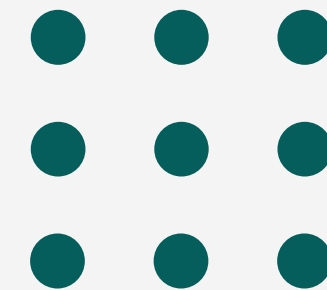


**ГМА**

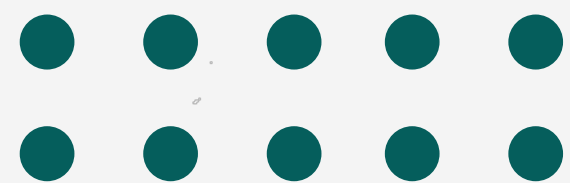
Геодезия.  
Маркшейдерия.  
Аэросъёмка.  
Навигация.



# Солнечная активность и её влияние на ГНСС измерения

XV Международная научно - практическая конференция  
”Геодезия. Маркшейдерия. Аэросъёмка. Навигация”

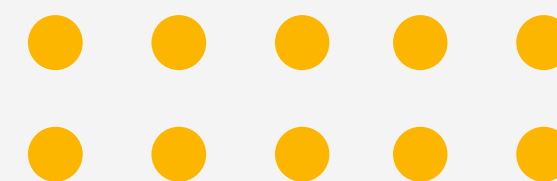
**16 ФЕВРАЛЯ 2024**



# Михаил Караванов

[M.KARAVANOV@GMAIL.COM](mailto:M.KARAVANOV@GMAIL.COM)

- МИИГАиК кафедра геодезии
- 1993 Ashtech Inc
- 1994 ПРИН
- 2001 Trimble
- 2022 Независимый консультант



# 2024 – год активного солнца

- 2023 - самый жаркий за всю историю наблюдений (1.4 градуса выше среднего)
- 2024 – еще плюс 1.5 градуса
- 11-летний солнечный максимум
- Отложенное влияние Эль - Ниньо
- Электронное содержание в ионосфере ( TEC) уже выше на 50%, чем в предыдущих 2 циклах

## Ученые предупредили о рекордной жаре в 2024 году

Bloomberg: эксперты допустили, что 2024-й станет самым жарким годом

2023-й стал самым жарким в истории наблюдений, наступивший год может быть еще жарче. Одна из причин — явление Эль-Ниньо — потепление, связанное с колебанием температуры поверхностного слоя воды в экваториальной части Тихого океана

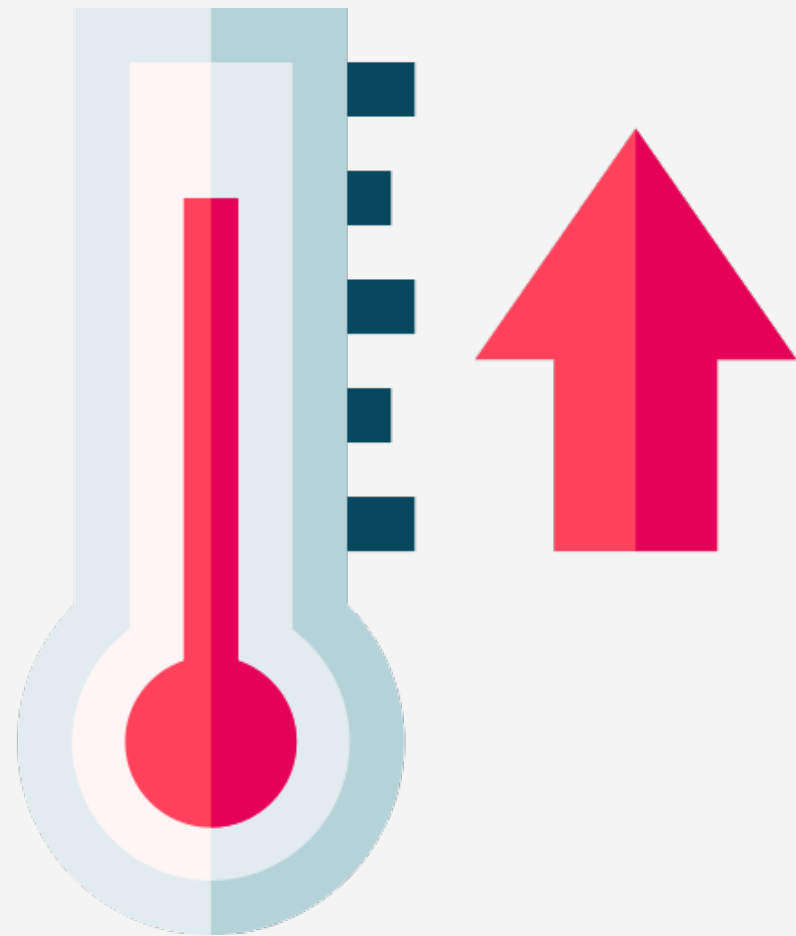


Фото: Amit Dave / Reuters

2024 год может стать самым жарким за всю историю наблюдений, сообщает [Bloomberg](#) со ссылкой на экспертов.

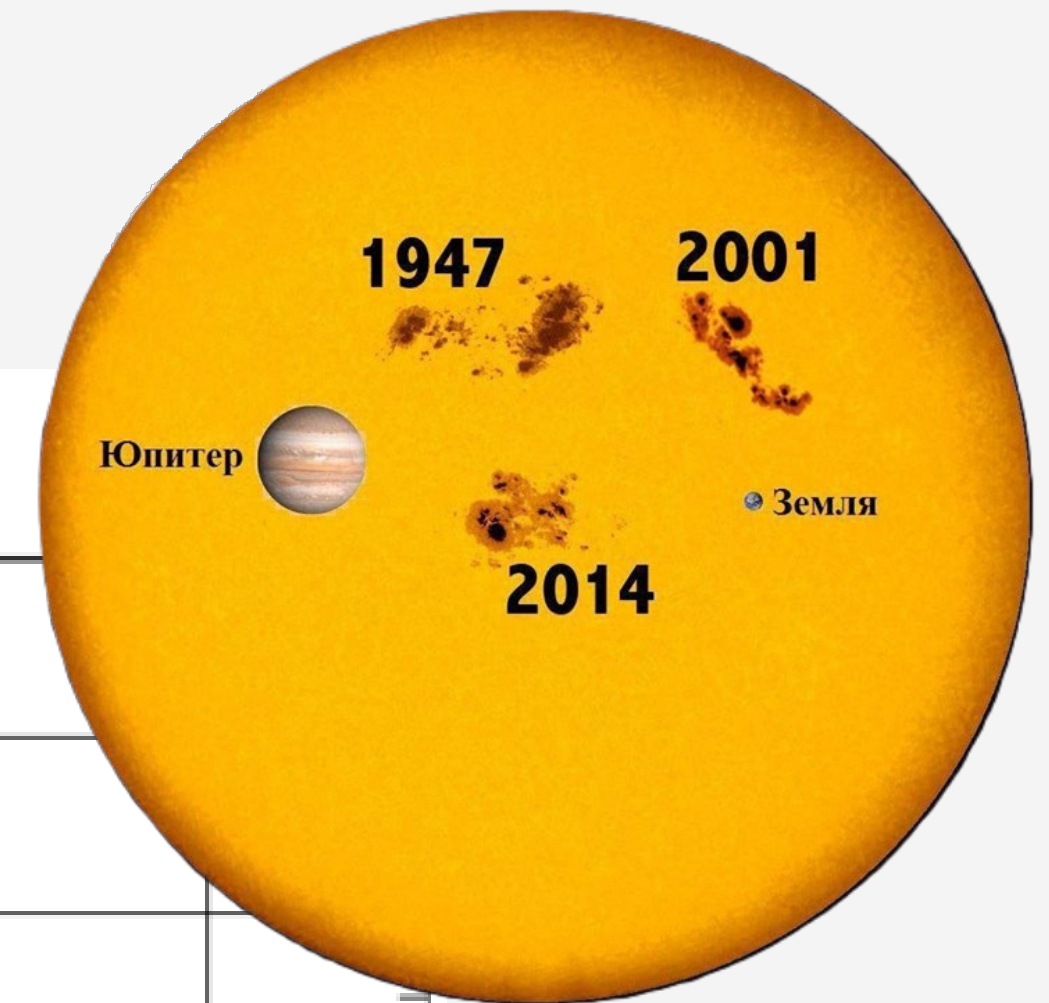
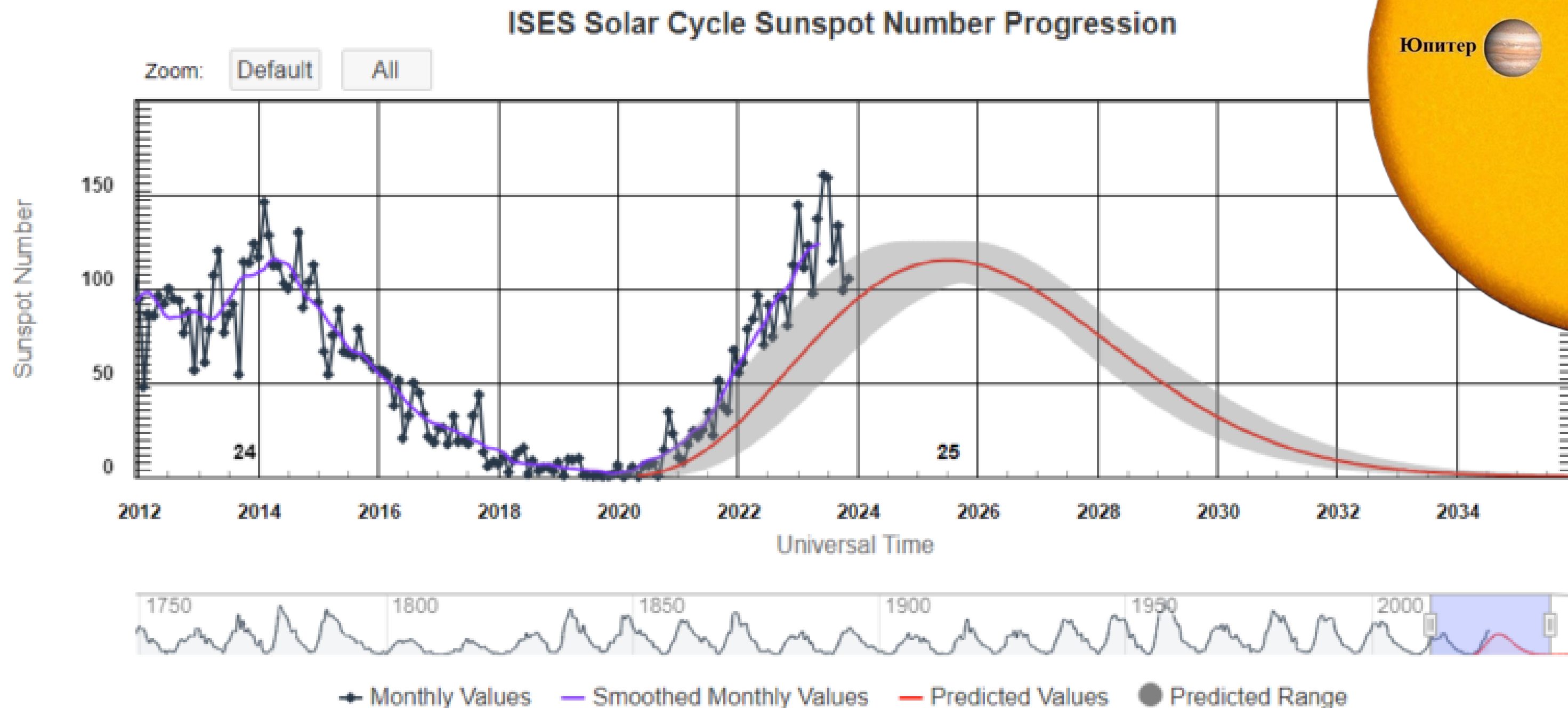
# Повышение глобальной температуры

- За 150 лет наблюдений,  
с 1880 по 2023



# Количество солнечных пятен

- Выше прогнозных значений

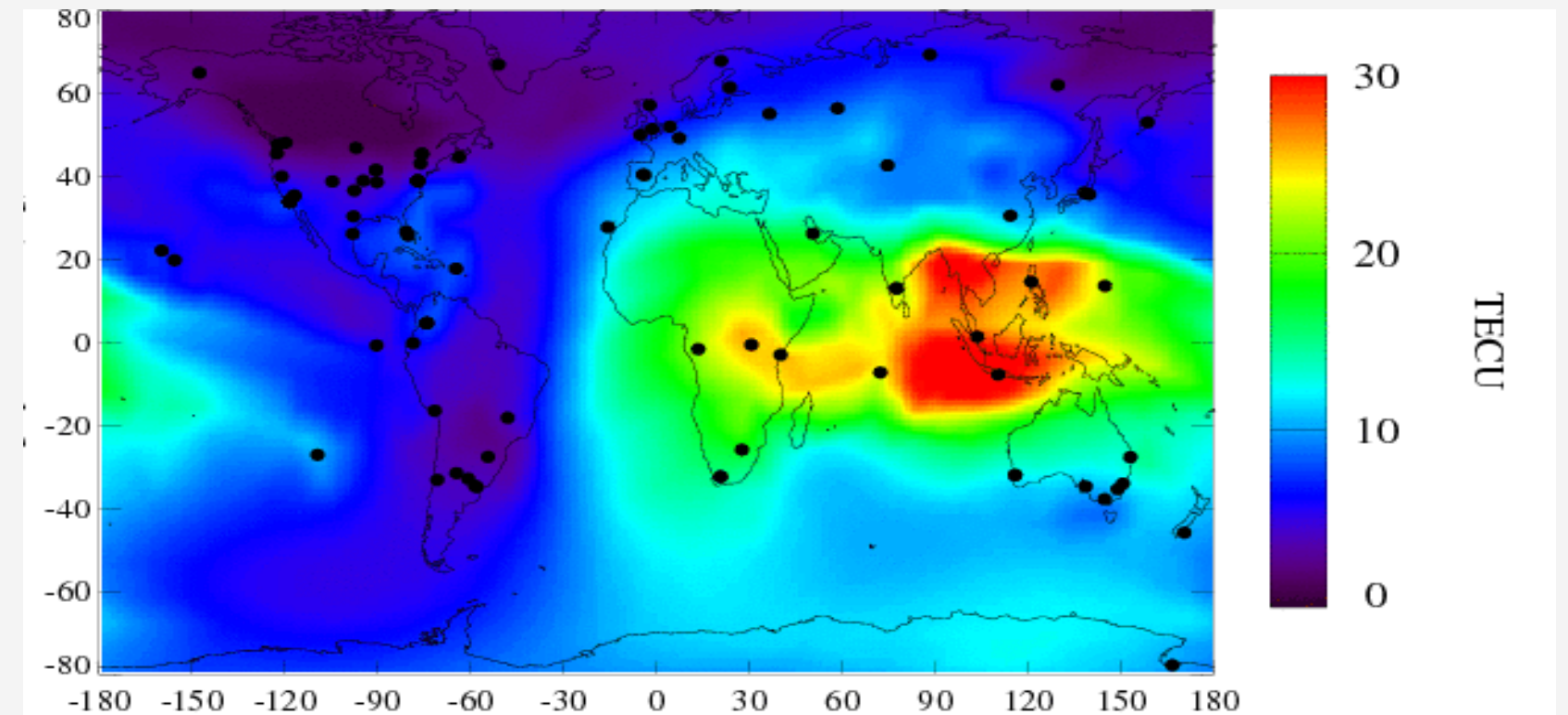


# Влияние на ГНСС решение

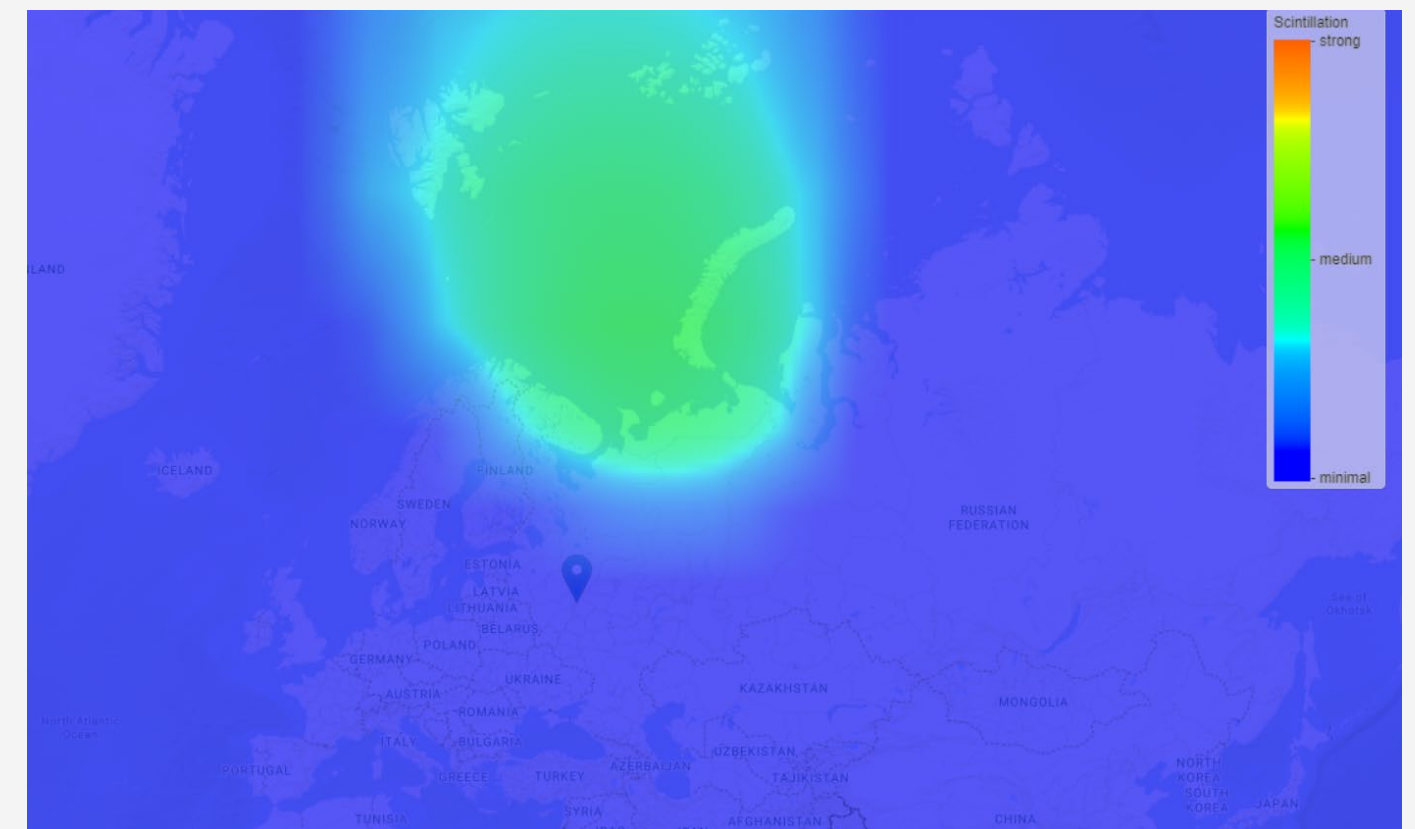
- Увеличение времени инициализации  
(время на разрешение фазовой неоднозначности)
  - Повышение вероятности ложного фиксированного решения
  - Невозможность инициализации в некоторых случаях
  - Сокращение расстояния от базовых станций для уверенного решения
- Ухудшение точности результатов
- Мультичастотные ГНСС и сетевые решения помогают,  
но не решают полностью проблему

# Характеристики активности

- **ТЕС (Total Electron Content)**  
полное электронное содержание  
в ионосфере
  - Индекс Кр
  - Индекс I95

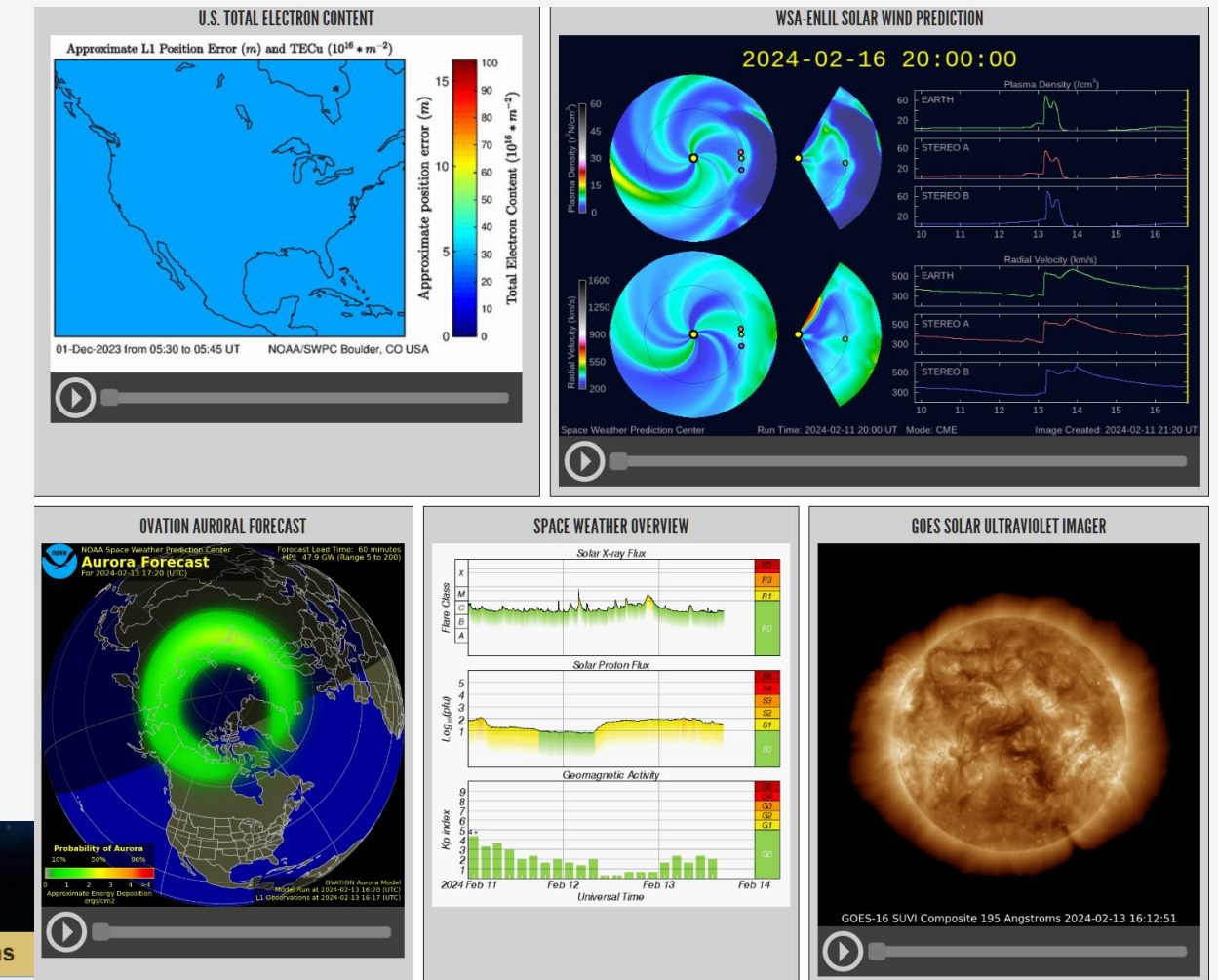


- **Сцинтилляция (scintillation, мерцание)**



# Доступные ресурсы

- [Сайт NOAA “GPS dashboard”](#)
  - ТЕС, Кр, солнечный ветер, Аврора
  - есть прогноз



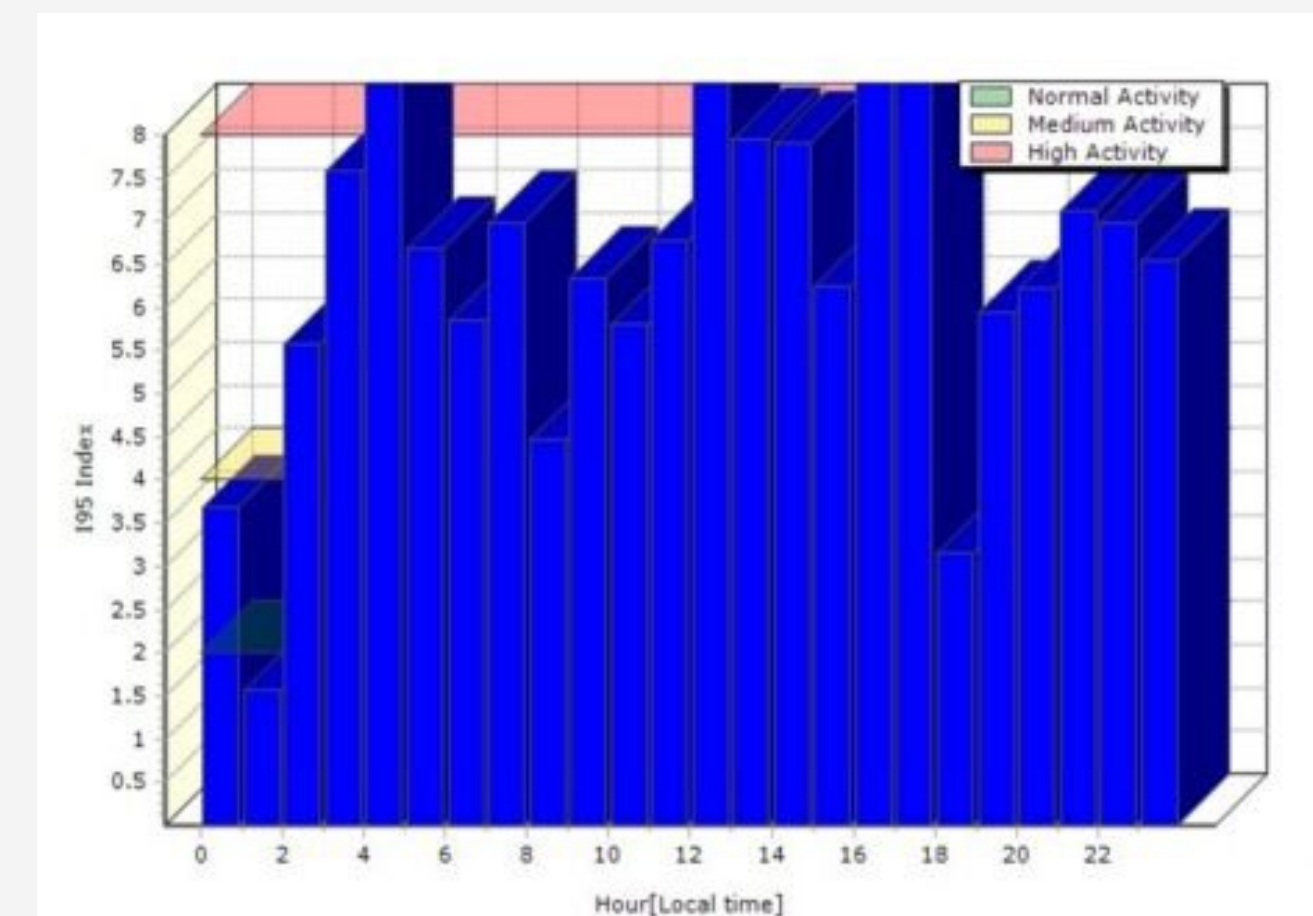
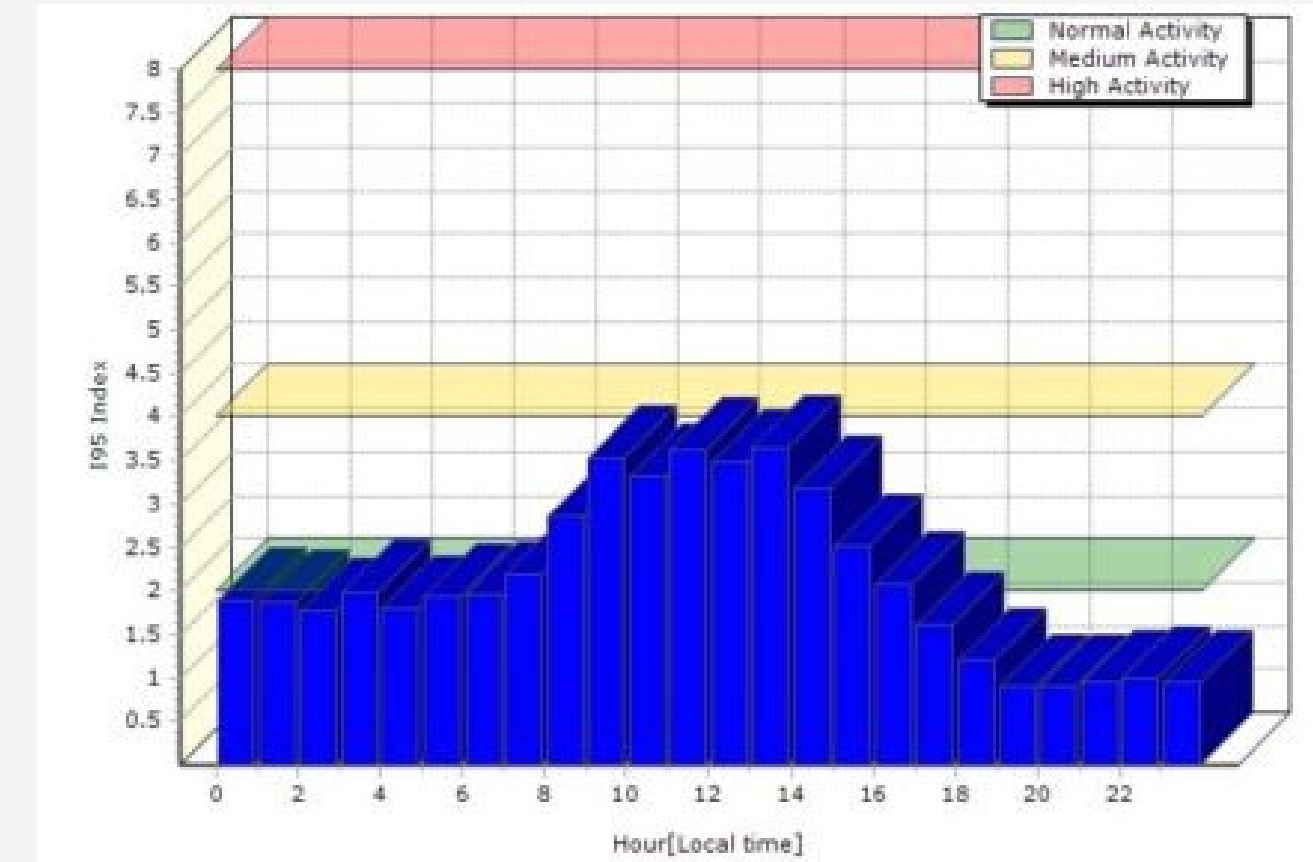
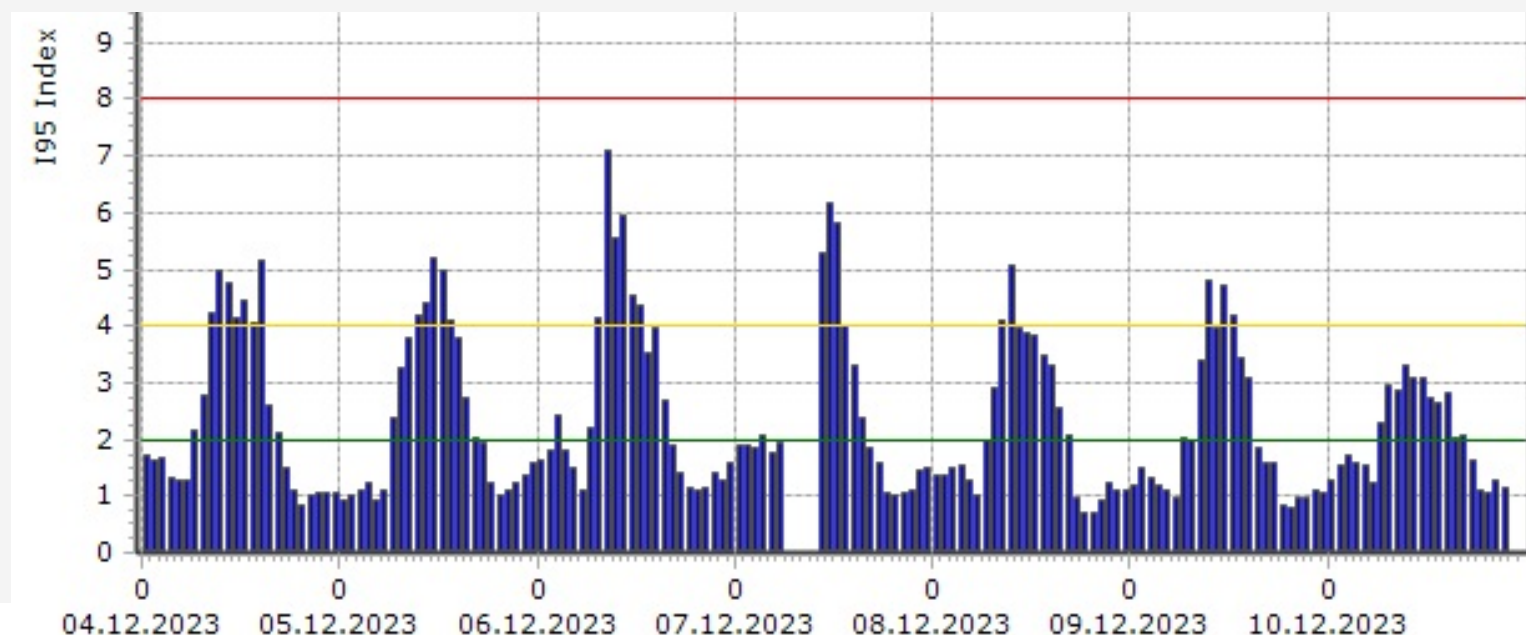
- [Сайт CDDIS NASA](#)
  - ЮNEX файлы ежедневно
  - архив с 1999 года

CDDIS		NASA's Archive of Space Geodesy Data	
Home	About CDDIS	Data and Products	Techniques Programs
Parent Directory			
topex			
CAS0OPSRAP_20240400000_01D_30M_GIM.INX.gz	2024:02:12 21:17:44	716.93KB	
COD0OPSRAP_20240400000_01D_01H_GIM.INX.gz	2024:02:12 14:47:11	352.01KB	
EMR0OPSFIN_20240400000_01D_01H_GIM.INX.gz	2024:02:11 10:38:21	350.43KB	
ESA0OPSRAP_20240400000_01D_01H_GIM.INX.gz	2024:02:10 08:34:43	361.0KB	
ESA0OPSRAP_20240400000_01D_02H_GIM.INX.gz	2024:02:10 08:34:51	199.61KB	
IGS0OPSRAP_20240400000_01D_02H_GIM.INX.gz	2024:02:10 22:42:52	188.81KB	
JPL0OPSFIN_20240400000_01D_02H_GIM.INX.gz	2024:02:12 01:54:21	114.04KB	
JPL0OPSRAP_20240400000_01D_02H_GIM.INX.gz	2024:02:10 06:52:21	114.12KB	
MD5SUMS	2024:02:13 09:00:11	1.27KB	
SHA512SUMS	2024:02:13 09:00:11	3.15KB	
UPC0OPSFIN_20240400000_01D_02H_GIM.INX.gz	2024:02:11 04:15:02	119.1KB	



# Индекс I95

- Индекс уровня возмущения ионосферы
  - Предложен в 1998
  - Используется в сетевом ПО,  
вычисляется для каждой базовой станции  
или для всей сети целиком
- <2 слабая, 2-4 обычная, 4-8 повышенная, >8
- Текущий статус и предшествующий (без прогноза)



# Индекс Kp

- На [сайте NOAA](#)
- Есть прогнозы на 3 и 27 дней

## PRODUCTS AND DATA

### Forecasts

27-Day Outlook of 10.7 cm Radio Flux and Geomagnetic Indices

### 3-Day Forecast

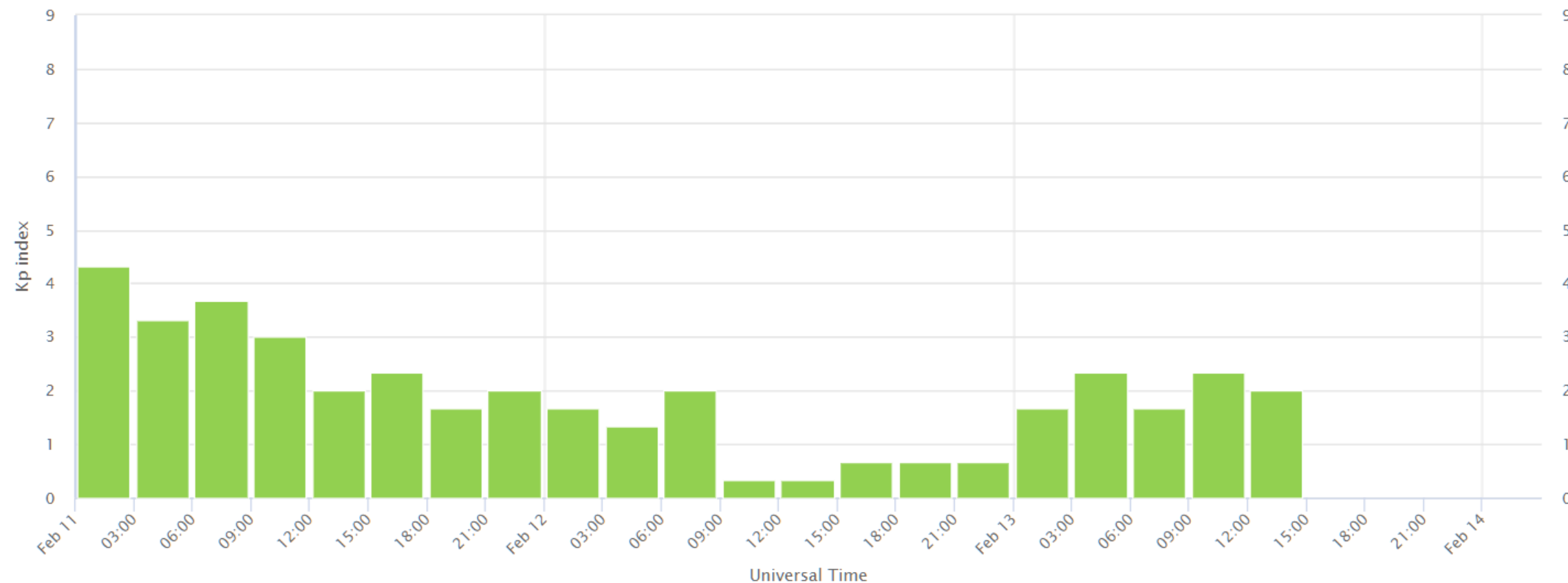
3-Day Geomagnetic Forecast

Forecast Discussion

## PLANETARY K-INDEX

Estimated Planetary K index (3 hour data)

Begin: Sun, 11 Feb 2024 00:00:00 GMT



Space Weather Prediction Center

Updated Time: 2024-02-13T12:00:00.000Z

NOAA Scales Geomagnetic Storms

Kp < 5	Kp = 5 (G1)	Kp = 6 (G2)	Kp = 7 (G3)	Kp = 8, 9- (G4)	Kp = 9-10 (G5)
--------	-------------	-------------	-------------	-----------------	----------------

## 3-DAY FORECAST

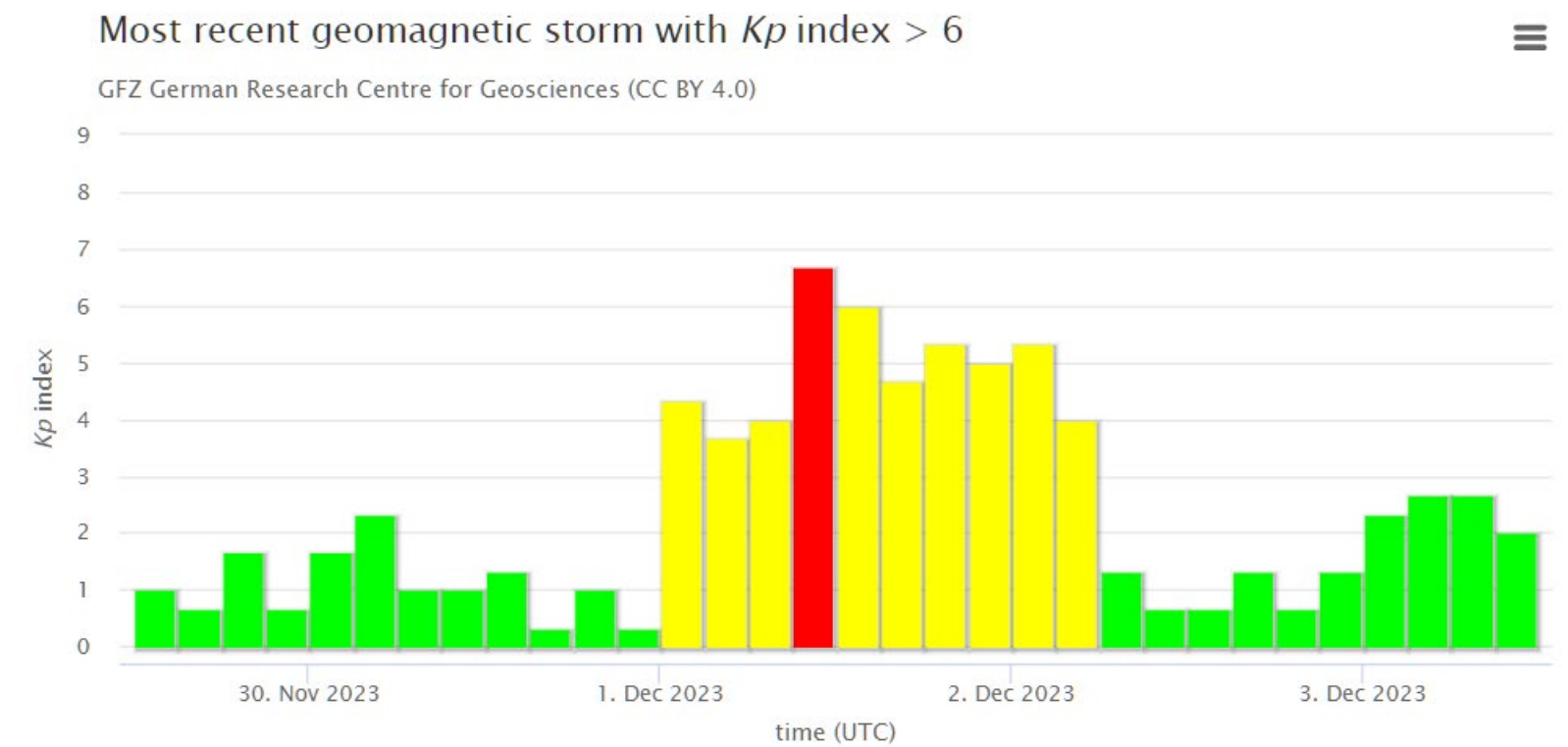
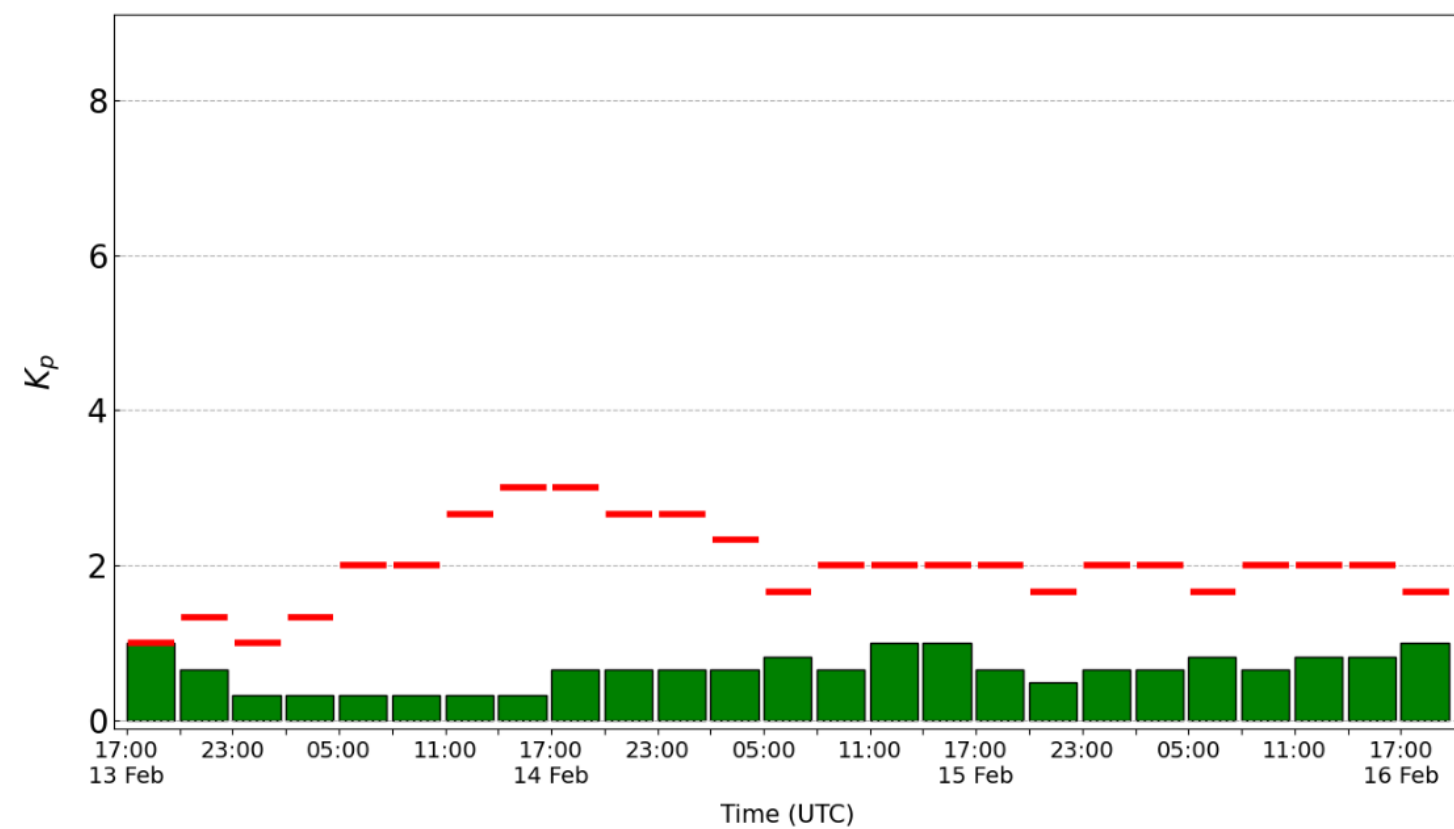
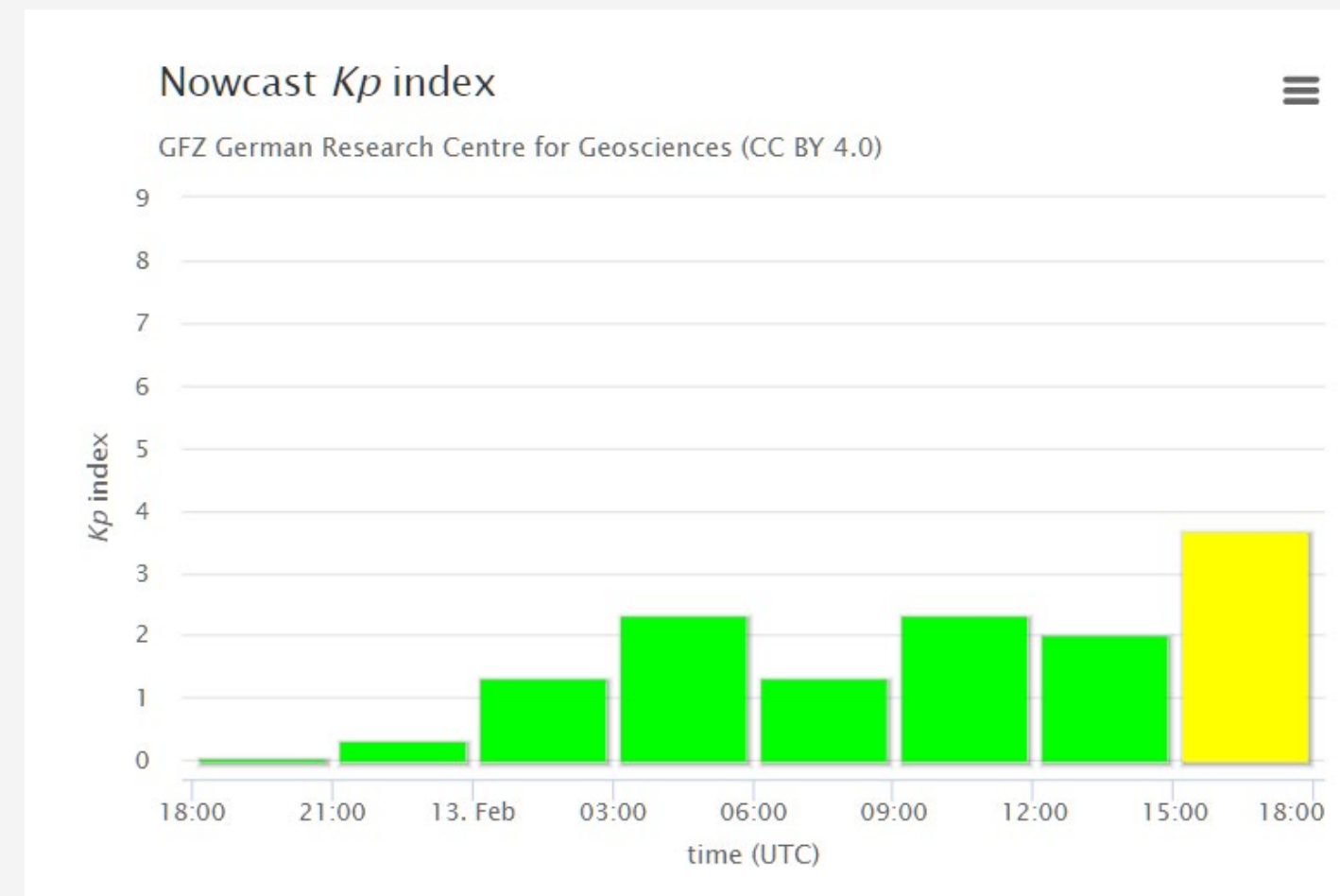
	Feb 13	Feb 14	Feb 15
00-03UT	1.67	4.67 (G1)	2.33
03-06UT	2.33	4.67 (G1)	2.33
06-09UT	1.67	4.33	2.00
09-12UT	2.33	4.00	2.00
12-15UT	3.33	3.33	2.00
15-18UT	4.33	2.67	2.00
18-21UT	4.67 (G1)	2.67	2.00
21-00UT	5.67 (G2)	2.67	2.00

## 27-DAY OUTLOOK OF 10.7 CM R

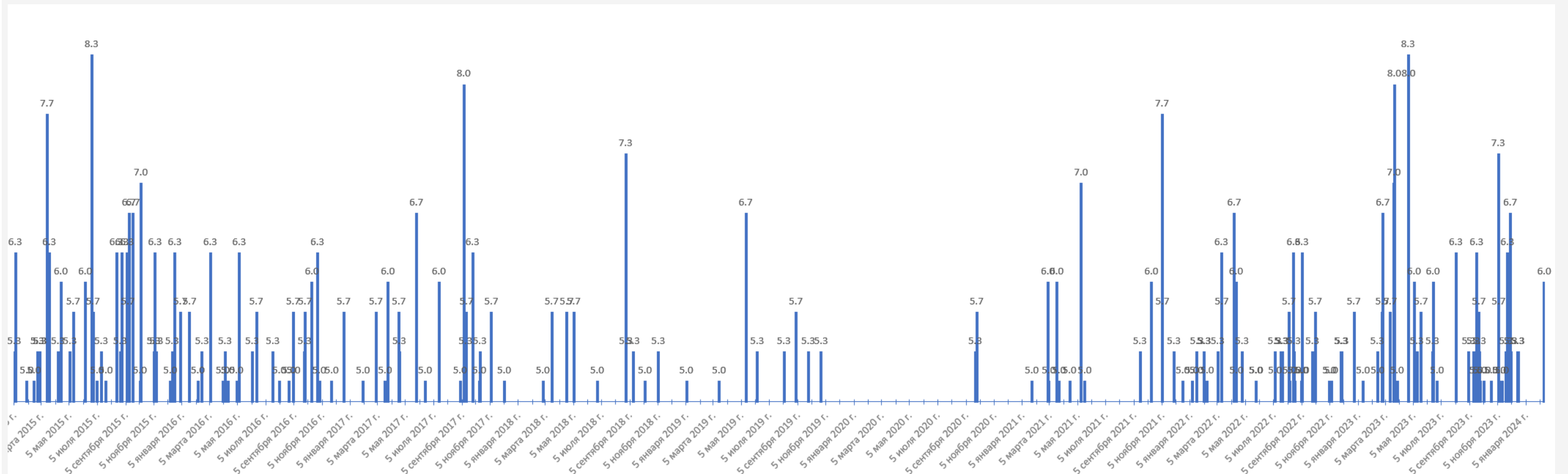
#	UTC	Radio Flux	Planetary	Largest
#	Date	10.7 cm	A Index	Kp Index
2024	Feb 12	182	18	5
2024	Feb 13	180	38	6
2024	Feb 14	180	23	5
2024	Feb 15	180	5	2
2024	Feb 16	175	5	2
2024	Feb 17	165	5	2
2024	Feb 18	160	5	2
2024	Feb 19	160	5	2
2024	Feb 20	160	5	2
2024	Feb 21	160	5	2
2024	Feb 22	165	5	2
2024	Feb 23	160	5	2
2024	Feb 24	150	5	2
2024	Feb 25	150	5	2
2024	Feb 26	150	8	3
2024	Feb 27	150	7	3
2024	Feb 28	150	5	2
2024	Feb 29	155	5	2
2024	Mar 01	160	5	2
2024	Mar 02	165	5	2
2024	Mar 03	170	5	2
2024	Mar 04	170	5	2
2024	Mar 05	170	5	2
2024	Mar 06	170	5	2

# Индекс Kp

- На сайте [GFZ-Потсдам](#)
- Текущее состояние
- Последняя буря с  $Kp > 6$
- [Есть прогноз на 3 суток](#)

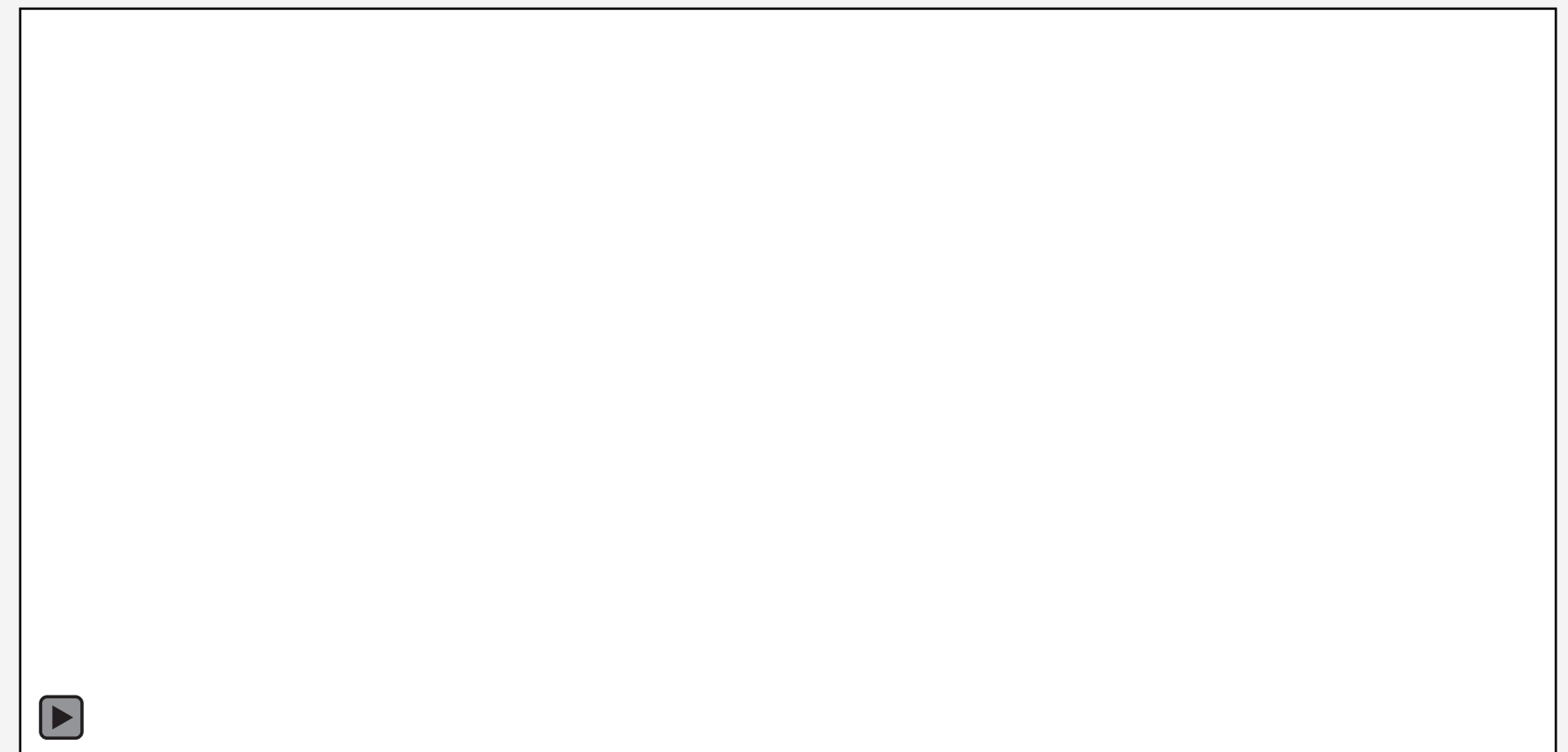
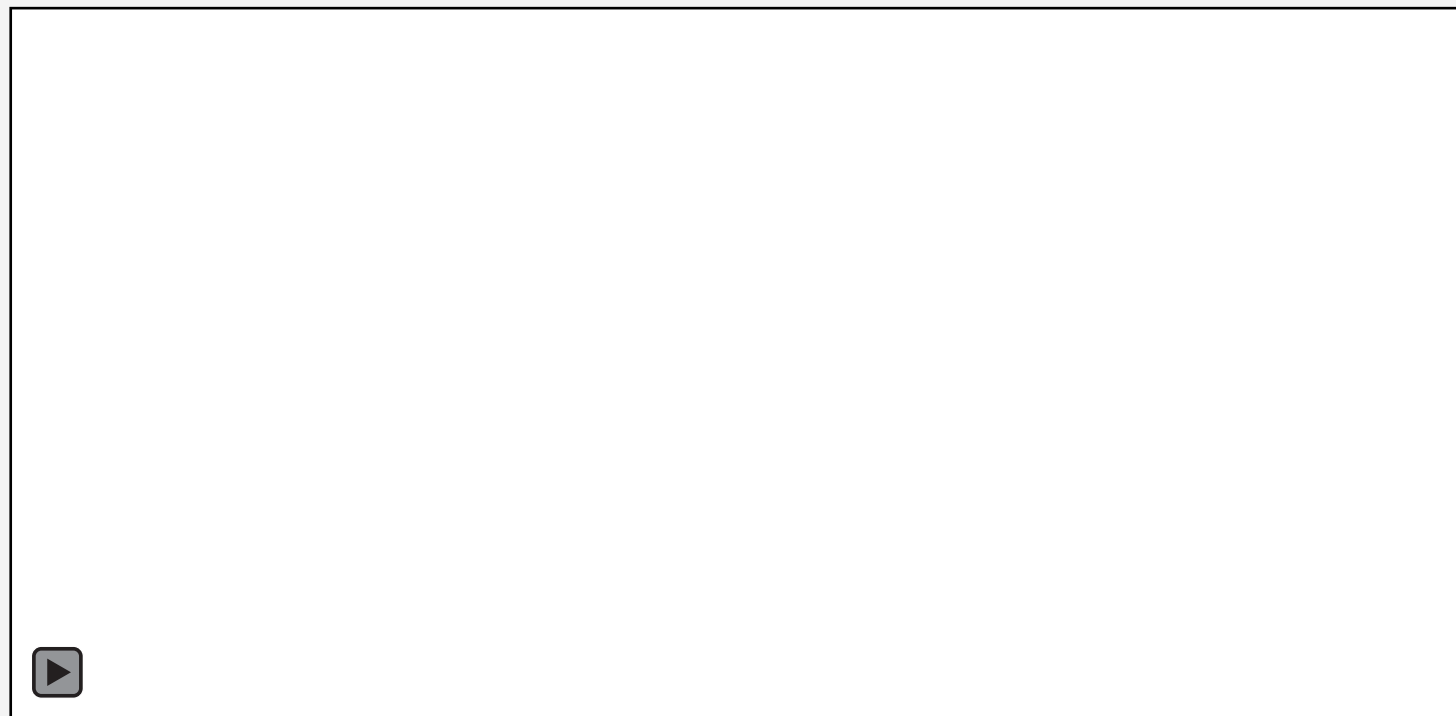
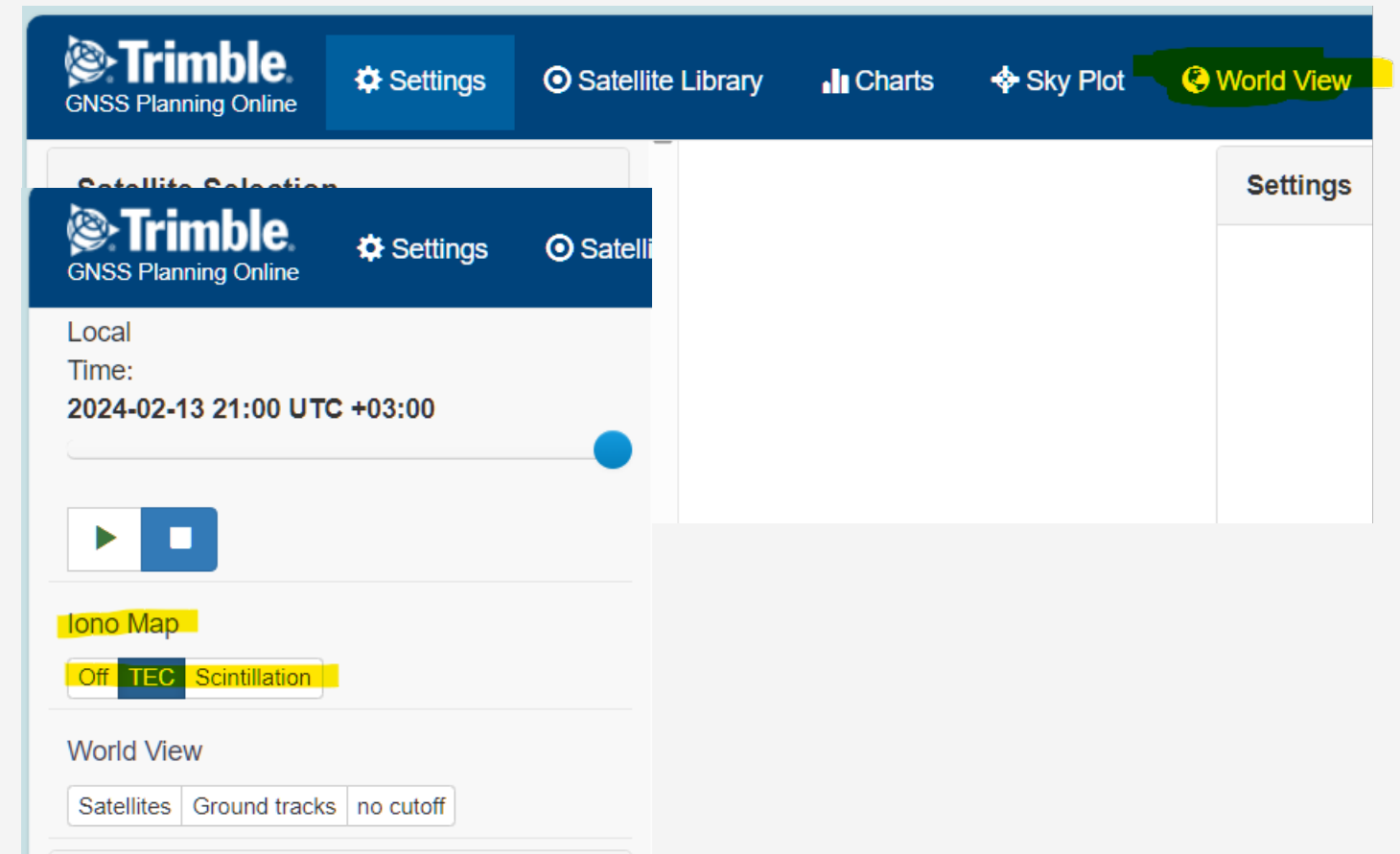


# Индекс Кр за последние 8 лет



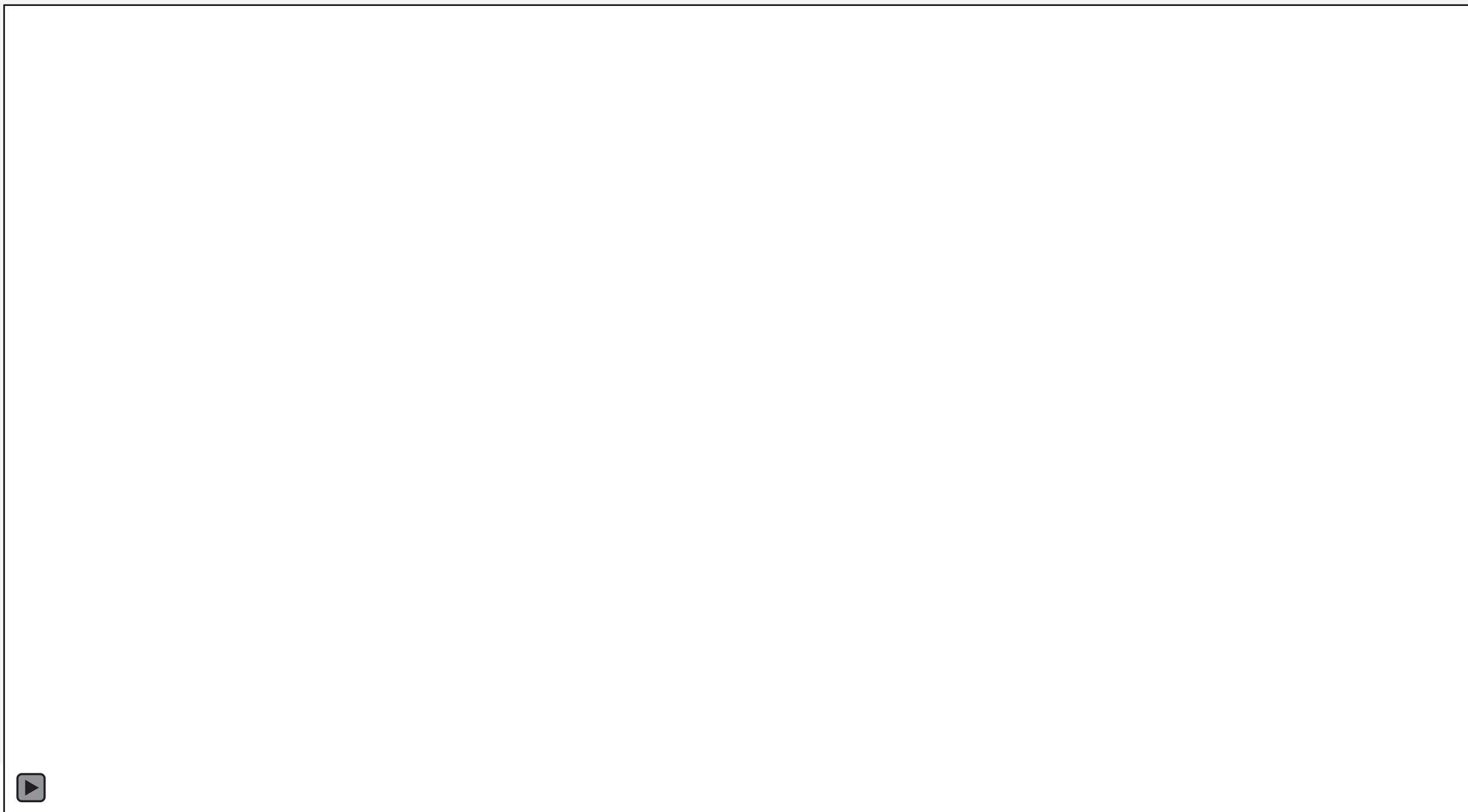
# Trimble

- [www.gnssplanning.com](http://www.gnssplanning.com) Iono Maps
- Уровень TEC и сцинтилляции на карте (по данным глобальной сети станций RTX)
- Увидеть текущий и прошедший статус
- Проиграть за сутки



# Novatel : прогноз TEC

- [Ionospheric activity forecast tool](#) по данным CDDIS(NASA)
- Карта TEC на -7 дней и прогноз на +3 дня



# Trimble- IonoGuard

- Повышенные целостность и качество решения в период повышенной солнечной активности
  - Прошивка 6.23 и позднее (конец 2023)
  - Только для приемников с 336 /672 каналами – Trimble R10-2, R12, R12i, R580, R750, R780
- Улучшения и в отслеживании, и в самом RTK алгоритме (21 спутниковых сигналов в различных комбинациях)
  - Достаточно на ровере, но лучше и на базе
  - Передача доп. информации в CMRx и в RTCM (проприетарные сообщения)
  - Визуальный индикатор влияния ионосферы на каждый наблюдаемый спутник (возможность исключить из решения)
- В периоды спокойной ионосферы – увеличит дальность работы в RTK
- Исследуется вопрос улучшения сетевого VRS и RTX решений



EFT M4 GNSS (T)

# CHCNAV - iStar2.0

## OPTIMAL MITIGATION OF THE UPCOMING SOLAR IONOSPHERIC PEAK

The i89 delivers unmatched performance with its 1408-channel full-GNSS module and integrated SoC. Its narrow-band multipath mitigation technology improves data quality by over 20%, ensuring accurate RTK measurements, and its hybrid GNSS engine provides unmatched accuracy and reliability. Robust CHCNAV iStar2.0 algorithms **increase fix rates** in harsh environments and reliably **mitigate ionospheric interference** to always provide the **most reliable RTK** positioning in low latitude regions with high ionospheric activity.

## В новых приемниках CHC i89 Visual GNSS

- Повышенное качество RTK решения в периоды высокой ионосферной активности (в экваториальных и полярных областях)
  - Моделирование и исключение влияния ионосферы
  - Повышенная надежность фиксированного решения **96%**







# TERSUS - SENTRY

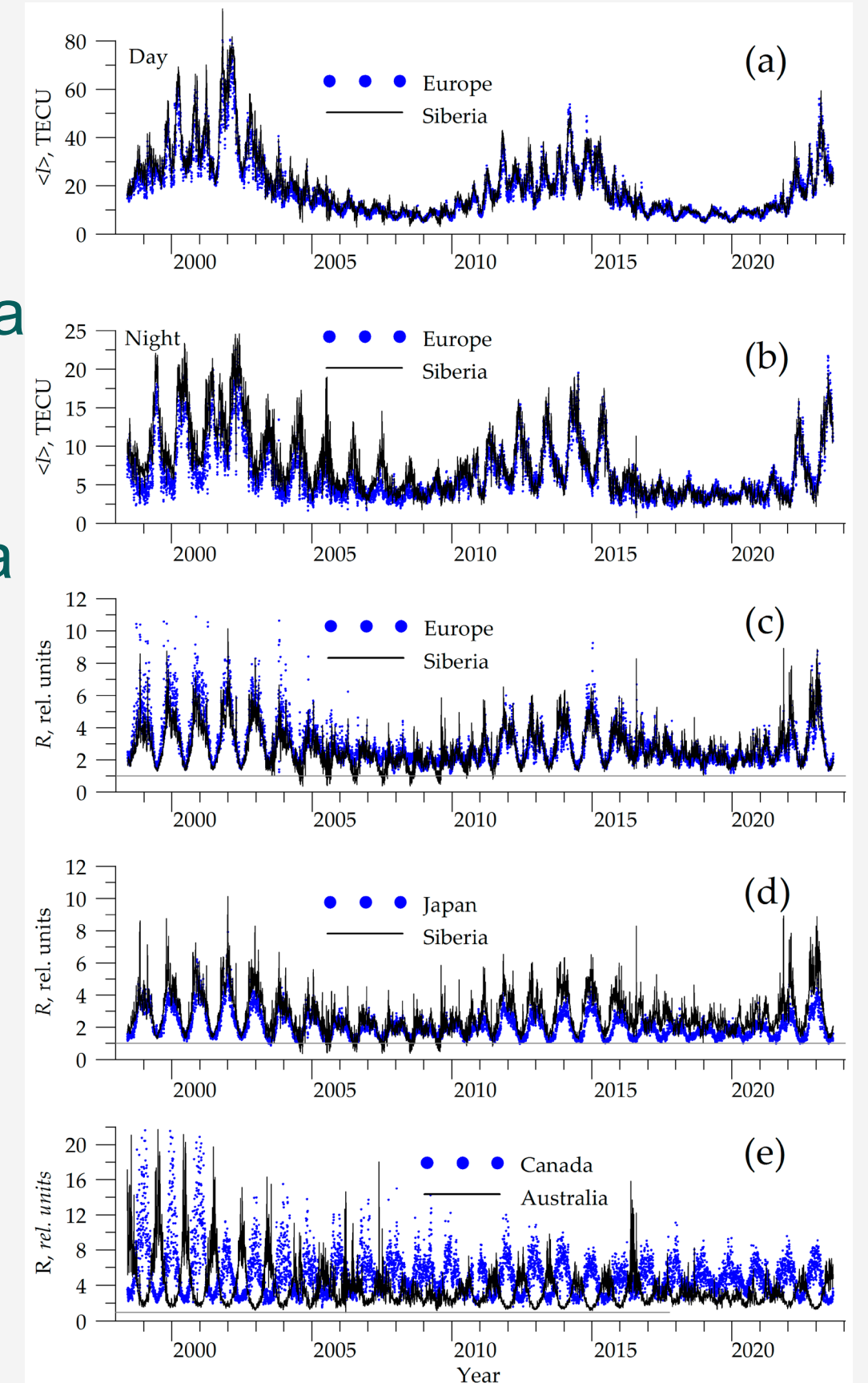
## Повышение надежности RTK/PPP в условиях возмущения ионосферы

- **База** вычисляет и периодически (1-6 раз в минуту) отправляет роверу индексы состояния ионосферы (intensity S4 and phase scintillation ( $\sigma$ - $\phi$ ) indexes)
- **Ровер** на их основании взвешивает/исключает/предупреждает по каждому спутнику в RTK/PPP решении
- Данные за длительный интервал анализируются и могут быть использованы **для прогноза** поведения ионосферы



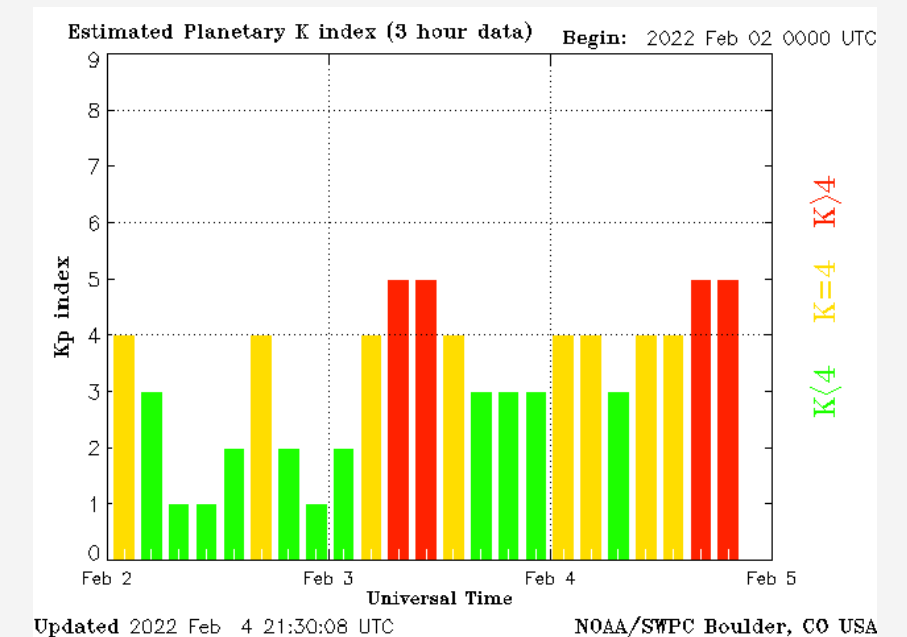
# Россия : ИСЗФ

- Статья “[Ionospheric Global and Regional Electron Contents in Solar Cycles 23–25](#)” под руководством д.ф-м.н. Юрия Ясюкевича (Институт солнечно - земной физики СО РАН, Иркутск)
- Использованы ГНСС данные за 2+ солнечных цикла с 1998 года (Сибирь, Европа, Япония, Австралия, Канада)
- Модель на основе ИИ с прогнозом динамики TEC (глобальной и региональной)
- Нейросеть выявляет закономерности и делает прогноз TEC, уточняя текущую модель ионосферы
- Ожидается уточнение ГНСС решения на 15%



# Выводы

- Качество ГНСС измерений в 2024 в целом будет ниже
- Полностью исключить влияние солнечной активности на ГНСС невозможно, но
  - Можно **выбирать интервалы** для измерений (на основе прогнозов на 3 и 27 дней)
  - Желательно **модернизировать ГНСС** парк (новые приемники/свежие прошивки)
- Взять за правило следить за состоянием и прогнозом при планировании ГНСС съемки



# Полезные ссылки

- [Методы моделирования ионосферы \(glonass -iac.ru\)](http://glonass-iac.ru)
- [Построение картограммы TEC по данным наблюдений ГНСС](#)
- [https://www.prim.ru/blog/teper\\_vse\\_novye\\_primniki\\_iserii\\_vypuskayutsya\\_s\\_novoj\\_proshivkoj\\_istar/](https://www.prim.ru/blog/teper_vse_novye_primniki_iserii_vypuskayutsya_s_novoj_proshivkoj_istar/)
- [Ionospheric Global and Regional Electron Contents in Solar Cycles 23-25](#)
- [Redundancy and resiliency against ionospheric scintillation | NovAtel](#)
- [Kp Index - Kp index \(gfz-potsdam.de\)](http://gfz-potsdam.de)
- [Forecast Kp Index - Space Weather \(gfz-potsdam.de\)](http://gfz-potsdam.de)
- [Planetary K-index | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center](#)
- [27-Day Outlook of 10.7 cm Radio Flux and Geomagnetic Indices | NOAA / NWS Space Weather Prediction Center](#)
- [Ionospheric activity forecast tool | NovAtel](#)
- [Trimble GNSS Planning](#)

Спасибо