



УТВЕРЖДАЮ

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки Института
Астрономии Российской академии наук
профессор РАН, д.ф.-м.н. Сачков М. Е.

«10» апреля 2025 г.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИИ

В которой выполнена диссертация

Выписка из протокола Астрофизического семинара Института астрономии Российской академии наук (ИНАСАН) от 10 апреля 2025 г. Присутствовали 30 научных сотрудников, в том числе:

к.ф.-м.н. Акимкин В. В., к.ф.-м.н. Барабанов С. И., д.ф.-м.н. Барков М. В., д.ф.-м.н. Бисикало Д. В., д.ф.-м.н. Вибе Д. З., Гладышева Ю. Г., к.ф.-м.н. Длужневская О. Б., д.ф.-м.н. Жилкин А. Г., к.ф.-м.н. Золотарев Р., к.ф.-м.н. Ибрагимов М. А., к.ф.-м.н. Копылов Е. А., к.ф.-м.н. Левкина П. А., Матрохин А. А., д.ф.-м.н. Машонкина Л. И., Мосунова Д. А., к.ф.-м.н. Наливкин М. А., Никифоров А. Г., Никоноров И. Н., к.ф.-м.н. Потравнов И. С., д.ф.-м.н. Рябчикова Т. А., д.ф.-м.н. Саванов И. С., д.ф.-м.н. Самусь Н. Н., д.ф.-м.н. Сачков М. Е., к.ф.-м.н. Соболев А. В., к.ф.-м.н. Топчиева А. П., д.ф.-м.н. Фадеев Ю. А., Фарафонтова А. А., д.ф.-м.н. Чугай Н. Н., к.ф.-м.н. Чупина Н. В., д.ф.-м.н. Шематович В. И.

Слушали доклад Г. Н. Цурикова о диссертации «Исследование молекулы NO как потенциального биомаркера в атмосферах экзопланет», представляемой на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия.

Цуриков Григорий Николаевич, род. 21.02.1998, в 2021 г. окончил Национальный исследовательский университет «МЭИ» и получил степень магистра по направлению «Теплоэнергетика и теплотехника». В период 2021 – 2025 гг. проходил обучение в аспирантуре ИНАСАН. Работает в ИНАСАН в отделе физики и эволюции звезд младшим научным сотрудником с ноября 2021 года по настоящее время. Научным руководителем является д.ф.-м.н. профессор, академик РАН, Бисикало Дмитрий Валерьевич, главный научный сотрудник Института астрономии РАН, заместитель научного руководителя Национального центра физики и математики.

По итогам обсуждения диссертации «Исследование молекулы NO как потенциального биомаркера в атмосферах экзопланет» принято следующее заключение:

Актуальность. Поиск потенциально обитаемых миров является фундаментальной теоретической и сложной наблюдательной задачей, решение которой зависит от множества факторов. Важным признаком биологической и геологической активности на планете земного типа является наличие у нее N_2 - O_2 доминантной атмосферы. Поиск молекул-

индикаторов такой атмосферы (потенциальных биомаркеров) на экзопланетах возможен только с помощью современных телескопов. Эта задача будет входить в научную программу создаваемого в России космического телескопа (КТ) Спектр-УФ. Перспективным биомаркером для поиска с помощью КТ Спектр-УФ является молекула окиси азота NO. В работе исследуется возможность обнаружения молекулы NO в атмосферах экзопланет с помощью КТ Спектр-УФ. И решаются следующие актуальные задачи: 1) исследование теплового и нетеплового механизмов образования NO в N_2 -O $_2$ атмосфере Земли и планет земной группы; 2) исследование влияния активности звезды на формирование NO в атмосферах экзопланет; 3) определение наблюдательного времени для регистрации молекул в атмосферах экзопланет с помощью спектрографов КТ Спектр-УФ; 4) отбор экзопланет – кандидатов для поиска NO с КТ Спектр-УФ.

Научная новизна. В диссертационной работе впервые:

- 1) Разработана химическая модель, позволяющая исследовать нетепловое образование NO при высыпании электронов в верхние N_2 -O $_2$ атмосферы планет земного типа;
- 2) Показано, что увеличение потока высыпания электронов в атмосферу экзопланеты, вызванное возмущениями звездного ветра более активной чем Солнце звезды, приводит к линейному росту концентрации NO за счет нетеплового канала образования этой молекулы.
- 3) Установлено, что с помощью спектрографа с длиной щелью (СДЩ, $R = 1000$) КТ Спектр-УФ обнаружение NO возможно на типичных супер-землях и суб-нептунах, находящихся в зоне потенциальной обитаемости у более активных чем Солнце звезд спектральных классов G и ранних K. Пределы обнаружения данной молекулы составляют вплоть до 30 пк.
- 4) Сформирован список экзопланет – потенциальных кандидатов для поиска NO с помощью КТ Спектр-УФ.

Научная и практическая значимость. На основе полученных в диссертационной работе результатов показано, что с помощью КТ Спектр-УФ возможно обнаружить молекулу-биомаркер NO в атмосферах типичных супер-земель и суб-нептунов в радиусе вплоть до 30 пк от Земли. Выработаны рекомендации для научной программы КТ Спектр-УФ по поиску биомаркеров. И отобраны наиболее подходящие экзопланеты для поиска в их атмосферах молекулы NO с помощью Спектр-УФ.

Разработанная в ходе выполнения диссертации модель расчета сигнала к шуму использовалась при создании калькулятора экспозиций КТ Спектр-УФ, который будет использоваться при отборе заявок на наблюдения данного телескопа.

Разработанная в диссертации модель образования NO в верхней N_2 -O $_2$ атмосфере Земли может использоваться для прогноза состояния термосферы на высотах работы низкоорбитальных спутников.

Степень достоверности полученных результатов. Достоверность результатов обеспечивается применением хорошо обоснованных теоретических моделей, которые прошли валидацию на атмосфере Земли, что позволило произвести их тонкую настройку по результатам сравнения с экспериментальными данными и другими моделями. Результаты работы на всех этапах докладывались на конференциях и семинарах. Основные результаты опубликованы в рецензируемых журналах из списка, рекомендованного ВАК.

Личный вклад соискателя. Цуриков Г. Н. активно участвовал в постановке задач, самостоятельно выполнил основные расчеты и получил основные результаты, представленные в диссертации. Цуриков Г. Н. принимал прямое участие в написании всех статей, в которых изложены результаты проведенного исследования.

Все положения, выносимые на защиту, должным образом аргументированы и изложены в 7 работах, 6 из которых опубликованы в журналах из списка журналов, рекомендованного ВАК.

По представленному докладу на семинаре ИНАСАН были заданы следующие вопросы:

Н. Н. Чугай. О воздействии вращения планеты на получаемые результаты. О типах высыпания электронов в атмосферы планет. О молекуле NO как загрязнителе земной атмосферы.

А. В. Тутуков. О возможности поиска молекулы NO на различных современных телескопах. О дальнейших исследованиях после обнаружения молекулы NO в атмосфере экзопланеты.

М. А. Ибрагимов. О биологических и абиотических механизмах образования NO в N₂-O₂ атмосфере планеты земной группы. О причинах различия результатов моделирования с работами других авторов.

А. В. Тавров. О фазе экзопланеты, которая использовалась в расчетах модели сигнала к шуму. О необходимом разрешении спектрографа для исследований. О формировании N₂-O₂ атмосферы на суб-нептунах.

В. В. Акимкин. О значении понятия «химия нечетного азота».

М. В. Барков. О возможности обнаружения NO на экзоплантах типа Венеры в качестве ложного биомаркера. О различии частот теплового и нетеплового образования NO в глубоких слоях атмосферы планеты.

Докладчик ответил на все поставленные вопросы.

Участники Астрофизического семинара ИНАСАН считают, что представленная диссертация является завершенной научно-исследовательской работой, уровень которой полностью удовлетворяет всем требованиям, предъявляемым к диссертации на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Диссертация Цурикова Григория Николаевича «Исследование молекулы NO как потенциального биомаркера в атмосферах экзопланет» рекомендуется к защите на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук по специальности 1.3.1 Физика космоса, астрономия.

Заключение принято на заседании Астрофизического семинара Института астрономии РАН 10 апреля 2025 г. Присутствовало на заседании 30 чел. Результаты голосования: «за» - 30 чел., «против» - 0 чел., «воздержалось» - 0 чел., протокол № 1 от 10 апреля 2025 г.

Секретарь Астрофизического семинара ИНАСАН
к.ф.-м.н. В. В. Акимкин

Ученый секретарь ИНАСАН
к.ф.-м.н. М. С. Мурга



В. В. Акимкин

М. С. Мурга