

Возмущения свечения атмосферы на длине волны 630,0 нм при воздействии на ионосферу высокочастотного радиоизлучения стенда СУРА

А.Б. Белецкий¹, И.А. Насыров², Т.Е. Сыренова¹, Д.А. Когогин², В.О. Дементьев³, В.В. Емельянов², Р.В. Васильев¹

¹ ИСЗФ СО РАН, г. Иркутск, Россия

² ФГАОУ ВО «КФУ», г. Казань, Россия

³ АО НПО Государственный институт прикладной оптики (ГИПО), Казань, Россия

E-mail: beletsky@mail.iszf.irk.ru

В работе представлены результаты анализа большого массива данных экспериментальных кампаний 2012-2022 годов по регистрации свечения ионосферы в периоды воздействия на ионосферу мощного коротковолнового излучения стенда СУРА. Исследование было ориентировано на поиск перемещающихся волновых возмущений в верхней атмосфере Земли, индуцированных воздействием стенда СУРА. 7 и 10 августа 2021 зарегистрированы практически идентичные по форме и дальнейшему поведению перемещающиеся в противоположных направлениях образования слабой интенсивности протяженностью не менее 400 км. 7 августа 2021 г оцененная скорость движения фронта на юго-запад составила ~104 м/с, на северо-восток ~127 м/с. 10 августа 2021 г скорость движения фронта на юго-запад составила ~71 м/с, на северо-восток ~142 м/с. Ранее образования подобной структуры и поведения нами не регистрировались. Проведен анализ геомагнитной обстановки и состояния ионосферы для дней, в которых были зарегистрированы эти образования и для остальных дней экспериментальной кампании августа 2021 года. Зарегистрированные перемещающиеся структуры на данный момент нельзя однозначно связать с излучением стенда СУРА. Источник их на данный момент неясен.

Ключевые слова: ионосфера, мощная радиоволна, объект СУРА, искусственное свечение воздуха, акустико-гравитационные волны, камера всего неба, перемещающиеся ионосферные возмущения, атмосферное излучение

Dynamics of 630 nm airglow wave structures at the upper atmosphere detected during the SURA facility phases of operation

A.B. Beletsky¹, I.A. Nasyrov², T.E. Syrenova¹, D.A. Kogogin², V.O. Dementiev³, V.V. Emelianov², R.V. Vasiliev¹

¹ Institute of Solar--Terrestrial Physics SB RAS.

² Institute of Physics, Kazan Federal University.

³ SCS "Scientific and production amalgamation State Institute of Applied Optics".

The paper presents the results of a large data array analysis of experimental campaigns from 2012 to 2022 aimed at recording the ionospheric glow during the impact periods of the high-power radio emission at the SURA facility. The detection of traveling wave disturbances manifested in the airglow of atomic oxygen 630 nm caused by the influence of the SURA facility was the goal of this analysis. Except for two cases, no differences were found for periods with and without the influence of radio emissions on the ionosphere from the SURA facility. On 7 and 10 August 2021 almost identical in form and subsequent behavior weak intensity wave structures were detected moving in opposite directions from the site of the SURA facility with a length of at least 400 km. On August 7, 2021, the estimated front velocity was 104 m/s to the southwest and 127 m/s to the northeast. On August 10, 2021, the front speed was 71 m/s and 142 m/s along the same directions, respectively. Such structures and their behavior have not been recorded by us before. A complex analysis of the heliogeomagnetic and ionospheric data for the August 2021 experimental session, including the days when traveling wave

structures were detected, is presented in the paper. Unfortunately, we cannot unambiguously associate the detected traveling wave structures with the pumping regime of the SURA facility at this time. The source of these wave structures is still unclear.

Keywords: ionosphere, powerful radio wave, the SURA facility, artificial airglow, acoustic-gravity waves, all-sky camera, traveling ionospheric disturbances atmospheric emission

Введение

В работах [1,2] сообщается о регистрации перемещающихся ионосферных возмущений (ПИВ), индуцированных воздействием на ионосферу мощного коротковолнового радиоизлучения стенда Сура. Установлено, что эти ПИВ могут распространяться на значительные (до 1000 км) расстояния как вдоль, так и поперек силовых линий магнитного поля Земли. Из-за различия коэффициентов амбиполярной диффузии вдоль и поперек магнитного поля в ионосфере распространение искусственных возмущений заряженной компоненты на столь большие расстояния невозможно. Предположительно, перемещение таких возмущений может осуществляться за счет нейтральной компоненты верхней атмосферы. В то же время концентрация заряженных частиц, на которые непосредственно воздействует мощное коротковолновое излучение, на высотах F-области ионосферы по сравнению с нейтральными атомами весьма мала. Таким образом, вопрос о механизмах генерации перемещающихся волновых возмущений под воздействием мощной электромагнитной волны на верхнюю атмосферу остается открытым.

Одним из наиболее информативных методов обнаружения перемещающихся волновых возмущений в нейтральной атмосфере на высотах F-области ионосферы является регистрация пространственного распределения интенсивности излучения атомарного кислорода ОI (630,0 нм), высвечивающегося на этих высотах. Такие наблюдения проводятся с помощью наземных широкоугольных оптических систем, оснащенных узкополосными интерференционными фильтрами.

В работе [3] впервые были зафиксированы волновые структуры, вызванные внутренними гравитационными волнами (ВГВ) с помощью камеры всего неба. С 1990-х годов для наблюдения возмущений интенсивности излучения ОI (630,0 нм) широко используются камеры всего неба с использованием высокочувствительных охлаждаемых устройств с зарядовой связью [4,5]. Источниками таких возмущений могут быть метеорологические процессы, конвекция в тропосфере [6], геомагнитная активность [7], землетрясения [8], вулканы, особенности местности, прохождение солнечного терминатора [9], а также последствия техногенной деятельности, например, запуски космических аппаратов, взрывы и т.п. Данная работа посвящена поиску и анализу перемещающихся возмущений интенсивности эмиссии атомарного кислорода с длиной волны 630 нм в периоды воздействия на ионосферу мощного коротковолнового излучения установки СУРА.

Экспериментальная установка и оборудование

Проведен анализ большого массива данных экспериментальных кампаний с 2012 по 2022 год по регистрации свечения ионосферы, стимулированного мощным коротковолновым излучением стенда СУРА. Измерения проводились с помощью широкоугольной оптической системы КЕО Sentinel, установленной в разные годы как в непосредственной близости от стенда СУРА (поселок Васильсурск, Нижегородская область, 56.10° с.ш., 46.10° в.д., 2012 - 2015 гг.), так и на расстоянии 170 км. восточнее объекта (Раифская магнитная обсерватория КФУ, село Бело-Безводное, Республика Татарстан, 55.56° с.ш., 48.45° в.д., 2016 - 2022 гг.). Оптическая система КЕО Sentinel предназначена для регистрации пространственного распределения интенсивности атмосферного излучения 630 нм и имеет следующие основные характеристики: поле

зрения $\sim 145^\circ$, полуширина интерференционного фильтра 2 нм, время экспозиции в ходе эксперимента выбрано в диапазоне от 15 до 60 с. На рис. 1 показано примерное поле зрения оптической системы KEO Sentinel для высоты 300 км, установленной в магнитной обсерватории КФУ «Раифа» и диаграмма направленности комплекса СУРА. Поле зрения показано с учетом препятствий, ограничивающих обзор в месте установки камеры.

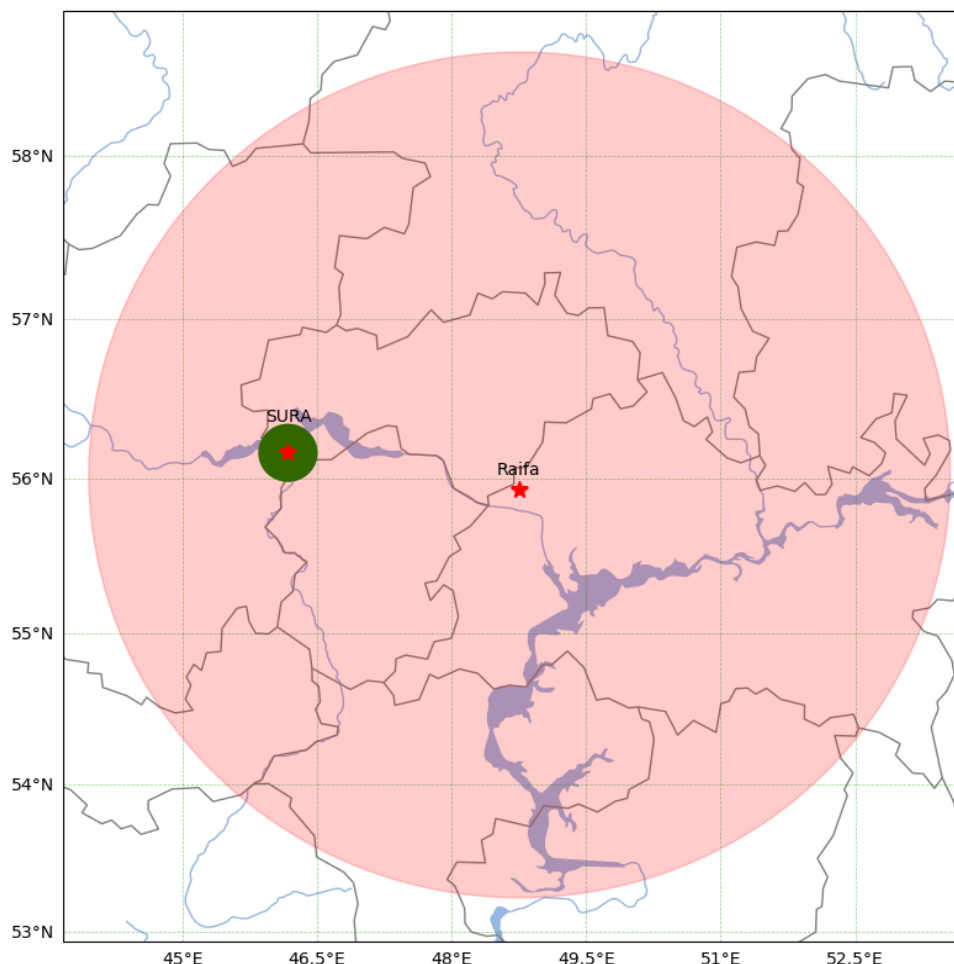


Рис. 1. Поле зрения оптической системы KEO Sentinel, установленной в Магнитной обсерватории КФУ «Раифа» (красный) цвет. Поле зрения, ограниченное препятствиями, составляет $\sim 100^\circ$. Зеленым цветом показана диаграмма направленности антенной системы объекта СУРА.

Оптические измерения в основном проводились во время работы установки СУРА. Кроме того, при благоприятных погодных условиях оптическая система работала после выключения стенда до рассвета. В ряде сеансов наблюдений по изучению естественной волновой активности оптическая система запускалась в те дни, когда установка СУРА не включалась. В ходе эксперимента фоновая ионосферная обстановка регистрировалась ионозондом CADI за минуту до включения непрерывной накачки.

Методика обработки данных

Для поиска перемещающихся волновых возмущений в данных оптических систем, используемых в ходе экспериментальных кампаний на установке СУРА с 2012 по 2021 гг. была адаптирована ранее разработанная методика [10]. Данная методика использовалась для аналогичных задач при регистрации естественного свечения верхних слоев атмосферы Земли. Методика позволяет в автоматическом режиме выделять и

оценивать основные параметры волновых структур на изображениях широкоугольной камеры. Кроме того, промежуточными продуктами методики являются кадры с контрастными периодическими структурами, что позволяет оператору осуществлять более эффективную обработку вручную. Алгоритм включает в себя несколько последовательных этапов. На первом этапе использовался модифицированный метод временного дифференцирования (TD) [11]. Идея алгоритма обработки заключается в построении картины разности интенсивностей между последовательными кадрами. На рис. 2 показан принцип использования TD-метода для последовательных изображений. Прежде всего интегрируются изображения, полученные за определенный интервал времени. Далее происходит попиксельное вычитание двух интегрированных кадров. При этом все стационарные объекты исключаются и на полученном кадре остается картина изменения пространственного распределения ночного свечения. Затем два последовательных кадра, полученные таким образом, снова вычитаются друг из друга для улучшения контраста неоднородностей изображения.

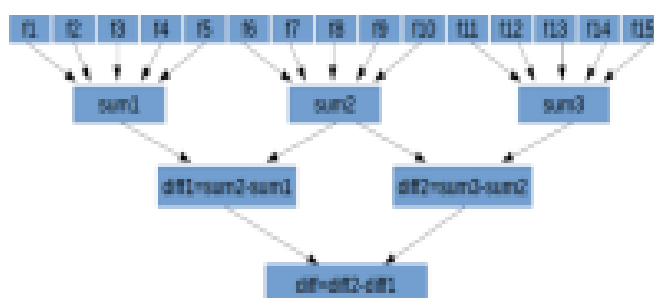


Рис. 2. Схема применения TD-метода

На рис. 3 показаны этапы обработки кадров оптической системы с обнаружением перемещающихся волновых возмущений. В месте расположения оптической системы поле зрения ограничено (деревья, антенны и т.п.). На рис. 3 показаны кадры с примененной маской, отсекающей объекты, загораживающие поле зрения. Расположение камер менялось, в том числе во время одной экспериментальной кампании. Поэтому маска рассчитывалась отдельно для каждого сеанса измерений.

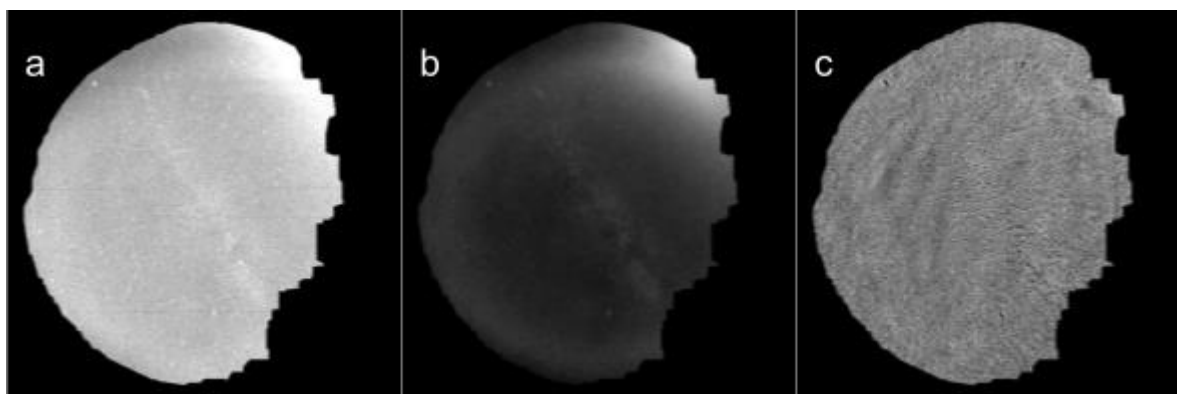


Рис. 3. Кадры оптической системы КЕО Sentinel, зарегистрированные 26 августа 2014 г. а) контрастированный кадр, б) усреднение по 5 кадрам, в) результат TD-метода.

Для анализа также использовались данные основных геомагнитных индексов за весь период экспериментальной кампании в августе 2021 г., полученные из открытых источников [12–14]. Получены данные о состоянии ионосферы во время работы стенда СУРА с помощью ионозонда CADI. Измерены высоты максимума слоя F_2 (hmF_2) и E_s , критическая частота foF_2 и fxF_2 слоя F_2 и частота E_s . Высоты ленгмюровского (h_L) и

верхнего гибридного (h_{UH}) резонансов, а также толщину резонансного слоя dh рассчитывали следующим методом. Зная критическую частоту ионосферы, можно построить высотный профиль электронной концентрации, используя эталонную модель ионосферы IRI (International Reference Ionosphere – IRI (2016) [15]. В точке отражения радиоволны обычной (O) поляризации, распространяющейся в направлении вверх, его частота совпадает с собственной частотой продольных ленгмюровских колебаний плазмы $F_0 = F_L$. С увеличением высоты ионосферы h плотность плазмы N меняется, и для мощной волны с заданной частотой F_0 существует целый резонансный слой: на нижней границе слоя возникает верхний гибридный резонанс $F_0 = F_{UH}(h_{UH})$ достигается на верхней границе - ленгмюровский резонанс $F_0 = F_L(h_L)$ [16].

Результаты

В результате анализа данных 79 сеансов ручного наблюдения выявлено 17 случаев появления средне- и крупномасштабных перемещающихся волновых возмущений. Значимых отличий для периодов времени с воздействием и без воздействия радиоизлучения на ионосферу от установки СУРА не обнаружено. Интересны данные, зарегистрированные 7 и 10 августа 2021 г. при установке оптической системы в магнитной обсерватории КФУ. Практически одинаковые по форме и последующему поведению образования слабой интенсивности наблюдались 7 и 10 августа 2021 года сразу после включения оптической системы. Кадры оптической системы KEO Sentinel, зарегистрированные 7 и 10 августа 2021 года, показаны на рис.4 и рис.5 соответственно.

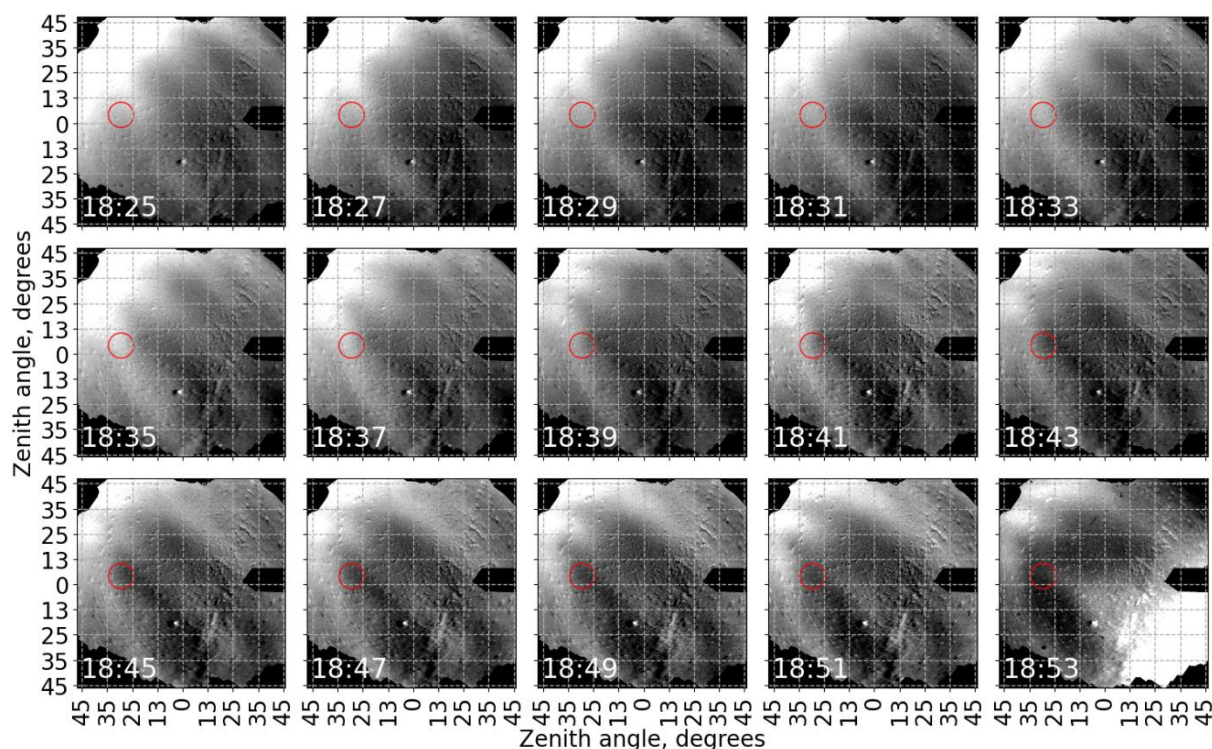


Рис. 4. Кадры системы KEO Sentinel, зарегистрированные 7 августа 2021 года. Красной окружностью показано расчетное положение пятна свечения, индуцированного излучением установки СУРА (пятно свечения не различимо на представленных кадрах)

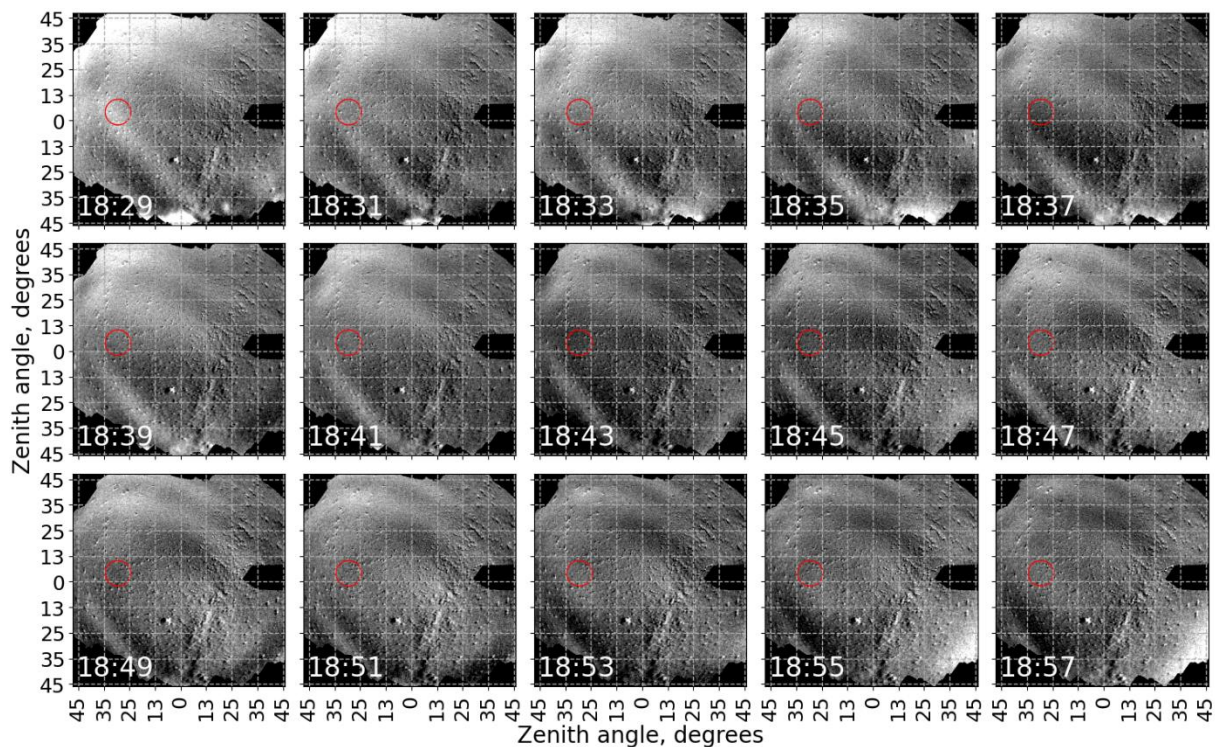


Рис. 5. Кадры системы КЕО Sentinel, зарегистрированные 7 августа 2021 года. Красной окружностью показано расчетное положение пятна свечения, индуцированного излучением установки СУРА (пятно свечения не различимо на представленных кадрах)

Наблюдается движение одиночной волны протяженностью не менее 400 км на юго-запад и движение структуры подобного пространственного масштаба на северо-восток. 7 августа 2021 г. расчетная скорость движения фронта на юго-запад составила ~ 104 м/с. На северо-восток ~ 127 м/с. Оценка дана для высоты 300 км (примерная высота максимума ионосферы слоя F_2 по данным ионозонда). 10 августа 2021 г. расчетная скорость фронта, движущегося на юго-запад, составила ~ 71 м/с. На северо-восток ~ 142 м/с. Режим работы установки СУРА для оптических экспериментов 7 и 10 августа 2021 года был следующий: частота волны накачки 4,3 МГц, ориентация диаграммы направленности антенны – вертикальная, режим излучения 2,5 мин излучение, затем 3,5 мин пауза. 7 августа 2021 года установка работала в экспериментальном режиме для оптических измерений с 18:31 до 18:58 UT, 10 августа с 18:31 до 20:25 UT. Кроме того, перед выходом установки в режим оптического эксперимента она была включена в следующих режимах: 7 августа 2021 г. с 18:18 до 18:31 UT установка непрерывно излучала с частотой волны накачки 4,3 МГц; направленность – вертикальная; 10 августа 2021 года с 18:20 до 18:26 UT установка излучала непрерывно с аналогичными параметрами. Измерения с идентичными параметрами излучения установки СУРА, ориентированной на оптический эксперимент, и такими же параметрами регистрации оптической системы КЕО Sentinel были проведены также 5, 8 и 11 августа 2021 года. Однако подобных образований в ходе эти дни измерений отмечено не было. Ранее включение установки (до выхода на программу оптического эксперимента) было осуществлено 5, 7 и 10 августа 2021 года. При этом крупномасштабные перемещающиеся структуры в свечении атмосферы были зафиксированы только 7 и 10 августа. На верхней панели рисунка 6 показаны геомагнитные индексы Dst, Kp и Ap [12] для всего периода экспериментальной кампании в августе 2021 г. На нижней панели рисунка 6 показаны глобальный индекс ионосферной возмущенности Wp [13] и локальный индекс геомагнитной возмущенности K [14] за тот же период времени.

Цветом выделены периоды включения установки СУРА и оптической системы КЕО Sentinel. Оптические измерения начинались примерно в одно и то же время во время всех сессий кампании. 5 августа (выделено желтым на рисунке 6), 7 и 10 августа (выделено красным на рисунке 6) нагрев ионосферы установкой СУРА включился раньше, чем 8 и 11 августа (выделено черным) на 11 -13 минут.

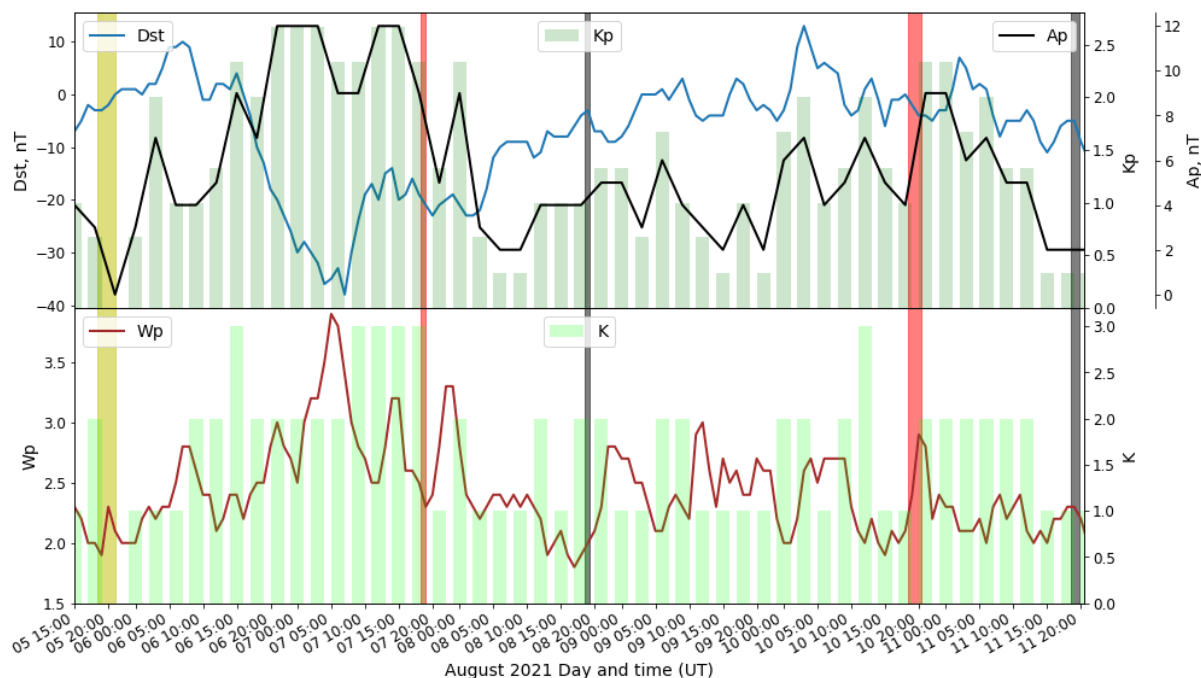


Рис. 6. Верхняя панель – геомагнитные индексы Dst (синяя кривая), Kp (зеленым) и Ap (черная кривая) с 5 по 11 августа 2021 г. Нижняя панель — индексы Wp (коричневый) и K (светло-зеленый). Периоды работы установки СУРА и оптической системы выделены цветом: серый – позднее включение нагрева (после захода солнца); желтый – раннее включение без регистрации крупномасштабных структур; красный - раннее включение с регистрацией крупномасштабных структур

Далее подробнее рассмотрены сеансы с ранним включением стенда СУРА. На рисунке 7 показаны параметры ионосферы за 5, 7 и 10 августа 2021 года по данным ионозонда CADI. Следует отметить, что во все дни на ионограммах присутствует Es-компонента, иногда даже перекрывающая видимость O- и X-компонент слоя F₂. 8 августа 2021 г. в интервале 17:00-20:48 UT наблюдается блокирующий Es-слой, из-за чего O- и X-компоненты на ионограммах плохо видны; поэтому определение значений критической частоты foF₂ затруднено и определяется с некоторой неточностью.

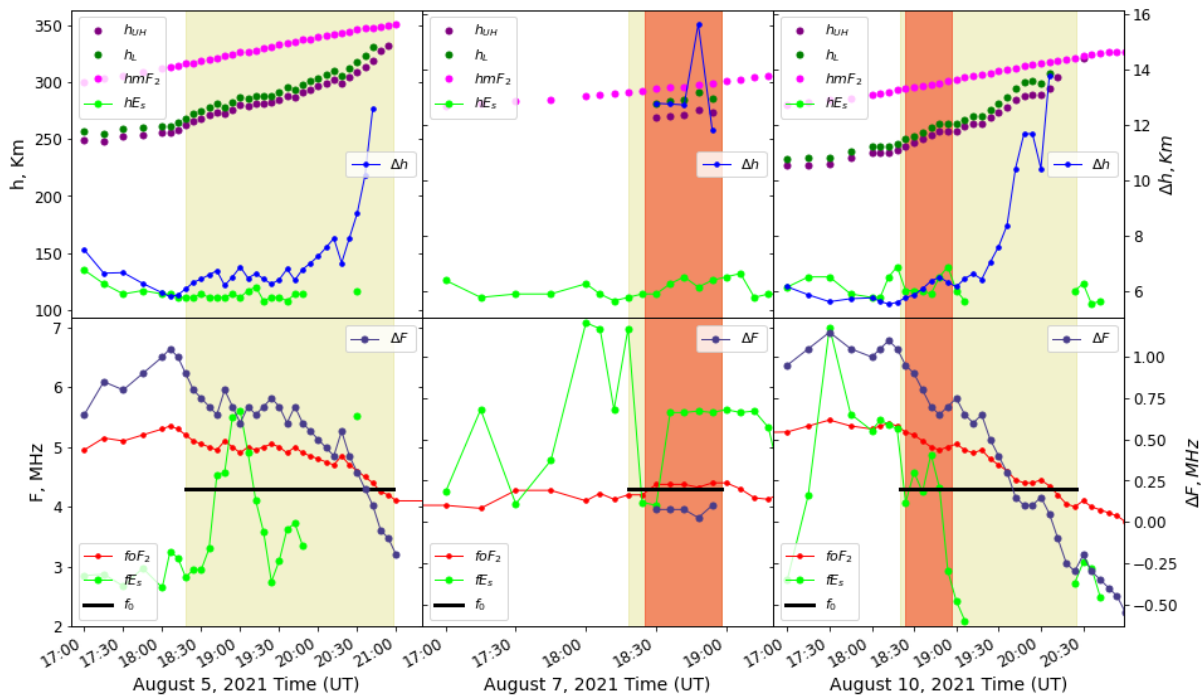


Рис. 7. Параметры ионосферы по данным ионозонда CADI за 5, 7 и 10 августа 2021 г. Верхняя панель - высоты максимума слоя F₂ (hmF₂), ленгмюровский резонанс (h_L), верхний гибридный резонанс (h_{UH}) и толщины резонансного слоя Δh. Нижняя панель – частота накачки установка СУРА (F₀), критическая частота (foF₂) и разность частот ΔF между foF₂ и F₀. Периоды работы стенда СУРА и периоды регистрации крупномасштабных структур выделены желтым и красным цветом соответственно

Обсуждение

Измерения с идентичными параметрами излучения установки СУРА, ориентированной на оптический эксперимент, и регистрация параметров оптической системы КЕО Sentinel проводилась 5, 7, 8, 10 и 11 августа 2021 года. Перемещающиеся крупномасштабные структуры были зафиксированы только 7 и 10 августа 2021 года. Ранее включение установки (до выхода на программу оптического эксперимента) проводилась 5, 7 и 10 августа 2021 года. Геомагнитная обстановка в дни эксперимента была достаточно спокойной (см. рис. 6). Индекс K_p не превышал 3 в течение всей экспериментальной кампании. Следует отметить, что геомагнитная активность в дни регистрации крупномасштабных структур (7 и 10 августа 2021 г.) была несколько выше по сравнению с другими днями. По данным ионозонда CADI, 7 и 10 августа высота максимума ионосферного слоя F₂ (hmF₂, см. рис. 6) при появлении структур в эмиссии 630 нм изменялась от ~290 км (18:20 UT) до ~300 км. (19:00 МСК). 5 августа hmF₂ была выше примерно на 25 км и менялась за время нагрева от ~316 км (18:20 UT) до ~326 км (19:00 UT). При этом расчетные значения высот Ленгмюровского резонанса (h_L) и верхнего гибридного резонанса (h_{UH}) для 18:30 UT составили соответственно: 05.08 - ~275 км и ~268 км; 07.08 – ~282 км и ~269 км; 10.08 - ~252 км и ~247 км. Кроме того, в эти дни наблюдался спорадический E-слой ионосферы, который может частично или полностью блокировать распространение волны накачки до высоты F-слоя ионосферы. Особенно мощный E_s наблюдался 7 августа 2021 года. В то же время 7 августа были зарегистрированы перемещающиеся крупномасштабные структуры в эмиссии атомарного кислорода 630 нм, что не согласуется с гипотезой о том, что эти структуры генерируются воздействием стенда СУРА. Свечение O(1D) 630 нм излучается на высотах слоя F₂ ионосферы из-за большого времени жизни метастабильного уровня O(1D) (~134 с) [17]. В связи с вышеизложенным крупномасштабные перемещающиеся

структуры в излучении 630 нм, зарегистрированные 7 и 10 августа 2021 г., в настоящее время не могут быть однозначно связаны с воздействием стенда СУРА.

Выводы

7 и 10 августа 2021 г. во время воздействия излучения стенда СУРА на ионосферу зафиксированы крупномасштабные перемещающиеся структуры, источник которых в настоящее время неизвестен. Наблюдается движение одиночной волны длиной не менее 400 км на юго-запад и движение фронта аналогичного пространственного масштаба на северо-восток. Расчетная скорость движения структур на высоте 300 км составила: 7 августа 2021 г. - на юго-запад ~104 м/с, на северо-восток ~127 м/с; 10 августа 2021 г. - на юго-запад ~71 м/с, на северо-восток ~142 м/с. В ходе экспериментальных кампаний с 2012 по 2021 год было проведено 79 сеансов регистрации пространственного распределения интенсивности атмосферного излучения 630 нм при воздействии на ионосферу мощным коротковолновым излучением стенда СУРА. Структуры, подобные зарегистрированным 7 и 10 августа 2021 года, в этих кампаниях не наблюдались. Кроме того, с 2012 г. по настоящее время проводятся мониторинговые измерения с помощью камер всего неба в излучении 630 нм в Геофизической обсерватории ИСЗФ СО РАН (51,48° с.ш., 103,04° в.д.). За весь период наблюдений структур со схожими пространственными характеристиками не зарегистрировано. В известной нам литературе нам также не удалось найти упоминаний о возмущениях с подобной структурой и поведением. Для изучения природы описанных в работе структур необходим углубленный анализ архива кадров камер всего неба, зарегистрированных в околополночное время суток. Кроме того, будет полезно провести дополнительные экспериментальные кампании по регистрации индуцированного свечения атмосферы в предзакатное время.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ №23-27-00323.

Литература

1. Nasyrov, I.; Kogogin, D.; Shindin, A.; Grach, S.; Zagretdinov, R. The measurement of the ionospheric total content variations caused by a powerful radio emission of “Sura” facility on a network of GNSS-receivers. *Advances in Space Research* 2015, 57. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2015.12.008>
2. Kogogin, D.; Nasyrov, I.; Grach, S.; Shindin, A.; Zagretdinov, R. Dynamics of large-scale ionospheric inhomogeneities caused by a powerful radio emission of the Sura facility from the data collected onto ground-based GNSS network. *Geomagnetism and Aeronomy* 2017, 57, 93–106. <https://doi.org/10.1134/S0016793217010054>.
3. Taylor, M.J.; Hargood, M. On the origin of ripple-type wave structure in the OH nightglow emission. *Planetary and space science* 1990, 38, 1421–1430.
4. Mendillo, M.; Baumgardner, J.; Nottingham, D.; Aarons, J.; Reinisch, B.; Scali, J.; Kelley, M. Investigations of thermospheric- ionospheric dynamics with 6300-Å images from the Arecibo Observatory. *Journal of Geophysical Research: Space Physics* 1997, 102, 7331–7343.
5. Taylor, M.J.; Jahn, J.M.; Fukao, S.; Saito, A. Possible evidence of gravity wave coupling into the mid-latitude F region ionosphere during the SEEK campaign. *Geophysical Research Letters* 1998, 25, 1801–1804.
6. Borchevskina, O.; Karpov, I.; Karpov, M.; Korenkova, N.; Vlasov, V.; Leshchenko, V. Impact of meteorological storms on the E-region of the ionosphere in 2017-2018. *Solar-Terrestrial Physics* 2020, 6, 74–79.
7. Medvedev, A.; Ratovsky, K.; Tolstikov, M.; Alsatkin, S.; Scherbakov, A. Studying of the spatial-temporal structure of wavelike ionospheric disturbances on the base of Irkutsk

- incoherent scatter radar and Digisonde data. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics* 2013, 105-106, 350–357. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jastp.2013.09.001>.
8. Piersanti, M.; Materassi, M.; Battiston, R.; Carbone, V.; Cicone, A.; D'Angelo, G.; Diego, P.; Ubertini, P. Magneto- spheric–Ionospheric–Lithospheric Coupling Model. 1: Observations during the 5 August 2018 Bayan Earthquake. *Remote Sensing* 2020, 12. <https://doi.org/10.3390/rs12203299>.
9. Сомсиков В.В., Волны в атмосфере, обусловленные солнечным терминатором. *Геомагнетизм и аэрономия*. 1991, 31, 1–12.
10. Syrenova, T.E.; Beletsky, A.B.; Ratovsky, K.G.; Tolstikov, M.V.; Vasilyev, R.V. Morphology of Traveling Wave Disturbances Recorded in Eastern Siberia in 630 nm Atomic Oxygen Emission. *Atmosphere* 2022, 13. <https://doi.org/10.3390/atmos13020198>.
11. Swenson, G.R.; Mende, S.B. OH emission and gravity waves (including a breaking wave) in all-sky imagery from Bear Lake, UT. *Geophysical research letters* 1994, 21, 2239–2242.
12. WDC for Geomagnetism, Kyoto. Available online: <https://wdc.kugi.kyoto-u.ac.jp/> (accessed on 28.01.2024).
13. IZMIRAN. Ionospheric weather: Planetary storms of total electron content. Available online: <https://www.izmiran.ru/services/iweather/storm/> (accessed on 28.01.2024).
14. Moscow observatory K-index. Available online: <http://serv.izmiran.ru/out/KindMOS/Kind-mos.htm> (accessed on 28.01.2024).
15. NASA - IRI 2016. Available online: https://ccmc.gsfc.nasa.gov/modelweb/models/iri2016_vitmo.php (accessed on 28.01.2024).
16. Gurevich, A.V. Nonlinear effects in the ionosphere. *Physics-Uspokhi* 2007, 50, 1091. https://doi.org/10.1070/PU2007v050n1_1ABEH006212.
17. Khomich, V.; Semenov, A.; Shefov, N. *Airglow as an Indicator of Upper Atmospheric Structure and Dynamics*; Springer Berlin Heidelberg, 2008.