



**Омский  
государственный  
университет  
им. Ф.М. Достоевского**

# **О возможности определения ионосферного индекса по сигналам радиомаяков**

**Сысоев Дмитрий Вячеславович  
Инженер-конструктор,  
Студент группы ФРМ-101**

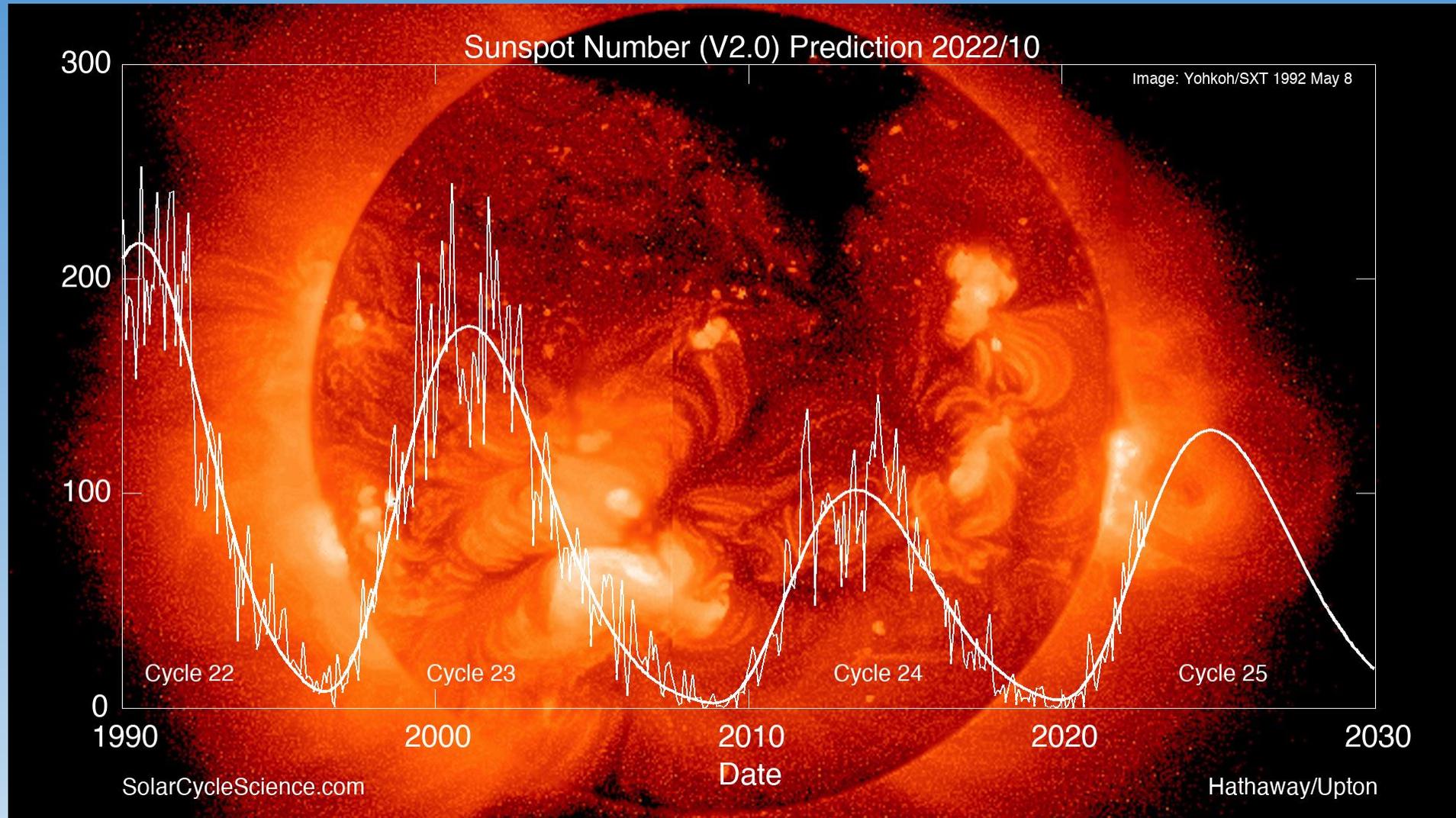
Омск - 2023

# Ионосфера



Ионосферный индекс – некоторое число которое можно использовать в качестве параметра одной из компьютерных моделей ионосферы.

# Солнечная активность



# Модель ионосферы Земли

## International Reference Ionosphere (IRI-2016)

Эмпирическая модель ионосферы Земли, создаваемая при поддержке международного комитета по космическим исследованиям (COSPAR) и международного союза радионаук (URSI).

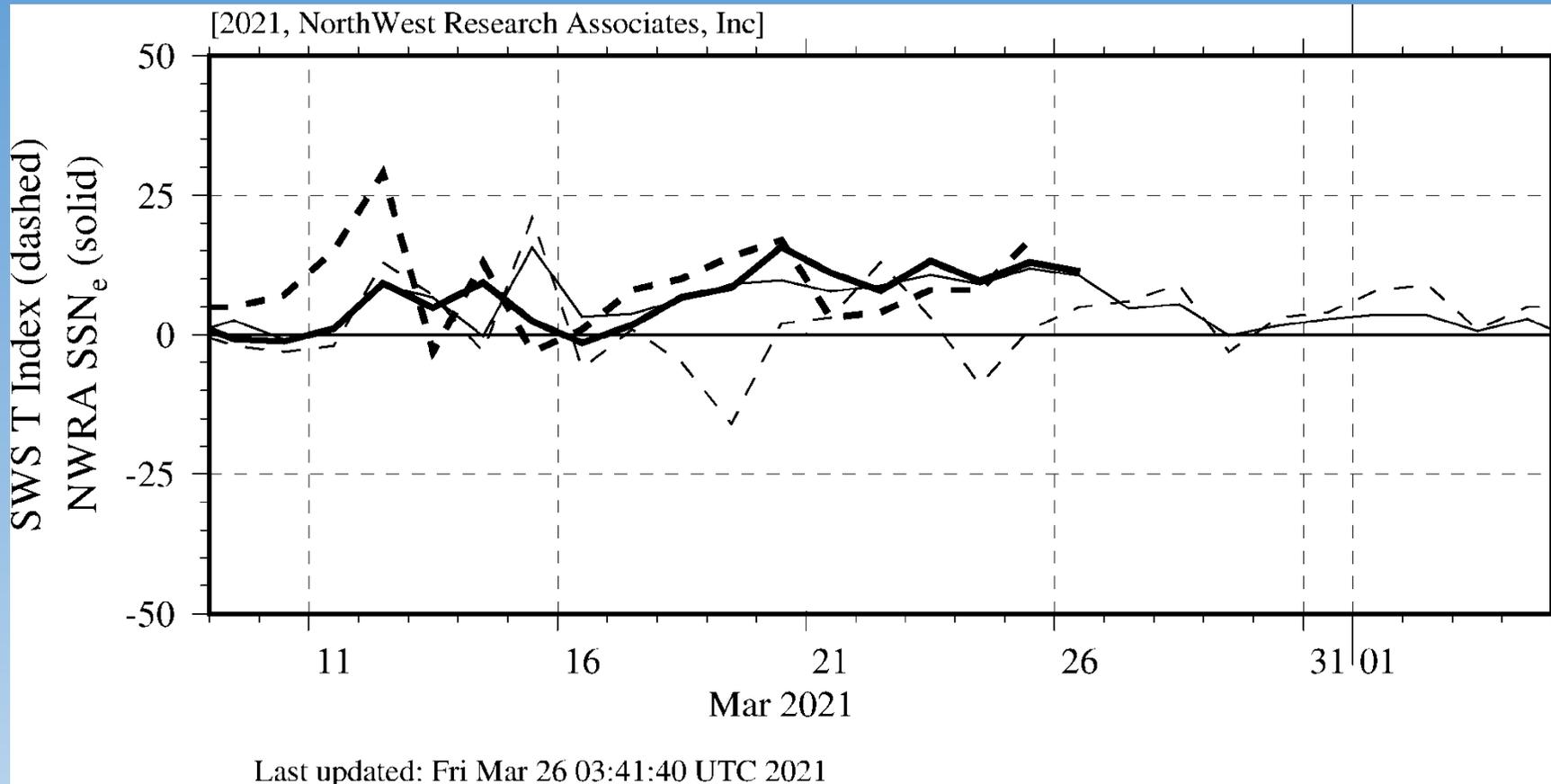
- Позволяет определять для любой точки Земного шара высотные профили температуры, электронного содержания, ионного состава.
- Прошла апробацию многочисленными группами исследователей (IRI News);
- Проходят периодические уточнения по мере получения новых экспериментальных данных.



# IRI – International Reference Ionosphere

H km	ELECTRON DENSITY			TEMPERATURES			ION PERCENTAGES/%							1E16m-2	
	Ne/cm-3	Ne/NmF2	Tn/K	Ti/K	Te/K	O+	N+	H+	He+	O2+	NO+	C]ust	TEC	t/%	
50.0	-1	-1.000	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1.0	-1	
55.0	-1	-1.000	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1.0	-1	
60.0	-1	-1.000	236	236	236	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1.0	-1	
65.0	57	0.000	229	229	229	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1.0	-1	
70.0	152	0.000	222	222	222	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1.0	-1	
75.0	271	0.000	217	217	217	0	0	0	0	3	5	92	-1.0	-1	
80.0	378	0.000	216	216	216	0	0	0	0	5	20	75	-1.0	-1	
85.0	759	0.001	214	214	214	0	0	0	0	26	35	39	-1.0	-1	
90.0	7813	0.007	204	204	204	0	0	0	0	30	50	20	-1.0	-1	
95.0	32268	0.029	187	187	187	0	0	0	0	34	65	1	-1.0	-1	
100.0	65099	0.058	178	178	178	0	0	0	0	45	55	0	-1.0	-1	
105.0	83170	0.074	190	190	190	0	0	0	0	44	56	0	-1.0	-1	
110.0	85875	0.076	223	223	223	0	0	0	0	42	58	0	-1.0	-1	
115.0	82975	0.074	280	280	280	0	0	0	0	42	58	0	-1.0	-1	
120.0	80660	0.072	359	359	359	0	0	0	0	41	59	0	-1.0	-1	
125.0	82768	0.073	429	429	430	0	0	0	0	42	58	0	-1.0	-1	
130.0	89482	0.079	478	478	500	0	0	0	0	42	57	0	-1.0	-1	
135.0	98279	0.087	517	517	571	3	0	0	0	40	57	0	-1.0	-1	
140.0	108311	0.096	548	548	641	5	0	0	0	38	57	0	-1.0	-1	
145.0	119849	0.106	573	573	711	9	0	0	0	36	55	0	-1.0	-1	
150.0	133258	0.118	593	593	782	14	0	0	0	33	53	0	-1.0	-1	
155.0	149053	0.132	609	609	852	19	0	0	0	31	50	0	-1.0	-1	
160.0	167997	0.149	622	622	923	25	0	0	0	29	47	0	-1.0	-1	
165.0	191300	0.170	632	632	993	30	0	0	0	26	43	0	-1.0	-1	
170.0	221108	0.196	641	641	1063	36	0	0	0	24	40	0	-1.0	-1	
175.0	257352	0.228	647	647	1134	41	0	0	0	21	37	0	-1.0	-1	
180.0	297608	0.264	652	652	1204	47	0	0	0	19	34	0	-1.0	-1	
185.0	341897	0.304	657	657	1274	53	0	0	0	16	31	0	-1.0	-1	
190.0	390140	0.346	660	660	1344	59	0	0	0	12	29	0	-1.0	-1	
195.0	442134	0.393	663	663	1413	61	0	0	0	13	26	0	-1.0	-1	
200.0	497541	0.442	665	665	1481	63	0	0	0	13	24	0	-1.0	-1	
205.0	555874	0.494	667	677	1543	66	0	0	0	12	22	0	-1.0	-1	
210.0	616488	0.547	668	689	1597	68	0	0	0	11	21	0	-1.0	-1	
215.0	678577	0.602	669	701	1641	71	0	0	0	10	19	0	-1.0	-1	
220.0	741183	0.658	670	713	1676	74	0	0	0	8	18	0	-1.0	-1	
225.0	803207	0.713	671	725	1706	77	0	0	0	7	16	0	-1.0	-1	
230.0	863430	0.767	671	737	1734	80	0	0	0	6	14	0	-1.0	-1	
235.0	920550	0.817	672	749	1761	83	0	0	0	5	12	0	-1.0	-1	
240.0	973217	0.864	672	761	1787	86	0	0	0	4	10	0	-1.0	-1	
245.0	1020079	0.906	672	773	1814	89	0	0	0	3	8	0	-1.0	-1	
250.0	1059828	0.941	673	785	1841	92	0	0	0	2	6	0	-1.0	-1	
255.0	1091249	0.969	673	797	1867	94	0	0	0	2	5	0	-1.0	-1	
260.0	1113244	0.988	673	809	1894	95	0	0	0	1	4	0	-1.0	-1	
265.0	1124805	0.999	673	821	1920	97	0	0	0	1	2	0	-1.0	-1	
270.0	1125727	0.999	673	833	1947	98	0	0	0	1	1	0	-1.0	-1	
275.0	1121547	0.996	673	845	1973	98	0	0	0	1	1	0	-1.0	-1	
280.0	1113574	0.989	673	857	2000	99	0	0	0	0	1	0	-1.0	-1	
285.0	1102154	0.979	674	869	2027	99	0	0	0	0	1	0	-1.0	-1	
290.0	1087648	0.966	674	881	2053	99	0	0	0	0	0	0	-1.0	-1	
295.0	1070423	0.950	674	893	2080	100	0	0	0	0	0	0	-1.0	-1	

# Известные ионосферные индексы



# Программа «Трасса»

Программа расчета траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2-30 МГц

Выбор линии связи из списка: 9: Севастополь-10: Омск

Данные МПЧ и НПЧ | График зависимости МПЧ, ОРЧ и НПЧ от времени суток | Данные траекторных и энергетических характеристик трасс

Мощность передатчика, кВт	1,000		
Полоса приемника, кГц	3,0		
Антенна	Изотропная (Азимут антенны: 0,0 град.)		Изотропная (Азимут антенны: 0,0 град.)
Тип поверхности под антенной	Средняя		Средняя
Протяженность, км	Число пятен	Азимут на приемник, град	Азимут на передатчик, град
3036,43	10	53,28	264,37

Время (Московское декретное)	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00
МПЧ	8,2	8,1	7,8	7,6	7,9	9,4	11,8	14,8	17,4	19,2	20,1	20,2	20,2	20,1	19,7	19,3	18,9	18,1	16,4	14,4	12,4	10,8	9,4	8,6	8,2
ОРЧ	7,0	6,9	6,6	6,4	6,7	8,0	10,0	12,6	14,8	16,3	17,1	17,2	17,2	17,1	16,7	16,4	16,1	10,6	9,5	8,3	7,2	9,2	8,0	7,3	7,0
НПЧ	2,2	2,2	2,2	2,2	3,3	4,2	5,3	7,0	7,5	7,7	8,1	7,9	7,8	8,2	8,2	8,2	8,3	7,6	6,2	4,3	3,3	3,0	2,4	2,2	2,2

Число скачков: 3 | Дата: 22.03.2021 |  стационарные помехи

Учет числа скачков автоматически | Время: Московское декретное | Стационарные помехи (дБ): 5,0

Динамика (дБ): 50,0 | Начало связи (ч.мин.): 11 52 | Стандарт. откл. станц. помех (дБ): 1,0

Отн. с/ш для НПЧ(дБ): 10,0 | Конеч. связи (ч.мин.): 11 52 | Таблица значений и стандартных отклонений станционных помех

Сортировка результатов по с/ш | Шаг по времени (мин): 60,0

Спорадический слой Es | Солнечная активность:  взять из прогноза  задать вручную  задать вручную индекс IG: 10,0

Учет потерь прохождения через Es |  собственные шумы приемника | Собственные шумы приемника (дБ): 1,0

Учет возмущения |  такелажные помехи |  пурговые помехи

Рассчитывать:  МПЧ  НПЧ  параметры лучей  автомат. расчет каждый час

Шаг по времени (мин): 60,0 | Коэффициент ОРЧ: 0,85 |  Рассчитать суточный ход МПЧ  Рассчитать суточный ход НПЧ

качество связи | Защитный коэффициент (дБ): 20,0 | Время действия (%): 90,0 | Вероятность обслуживания (%): 90,0

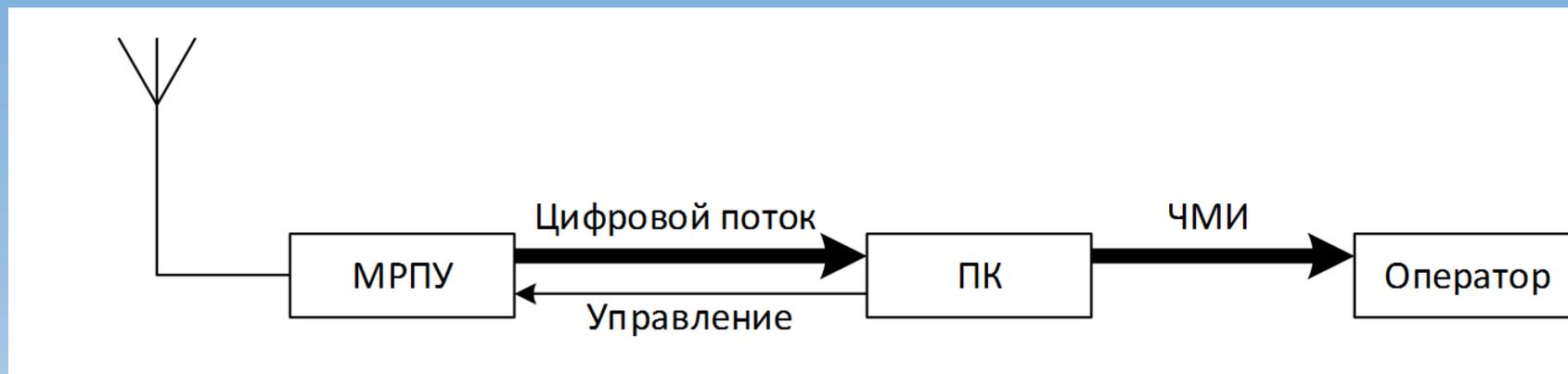
Расчет земной волны |  Рассчитать АЧХ, УЧХ и ДЧХ

Рассчитать ионосферный индекс (IG) по заданному значению МНЧ (МГц): 10,0

Файл коррекции ионосферы по данным станций ВЗ |  Коррекция по fOF2 Ч |  коррекция ионосферы по TEC |  коррекция по TEC

Рассчитать

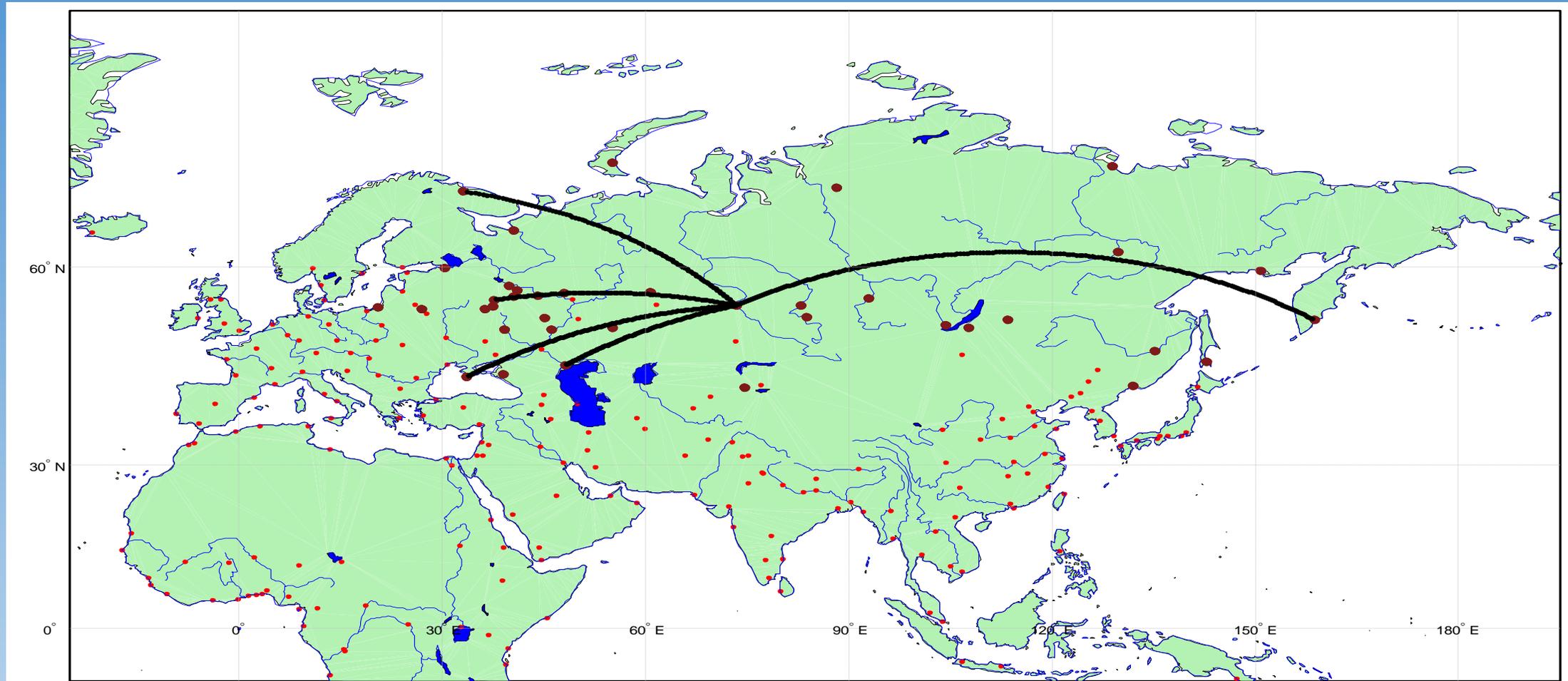
# Экспериментальная установка



MRPU – многоканальное радиоприемное устройство;  
ПК – персональный компьютер;  
ЧМИ – человеко-машинный интерфейс.



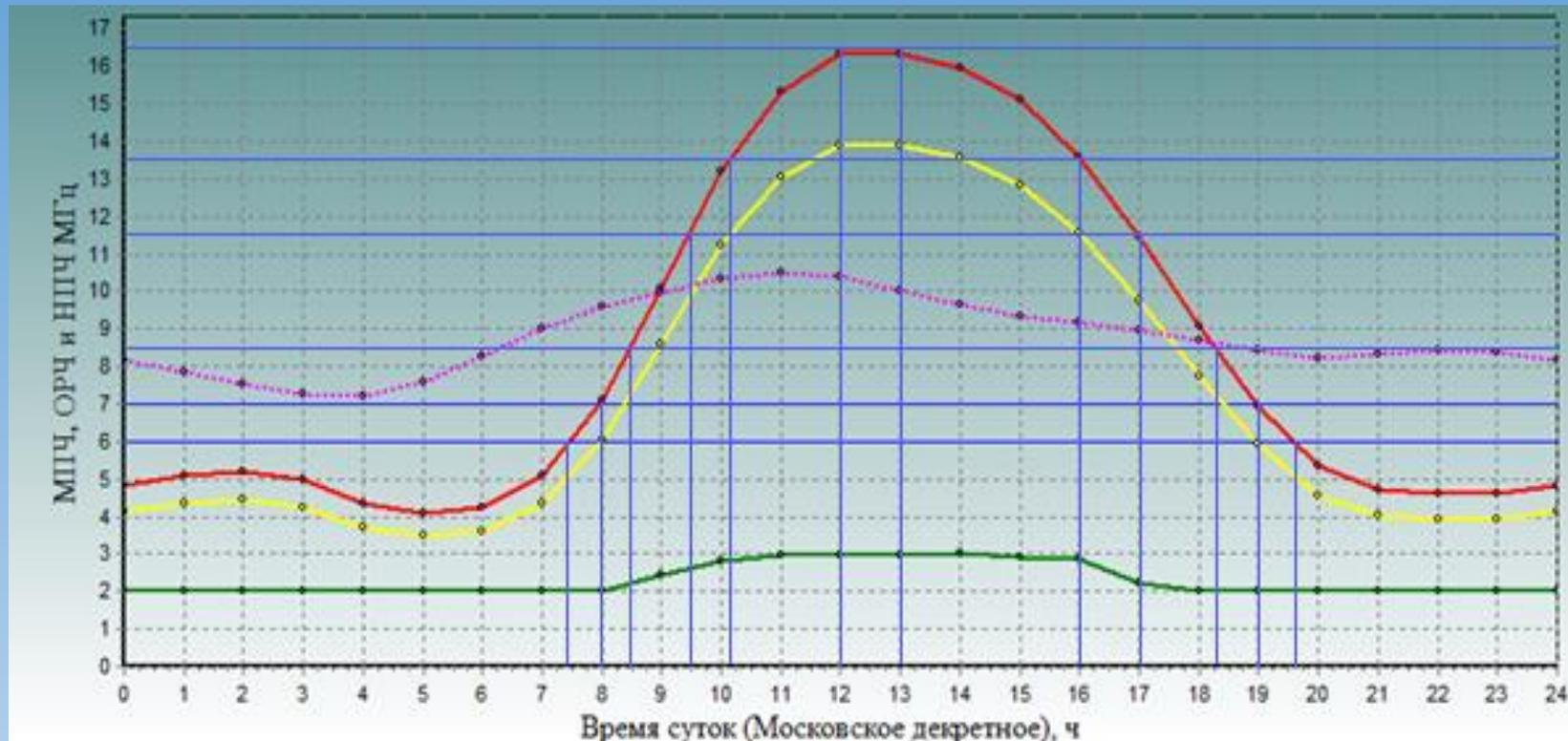
# Радиолинии для эксперимента



Прием велся на радиолиниях:

Севастополь-Омск, Астрахань-Омск, Москва-Омск, Мурманск-Омск, Петропавловск-Камчатский - Омск

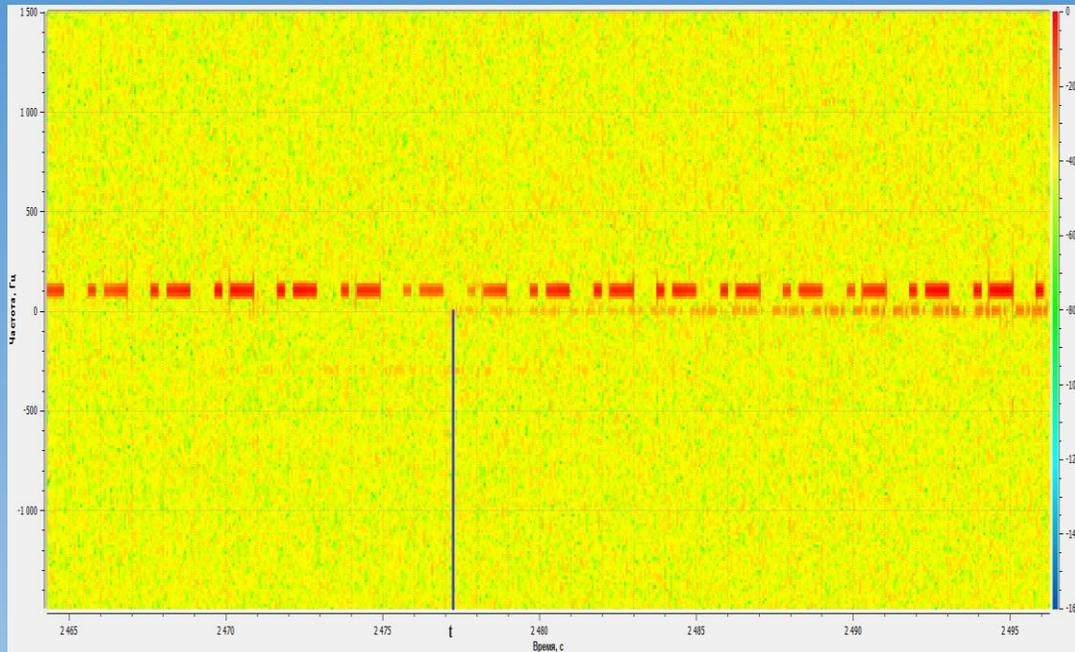
# Методика определения ионосферного индекса



Формула расчета 
$$Z^2S = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N W_i'$$

, где  $W'$  – экспериментально полученный индекс,  $i$  – порядковый номер события,  $N$  – количество событий

# Обработка экспериментальных данных



Программа расчета траекторий и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2-30 МГц

База входных данных: 9 Севастополь-10 Омск

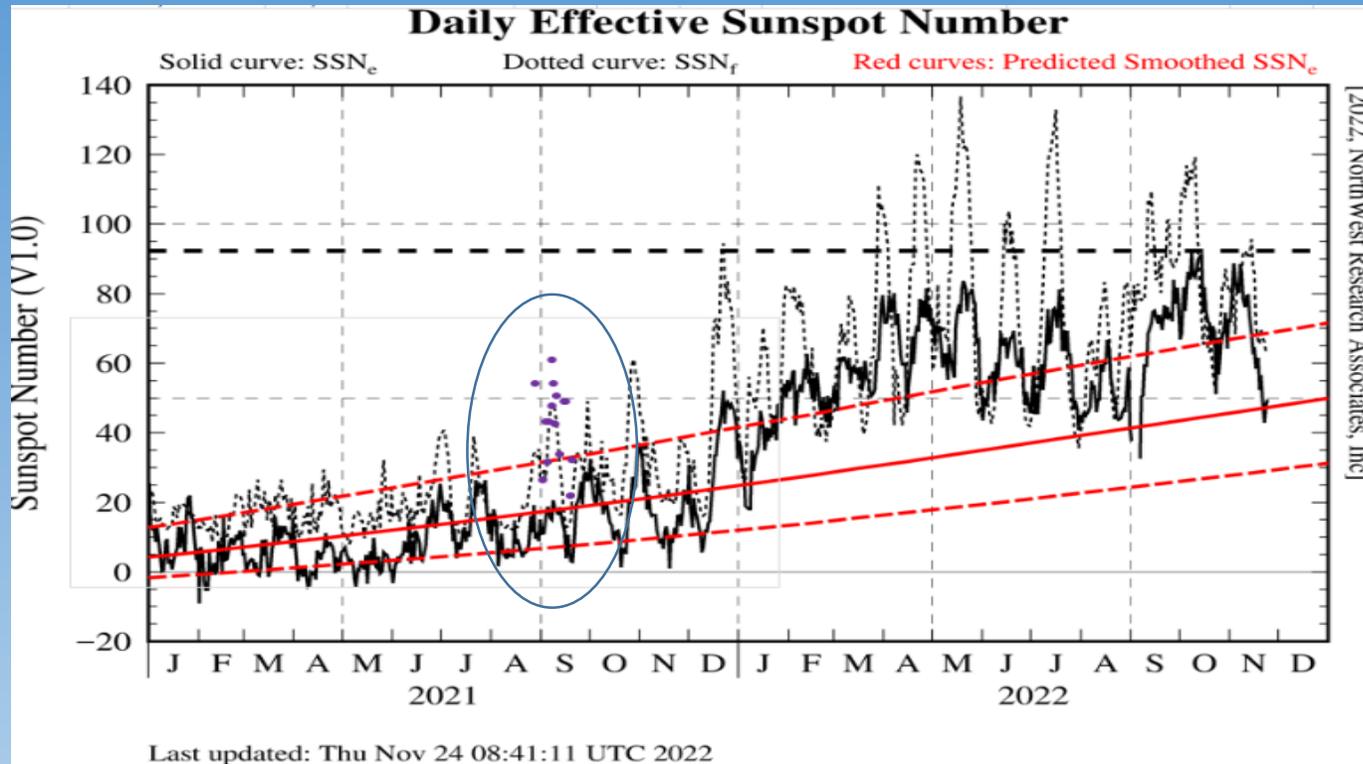
Мощность передатчика, кВт: 1,000  
 Полоса приемника, кГц: 3,0  
 Антенна: Изотропная (Азимут антенны: 0,0 град.)  
 Тип поверхности под антенной: Средняя  
 Протяженность, км: 3036,43  
 Число патен: 10  
 Азимут на приемник, град: 53,28  
 Азимут на передатчик, град: 264,37

Время (Московское летнее)	0,00	1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	7,00	8,00	9,00	10,00	11,00	12,00	13,00	14,00	15,00	16,00	17,00	18,00	19,00	20,00	21,00	22,00	23,00	24,00
МПЧ	8,2	8,1	7,8	7,6	7,9	9,4	11,8	14,8	17,4	19,2	20,1	20,2	20,2	20,1	19,7	19,3	18,9	18,1	16,4	14,4	12,4	10,8	9,4	8,6	8,2
ОРЧ	7,0	6,9	6,6	6,4	6,7	8,0	10,0	12,6	14,8	16,3	17,1	17,2	17,2	17,1	16,7	16,4	16,1	16,6	9,5	8,3	7,2	9,2	8,0	7,3	7,0
НПЧ	2,2	2,2	2,2	2,2	3,3	4,2	5,3	7,0	7,5	7,7	8,1	7,9	7,8	8,2	8,2	8,2	7,6	6,2	4,3	3,3	3,0	2,4	2,2	2,2	

Число сканов: 3  
 Дата: 22.03.2021  
 Время: Московское летнее  
 Стационарные помехи: 50  
 Динамика: 50,0  
 Начало связи: 11:52  
 Конец связи: 11:52  
 Шаг по времени: 60,0  
 Тип района: индустриальные помехи  
 Рассчитать: МПЧ, ОРЧ, НПЧ, параметры линий, автомат. расчет каждого часа, индустриальные помехи, АКЧ, УКЧ и ДЧК, Расчет земной волны, Задать дополнительные параметры, Задать волновые помехи  
 Расчет инкосферный индекс (IG) по заданному значению МПЧ (МГц): 10,0  
 Рассчитать

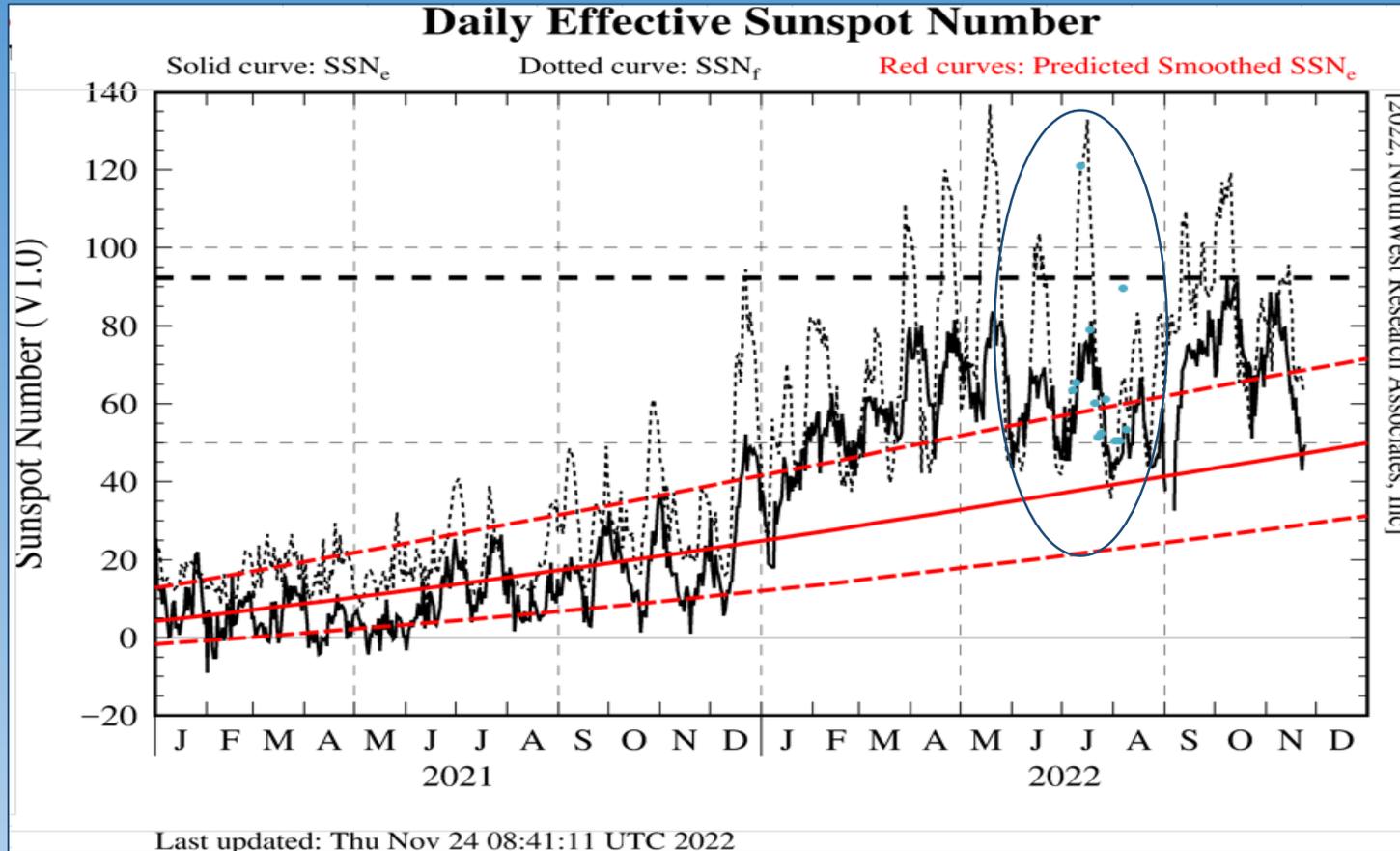


# Результаты



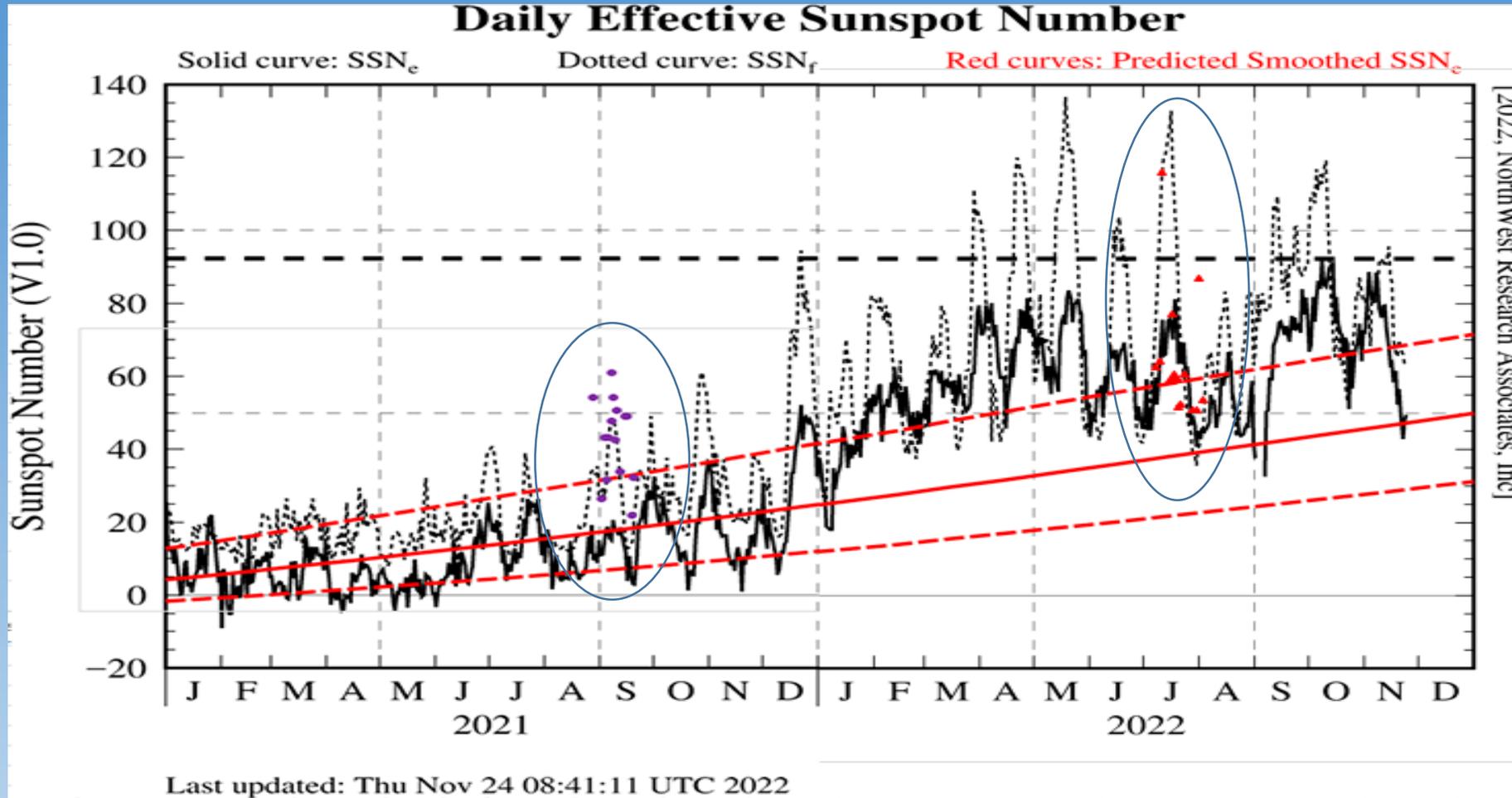
Дата	Количество усреднений RZ			
	1	2	3	4
21.09.2021		51		
27.09.2021		13		
30.09.2021	36			
01.10.2021		20		
02.10.2021		36		
04.10.2021			60	
05.10.2021			42	
06.10.2021				51
07.10.2021			35	
08.10.2021			46	
11.10.2021			23	
14.10.2021			44	
15.10.2021	44			

# Результаты



Дата	RZ							RZ(ср)
13.июл	43	96	27	47	1		51	63
14.июл	93	49	55	27	99			65
15.июл	47	99		84	58		93	122
18.июл		54	91	44	50			79
19.июл	72	27	50	91				60
20.июл	51							51
21.июл	14	48	96	28	72			52
22.июл	77	28	77					61
25.июл	66	55	3	33	91	16	85	50
26.июл	6	61	83	50				50
27.июл	85	93						90
28.июл	17	77	39	77				53

# Результаты



Ежедневное эффективное число солнечных пятен.

# Заключение

- Предложенный метод измерения ионосферного индекса показал свою работоспособность;
- Результаты измерений не противоречат известным представлениям;
- Определение индексов возможно без использования специальных технических средств. Могут быть использованы штатные РПУ радиоцентров, допускающие последующую цифровую обработку радиосигналов.

# Список литературы

- Арефьев В.И., Кочерова М.К., Талалаев А.Б., Тихонов В.В. Методы диагностики характеристик ионосферы для заданного региона и коррекция моделей ионосферы в интересах повышения точности прогнозирования распространения радиоволн декаметрового диапазона // Вестник ТвГУ. Серия: Прикладная математика. 2016. № 1. С. 33–51.
- Secan, J.A. and P.J. Wilkinson, Statistical studies of an effective sunspot number, Radio Science, 32, 1717-1724, 1997.
- The NWRA Effective Sunspot-Number Index. – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://spawx.nwra.com/spawx/ssne\\_defn.html](https://spawx.nwra.com/spawx/ssne_defn.html) - Проверено: 02.12.2022 г.
- Ionospheric T index – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.ngdc.noaa.gov/stp/iono/T\\_index.html](https://www.ngdc.noaa.gov/stp/iono/T_index.html) - Проверено: 02.12.2022 г.
- T index – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.sws.bom.gov.au/HF\\_Systems/1/6](https://www.sws.bom.gov.au/HF_Systems/1/6) - Проверено: 02.12.2022 г.
- ASAPS – [Электронный ресурс] – Режим доступа: [https://www.sws.bom.gov.au/Products\\_and\\_Services/1/2](https://www.sws.bom.gov.au/Products_and_Services/1/2) - Проверено: 02.12.2022 г.
- Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Программный комплекс прогнозирования траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2 – 30 МГц «Трасса» (часть 1) // Техника радиосвязи 2013. Вып. 1 (19) . С. 25-34.
- Барабашов Б.Г., Анишин М.М. Программный комплекс прогнозирования траекторных и энергетических характеристик радиоканалов диапазона 2 – 30 МГц «Трасса» (часть 2) // Техника радиосвязи 2013. Вып. 2 (20) . С. 14-21.
- Профессиональные радиоприемные устройства [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://oniip.ru/product/102/> - Проверено: 02.12.2022 г.
- Сысоев Д. В., Зубков М. П. Адаптация модели ионосферы земли по результатам приёма контрольно- маркерных сигналов // Приборостроение и информационные технологии (ПИТ-2021) : тезисы докладов XIV Межрегиональной студенческой научно-практической конференции, посвященной 63-й годовщине образования Омского научно-исследовательского института приборостроения (Омск, 2 декабря 2021 г.) / отв. ред. С. В. Кривальцевич. Омск : ОНИИП, 2022. С. 70-73.

Спасибо за внимание!