

## ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию **Корнилова Матвея Викторовича**  
"Оперативное планирование астрономических наблюдений на основе  
информации астроклиматического монитора на примере 2.5 м  
телескопа",

представленную на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по  
специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия

В настоящее время бурно растет число наземных оптических телескопов, проектируемых и действующих, разнообразного предназначения и различных размеров — от нескольких сантиметров у широкоугольных систем мониторинга небесной сферы до нескольких десятков метров у универсальных гигантов следующего десятилетия. Все эти инструменты объединяет современная тенденция к использованию безлюдных технологий астрономических исследований — приборы становятся роботизированными системами, оснащенными элементами искусственного интеллекта. Роль человека однако лишь возрастает, - астроном должен заранее представлять и быть способным описать процесс наблюдений как набор всех возможных траекторий перемещения наблюдательного комплекса в многомерном фазовом пространстве его собственных характеристик, параметров, описывающих внешние условия, формализованных исследовательских задач и количественных оценок степени их выполнения.

При учете стохастического характера большинства элементов пространства параметров возможность решения задачи оптимизации процесса наблюдений определяется как детальным описанием статистических свойств совокупности всех этих элементов, так и наличием информации об их эволюции на различных временных шкалах (как минимум в течение ночи), а также возможностью прогнозирования этой эволюции на основе текущей информации. Необходимо подчеркнуть, что такая задача не имеет стандартных способов решения, а требует в каждом конкретном случае выработки особых подходов. В то же время автоматическое планирование процесса наблюдений является особенно актуальным для телескопов малого и умеренного диаметра (0.5 — 3 м), не снабженных системами адаптивной оптики, эффективность работы которых во многом определяется текущим состоянием атмосферной турбулентности, яркостью фона неба, уровнем прозрачности атмосферы, особенностями рассеяния излучения (например, Луны) в ней. Поскольку контроль и прогнозирование этих факторов наиболее оптимален при

использовании независимых (от основного телескопа) специализированных инструментов для астроклиматического мониторинга, необходимо приводить результаты последнего к форматам стандартных астрономических данных.

Все перечисленное становится особенно важным при введении в строй новых инструментов, каковым и является 2.5 метровый телескоп КГО ГАИШ МГУ. В силу этого диссертационная работа М.В. Корнилова представляется **исключительно актуальной**. Именно ее результаты, полученные на основе многолетних астроклиматических исследований в КГО с использованием оригинальных приборов и методов, в конечном итоге будут определять стратегию наблюдений с 2.5 метровым телескопом. Необходимо подчеркнуть, что содержание диссертации не сводится к заявленной теме. В ее рамках приводятся результаты изучения собственно атмосферной турбулентности, моделирования спокойной атмосферы, приложения современных методов математической статистики в астрономии и их реализации на базе продвинутых программных продуктов.

**Диссертация состоит** из введения, четырех глав, заключения, библиографии и двух приложений. Общий объем диссертации 137 страниц, включая 40 рисунков и список литературы из 102 наименований.

Во **введении** приводятся аргументы в пользу необходимости проведенных исследований, обсуждаются представления об эффективности наблюдений и их планировании, рассматривается типичная структура методов оперативного планирования, обсуждаются связи физических свойств атмосферы с особенностями проведения наблюдений. Здесь же отмечается актуальность работы, ее новизна и практическая значимость, перечисляются выносимые на защиту положения, приводится список работ, на которых базируется диссертация и отмечается вклад автора в полученные результаты.

В **первой главе** обсуждается методика исследования локального астроклимата с помощью прибора MASS/DIMM. Здесь описываются его конструкция и режимы функционирования, а также способы обработки результатов мониторинга неба, позволяющие определить параметры атмосферной оптической турбулентности (ОТ) — высотные профили структурного коэффициента показателя преломления и скорости ветра, мощность ОТ, качество изображения и атмосферную постоянную времени. Здесь приводятся и результаты измерений по данным мониторинга локальной яркости неба и экстинкции.

Во второй главе рассматриваются модели различных явлений и процессов, определяющие особенности проведения наземных оптических наблюдений, а также способы прогнозирования их характеристик. Рассматривается использование линейных моделей авторегрессии скользящего среднего для описания и прогнозирования поведения мощности ОТ. Предложен способ построения прогностической функции в виде многомерной функции плотности вероятности с шагом 1 минута на базе измерений мощности ОТ монитором в реальном времени. Аналогичным образом моделируется эволюция и ее прогноз для характеристик изображения точечного источника в зависимости от прогноза ОТ и времени экспозиции. Указанные модели протестированы с использованием результатов мониторинга в 2009 и 2010 гг. На базе данных астроклиматического монитора построена и модель пространственного многополосного распределения яркости ночного неба, характеристики которого приведены к стандартным UVVRI полосам. При этом использовались модели, описывающие излучение Луны и распространение ее света в атмосфере. Было также показано, что измерения экстинкции прибором MASS можно привести к ее характеристикам в стандартных фотометрических полосах.

Третья глава посвящена описанию особенностей наблюдений с ПЗС-фотометром на 2.5 метровом телескопе КГО. Обсуждается способ определения режима наблюдений по данным прогноза качества изображения и измеренных характеристик приемной аппаратуры. В свою очередь построена модель последней, как и формальная модель перенаведения телескопа, что необходимо для количественного описания процесса наблюдений.

В четвертой главе в общем виде решается задача оптимального планирования наблюдений. Для достижения этой цели вводятся формальные характеристики наблюдательной задачи — вероятность успешного выполнения, урожайность, длительность выполнения и время установки. После чего проводится определения этих функций для различных типов задач, в том числе при использовании ПЗС-фотометра. В качестве оперативного планирования принимается оптимальный выбор упорядоченного подмножества наблюдательных задач из множества всех доступных для решения в текущую ночь. В качестве мер эффективности наблюдений выбираются вероятность успешного выполнения последовательности наблюдательных задач и средняя полная урожайность такой последовательности, оперативное же планирование (выбор

последовательности) определяется как решение задач дискретной оптимизации относительно этих мер. На основе алгоритма параллельного поиска в глубину PDDS предложен и реализован алгоритм решения этих задач. С помощью моделирования Монте-Карло анализируются различные аспекты производительности и эффективности развитой методики оперативного планирования.

В **заключении** перечислены основные результаты диссертационной работы и обсуждаются перспективы дальнейших исследований.

В **приложениях А и Б** приведены сведения о некоторых использованных в работе статистиках.

В рамках диссертационной работы М.В.Корнилов получил целый ряд важных результатов, **научная значимость** которых представляется весьма высокой. Им впервые была построена картина изменения мощности атмосферной оптической турбулентности со временем, в которой учитывается стохастический характер этого явления; на основе обширных данных, полученных при астроклиматическом мониторинге с использованием прибора MASS, а также численного анализа процессов ослабления излучения и распространения лунного света в атмосфере была впервые построена многополосная модель атмосферной экстинкции для стандартных фильтров; впервые на базе введенных диссертантом формальных характеристик, описывающих различные этапы и компоненты процесса наблюдений, а также критериев эффективности этого процесса была решена задача его дискретной оптимизации. Последний результат представляет по существу решение проблемы оптимального планирования астрономических наблюдений с учетом стохастической природы внешних условий и самого процесса получения наблюдательной информации.

Полученные диссертантом результаты будут использоваться и уже используются в **практике** астрономических исследований. В частности, поскольку приборы MASS активно эксплуатируются в различных обсерваториях, их программное обеспечение, созданное М.В.Корниловым, широко используется, как и способы восстановления вертикальных профилей ОТ и ветра; введенное автором формальное описание и моделирование процесса и компонентов наблюдений легко может быть адаптировано к любому оптическому наземному телескопу. Наконец, поскольку реализованная автором методика оптимального планирования астрономического эксперимента имеет

универсальный характер, она несомненно будет использоваться в других обсерваториях.

Все полученные автором результаты и выводы имеют высокую степень **обоснованности и достоверности**, что обуславливается использованием больших объемов экспериментального материала, при анализе которого применялись опробованные статистические методы и физические модели, реализацией современных способов программирования и вероятностного прогнозирования, а также проверкой разработанных методов в наблюдениях.

Материалы диссертации обсуждались на трех всероссийских и международных конференциях и представлены в 8 статьях, 7 из которых опубликованы в реферируемых высокоцитируемых журналах.

Автореферат полностью соответствует содержанию диссертации.

К диссертации М.В.Корнилова следует высказать несколько **замечаний**.

1. Вызывает возражение утверждение о том, что "...все новые, неисследованные и интересные объекты" являются слабыми источниками (стр.4). Существует множество ярких объектов, являющихся интересными и плохо изученными, — пульсар в Крабе (16 зв.вел) (модель его излучения до сих пор отсутствует), эффекты микролинзирования, супервспышки, обнаруженные «Кеплером» у обычных (ярких!) звезд, яркие звезды с экзопланетами, наконец, оптические вспышки, сопровождавшие некоторые гамма-всплески, имевшие блеск на уровне 5-9 зв.вел. Это обстоятельство тем более свидетельствует о полезности строительства телескопов малых и умеренных размеров, в наблюдениях с которыми результаты диссертанта будут активно применяться.
2. Оценка яркости фона неба (стр. 28) завышается за счет вклада излучения звезд, попавших в диафрагму, на 0.26 зв.вел. (а не на 0.4 зв.вел.).
3. Во второй главе используемая модель авторегрессии скользящего среднего именуется ARIMA (autoregressive integrated moving average), хотя параметр  $d$  всегда полагается нулевым, что соответствует модели ARMA (autoregressive moving average), и русскоязычному названию модели.
4. Текст диссертации содержит большое количество ошибок и опечаток, используются обороты с неправильными согласованиями, пропущено множество запятых, которые должны выделять причастные и деепричастные обороты.

Упомянутые недостатки не снижают **высокого качества** диссертационной работы М.В.Корнилова. Она представляет из себя законченное исследование, проведенное на стыке целого ряда современных научных направлений — физики атмосферы, практической астрономии, астроприборостроения, математической статистики, методов информатики и программирования. Диссертант продемонстрировал глубокие знания в этих областях и способности их органического эффективного сочетания. По мнению оппонента диссертация М.В.Корнилова вносит существенный вклад в развитие методов практической астрофизики.

Диссертация М.В. Корнилова **полностью отвечает** всем требованиям к кандидатским диссертациям Положения о присуждении ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года №842, а сам автор, Матвей Викторович Корнилов **безусловно заслуживает присуждения искомой ученой степени кандидата физико-математических наук** по специальности 01.03.02 — астрофизика и звездная астрономия.

Официальный оппонент  
доктор физ.-мат. наук,  
ведущий научный сотрудник,  
руководитель группы релятивистской астрофизики,

 Г. М. Бескин

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Специальная астрофизическая обсерватория  
Российской академии наук (САО РАН)  
369167, пос.Нижний Архыз, КЧР, Зеленчукский р-н, САО РАН  
т.8-87878-46156, адрес эл. почты: beskin@sao.ru

Подпись Г.М. Бескина заверяю  
ученый секретарь САО РАН  
к.ф.-м.н



Е. И. Кайсина