

ЗАКЛЮЧЕНИЕ
ДИССЕРТАЦИОННОГО СОВЕТА 24.1.032.01, СОЗДАННОГО НА БАЗЕ
ФЕДЕРАЛЬНОГО ГОСУДАРСТВЕННОГО БЮДЖЕТНОГО УЧРЕЖДЕНИЯ
НАУКИ ИНСТИТУТА АСТРОНОМИИ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК,
МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ, ПО ДИССЕРТАЦИИ НА СОИСКАНИЕ
УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ КАНДИДАТА НАУК

аттестационное дело N _____

Решение диссертационного совета от 9 сентября 2025 г. № 42 о присуждении
Цурикову Григорию Николаевичу, Российская Федерация,
учёной степени кандидата физико-математических наук

Диссертация «Исследование молекулы NO как потенциального биомаркера в атмосферах экзопланет» по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия принята к защите 27 мая 2025г. (протокол заседания № 38) диссертационным советом 24.1.032.01, созданным на базе Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института астрономии Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, 119017 Москва, ул. Пятницкая, д.48, состав совета утверждён приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 1731/нк от 13 декабря 2022г., частичные изменения состава внесены приказом Министерства науки и высшего образования Российской Федерации № 846/нк от 20.04.2023.

Соискатель Цуриков Григорий Николаевич, 21.02.1998 года рождения, в 2021 году окончил магистратуру ФГБОУ ВО «Национальный исследовательский университет «МЭИ», г. Москва, по направлению подготовки «Теплоэнергетика и теплотехника»; с 01.10.2017 по настоящее время обучался в аспирантуре ФГБУН Института астрономии РАН (ИНАСАН), г. Москва, по направлению подготовки 03.06.01 Физика и

астрономия. В настоящее время работает в ИНАСАН младшим научным сотрудником.

Диссертация выполнена в отделе физики и эволюции звезд Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института астрономии Российской академии наук, Министерство науки и высшего образования Российской Федерации.

Научный руководитель – доктор физико-математических наук, профессор, академик РАН Бисикало Дмитрий Валерьевич, заместитель научного руководителя АНО «Дирекция Национального центра физики и математики».

Выбор официальных оппонентов и ведущей организации обосновывается темой исследования и компетентностью в вопросах, рассматриваемых в диссертации. Компетентность подтверждается публикациями по схожей тематике оппонентов и сотрудников ведущей организации.

Официальные оппоненты:

к.ф.-м.н., с.н.с. **Антонюк Кирилл Анатольевич**, заместитель директора по научной работе ФГБУН «Крымская астрофизическая обсерватория РАН»;

д.т.н. **Тавров Александр Викторович**, заведующий лабораторией ФГБУН Института космических исследований Российской академии наук

дали положительные отзывы на диссертацию.

Ведущая организация – Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Специальная астрофизическая обсерватория Российской академии наук (САО РАН), п. Нижний Архыз, – в своём положительном отзыве, составленном научным сотрудником лаборатории исследований звёздного магнетизма САО РАН к.ф.-м.н. **Гадельшиным Дамиром Раеловичем**, обсуждённом на астрофизическом семинаре САО РАН и утверждённом директором САО РАН к.ф.-м.н. **Валявиным Геннадием Геннадьевичем**, указала, что диссертационная работа «Исследование молекулы NO как потенциального биомаркера в атмосферах экзопланет»

является законченным научным исследованием, существенно дополняющим возможности поиска биосфер при наблюдениях потенциально пригодных для жизни планет, и удовлетворяет требованиям ВАК, предъявляемым к кандидатским диссертациям. Соискатель Цуриков Григорий Николаевич заслуживает присуждения ему учёной степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия.

Соискатель имеет 32 печатные научные работы. По теме диссертации опубликовано 7 работ, из них 6 работ – в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК и входящих в международные реферативные базы данных и системы цитирования (WoS и Scopus). Из шести работ пять опубликованы в журнале, отнесённом к категории К2, и одна – к категории К1. Основные результаты диссертации, выносимые на защиту, в этих работах изложены полностью. Случаев заимствования материала без ссылки на автора не выявлено.

Наиболее значимые работы по теме диссертации:

1. Цуриков Г.Н., Бисикало Д.В. О возможности наблюдения окиси азота на экзопланетах земного типа с помощью обсерватории WSO-UV (Спектр-УФ) // **Астрономический журнал.** – 2023. – т.100, № 2. – с.144-165.

2. Цуриков Г.Н., Бисикало Д.В. NO биомаркер: трансмиссионный и эмиссионный методы его потенциального обнаружения в атмосферах экзопланет с помощью Спектр-УФ // **Астрономический журнал.** – 2023. – т. 100, № 11. – с.987-1004.

3. Shematovich V., Bisikalo D., Tsurikov G., Non-Thermal Nitric Oxide Formation in the Earth's Polar Atmosphere // **Atmosphere.** – 2023. – v.14, № 7. – p.1092.

4. Цуриков Г.Н., Бисикало Д.В., Шематович В.И., Жилкин А.Г. Поиск биомаркеров с обсерваторией Спектр-УФ: молекула NO в атмосферах экзопланет у активных родительских звёзд // **Астрономический Журнал.** – 2025. – Т. 102, №. 2. – с. 130–147.

5. Шематович В.И., Бисикало Д.В., Цуриков Г.Н., Жилкин А.Г. Нетепловые процессы образования окиси азота при высыпании авроральных электронов в верхние атмосферы планет земного типа // **Астрономический журнал.** – 2024. – т.101, № 8. – с.770-794.

6. Жилкин А.Г., Шематович В.И., Цуриков Г.Н., Бисикало Д.В. Трёхмерная численная модель для исследования высыпания электронов в верхние атмосферы экзопланет типа Венеры // **Астрономический журнал.** – 2025. – т.102. № 1. – с.35-48.

Дополнительных отзывов о диссертации и автореферате не поступало.

Диссертационная работа посвящена исследованию молекулы NO в качестве перспективного биомаркера в атмосферах экзопланет земного типа. В работе построены следующие теоретические модели: модель теплового и нетеплового образования молекулы NO в верхних атмосферах экзопланет земного типа; модель излучения и пропускания NO в ближнем ультрафиолетовом диапазоне длин волн; модель расчёта отношения сигнала к шуму, необходимого для регистрации спектральных линий молекул в атмосферах экзопланет. Проведена проверка указанных моделей на основе сравнения со спутниковыми наблюдениям земной атмосферы и признанными моделями других авторов. Впервые произведены расчёты образования молекулы NO на экзоплантах земного типа в зоне обитаемости у звёзд, более активных чем Солнце.

Диссертационный совет отмечает, что на основании выполненных соискателем исследований:

– Впервые показана возможность регистрации спектральных γ -полос молекулы-биомаркера NO в атмосферах ближайших (< 30 пк) супер-земель и суб-нептунов, расположенных в зоне обитаемости у активных звёзд спектральных классов G и K, с помощью спектрографа с длинной щелью на борту космического телескопа «Спектр-УФ».

– Составлен перечень экзопланет – потенциальных кандидатов для поиска в их атмосферах спектральных линий окиси азота с помощью космического телескопа «Спектр-УФ».

– Впервые установлено, что концентрация окиси азота на экзопланетах земного типа у активных звёзд может существенно (на 2 порядка величины) превышать содержание NO в земной атмосфере за счёт нетеплового канала образования этой молекулы (взаимодействия надтепловых атомов азота с молекулярным кислородом).

Теоретическая значимость исследования состоит в объяснении особенностей нетеплового образования молекулы-биомаркера окиси азота в атмосферах экзопланет земного типа у активных звёзд, а также в предоставлении теоретических данных о пределах обнаружения NO в атмосферах типичных экзо- и супер-земель, суб-нептунов с помощью космического телескопа «Спектр-УФ».

Практическое значение заключается в: рекомендациях для реализации научной программы космического телескопа «Спектр-УФ» в части поиска биомаркеров в атмосферах экзопланет; разработке математической модели для определения отношения сигнала к шуму, положенной в основу калькулятора экспозиций для «Спектр-УФ»; разработке модели образования молекулы NO, которая имеет прикладное значение для прогнозирования состояния термосферы Земли в области работы низкоорбитальных спутников.

Достоверность результатов подтверждается использованием хорошо обоснованных теоретических моделей, проверенных на основе сравнения с данными наблюдений земной атмосферы и признанными теоретическими моделями.

Личный вклад соискателя. Соискатель в равной степени участвовал в постановке задач. Им разработан комплекс программ и выполнены численные расчёты, по результатам которых определены пределы

обнаружения молекулы-биомаркера окиси азота в атмосферах экзопланет земного типа.

В ходе защиты диссертации были **высказаны критические замечания, на которые соискатель дал ответы:**

Замечание: Все отобранные в работе экзопланеты, потенциально пригодные для обнаружения NO с помощью «Спектра-УФ», были открыты методом лучевых скоростей, и с большой вероятностью транзитными не являются. Некоторые из систем, в которых находятся эти планеты, дополнительно исследовались на предмет наклона плоскостей орбит, а также поиска транзитов (например, τ Ceti, HD 10180, HD 69830), и было показано, что их планеты не являются транзитными. Также, поскольку большинство планетных систем являются «плоскими», т.е. динамически холодными, то обнаружение транзитов хотя бы одной планеты в системе существенно увеличивает вероятность обнаружения транзитов и у каких-нибудь других планет в той же системе. Однако, представленных в диссертации систем нет в нынешней версии каталога транзитных кандидатов TESS.

Ответ: Это правильное и важное замечание, с которым я согласен. Оно обсуждается в самой работе, и является предметом дальнейших исследований. Действительно, согласно результатам поиска транзитов горячих экзопланет с помощью TESS, у HD 10180, HD 69830 не было достоверно обнаружено таких транзитов. Для τ Ceti и HD 31527 наблюдаемый сигнал связали с систематическими ошибками. В случае, если указанные планетные системы действительно «плоские», то вероятность транзитов у более далеких экзопланет в зоне обитаемости невысока. Тем не менее, возможность транзитов ещё не исключена. Для этого требуются дальнейшие исследования указанных планетных систем, в том числе, с помощью метода вариации времени транзитов. Для остальных экзопланет из списка: HD 192310c, HD 102365b, HD 216520c – информации о поиске у них транзитов в литературе найдено не было. Это также является предметом дальнейших исследований. Согласно выводам диссертационной работы,

молекулу NO можно также зарегистрировать методом эмиссионной спектроскопии, если на борту «Спектр-УФ» будет коронограф. Для данного метода необязательно, чтобы планета была транзитной. Этот вывод справедлив и для телескопа Habitable World Observatory, на борту которого коронограф планируется.

Замечание: В разделе 2.3 представлена методика расчёта наблюдательного времени для регистрации молекулы NO на экзопланете. Эта методика является идеализированной, так как не учитывает влияния вспышечной активности звёзд и их запятнённости на регистрируемый сигнал. Для обнаружения молекулы NO необходимо накапливать сигнал более 6 транзитов. За это время изменяется активность звезды, на звезде появляются новые активные области. Эти факторы будут препятствием при получении статистически значимого сигнала. В диссертации данная проблема обсуждается на страницах 75-76. Без учёта указанных факторов получаемую в работе оценку наблюдательного времени для регистрации сигнала следует называть теоретическим пределом.

Ответ: Действительно, следует называть получаемую оценку наблюдательного времени нижним, или теоретическим пределом. При этом особую важность при подготовке и проведении транзитных наблюдений экзопланет приобретает исследование вспышечной активности и запятнённости родительских звёзд, в том числе с помощью наземных наблюдений. Такие работы являются предметом дальнейших исследований.

Замечание: В настоящее время существование внутри первичной He-H атмосферы признаков вторичной атмосферы является наблюдательным фактом, в основном по измерениям космического телескопа им. Дж. Уэбба (например, K2-18b). Считается, что суб-нептун с массой в 3 массы Земли скапливает первичную He-H атмосферу. Но всё же о совместном сосуществовании первичной (произошедшей сверху) и вторичной N₂-O₂ – доминантной (произошедшей снизу) атмосфер и возможности наблюдения на высотах экзобазы следует говорить с большей осторожностью (чем в работе),

или рассчитать, или сослаться на уже произведённые модельные вычисления. В присутствии водорода азотно-кислородная атмосфера проблематична.

Ответ: Сделанное замечание считаю важным и правильным, частично согласен с ним, оно довольно подробно обсуждается в самой работе. Так, в тексте предполагаются два эволюционных сценария для более массивных планет: а) полная потеря первичной атмосферы с последующим образованием вторичной атмосферы и б) производство N_2 и O_2 в первичной атмосфере планеты. Т.е. необязательно одновременное сосуществование вторичной N_2-O_2 и первичной He-H атмосфер, азот и кислород могут быть в качестве примесей. Поставленный вопрос о химическом составе мининептунов представляет несомненный интерес и является предметом дальнейших исследований.

На заседании 9 сентября 2025 г. диссертационный совет постановил: за решение научной задачи, имеющей значение для развития естественных наук, присудить Цурикову Г.Н. учёную степень кандидата физико-математических наук.

При проведении тайного голосования диссертационный совет в количестве 20 человек, из них 19 докторов наук по специальности 1.3.1. Физика космоса, астрономия, участвовавших в заседании, из 23 человек, входящих в состав совета, проголосовали: за – 20, против – 0, недействительных бюллетеней – 0.

Ио председателя
диссертационного совета
24.1.032.01, д.ф.-м.н.

Ученый секретарь
диссертационного совета
24.1.032.01, к.ф.-м.н.



Сачков Михаил
Евгеньевич

Чупина Наталия
Викторовна

09.09.2025