: – 1987. – С. 45-50.

8. Щеглов П.В., Гурьянов А.Э. Об атмосферном качестве астрономического изображения в некоторых пунктах СССР // *Астрон. журн.* – Москва, – 1991. – Т.68. – Вып. 3. – С.632-638.
9. Ковадло П.Г., Дарчия Ш.П., Булатов А.В., Сидоренков А.А., Григорьев В.М., Хан Ю.В., Гошджанов М., Мартьянова Т.Н., Кокоева Т.В., Филиппов А.Х., Шаманский Ю.В. О дневном астроклимате пунктов Арлан, Майданак и Кумбель // *Исследования по геомагнетизму, аэронауке и физике Солнца.* – Новосибирск, 1990. – Вып. 91. – С. 210-219.
10. Бугаенко О.И., Дудинов В.Н., Новиков С.Б., Овчинников А.А. Попов В.В., Синельников И.Е. Результаты исследования астроклимата Майданакской обсерватории ГАИШ зеркальным интерферометром Ллойда с ПЗС-приемником // *Препринт ГАИШ.* – Москва, 1992. – № 22. – С. 3-21.
11. Tokovinin A.A., Zaid A., Martin F., Aliva R., Borgnino J., Conan R., Sarazin M., Wave-front outer scale monitoring at La Silla // *SPIE.* –Washington: SPIE Publ, 1998. – V. 3353. – P. 1155-1162.
12. <http://www.eso.org/gen-fac/pubs/astclim/paranal/wind/>
13. Бердников Л.Н., Шевченко В.С. Временной спектр колебаний прозрачности на горе Майдана». // *Атмосферная неустойчивость и адаптивный телескоп* – Л.: Наука, 1988. – С. 131-133.
14. Зданавичюс К., Суджюс И.. Условия для фотометрической фотометрии на горе Майданак // *Астрон. цирк.* – Москва, 1978. – № 988. – С.4-5.
15. Burki G., Rufener F., Burnet M., Richard C., Blecha A., Bratschi P. The atmospheric extinction at the ESO La Silla observatory // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser. Berlin-Heidelberg: Springer,* – 1995. – V.112. – P.383-394.
16. Железнякова А.И. Прозрачность атмосферы в оптическом и инфракрасном диапазонах длин волн и ее вклад в эффективность астроклимата // *Астроклимат и эффективность телескопов* – Л.: Наука, 1984. – С. 40-47.
17. Stock J. *Bull. Astron. Astrophys.* – Berlin, 1964. – V. 24. – P. 116.
18. Sarazin M. and Roddier. The ESO differential image motion monitor // *Astron. Astrophys. Berlin-Heidelberg: Springer,* – 1990. – 227. – P.294-300.
19. Sarazin M., 2000, <http://www.eso.org/gen-fac/pubs/astclim>
20. Munoz-Tunon C., Vernin J. and Varela A.M., Night-time image quality at Roque de los Muchachos Observatory . // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser. Berlin- Heidelberg: Springer,* – 1997. – V.125. P. 183-193.
21. Azouit M. and Vernin J. Remote sensing of atmospheric turbulence by means of a fast optical method - A comparison with simultaneous in situ measurements // *Journ. Appl. Meteorology.* – Paris, – 1980. – V. 19. –P. 834-838.

22. Marks R., Vernin J., Azouit M., Briggs J., Burton M., Ashley M., Manigault J. Antarctic site testing – microthermal measurements of surface-layer seeing at the South Pole // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser. Berlin-Heidelberg: Springer*, – 1996. – V.118. P. 385-390.
23. Kornilov V., Tokovinin A., Shatsky N., Voziakova O., Potanin S., Safonov B. Combined MASS-DIMM instruments for atmospheric turbulence studies // *MNRAS. Oxford*, – 2007. – V. 382. – P. 1268-1278.
24. Tokovinin. A. Travouillon. T. Model of optical turbulence profile at Cerro Pachón // *MNRAS. – Oxford*, 2006. – V.365. – P. 1235-1242.
25. Thomas-Osip, J.E., Prieto G., Johns M., Phillips M.M. Giant Magellan Telescope site evaluation and characterization at Las Campanas Observatory // *Proc. of the SPIE. – Washington: SPIE Publ*, – 2008. – V.7012. – P. 64-75.
26. Martin F., Conan R., Tokovinin A., Ziad A., Trinquet H., Borgnino J., Agabi A., Sarazin M. Optical parameters relevant for High Angular Resolution at Paranal from GSM instrument and surface layer contribution // *Astron. Astrophys. Suppl. Ser. Berlin-Heidelberg: Springer*, – 2000. – V.144. – P.39-44.
27. Martin F., Tokovinin A., Zaid A., Conan R., Borgnino J., Agabi A., Sarazin M., First statistical data on the wavefront outer scale at La Silla observatory // *Astron. Astrophys. Berlin-Heidelberg: Springer*, – 1998. – V.336. – P. L49-L52.
28. Cruz-Gonzales I., Avila R., Tapia M., Angeles F., Carrasco E. et al. San Pedro Mártir: astronomical site evaluation // *Proceedings of the SPIE. – Washington*, – 2004. – V.5382. – P. 634-642.
29. Корнилов В.Г., Токовинин А.А. Измерение турбулентности в свободной атмосфере над горой Майданак // *Астрон. журн. – Москва*, – 2001. – Т.45. – С. 459-473.
30. Kornilov V., Tokovinin A., Vozyakova O., Ilyasov S. and Sadibekova T. INTAS 96-367. Final Report, Part III, – Garshig, – 2000. – 33 p.
31. Corrasco E., Avila R., Carraminana A. High-Altitude wind velocity Sierra Negra and San Pedro Martir // *PASP. – San Francisco*, – 2005. – V. 117. – P. 104-110.

#### **4. СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ**

##### **Статьи, опубликованные в научных журналах:**

1. **Ильясов С.П., Байжуманов А.К., Сарацин М., Султанов Х.Б., Эгамбердиев Ш.А.** Измерение качества ночного изображения на горе Майданак с помощью монитора дифференциальных дрожаний Европейской южной обсерватории // *Письма в Астрон. журн. – Москва*, 1999. – Т.25. – №2. – С.156-160. (**Measurement of night seeing at Mount**

- Maidanak with the ESO differential image motion monitor // Astronomy Letters. – Berlin-Heidelberg: Springer, 1999. – V. 25. – №2. – P.122-125).**
2. **Pyasov S.,** Egamberdiev Sh., Sarazin M., Tillayev Y., Comparison of seeing at mounts Maidanak, La Silla and Paranal // Proc. of SPIE. – Washington: SPIE Publ, 1999. – V.3983. – P.49-53.
  3. **Pyasov S.,** Tillayev Y., Egamberdiev Sh., On the high altitude wind speed above the Mount Maidanak // Proc. of SPIE. – Washington: SPIE Publ, 2000. – V. 4341. – P. 181-184.
  4. Ehgamberdiev Sh., Bayjumanov A., **Pyasov S.,** Sarazin M., Tillayev Y.A., Tokovinin A., Ziad A., The astroclimate of Maidanak observatory in Uzbekistan // Astron. Astrophys. Suppl. Ser. Berlin Heidelberg: Springer, 2000. – V. 145. – P. 293-304.
  5. **Pyasov S.,** Night-time seeing monitoring at Maidanak observatory with a differential image motion monitor for period 1996-2000 // ASPC. – Chesea, Michigan, 2002, –V. 266. – P. 376-381.
  6. Султанов Х.Б., **Ильясов С.П.** Тиллаев Ю.А., Эгамбердиев Ш.А. О точности определения центроида изображений звезд с помощью ПЗС матрицы // ДАН РУз. – Ташкент, 2004. – № 5. – С. 23-25.
  7. Тиллаев Ю.А., **Ильясов С.П.** Гранкин К.Н., Вариации атмосферной экстинкции на горе Майданак // ДАН РУз. – Ташкент, 2004. – № 6. – С. 27-29.
  8. **Ильясов С.П.** Султанов Х.Б. Сравнение качества ночного изображения на Восточной и Западной вершинах горы Майданак // ДАН РУз. – Ташкент, 2005. – № 1. – С. 24-26.
  9. **Ильясов С.П.** Исследование качества ночного изображения на горе Майданак в период 1996-2003 гг. // Оптика атмосферы и океана. – Новосибирск, 2005. – Т.18. – № 12. – С.1073-1076. (**Study of night-time image quality at Mt. Maidanak observatory for the period from 1996 to 2003 // Atmospheric and Oceanic Optics. Berlin-Heidelberg: Springer, 2005. – V. 18, – No 12, P. 965-968).**
  10. Корнилов В.Г., **Ильясов С.П.,** Возякова О., Тиллаев Ю.А., Сафонов Б., Ибрагимов М., Шатский Н., Эгамбердиев Ш.А. Измерения оптической турбулентности в свободной атмосфере над горой Майданак в 2005-2007 гг. // Письма в Астрон. журн. – Москва, 2009. – Т.35. – №8. – С.6006-614. (**Measurements of optical turbulence in free atmosphere above Mt.Maidanak in 2005-2007 // Astronomy Letters. – Berlin-Heidelberg: Springer, 2009. – V. 35. – Is. 8. – P.547-554).**
  11. **Ильясов С.П.** Сравнение оценок качества изображения, полученных на Майданакской обсерватории разными группами // Оптика атмосферы и океана. – Новосибирск, 2009. – Т.22. – №8. – С.815-817.



12. Лукин В.П., **Ильясов С.П.**, Носов В.В., Одинцов С.Л., Тиллаев Ю.А. Изучение астроклимата региона юга Сибири и Средней Азии // Оптика атмосферы и океана. – Новосибирск, 2009. – Т.22. – №10. – С.973-980.
13. **Ильясов С.П.** О зависимости качества изображения от скорости ветра в приземном слое // ДАН РУз. – Ташкент, 2009. – № 6. – С. 47-49.
14. **Pyasov S.**, Tillaev Y. The atmospheric conditions of Maidanak observatory in Uzbekistan for the ground-based observations // Proc. of SPIE. – Washington, 2009. – V.7651. – P. 76511N-76511N-7.
15. Артамонов Б.П., Бруевич В.В., Гусев А.С., Ежкова О.В., Ибрагимов М.А., **Ильясов С.П.**, Потанин С.А., Тиллаев Ю.А., Эгамбердиев Ш.А. Качество изображения и атмосферная экстинкция на Майданакской обсерватории по наблюдениям с 1.5-метровым телескопом АЗТ-22 // Астрон. журн. – Москва, 2010. – Т.87. №11. – С. 1106-1119. (**Seeing and atmospheric extinction at Mt. Maidanak observatory from observations with 1.5-m AZT telescope // Astronomy reports. – Berlin-Heidelberg: Springer, 2010. – V. 54. No 11. – P. 1019-1031.**)

**Статьи, опубликованные в сборниках научных трудов и тезисов:**

16. **Ильясов С.П.**, Байжуманов А.К., Султанов Х.Б., Эгамбердиев Ш.А. Предварительные результаты исследования качества ночного изображения на горе Майданак // Космические исследования, технологии и конверсия-II: Труды науч.-практ. конф. – Ташкент, 1997 – С.38-40.
17. Байжуманов А.К., **Ильясов С.П.**, Тиллаев Ю.А. Изучение влияния ветра на качество изображения на горе Майданак // Проблемы астрофизики и прикладной астрономии: Сб. науч. трудов ТашГУ. – Ташкент, 1997.– С. 12-14.
18. **Pyasov S.**, Egamberdiev Sh., Sarazin M., Tillaev Yu., Baijumanov A. The night-time seeing monitoring at mt. Maidanak with ESO Differential Image Motion Monitor // Оптика атмосферы и океана: Тез. докл. Международного симпозиума 23-26 июня 1999. – Томск, – 1999. – С. 41.
19. Baijumanov A., **Pyasov S.**, Ehgamberdiev Sh., Tillaev Y., A comparison of the measurements at Mt.Maidanak // Joint European and National Astronomical Meeting – JENAM-2000: Abstracts. May 29-June 3, 2000. – Moscow, 2000. – P.170.
20. **Pyasov S.**, Ehgamberdiev S., Tillaev Y., Sarazin M., Sultanov Kh., Baijumanov A., Sadibekova T. Atmospheric conditions of the Mt.Maidanak for high-angular resolution observations // Joint European and National Astronomical Meeting – JENAM-2000: Abstracts. May 29-June 3, 2000. – Moscow, 2000. – P.171.
21. Игамбердиева Р.З., **Ильясов С.П.** Метеорологические аспекты исследования астроклимата горы Майданак // Оптика атмосферы и океана:

- Тез. докл. в VII Международного симпозиума, 16-19 июля – 2000. – Томск, 2000. – С.51.
22. **Ильясов С.П.**, Тиллаев Ю.А. О скорости высотного ветра над горой Майданак // Оптика атмосферы и океана: Тез. докл. VII Международного симпозиума 16-19 июля 2000. – Томск, 2000. – С. 68.
  23. **Pyasov S.**, Ehgamberdiev Sh. Astronomy in Uzbekistan // IAU 24<sup>th</sup> General Assembly: Abstract book, August 7-18, 2000. – Manchester, 2000. – P. 224.
  24. Bayjumanov A., **Pyasov S.** Ehgamberdiev Sh., On the history of seeing measurements at Mount Maidanak for period 1970-2000 // Astronomical Site Evaluation in the Visible and Radio Range: Abstracts of International Workshop, November 13-17, 2000. – Marrakech, 2000. – P. 74.
  25. **Pyasov S.** Night-time seeing measurements at Mt. Maidanak with a differential image motion monitor for period 1996-2000 // Astronomical Site Evaluation in the Visible and Radio Range: Abstracts of International Workshop. November 13-17, 2000. – Marrakech, 2000. – P. 81.
  26. **Ильясов С.П.** Исследование оптической турбулентности различных слоев атмосферы над горой Майданак // Современные проблемы астрономии в Узбекистане: Сб. науч. трудов. – Ташкент, 2004. – С. 12-14.
  27. Султанов Х.Б., **Ильясов С.П.** Эгамбердиев Ш.А. Исследование подкупольного пространства телескопа // Современные проблемы астрономии в Узбекистане: Сб. науч. трудов. – Ташкент, 2004. – С. 21-23.
  28. **Pyasov S.** On study of night time seeing at Mt. Maidanak for period 1996-2003 // Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics: Abstracts of XII Joint International Symposium. June 27-30, 2005. – Tomsk, 2005. – P. 180.
  29. **Pyasov S.** Contribution of the surface layer turbulence at Maidanak observatory // IAU 26<sup>th</sup> General Assembly: Abstract book. August 14-25, 2006. – Prague, 2006. – P. 423-424.
  30. **Pyasov S.** Surface layer seeing measurements at Maidanak observatory // IAU 26<sup>th</sup> General Assembly: Abstract book. August 14-25, 2006. – Prague, 2006. – P.424.
  31. **Pyasov S.** Meteorological factors affecting on the night image quality on Maidanak mountain // Atmospheric and Ocean Optics, Atmospheric Physics: Abstracts of XIII International Symposium. July 2-7, 2006. – Tomsk. – 2006. – P. 97.
  32. **Pyasov S.** The atmospheric conditions of some astronomical educational observatory sites in Uzbekistan // IAU 27<sup>th</sup> General Assembly: Abstract book. August 3-14, 2009. – Rio de Janeiro. – 2009. – P.430.

Физика-математика фанлари доктори илмий даражасига талабгор Ильясов  
Сабит Пулатовичнинг 01.03.02 – Астрофизика ва радиоастрономия  
ихтисослиги бўйича «Майданак обсерваторияси астроиклимни комплекс  
ўрганиш» мавзусидаги диссертациясининг

## РЕЗЮМЕСИ

**Таянч сўзлар:** Майданак обсерваторияси, астроиклим, тасвир сифати, атмосфера экстинкцияси, оптик турбулентлик.

**Тадқиқот объекти:** Майданак тоғининг тунги атмосфераси.

**Ишнинг мақсади:** Майданак тоғи атмосфераси асосий параметрларини жаҳоннинг етакчи обсерваториялари астроиклимни ўрганишда стандарт ускуналар деб тан олинган асбоблар ёрдамида ўрганиш. Атмосфера ер усти, чегара ва юқори қатламларининг интеграл оптик турбулентликка қўшувчи ҳиссасини ўрганиш, адаптив оптика тизими билан жиҳозланган телескоп ва интерферометрияни ишлатиш учун зарур бўлган тўлқин фронтининг ташқи кўлами, изопланатизм бурчаги ва атмосфера когерентлик вақти каби кўшимча параметрларни тадқиқ этиш.

**Тадқиқот методлари:** оптик кузатувлар ўтказиш ва кузатув маълумотларини статистик таҳлил этиш.

**Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги:** Биринчи мартаба тасвир сифатини кузатиш жаҳондаги етакчи обсерваториялар атмосферасини тадқиқ этишда қўлланилган усул билан ўтказилди. Атмосферанинг турли қатламларига тегишли оптик бузилишларнинг ҳиссаси баҳоланди. Биринчи марта тўлқин фронтининг ташқи кўлами, изопланатизм бурчаги ва атмосфера когерентлик вақти каби кўшимча параметрлар ўлчанди. Биринчи марта телескоп гумбази остида тасвир сифатининг бузилиши миқдоран баҳоланди.

**Амалий аҳамияти:** Олинган натижалар Майданак обсерваторияси ва жаҳоннинг етакчи обсерваторияларидаги атмосфера параметрларини солиштириш имконини беради. Бу эса ҳамкорликдаги халқаро кузатув дастурларини режалаштиришда асқотади. Натижалардан келажакда Майданак обсерваториясида катта телескопларни ўрнатиш пайтида ҳам фойдаланиш мумкин.

**Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самандорлиги:** Атмосфера параметрлари ва телескоп гумбази ичининг тасвир сифатига таъсирига оид таъсирига тадқиқотлар натижалари катта телескопларни ўрнатишда маблағни иқтисод қилиш имконини беради. Ишнинг баъзи натижалари университетларда астрономия мутахассислиги магистрлари учун амалий астрофизикадан маъруза курсларига киритилиши мумкин.

**Қўлланиш соҳаси:** Амалий астрофизика ва атмосфера физикаси.

## Р Е З Ю М Е

диссертации Ильясова Сабита Пулатовича на тему: «Комплексное исследование астроклимата Майданакской обсерватории» на соискание ученой степени доктора физико-математических наук по специальности 01.03.02 – Астрофизика и радиоастрономия

**Ключевые слова:** Майданакская обсерватория, астроклимат, качество изображения, атмосферная экстинкция, оптическая турбулентность.

**Объект исследования:** ночная атмосфера над горой Майданак.

**Цель работы:** исследование основных параметров атмосферы над горой Майданак с помощью приборов, признанных в качестве стандартных и использованных при оценке астроклимата на ведущих обсерваториях мира. Оценка вклада приземного, пограничного и верхнего слоев атмосферы в интегральную оптическую турбулентность, измерение дополнительных параметров атмосферы – внешний масштаб и угол изопланатизма волнового фронта, а также времени атмосферной когерентности, необходимых для работы адаптивной оптики и интерферометрии, исследование влияния подкупольного пространства на качество изображения.

**Методы исследования:** оптические наблюдения и статистическая обработка наблюдательных данных.

**Полученные результаты и их новизна:** Впервые измерения параметров качества изображения над горой Майданак проведены с помощью метода, использованного для оценки качества атмосферы над ведущими обсерваториями мира. Оценена доля оптических искажений, вносимых различными слоями атмосферы. Впервые измерены дополнительные параметры атмосферы: внешний масштаб, угол изопланатизма волнового фронта и время атмосферной когерентности. Впервые количественно оценено ухудшение качества изображения в подкупольном пространстве.

**Практическая значимость:** Результаты позволяют сравнить параметры атмосферы над Майданакской обсерваторией и ведущих обсерваториях мира, что необходимо при планировании совместных международных наблюдательных программ. Представленные результаты также могут быть использованы при установке крупных оптических телескопов на Майданакской обсерватории.

**Степень внедрения и экономическая эффективность:** Результаты исследования влияния подкупольного пространства и различных слоев атмосферы на качество изображения могут обеспечить значительную экономию финансовых средств, при установке крупных телескопов. Некоторые результаты работы могут быть включены в курсы лекций для магистров астрономических специальностей университетов по практической астрофизике.

**Область применения:** Практическая астрофизика, физика атмосферы.

## RESUME

Thesis of Sabit P. Ilyasov on the scientific degree competition of Doctor of sciences in Physics and Mathematics on speciality 01.03.02 – Astrophysics and radioastronomy.

Subject: “Comprehensive investigation of the astroclimate of Maidanak observatory”

**Key words:** Maidanak observatory, astroclimate, seeing, atmospheric extinction, optical turbulence.

**Subjects of the research:** night-time atmosphere above Maidanak observatory.

**Purpose of work:** investigation of main atmospheric parameters above Maidanak observatory using instruments, which were admitted as standard ones and were used to estimate site quality of the leading observatories of the world. Estimation of the contributions of ground, boundary and upper layers of the atmosphere to overall optical turbulence, measurements of additional parameters of the atmosphere such as outer scale and isoplanatic angle of wavefront, and atmospheric coherence time, which are necessary to study conditions of Maidanak when operating telescopes equipped with adaptive optic systems and interferometry, study of dome seeing.

**Methods of the research:** optical observations and statistical analysis of observational data.

**The results obtained and their novelty:** For the first time, seeing measurements were performed using the same method as one used while investigating the atmosphere above leading observatories of the world. The contribution of optical perturbations of the different layers has been estimated. For the first time, additional parameters of the atmosphere: outer scale, isoplanatic angle of the wavefront and atmospheric coherence time have been measured. The influence of dome degradations to seeing was estimated for the first time.

**Practical value:** The results allow comparing the main and additional parameters of Maidanak observatory with ones at leading observatories of the world, which is necessary while planning collaborative observational programs. Also, the results may be useful during the construction of large optical telescopes.

**Degree of embed and economic effectivity:** The results on dome and different layers' seeing can provide saving of significant financial funds while a telescope dome construction. Some of results achieved may be included to the courses of lectures on practical astrophysics for the graduated students of astronomy branches of universities.

**Field of application:** Practical astrophysics, atmosphere physics.