



ИНСТИТУТ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**Предварительные результаты экспериментальных кампаний 2024 года по
регистрации свечения ионосферы, индуцированного мощным
коротковолновым излучением стенда СУРА**

Белецкий А.Б.¹, Ткачев И.Д.¹, Грач С.М.², Насыров И.А.³, Когогин Д.А.³, Шиндин А.В.²,
Дементьев В.О.³, Васильев Р.В.¹, Легостаева Ю.К.²

¹Институт солнечно-земной физики СО РАН, г. Иркутск;

²Нижегородский госуниверситет им. Н. И. Лобачевского, г. Нижний Новгород;

³Казанский (Приволжский) федеральный университет, г. Казань



В 2024 году было проведено три экспериментальные кампании по измерению искусственного оптического свечения (ИОС) ионосферы, стимулированного воздействием мощного коротковолнового излучения стенда СУРА. Во время экспериментальных кампаний использовалось оборудование ИСЗФ СО РАН.

Достаточно стабильные ионосферные условия во время экспериментальных кампаний 2024 года позволили накопить большой объем данных по одновременным измерениям ИОС в линиях атомарного кислорода 557.7 нм и 630.0 нм и в полосе ионов молекулярного азота 1NGN_2^+ .

Цель работы - предварительный анализ данных экспериментальных кампаний 2024 года



Уникальная научная установка Стенд СУРА

Координаты стенда 56,13 с.ш., 46,10 в.д., магнитное наклонение 71° .

Нагревная установка состоит из трехсекционной антенны и трех передатчиков ПКВ-250 номинальной мощностью 250 кВт каждый.

Общий размер антенного поля 300×300 м. Антенное поле состоит из 144 элементов ФАР, пространственный период ФАР составляет 25 метров.

Сканирование луча возможно в плоскости магнитного меридиана в диапазоне углов ± 40 градусов.

Рабочий диапазон частот ФАР от 4,2 до 9,0 МГц.

Коэффициент усиления антенной системы на средней частоте рабочего диапазона составляет ~ 26 дБ. Эффективная мощность излучения после модификации стенда может достигать уровня 200 – 300 МВт.

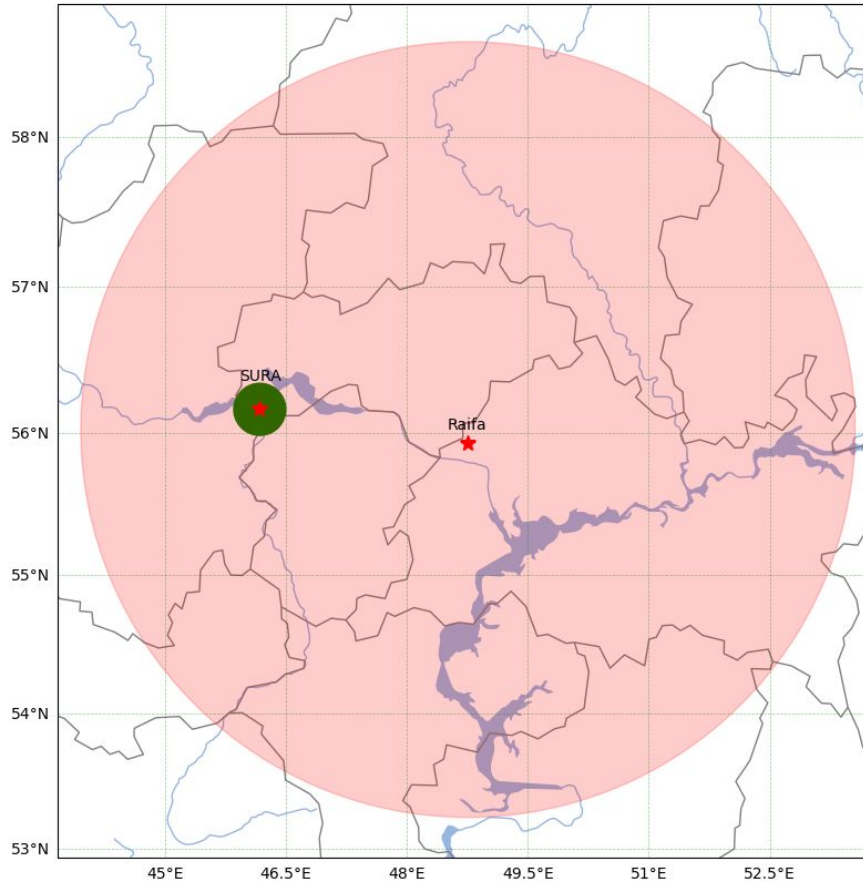


Вид на ФАР стенда СУРА на фоне реки Волга

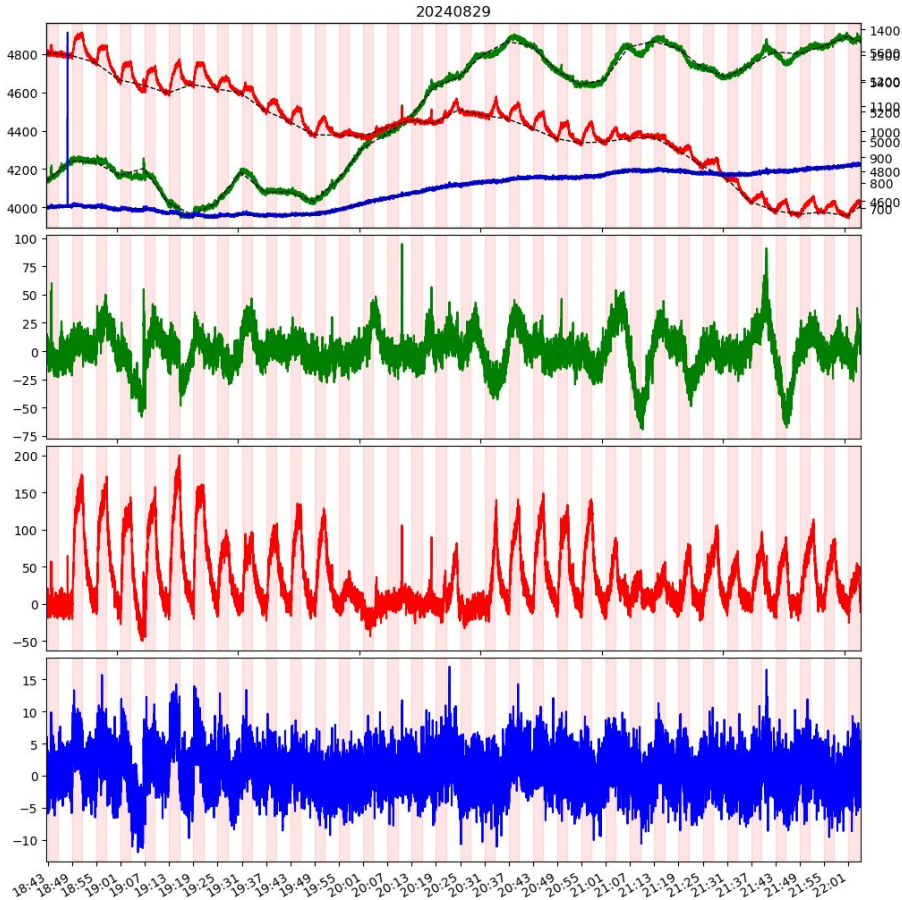


Оптическая система КЕО Sentinel	Магнитная обсерватория КФУ	25	145	ОI 630 нм
Широкополосный приемник KiwiSDR	Магнитная обсерватория КФУ	-	-	-
Трехканальный фотометр	Стенд СУРА	10^{-2}	7	1NGN ₂ ⁺ (0-0) 391.4 нм, ОI 557.7 нм, ОI 630.0 нм
ПЗС камера Andor ikon-936L	Стенд СУРА	25	25	ОI 557.7 нм
ПЗС камера Andor ikon-936L	Стенд СУРА	25	25	1NGN ₂ ⁺ (0-1) 427.8 нм
Обзорная RGB камера	Стенд СУРА	13	180	Спектральный RGB диапазон
Широкополосный приемник KiwiSDR	Стенд СУРА	-	-	-

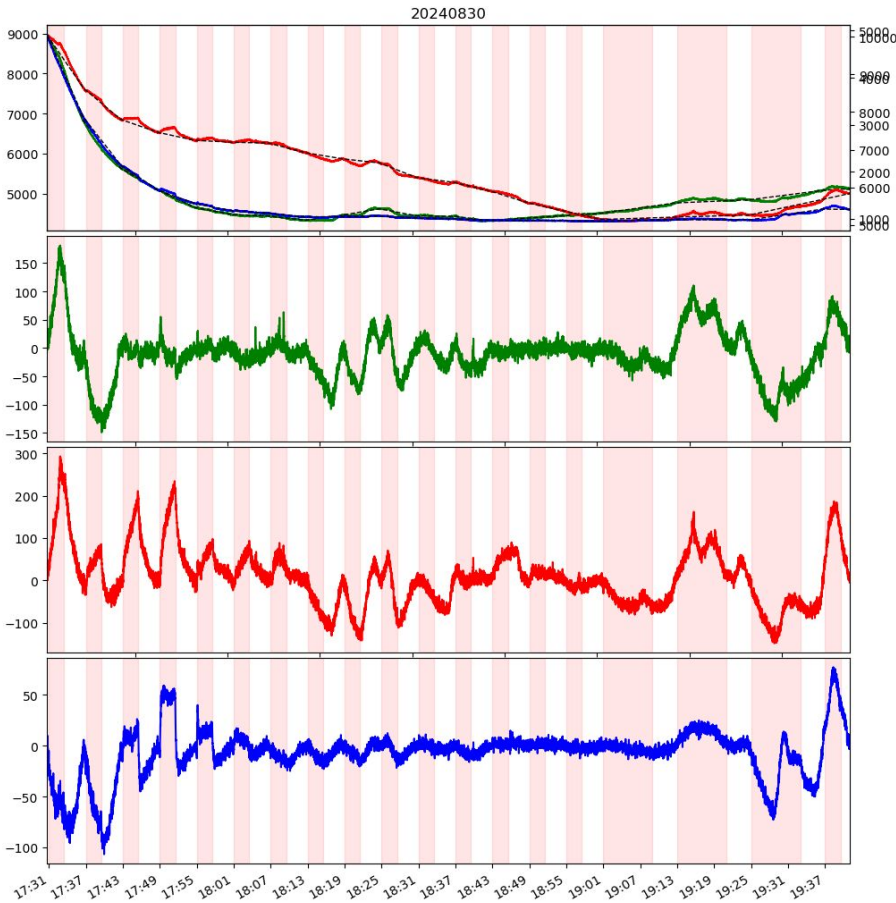




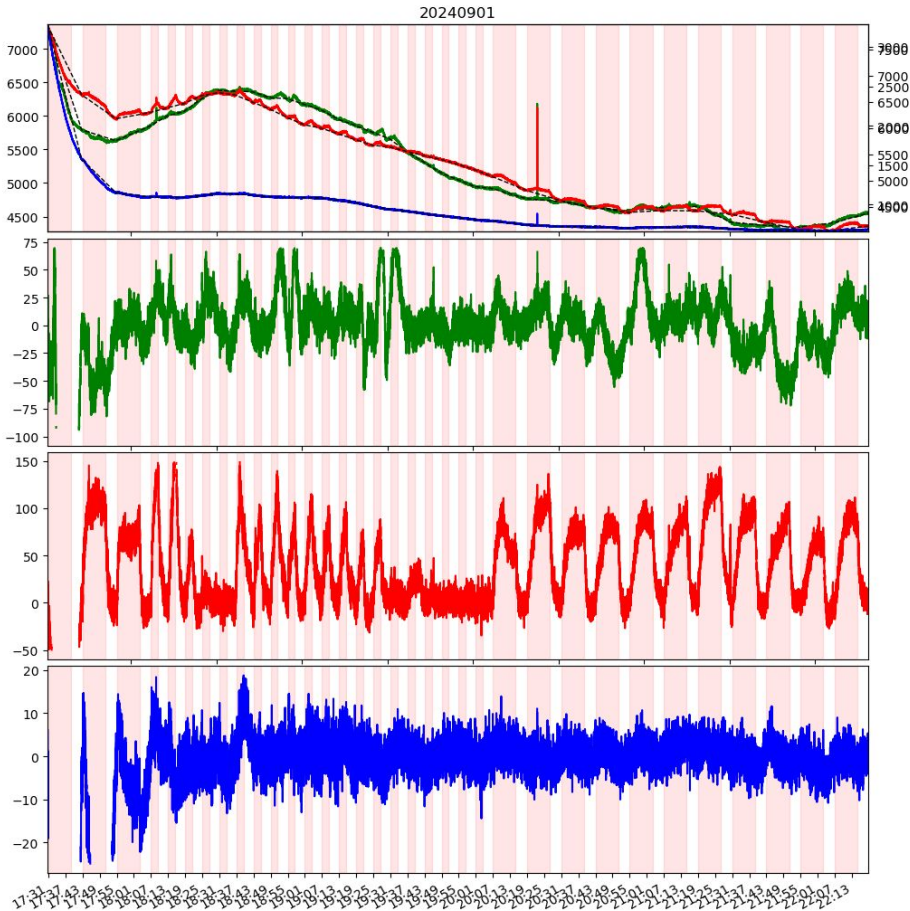
Проекция поля зрения
оптической системы КЕО
Sentinel на поверхность Земли,
рассчитанная для высоты 300
км (красным) и диаграмма
направленности излучения
стенда СУРА (зеленым).



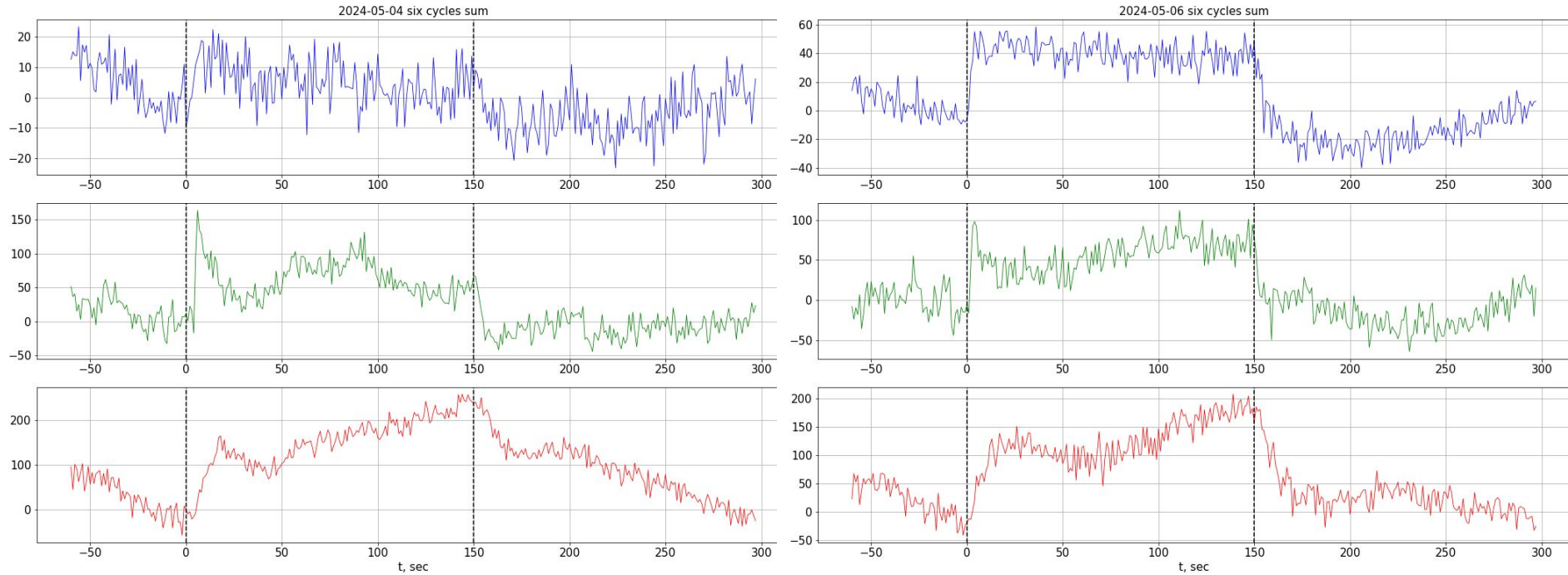
Временной ход интенсивности эмиссий атомарного кислорода 557.7 (зеленым), 630 нм (красным) и полосы ионов молекулярного азота $1\text{NGN}_2^+(0-0)(0-0)$ 391.4 нм (синим). Данные получены 29 августа 2024 года с помощью трехканального фотометра. Верхняя панель - исходные данные. Нижние панели - данные с удаленным трендом. Цветом показаны периоды включения излучения стенда.



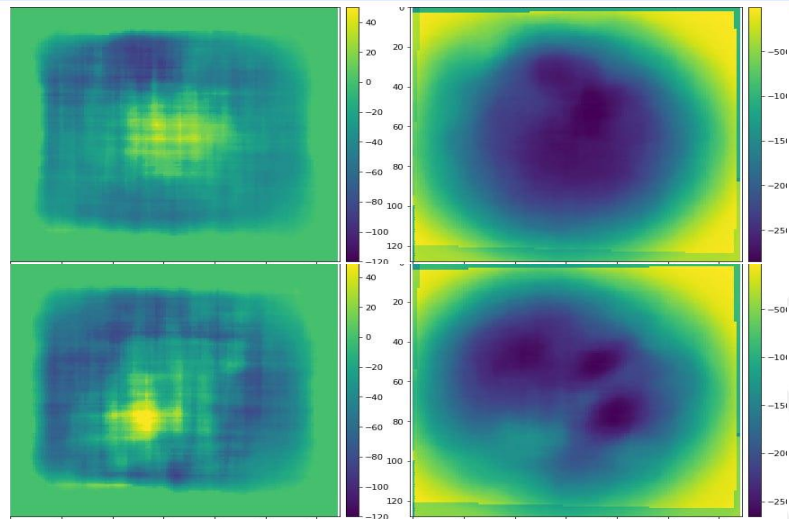
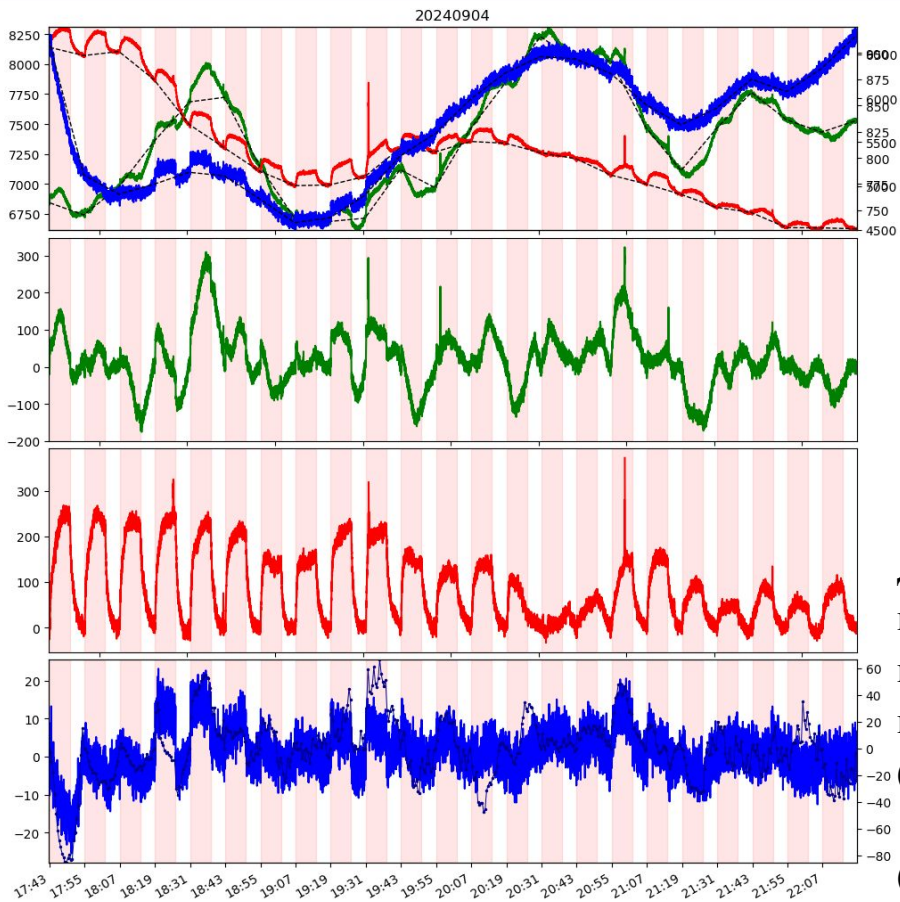
Временной ход интенсивности эмиссий атомарного кислорода 557.7 (зеленым), 630 нм (красным) и полосы ионов молекулярного азота $1\text{NGN}_2^+(0-0)(0-0)$ 391.4 нм (синим). Данные получены 30 августа 2024 года с помощью трехканального фотометра. Верхняя панель - исходные данные. Нижние панели - данные с удаленным трендом. Цветом показаны периоды включения излучения стенда.



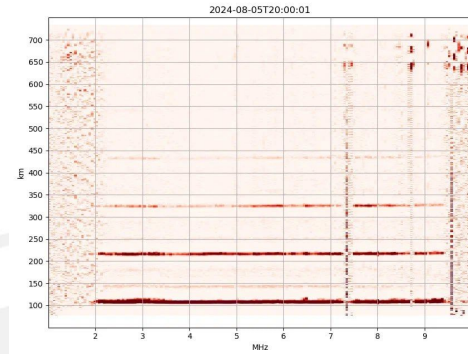
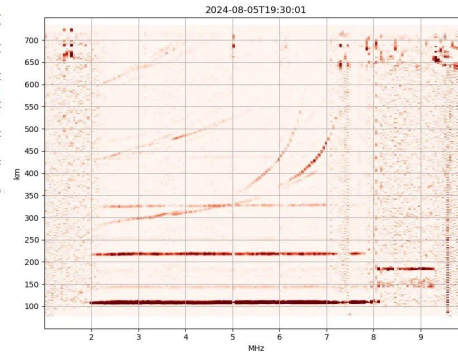
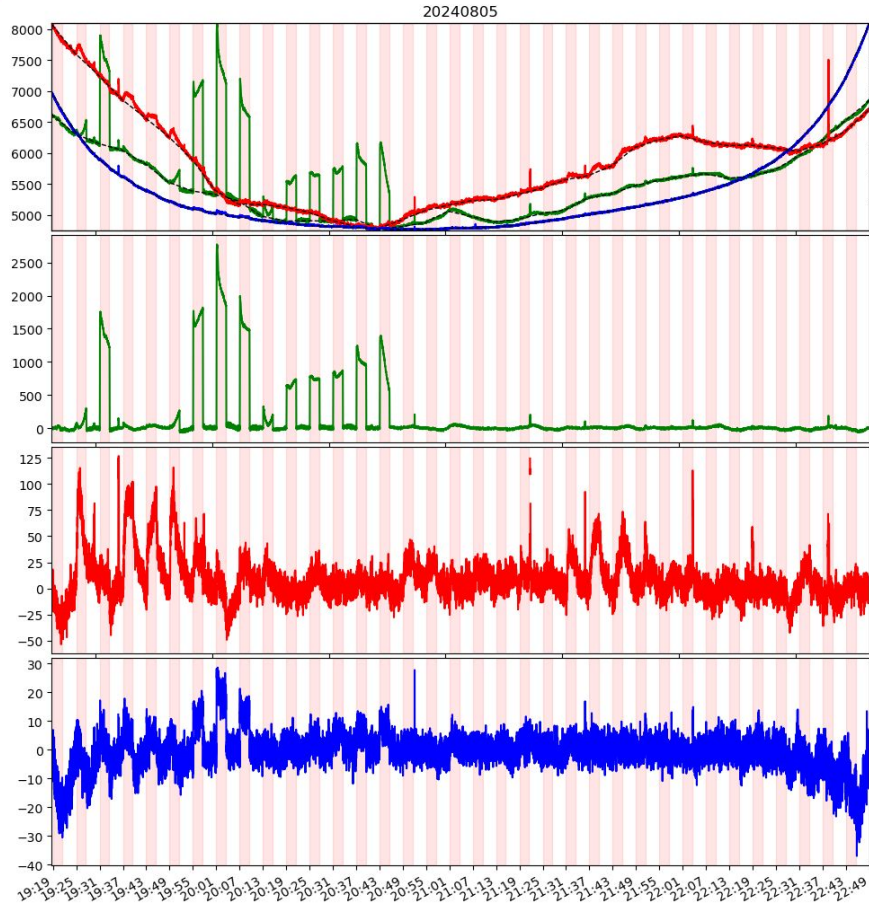
Временной ход интенсивности эмиссий атомарного кислорода 557.7 (зеленым), 630 нм (красным) и полосы ионов молекулярного азота $1\text{NGN}_2^+(0-0)$ 391.4 нм (синим). Данные получены 1 сентября 2024 года с помощью трехканального фотометра. Верхняя панель - исходные данные. Нижние панели - данные с удаленным трендом. Цветом показаны периоды включения излучения стенда.



“Метод наложенных эпох” для 5-ти циклов нагрева 04.05.24 (левая панель, частота ВН - $f_0 = 5828$ кГц) и 06.05.24 (правая панель, частота ВН - $f_0 = 5520$ кГц). Красная кривая - 630 нм, зелёная - 557,7 нм, синяя - 391,4 нм. Вертикальные пунктирные линии - момент начала нагрева и его завершения. Время в секундах, отсчитывается от момента начала нагрева



Данные фотометра (левая панель) за 04.09.2024). На правой верхней панели показаны кадры камеры Andor в полосе ионов молекулярного азота 1NGN_2^+ (0-1) 427.8 нм во время воздействия на ионосферу излучения стенда СУРА (верхняя левая и нижняя левая панели, 18:21:30 UT и 19:31:30 UT соответственно) и во время ближайшей паузы (правые панели).

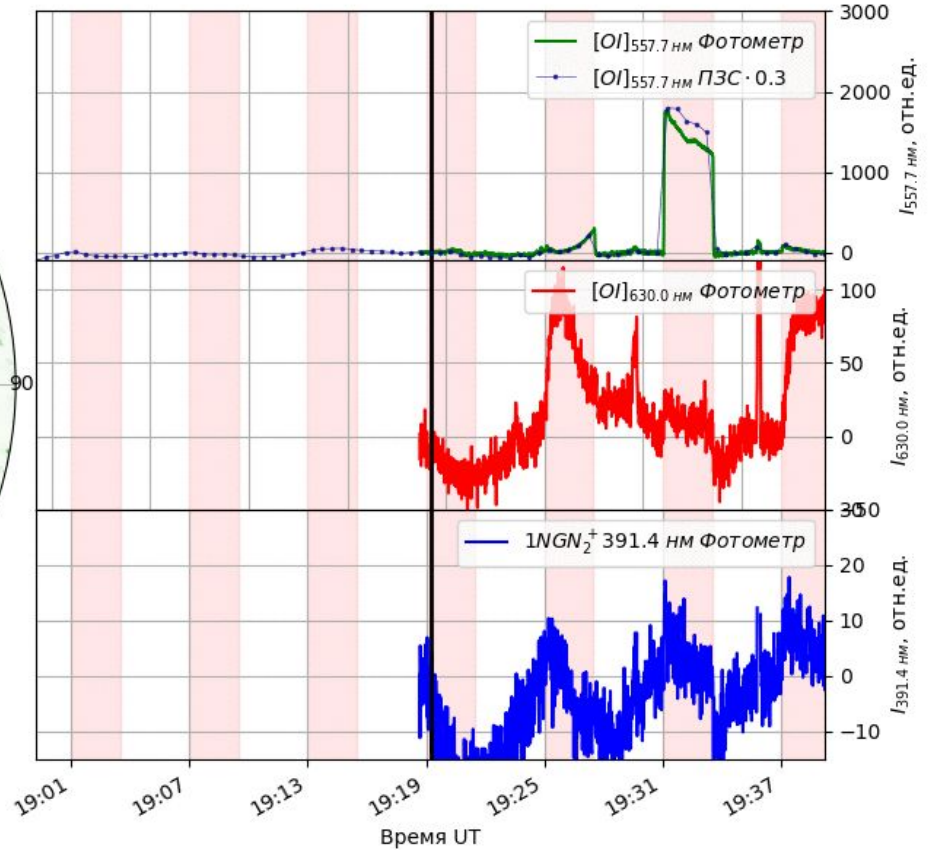
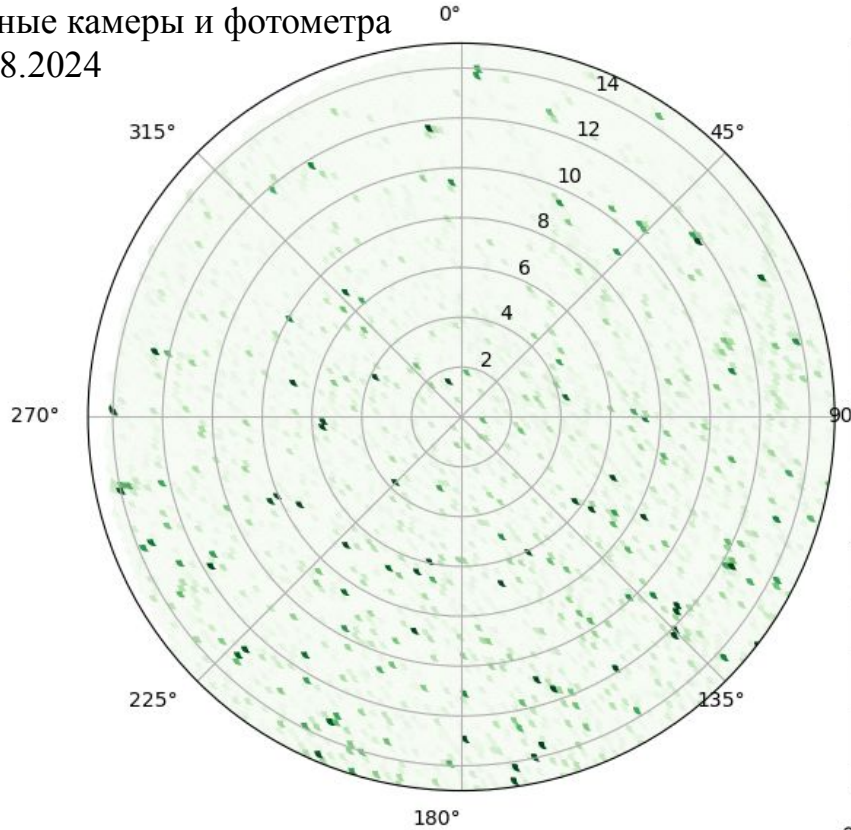


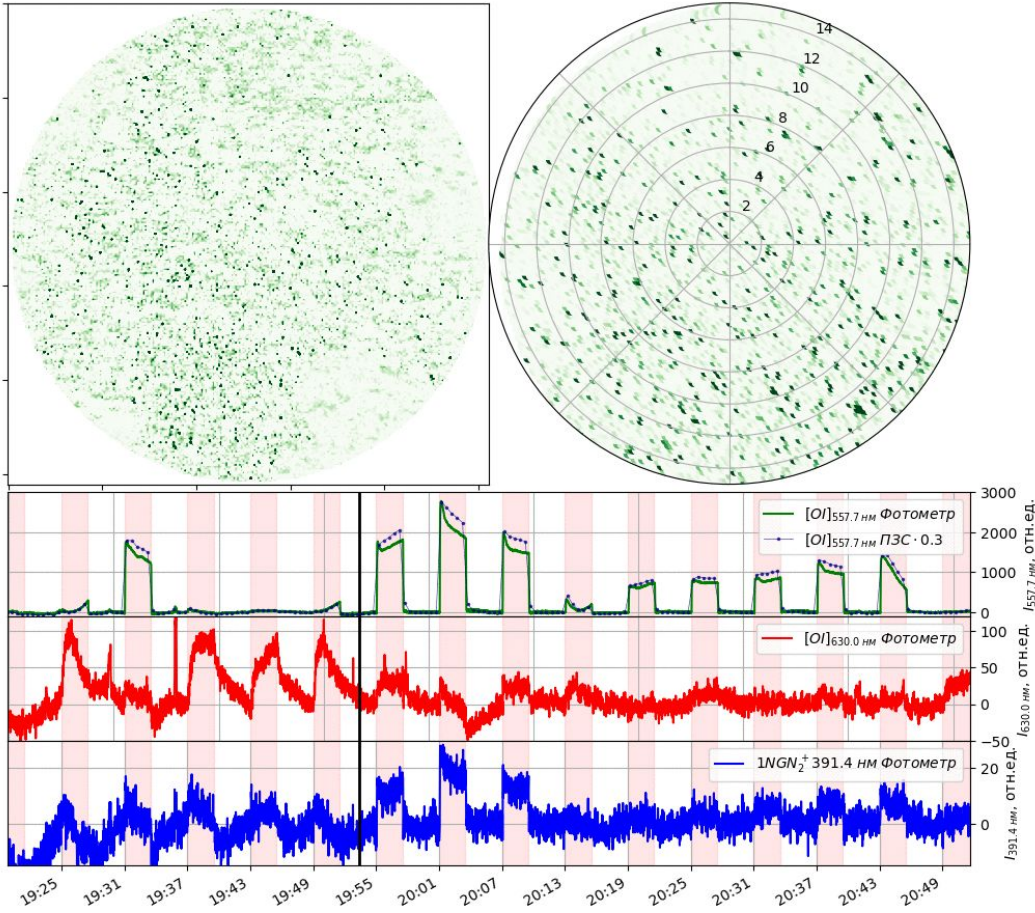
Данные ионозонда CADI 19:30 UT (слева) и 20:00 UT (справа)

Временной ход интенсивности эмиссий атомарного кислорода 557,7 (зеленым), 630 нм (красным) и полоса ионов молекулярного азота 1NGN_2^+ (0-0) 391.4 нм (синим). Данные получены 5 августа 2024 года с помощью трехканального фотометра. Верхняя панель - исходные данные. Нижние панели - данные с удаленным трендом. Цветом показаны периоды включения излучения стенда.



Данные камеры и фотометра
05.08.2024





На верхней левой панели показаны кадры обзорной RGB камеры (зеленый канал).

На верхней правой панели показаны кадры камеры с интерференционным фильтром с центром пропускания 557.7 нм и полушириной 10 нм.

Данные трехканального фотометра за 05.08.2024 (нижние панели).



Заключение

В отличие от предыдущих экспериментальных кампаний, в 2024 году наряду с ИОС в линии 630 нм регулярно наблюдалось ИОС в линии 557.7 нм и в полосе 1NGN_2^+ , как с помощью фотометра, так и с помощью ПЗС камер. Причем отмечались случаи регистрации ИОС в этих линиях как с высот F2 слоя ионосферы, так и с высот развития спорадического E слоя ионосферы, что подтверждается данными ионозода и поведением ИОС в линии 630 нм. Необходимо отметить, что ИОС в полосе 1NGN_2^+ на стенде СУРА с помощью ПЗС камеры зарегистрирована впервые. Интенсивность ИОС в линии 557.7 нм 05 августа 2024 года во время развития мощного Es слоя ионосферы по предварительным оценкам составила не менее 1 кРл. Экстремальное увеличение интенсивности ИОС зарегистрировано с помощью фотометра и двух ПЗС камер.



ИНСТИТУТ СОЛНЕЧНО-ЗЕМНОЙ ФИЗИКИ
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

Спасибо за внимание!