

**Первые синхронные двухпозиционные наблюдения искусственного оптического свечения ионосферы в линиях 630,0 нм и 557,7 нм в эксперименте на УНУ стенд Сура 20 марта 2026 года**

Д.А. Когогин<sup>1</sup>, В.В. Емельянов<sup>1</sup>, И.А. Насыров<sup>1</sup>, А.Б. Белецкий<sup>2</sup>, С.М. Грач<sup>3</sup>, А.В. Шиндин<sup>3</sup>, И.Д. Ткачев<sup>2</sup>, Ю.К. Легостаева<sup>3</sup>, А.Е. Солин<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Казанский федеральный университет  
420008, г. Казань, ул. Кремлевская, 18.

E-mail: [denis.kogogin@gmail.com](mailto:denis.kogogin@gmail.com)

<sup>2</sup> Институт солнечно-земной физики СО РАН  
664033, г. Иркутск, ул. Лермонтова, 126А

<sup>3</sup> Нижегородский государственный университет им. Н.И. Лобачевского  
603022, г. Нижний Новгород, пр. Гагарина, 23

*Представлены результаты экспресс-анализа первого на стенде Сура эксперимента по синхронной двухпозиционной регистрации искусственного оптического свечения в линиях 630.0 нм и 557.7 нм излучения атомарного кислорода.*

*Ключевые слова: ионосфера, искусственное оптическое свечение, 630,0 нм, 557,7 нм, стенд Сура*

**First synchronous dual-site observations of artificial airglow at the 630.0 nm and 557.7 nm lines induced by HF pumping ionosphere at the Sura Facility on 20 March 2026**

D.A. Kogogin<sup>1</sup>, V.V. Emeljanov<sup>1</sup>, I.A. Nasyrov<sup>1</sup>, A.B. Beletsky<sup>2</sup>, S.M. Grach<sup>3</sup>, A.V. Shindin<sup>3</sup>, I.D. Tkachev<sup>2</sup>, Y.K. Legostaeva<sup>3</sup>, A.E. Solin<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Institute of Physics, Kazan Federal University

<sup>2</sup> Institute of Solar–Terrestrial Physics SB RAS

<sup>3</sup> Radiophysics Faculty and Radiophysical Research Institute, Lobachevsky State University

*We present the results of an express analysis of the first experiment at the Sura facility on synchronous dual-site observations of artificial airglow at the 630.0 nm and 557.7 nm lines of atomic oxygen.*

*Keywords: ionosphere, artificial airglow, 630 nm, 557.7 nm, Sura facility*

**Введение**

Уже 45 лет на Уникальной научной установке (УНУ) стенд Сура, расположенной рядом с поселком Васильсурск Нижегородской области, примерно в 150 км к востоку от Нижнего Новгорода (56,15 с.ш., 46,10 в.д.) проводятся регулярные эксперименты по изучению эффектов, возникающих в ионосфере в результате воздействия на нее мощного узконаправленного коротковолнового излучения. Одним из таких эффектов является появление искусственного оптического свечения (ИОС), связанного с энергетическим переходом нейтральных атомов из возбужденного состояния в состояние с меньшей энергией. Такой переход сопровождается испусканием квантов электромагнитного излучения, попадающих в оптический диапазон длин волн. В проводимых экспериментах это излучение регистрируется высокочувствительными оптическими инструментами. Достаточно полный обзор результатов исследований влияния мощного радиоизлучения на оптическое свечение дан в работах [1, 2].

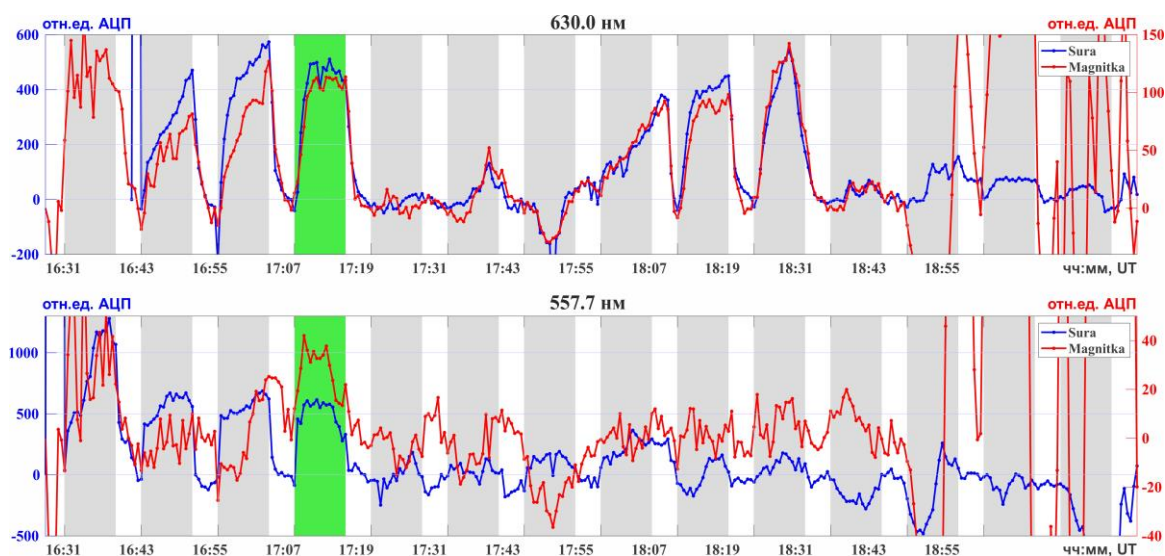
Проследить динамику и оценить актуальное состояние данных исследований на стенде Сура можно по работам [3-5].

### Постановка эксперимента

В марте 2026 года на стенде Сура была проведена регулярная оптическая экспериментальная кампания. Воздействие на ионосферу осуществлялось в периодическом режиме циклами длительностью 12 минут, 7/8 мин-излучение волны накачки обыкновенной поляризации, 5/4 мин-пауза. В разные дни кампании диаграмму направленности стенда ориентировали вертикально вверх или в направлении магнитного зенита (наклон на юг на  $12^\circ$ ). Частоты изменялись от 6720 кГц до 4300 кГц в зависимости от критических частот ионосферы. Оптическое оборудование было размещено в трех пунктах: 1) на базе радиополигона «Васильсурск» НИРФИ ННГУ в непосредственной близости от стенда Сура; 2) на базе Магнитной обсерватории КФУ (55,93 с.ш., 48,75 в.д.), в 170 км к востоку от стенда Сура; 3) в пункте, расположенном около д. Заключная (55,55 с.ш., 44,53 в.д.) в 120 км к юго-западу от стенда Сура. Состав оптического оборудования: три ПЗС-камеры (две широкоугольных с полем зрения  $\sim 145^\circ$  и  $\sim 180^\circ$  и одна с полем  $\sim 30^\circ$ ), трехканальный фотометр и обзорный спектрометр УНУ Оптические инструменты ИСЗФ СО РАН, предназначенные для регистрации интенсивности атмосферных эмиссий 630,0 нм, 557,7 нм и 391,4 нм и две ПЗС-камеры НИРФИ ННГУ (с полем зрения  $20^\circ \times 15^\circ$ ). Регистрация изображений производилась в режиме двух снимков в минуту с экспозицией 25 и 27 и стартом экспозиции в начале каждой минуты и на 30-й секунде. Временное разрешение на фотометре составляло 10 мс.

### Полученные результаты

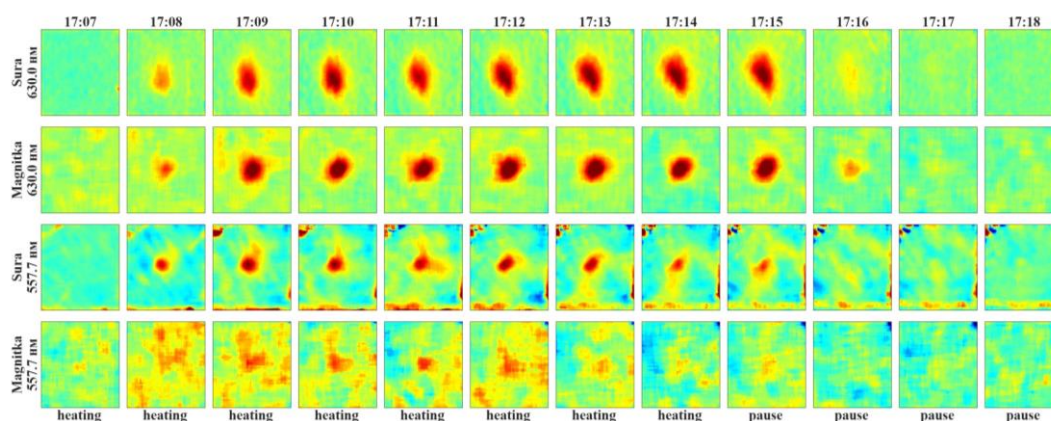
В эксперименте, проведенном 20 марта 2026 года, впервые на стенде Сура удалось зарегистрировать генерацию искусственного оптического свечения в линиях излучения 630,0 нм и 557,7 нм синхронно из двух пунктов наблюдения, каждый из которых был оснащен двумя камерами с красным и зеленым светофильтрами. На рис. 1 представлена динамика интенсивности искусственного оптического свечения в линиях 630,0 нм (верхняя панель) и 557,7 нм (нижняя панель) в течение всего эксперимента. Синими линиями на панелях рис. 1 показана интенсивность, измеренная ПЗС-камерами на стенде Сура, красными линиями в Магнитной обсерватории КФУ. Серыми прямоугольниками показаны интервалы излучения волны накачки.



**Рис. 1. Изменение интенсивности искусственного оптического свечения в красной 630,0 (верхняя панель) нм и зеленой 557,7 нм (нижняя панель) линиях в эксперименте 20 марта 2026 г.**

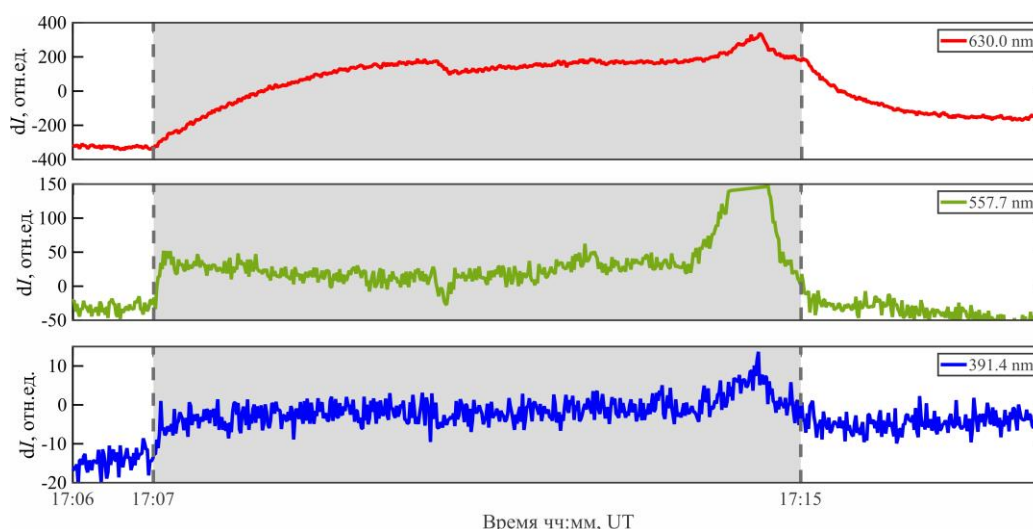
Воздействие на ионосферу в этот день осуществлялось в интервале времени 16:30-19:22 UT. Диаграмма направленности станда Сура была наклонена на  $12^\circ$  на юг в направлении магнитного зенита. Частота воздействия изменялась в интервале от 6720 кГц до 4300 кГц в зависимости от состояния ионосферы.

В цикле 17:07-17:19 UT (интервал излучения волны накачки 17:07-17:15 UT выделен зеленым прямоугольником на рис. 1) при воздействии на ионосферу на частоте 6720 кГц, близкой к пятой электронной циклотронной гармонике для высоты 250 км область ИОС в линиях 630,0 нм и 557,7 нм явно удалось выделить на снимках с четырех ПЗС-камер. На рис. 2 представлены снимки с этих камер, демонстрирующие синхронную динамику ИОС в красной 630,0 нм (две верхние панели) и зеленой 557,7 нм (две нижние панели) линиях по данным двухпозиционных измерений в данном цикле.



**Рис. 2.** Синхронная динамика двухпозиционных наблюдений ИОС в красной 630,0 нм (две верхние панели) и зеленой 557,7 нм (две нижние панели) линиях для цикла 17:07-17:19 UT 20 марта 2026 г.

На рис. 3 представлена динамика развития интенсивности свечения для этого же цикла (17:07-17:19 UT 20 марта 2026 года) полученная по данным трехканального фотометра в линиях 630,0 нм (верхняя панель), 557,7 нм (средняя панель) и 391,4 нм (нижняя панель).



**Рис. 3.** Динамика развития интенсивности ИОС в линиях 630,0 нм (верхняя панель), 557,7 нм (средняя панель) и 391,4 нм (нижняя панель) по измерениям трехканального фотометра для цикла 17:07-17:19 UT 20 марта 2026 г.

Стоит отметить, что уровень интенсивности искусственного оптического свечения в линии эмиссии 630 нм в цикле 17:07-17:19 UT (верхняя панель рис. 3) и в соседних с ним циклах превышал 600 отн. ед., что составляет более 37 Рэлей (Рл) (от минимума в 17:07 UT до максимума в ~17:14 UT), что в свою очередь примерно 2-2.5 раза превышает значения, типично наблюдаемые на стенде Сура (200-250 отн. ед или 12-15 Рл), полученные на этом же оборудовании в экспериментах 2021-2025 гг.

### **Заключение**

В эксперименте 20 марта 2026 года впервые на стенде Сура удалось зарегистрировать искусственное оптическое свечение в красной и зеленой линиях излучения атомарного кислорода с длинами волн 630,0 нм и 557,7 нм, синхронно в двух пунктах наблюдения. Полученные данные двухпозиционных наблюдений позволят получить оценки высот генерации ИОС для каждой из зарегистрированных линий. Повышенный в  $\sim 2\div 2.5$  раза уровень интенсивности ИОС в линии эмиссии 630,0 нм также требует более детального изучения в будущих работах.

*Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда № 23-77-10029. Обработка данных искусственного оптического свечения с ПЗС-камеры SBIG была выполнена при финансовой поддержке гранта Российского научного фонда № 25-72-20019. Экспериментальные данные получены с использованием УНУ стенд Сура и оборудования УНУ Оптические инструменты.*

### **Литература**

1. Kosch M.J., Pedersen T., Rietveld M.T., Gustavsson B., Grach S.M., Hagfors T. Artificial optical emissions in the high-latitude thermosphere induced by powerful radio waves: An observational review // *Advances in Space Research*. 2007, V. 40. P. I. 3. 365–376. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2007.02.061>
2. Grach S.M., Sergeev E. N., Mishin E.V., Shindin A.V. Dynamic properties of ionospheric plasma turbulence driven by high-power high-frequency radiowaves // *Phys. Usp.* 2016. V.59. 1091–1128. <https://doi.org/10.3367/UFNe.2016.07.037868>
3. Грач С. М., Насыров И. В., Когогин Д. А., и др. Исследование искусственного оптического свечения на стенде Сура (обзор) // *Труды XXVI Всероссийской открытой научной конференции*. Казань, 2019. С. 58-66.
4. Грач С.М., Легостаева Ю.К., Емельянов В.В., и др. Первые результаты трехпозиционных измерений искусственного оптического свечения в красной линии атомарного кислорода на нагревном стенде Сура в 2021 и 2022 гг. // *Материалы Всероссийской открытой научной конференции*. Муром, 2023. С. 240-247. <https://doi.org/10.24412/2304-0297-2023-1-240-247>
5. Грач С.М., Белецкий А.Б., Насыров И.А., и др. Новые результаты исследований оптического свечения ионосферы при воздействии радиоизлучением стенда Сура // *Труды XXIX Всероссийской открытой научной конференции*. Казань, 2025. С. 16-24. <https://doi.org/10.26907/rwp29.2025.16-24>