

Авроральные структуры типа андуляций на опустившейся в область субавроральных широт экваториальной кромке аврорального овала

Сафаргалеев В.В.¹, Котиков А.Л.¹, Клименко М.В.²,
Петрищев М.С.¹, Сергушин П.А.¹, Янковский И.С.²

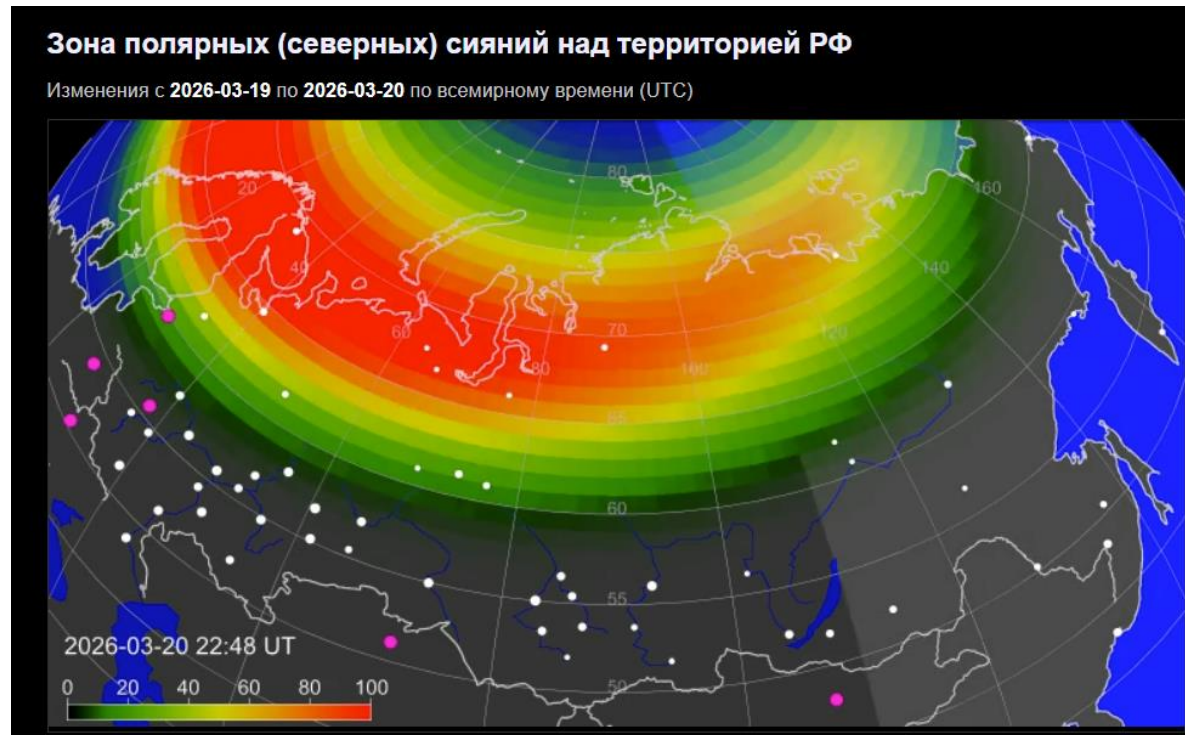
¹СПбФ ИЗМИРАН, Санкт-Петербург

²КФ ИЗМИРАН, Калининград

Физические основы прогнозирования гелиогеофизических процессов и событий
(ПРОГНОЗ-2026)

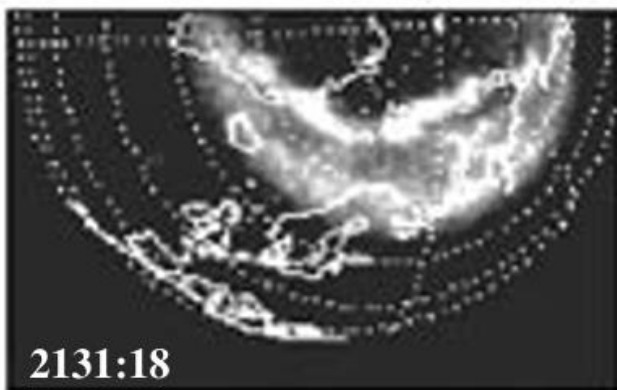
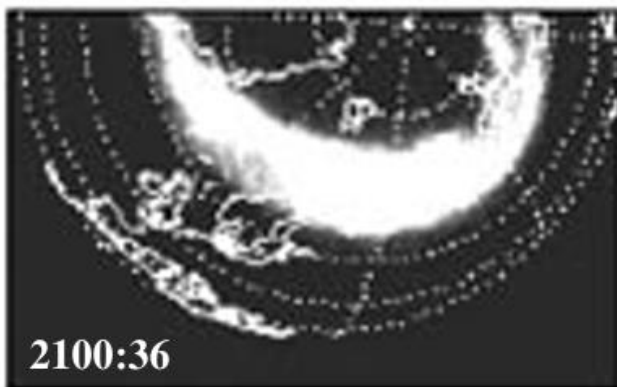
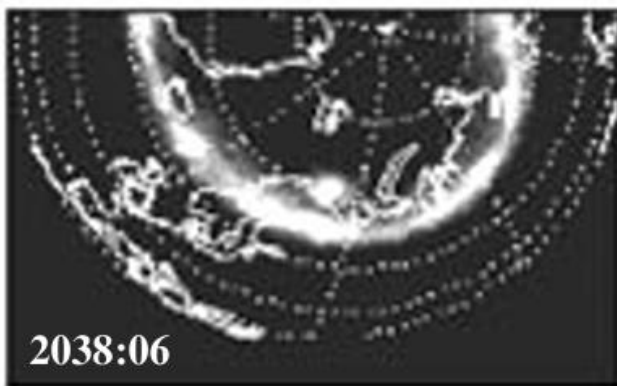
28 мая 2026 г

В последние годы участились случаи «сползания» сияний на юг от традиционного места наблюдений (авроральные широты) в область более низких широт, вплоть до широты Санкт-Петербурга.



Прогноз полярных сияний на ночь 20/21 марта 2026 г, который оправдался и дал возможность подготовить этот доклад

https://xras.ru/aurora.html/saint_petersburg/?m=3&d=20&y=2026



Три возможные причины появления сияний на низких широтах - расширение аврорального овала, сдвиг овала «набекрень» и формирование двойного овала.

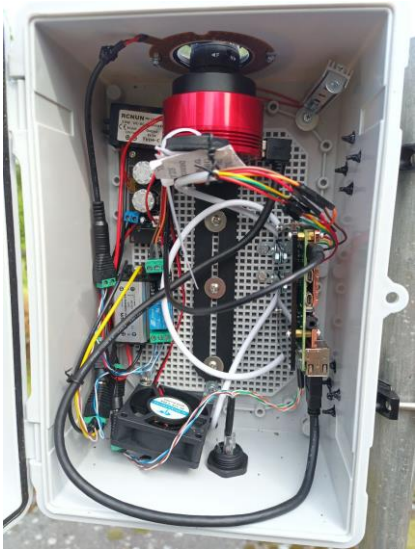
Чтобы понять, какая причина срабатывает, нужна меридиональная цепочка камер от Кольского п-ва до Санкт Петербурга.

До недавнего времени сияния в Карелии и Ленобласти «регистрировались» энтузиастами-любителями.

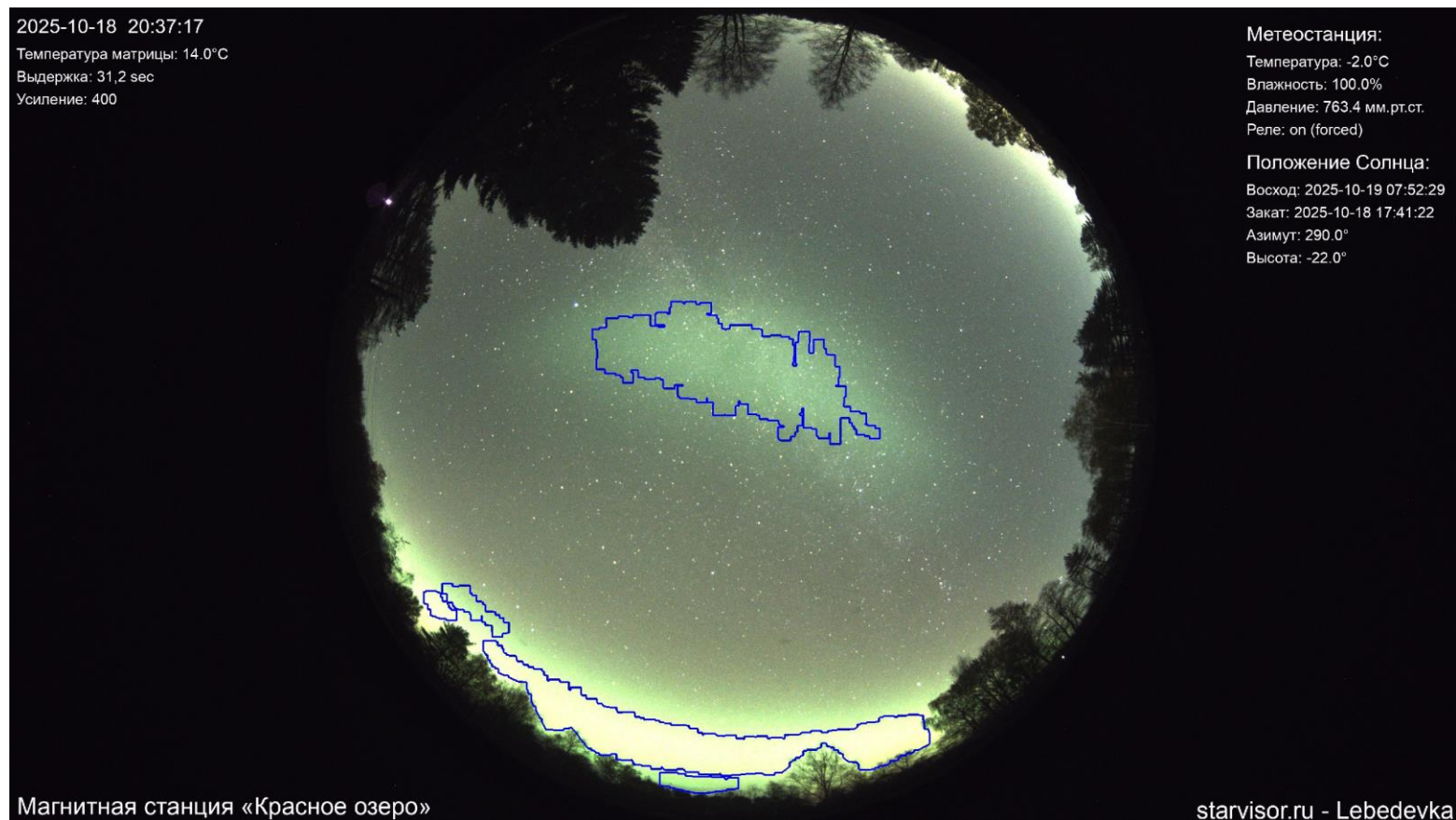
Рисунок по данным спутника IMAGE из работы:
Kornilova, T.A., Kornilov, I.A. & Kornilov, O.I.
Auroral intensification structure and dynamics in the double oval: Substorm of December 26, 2000. *Geomagn. Aeron.* **46**, 450–456 (2006).
<https://doi.org/10.1134/S0016793206040062>



На базе СПбФ ИЗМИРАН на Красном озере (60.5° N, 29.7° E) в зимний сезон 2025-2026 гг работала в тестовом режиме камера полного обзора неба (КФ ИЗМИРАН). Организация мониторинга сияний на базе Красное озеро - первый шаг к пониманию причин сдвига овала сияний в область низких широт.



Рабочие моменты установки камеры на базе СПбФ ИЗМИРАН на Красном озере (60.5° N, 29.7° E). Лето 2025 года.



Пример регистрации сияний камерой в Красном озере. Север внизу. Синим контуром выделена область сияний (предположительно). Данная опция – автоматическое определение наличия на кадре похожего на сияния свечения - помогает исключить из рассмотрения интервалы, когда сияний не было. Для Красного озера это большой объем данных.

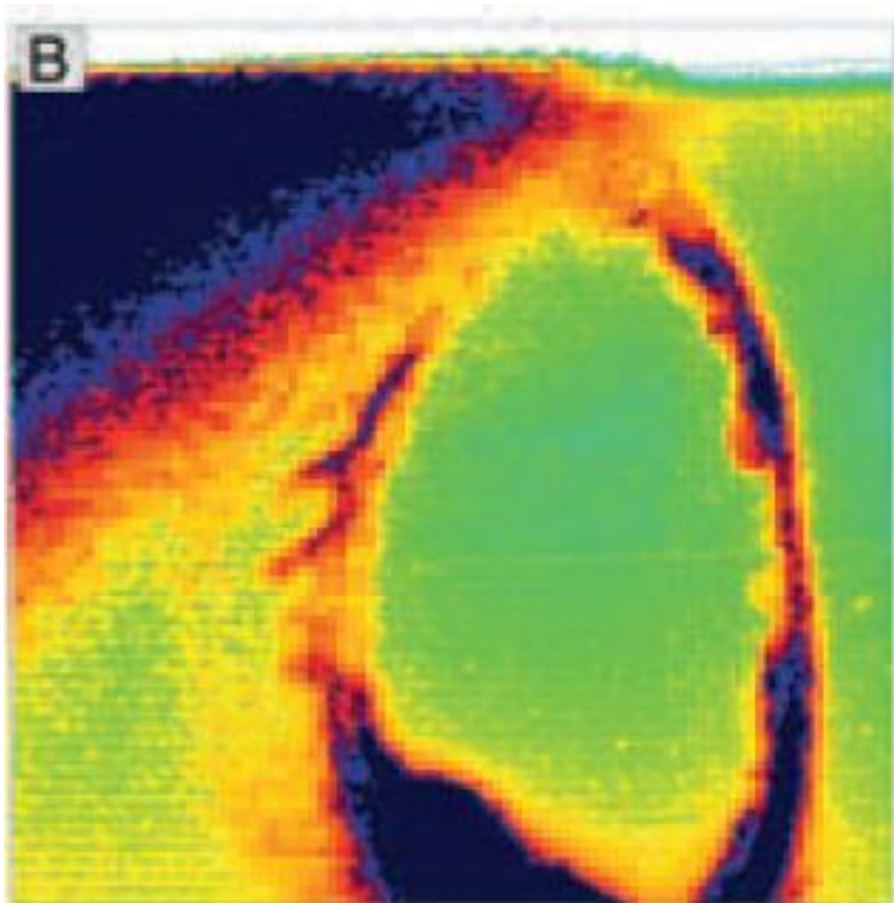
При помощи камеры в Красном озере можно решать следующие задачи:

- Документированная профессиональная фиксация авроральных событий в течение нескольких наблюдательных сезонов.
- Поиск связи актов «сползания» сияний до Красного озера с уровнем магнитной активности в целом, с магнитными бурями и магнитосферными суббурями.
- Поиск связи актов «сползания» сияний до Красного озера с изменениями в межпланетной среде.
- Уточнение морфологии сияний, характерных для экваториальной кромки аврорального овала.

Одной из форм сияний, характерных для экваториальной кромки аврорального овала, являются крупномасштабные волнообразные структуры – так называемые авроральные андуляции.

Эти явления редки как сами по себе, так и из-за необходимости мониторить сияния с земной поверхности в том месте, где они появляются нечасто – на экваториальной кромке овала сияний. То есть большую часть наблюдательного сезона наземная оптическая аппаратура будет работать вхолостую. Поэтому она там и не устанавливается.

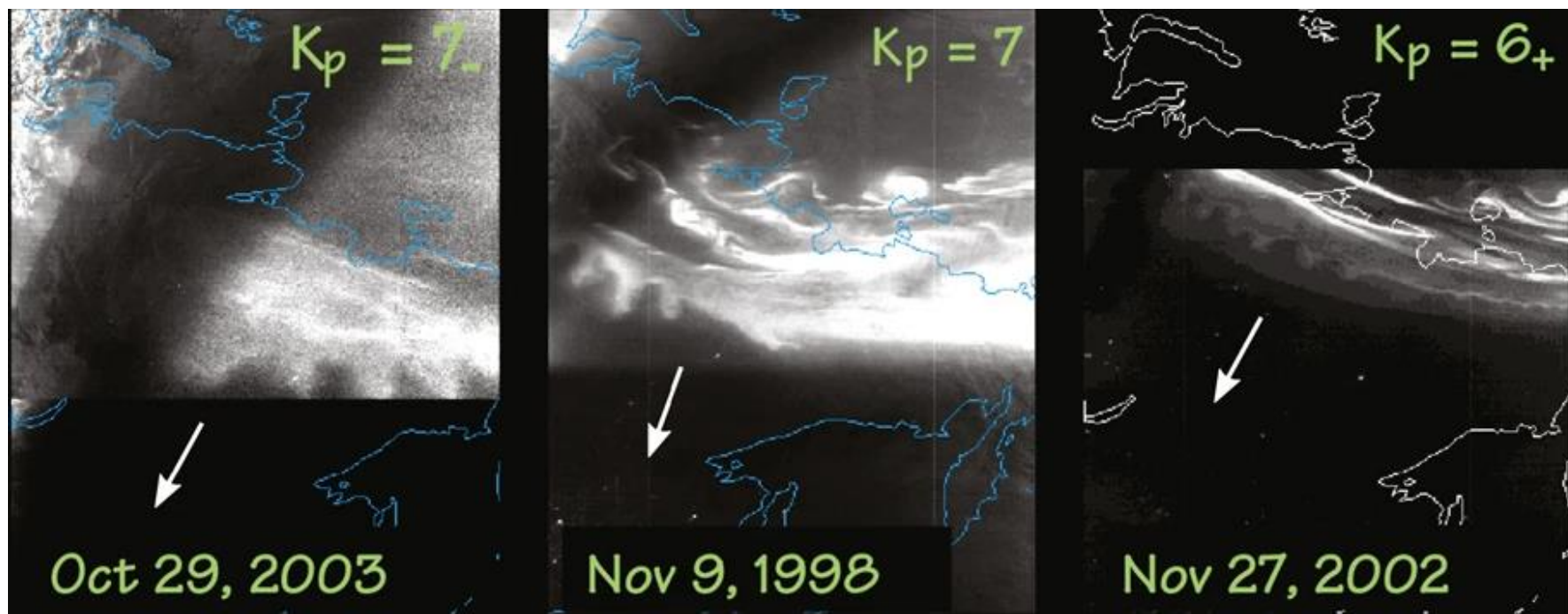
Основную часть исследований составляют *case study* событий, обнаруженных со спутников. Фотографирования овала сияний со спутников POLAR и IMAGE прекратились примерно 20 лет назад. Низкоорбитальные спутники DMSP тоже сейчас не регистрируют сияния.



Снимок WIC (*Wideband Imaging Camera*) с далекого спутника IMAGE волнообразных форм сияний (андуляций) на экваториальной кромке послеполуденно-вечерней части аврорального овала в 09:18:59 UT 6/02/2002.

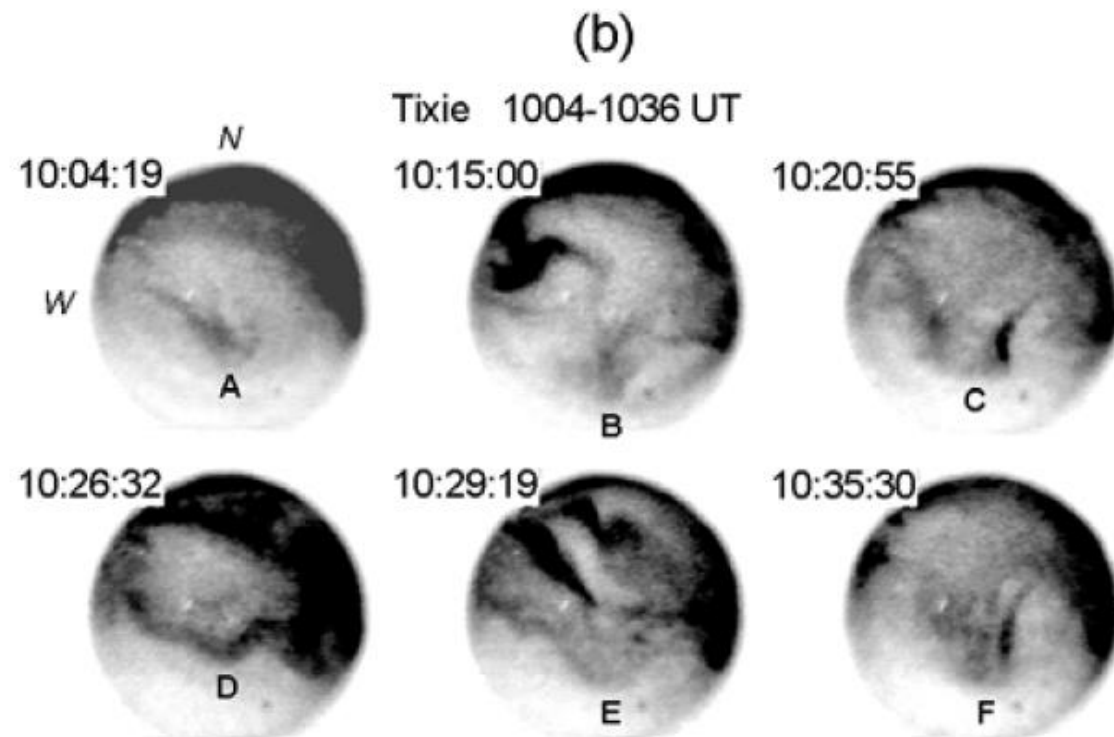
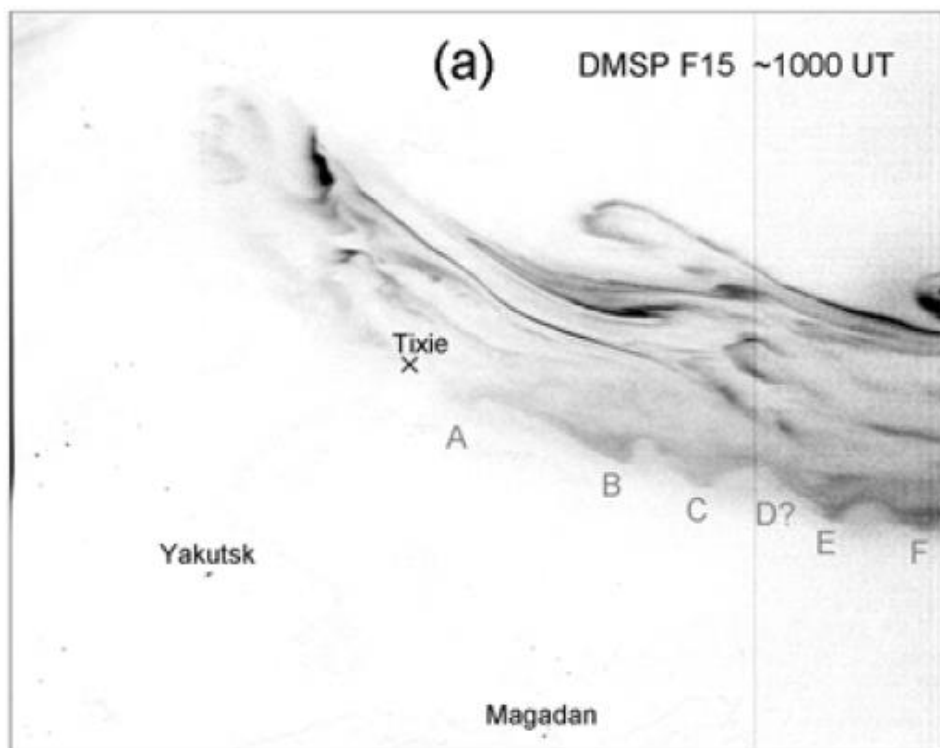
Рисунок из работы:

Lewis, W. S., J. L. Burch, J. Goldstein, W. Horton, J. C. Perez, H. U. Frey, and P. C. Anderson (2005), Dusk side auroral undulations observed by IMAGE and their possible association with large-scale structures on the inner edge of the electron plasma sheet, *Geophys. Res. Lett.*, 32, L24103, doi:10.1029/2005GL024390.



Пример гигантских волн (андуляций) на экваториальном краю диффузного полярного сияния, наблюдаемых с низкоорбитальных спутников DMSP над Сибирью, потенциально в области обзора камер ИКФИА СО РАН в Тикси и Жиганске

Из работы: Forsyth, C., Sergeev, V.A., Henderson, M.G. *et al.* Physical Processes of Meso-Scale, Dynamic Auroral Forms. *Space Sci Rev* **216**, 46 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11214-020-00665-y>



Пример синхронной регистрации крупномасштабных волнообразных изменений спутником DMSP F15 (a) и телекамерой в Тикси (b) 25 декабря 2005 года. Север сверху, запад — слева, сияния — в негативном представлении.

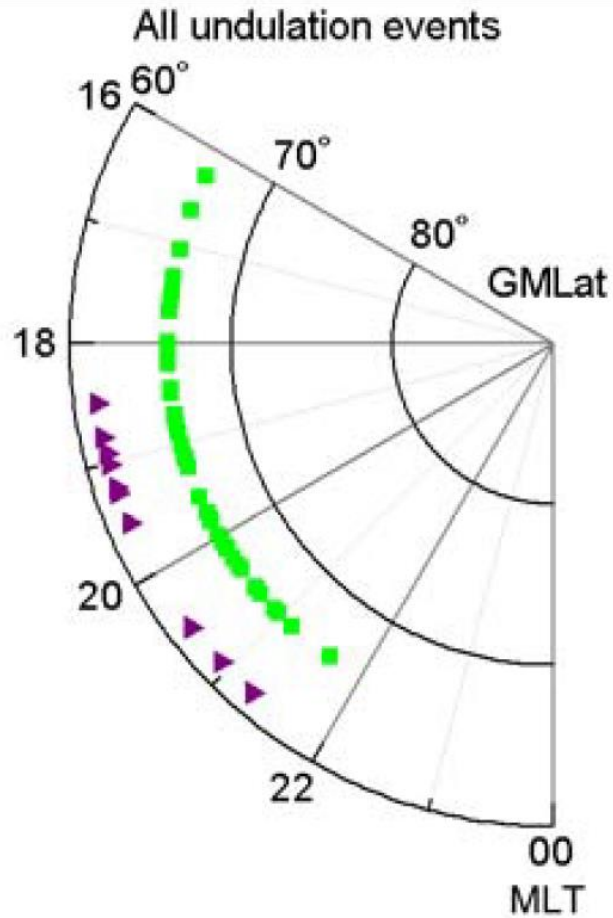
Из работы: Baishev D.G. , Barkova E.S. , Yumoto K. , Optical observations of large-scale undulations in the 23rd cycle of solar activity. Geomagn. Aeron. **52**(2), 197–203 (2012). <https://doi.org/10.1134/s0016793212020028>

Цитаты из работы: Baishev D.G. , Barkova E.S. , Yumoto K. , Optical observations of large-scale undulations in the 23rd cycle of solar activity. Geomagn. Aeron. **52**(2), 197–203 (2012).

- ✓ Проведен статистический анализ андуляций за 23-ий цикл солнечной активности с использованием данных станций Тикси и Жиганск.
- ✓ Общее количество событий составило 54 (43 события в Тикси и 11 в Жиганске). Показано, что андуляции генерируются как на экваториальной границе диффузной авроральной зоны, так и внутри зоны.
- ✓ Андуляции возникают как во время магнитных бурь (22 события), так и в отсутствие магнитных бурь (32 события).

Несмотря на большой объем информации, авторы цитируемой работы отмечают, что «данные нуждаются в дальнейшем анализе для понимания физических процессов при возникновении андуляций».

То есть вопрос все еще открыт.



Распределение волнообразных событий по местному магнитному времени в Тикси (зеленый цвет) и Жиганске (фиолетовый цвет)

Из работы: Baishev D.G. , Barkova E.S. , Yumoto K. , Optical observations of large-scale undulations in the 23rd cycle of solar activity. Geomagn. Aeron. **52**(2), 197–203 (2012).

Примерно на той же геомагнитной широте, что и Тикси, установлена камера ПГИ в Ловозере.

Примерно на той же геомагнитной широте, что и Жиганск, расположена Геофизическая станция СПбФ ИЗМИРАН «Лехта».

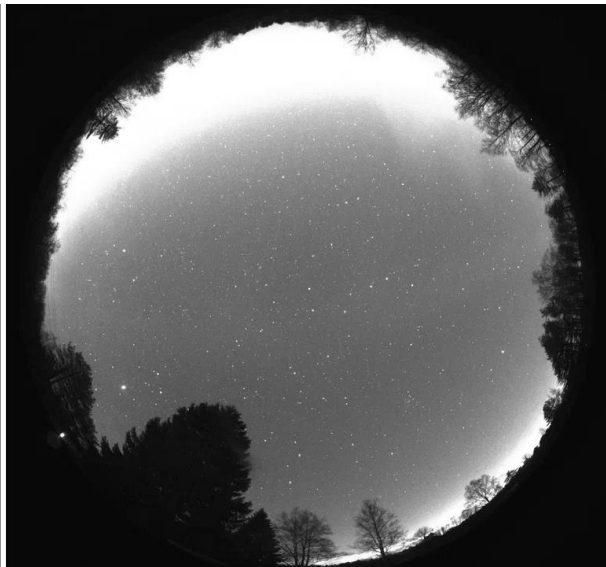
Камера в Красном озере установлена южнее.

Обсуждается вопрос установки камеры в обс.

Плещеницы под Минском в рамках предстоящего научного сотрудничества между РАН и АН Беларуси.



00:04:54 UT



00:07:05 UT



00:09:12 UT

Красное озеро
21/03/2026.

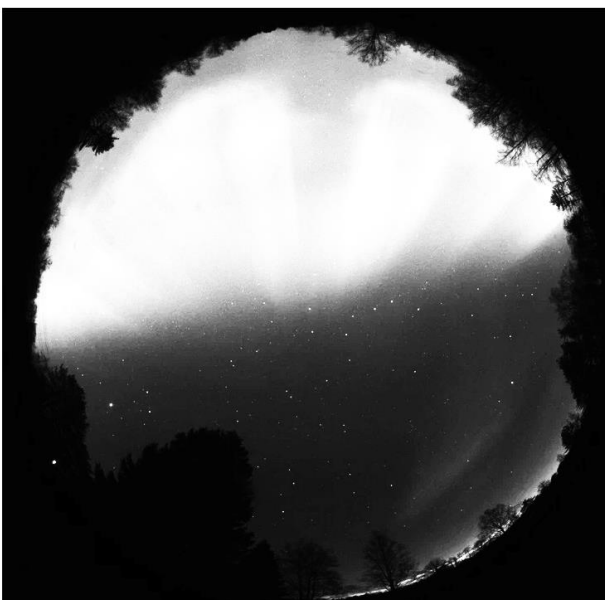
Появление и
эволюция
андуляции.



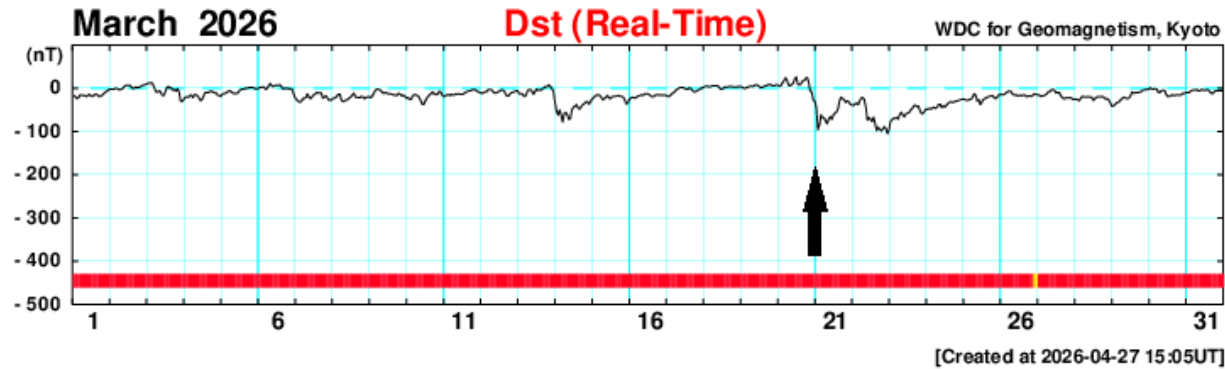
00:11:43 UT



00:14:01 UT

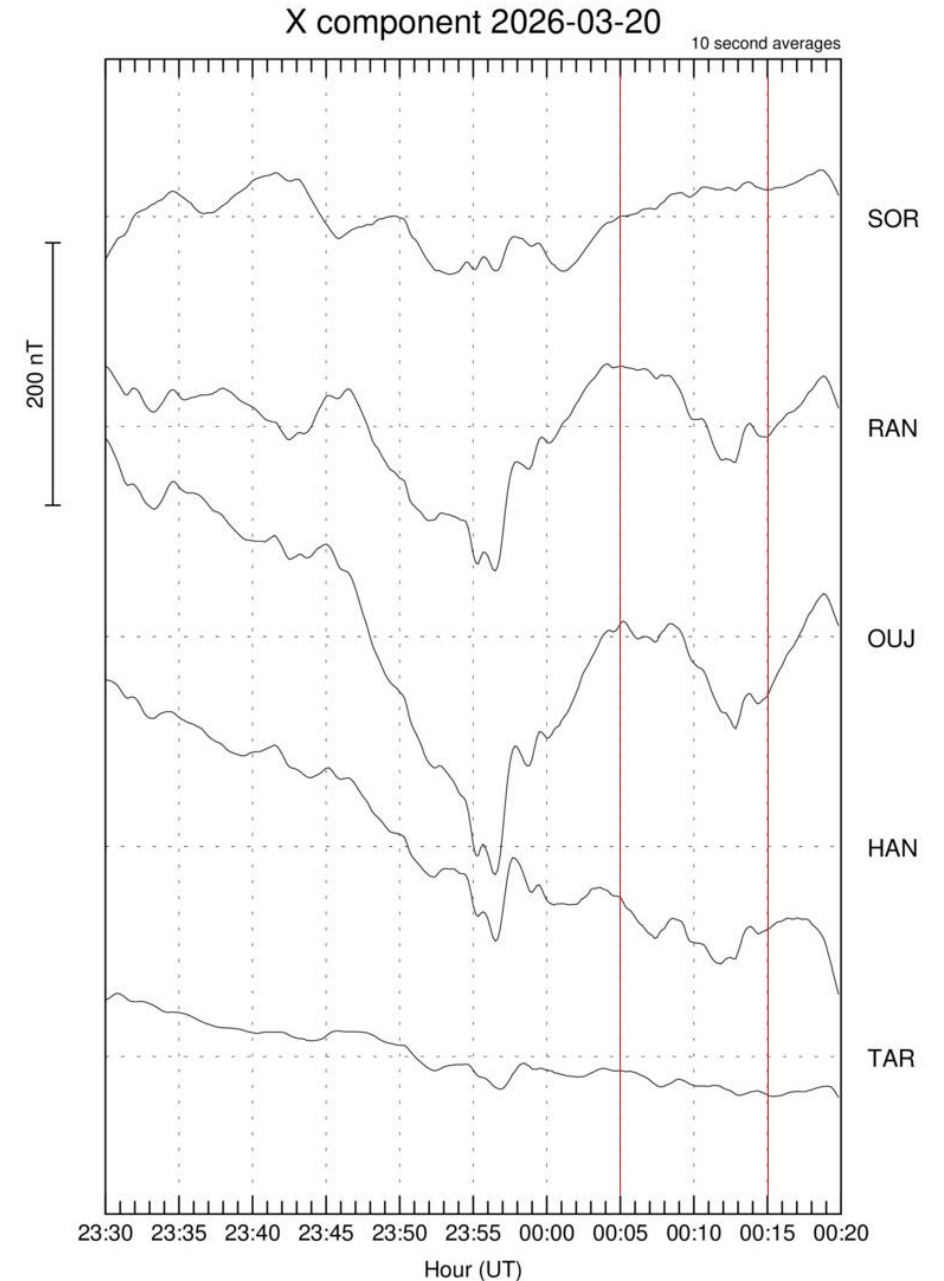


00:17:39 UT



Геомагнитная обстановка во время данного события такая же, как и во время других событий, описанных в литературе: магнитная буря и локальное возмущение типа суббури с максимумом в OIJ.

Время появления андуляций показано стрелкой на Dst вариации и выделено красными линиями на магнитограммах IMAGE



Красное озеро



00:14:01 UT

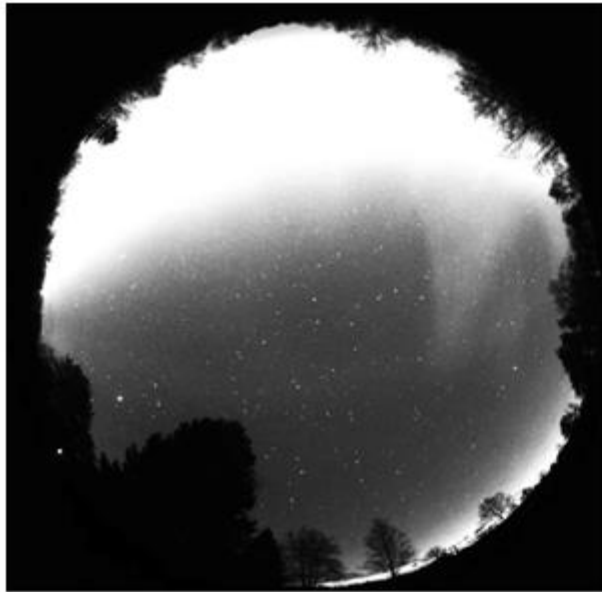
Шпицберген



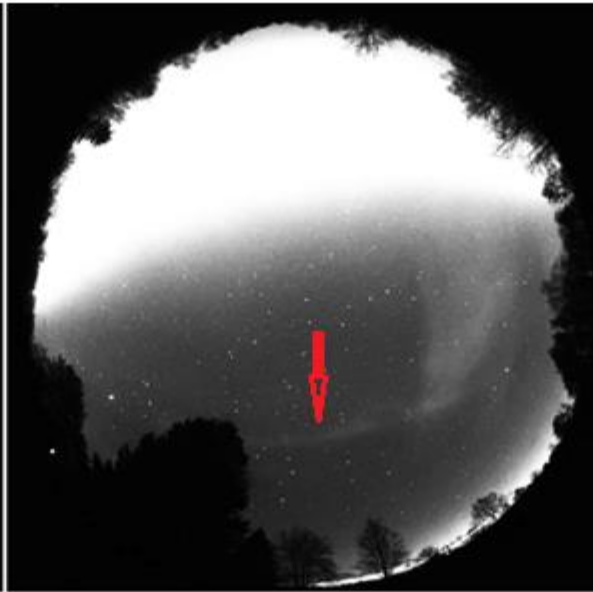
06:06:30 UT

По форме и внутренней структуре андуляция напоминает классический авроральный факел, который Safargaleev et al, (2005) наблюдали на полюсной кромке аврорального овала на Шпицбергене.

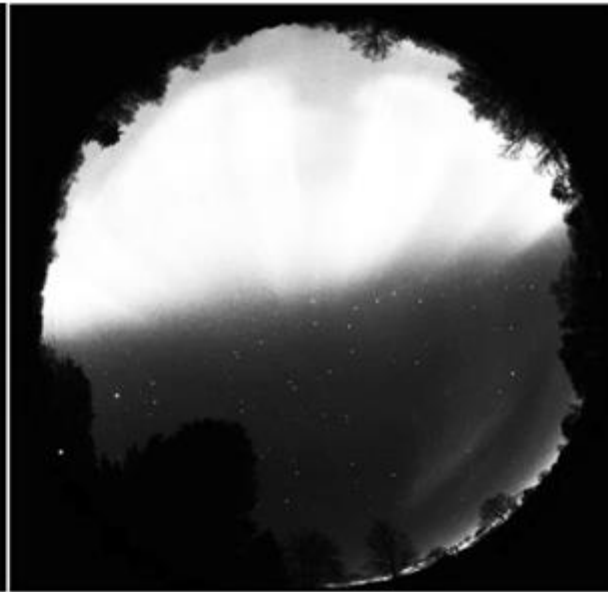
Красное озеро



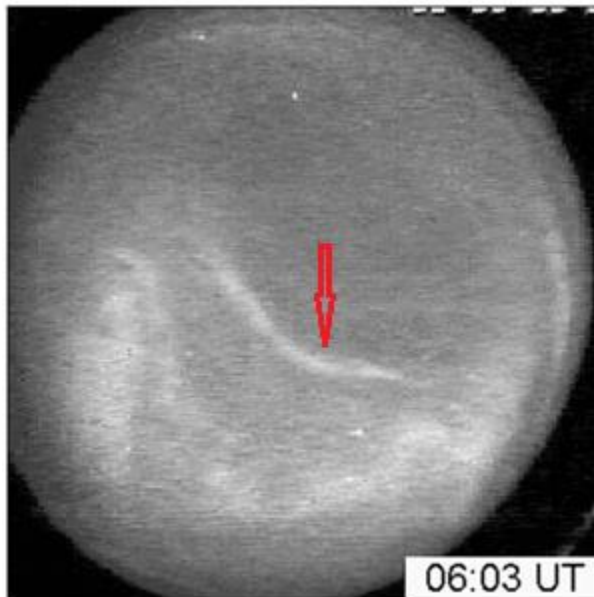
00:11:43 UT
Шпицберген



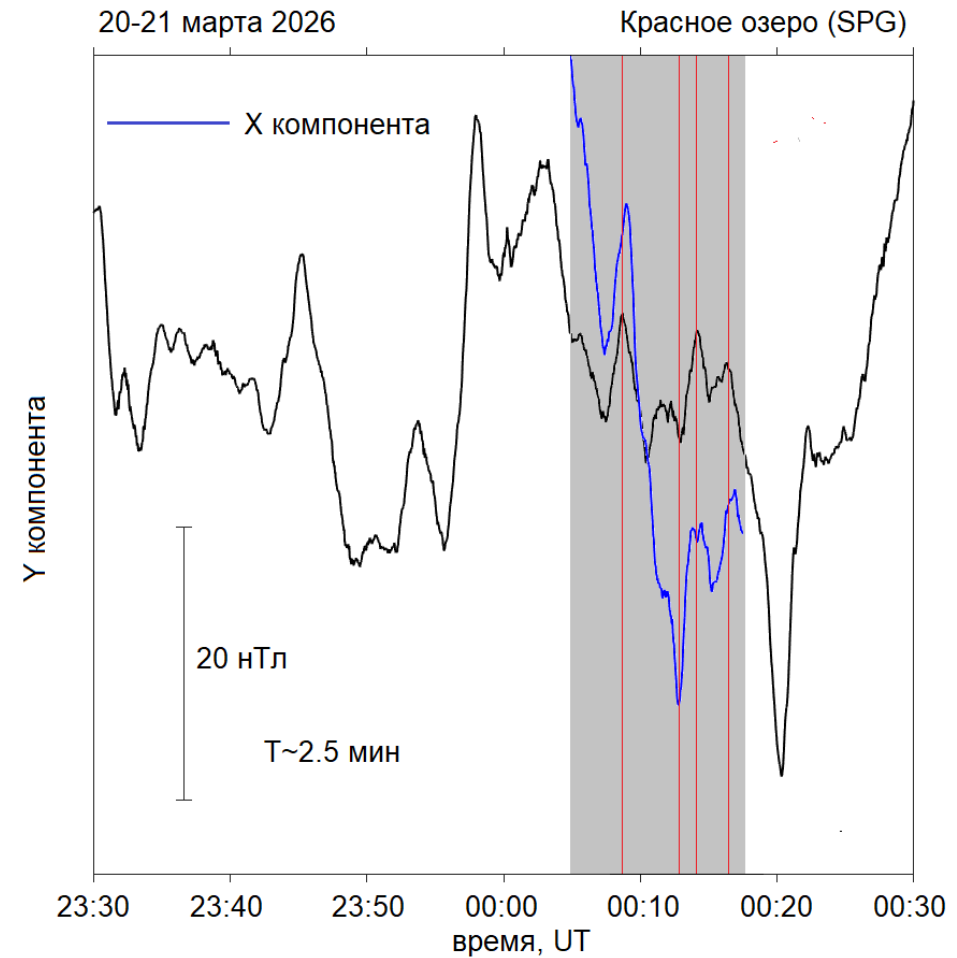
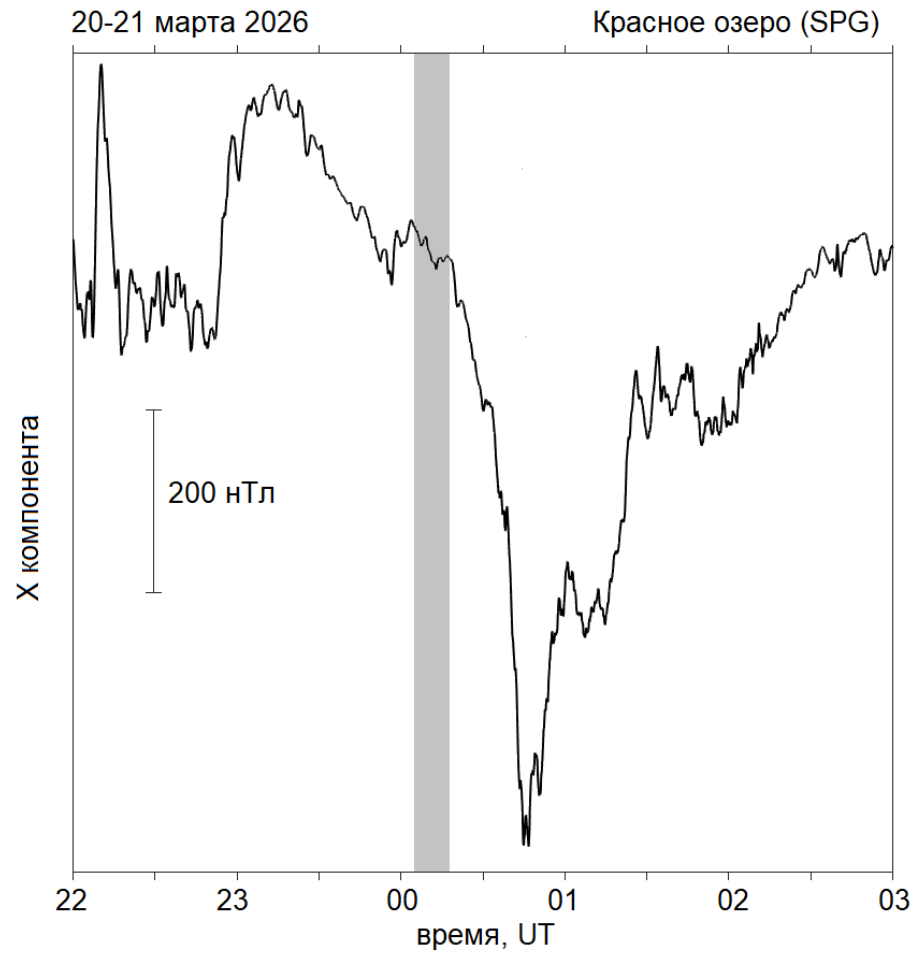
00:14:01 UT



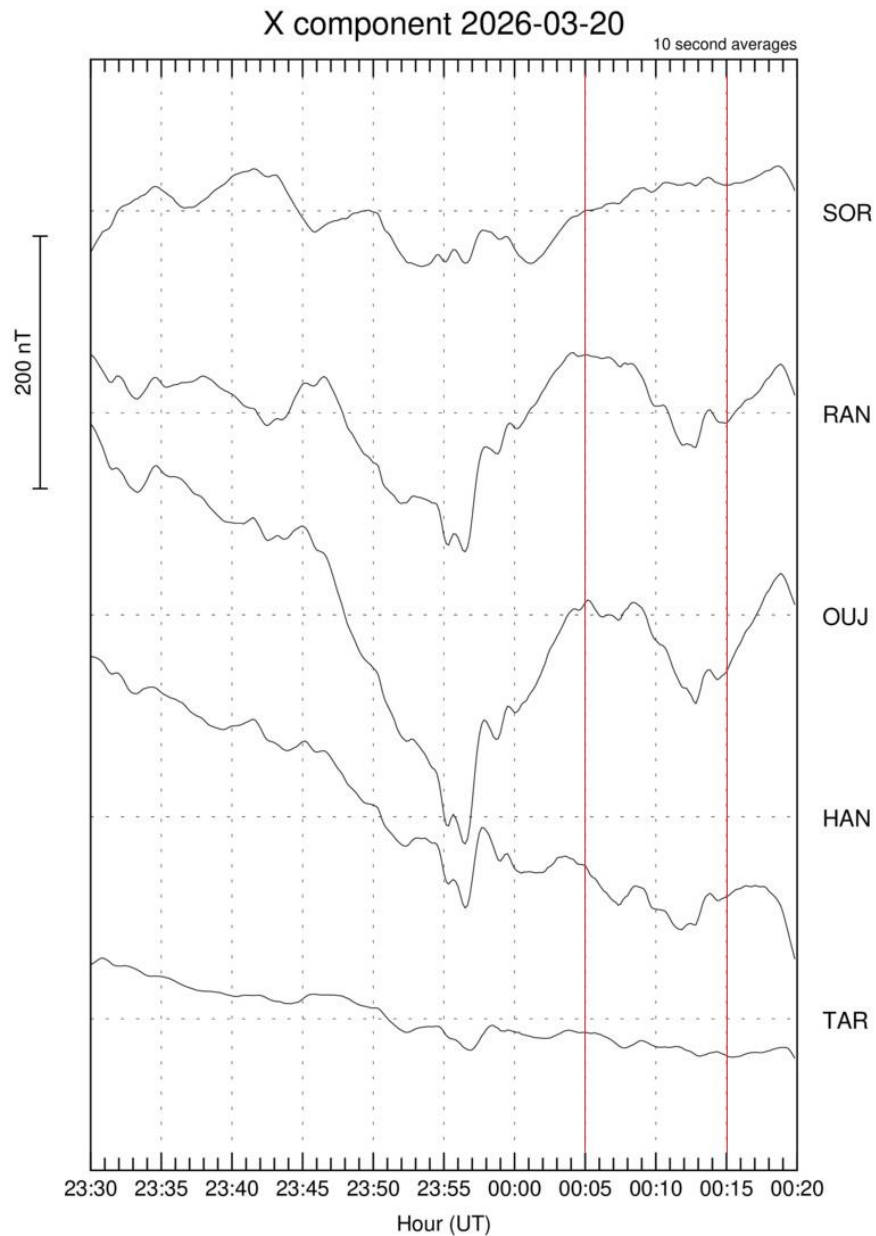
00:17:39 UT



В работе (Safargaleev et al, 2005) факел эволюционировал потому, что появившаяся **дуга** (точнее, область аномального сопротивления над дугой) «отсоединила» хорошо проводящую ионосферу от магнитосферы, дав тем самым возможность развиваться желобковой неустойчивости. На снимках из Красного озера также видна **дуга**.



Вариации горизонтальных компонент магнитного поля в Красном озере. Интервал наблюдения андуляций выделен серым. Видны пикообразные возмущения, напоминающие *spikes*, характерные для Ω -сияний, из которых развился факел над Баренцбургом в работе Safargaleev et al, (2005).



Исходя из сходства явлений, можно предположить, что причина появления андуляции в Красном озере такая же, как и причина появления факела в Баренцбурге – желобковая неустойчивость. Но на этот раз – на экваториальной кромке аврорального овала.

Причиной развития неустойчивости могла стать непараллельность контуров $B=const$ и $P=const$ (Maltsev, 1995), возникшая в процессе суббурового возмущения с максимумом в OUJ. Красным выделен интервал наблюдения андуляций в Красном озере

По итогам наблюдательного сезона 2025-2026 гг выявлены два недостатка, которые следует исключить при установке камеры (или камер на Красном озере, в Лехте и Плещеницах) на следующий наблюдательный сезон.

1. Временное разрешение камер должно быть лучше. Сейчас это более, чем 2 минуты. Оптимально – кадр в 10 секунд, так же как у ПГИ и Финского метеорологического института.
2. Отключить режим автоматической подстройки чувствительности камер, если таковой предусмотрен изготовителем.

Оба недостатка не повлияли на факт регистрации, но затруднили исследование развития андуляции во времени и пространстве.

Рис. Рисунок Т. Корниловой (ПГИ)
Корниловой (ПГИ)



Авторы благодарят всех
причастных к установке и
поддержке работы камеры
на Красном озере в сезоне
2025-2026 гг.