

# Суточные вариации полярного мезосферного озона около летнего солнцестояния

Ю.Ю. Куликов<sup>1</sup>, В.И. Демин<sup>2</sup>, В.М. Демкин<sup>3</sup>, А.С. Кириллов<sup>2</sup>, В.Г. Рыскин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия

<sup>2</sup>ПГИ, г. Апатиты, Россия

<sup>3</sup>ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия

В сообщении представлены результаты наземных микроволновых наблюдений озона средней атмосферы за Полярным кругом на Кольском полуострове в Апатитах (67N, 33E), которые были выполнены в июне 2023 – 2025 гг. В измерениях был использован мобильный озонометр (рабочая частота 110.8 ГГц). Прибор позволяет отслеживать вариации озона в средней атмосфере с 15-ти минутным разрешением по времени. Выполнены оценки вертикальных распределений озона в интервале высот 22 – 60 км. Эти высотные профили сопоставлены со спутниковыми данными MLS/Aura об озоне и температуре в средней атмосфере. Обнаружено, что во время летнего солнцестояния (высота Солнца в полночь около  $+1^\circ$ ) вариации полярного мезосферного озона (60 км) в течение суток могут быть квазипериодическими (период около 10 часов) и были, по-видимому, сформированы планетарными волнами. Почти периодические изменения концентрации озона имели размах около 10%. Амплитуда суточного хода в июне месяце близка нулю. В декабре (полярная ночь) амплитуда суточного хода мезосферного озона в разные годы составляла от 6% до 20%.

## Мобильный микроволновый озонометр в Апатитах



Микроволновый озонометр состоит из гетеродинного неохлаждаемого приемника, настроенного на фиксированную частоту **110.8 ГГц** (длина волны **2.7 мм**) и фильтрового анализатора спектра.

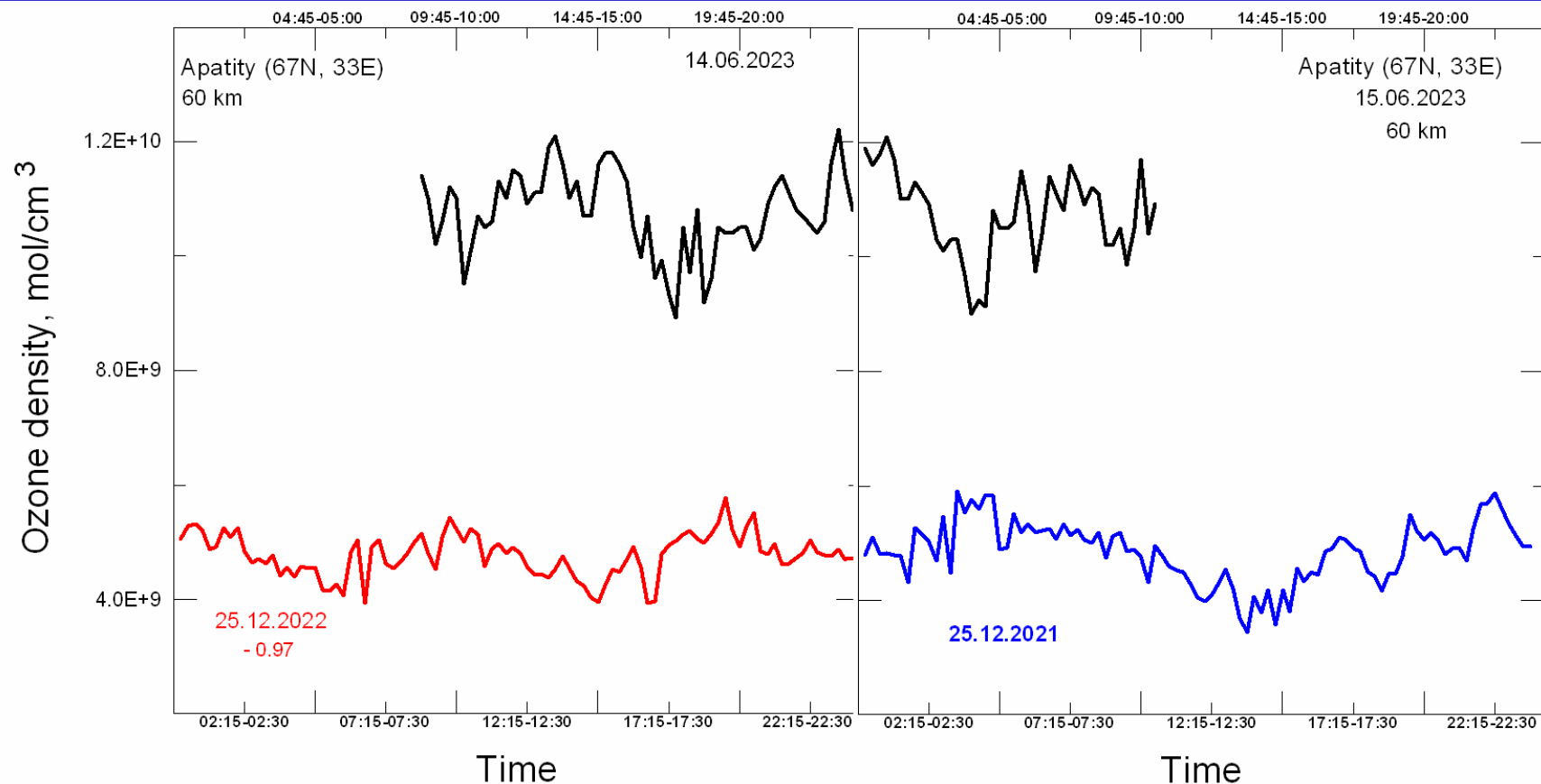
Однополосная шумовая температура приемника **2500 К**.

Анализатор спектра состоит из 31 фильтра с полосой пропускания от **1 МГц** до **10 МГц** и полной полосой анализа **240 МГц**.

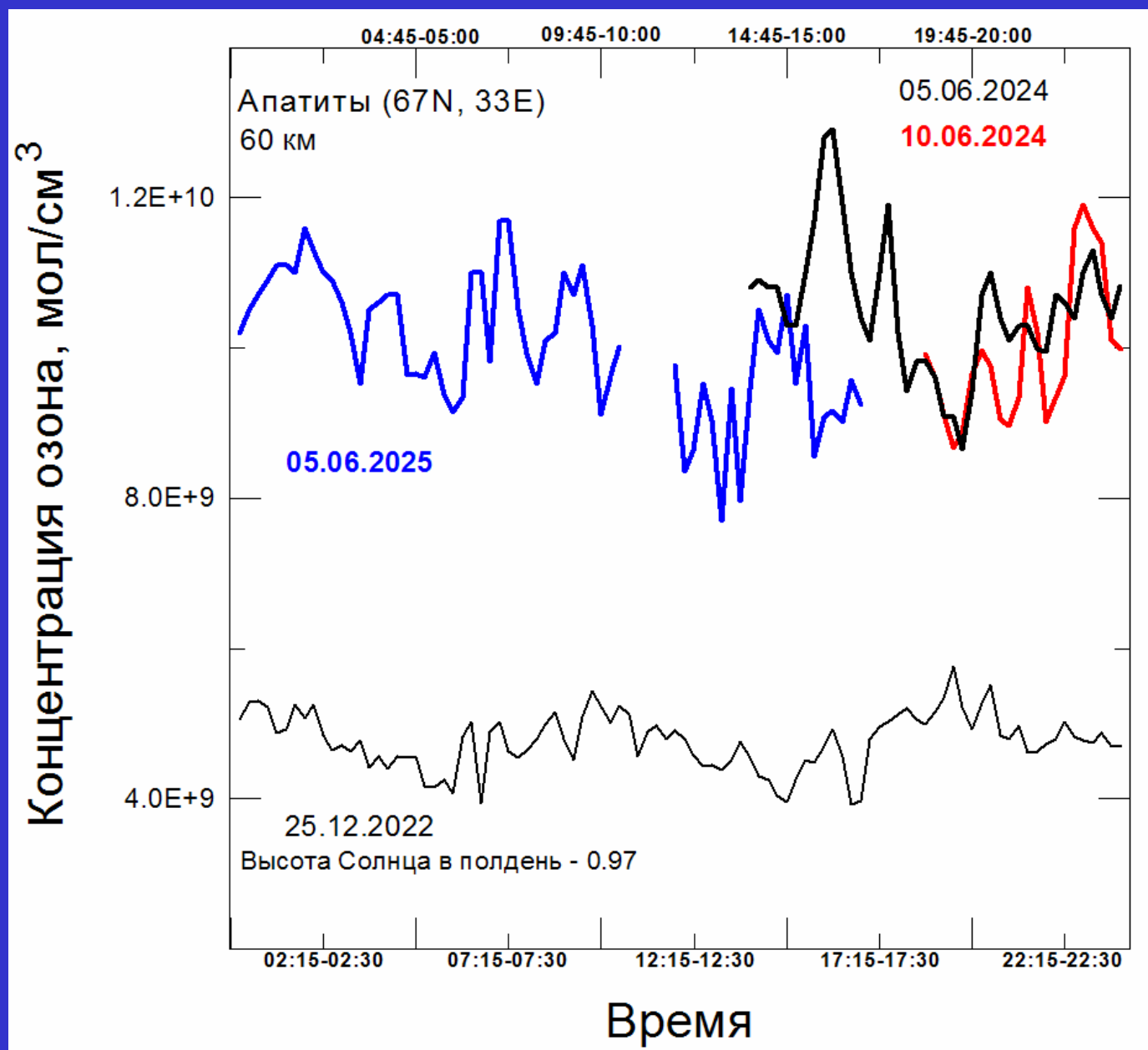
Параметры прибора позволяют измерять за **15 мин** спектр линии озона с точностью порядка **2%**.

Измерения спектров теплового излучения атмосферы выполняются методом абсолютной калибровки излучения по двум «чернотельным» эталонам, которые находятся при температуре кипения жидкого азота и при температуре окружающего воздуха.

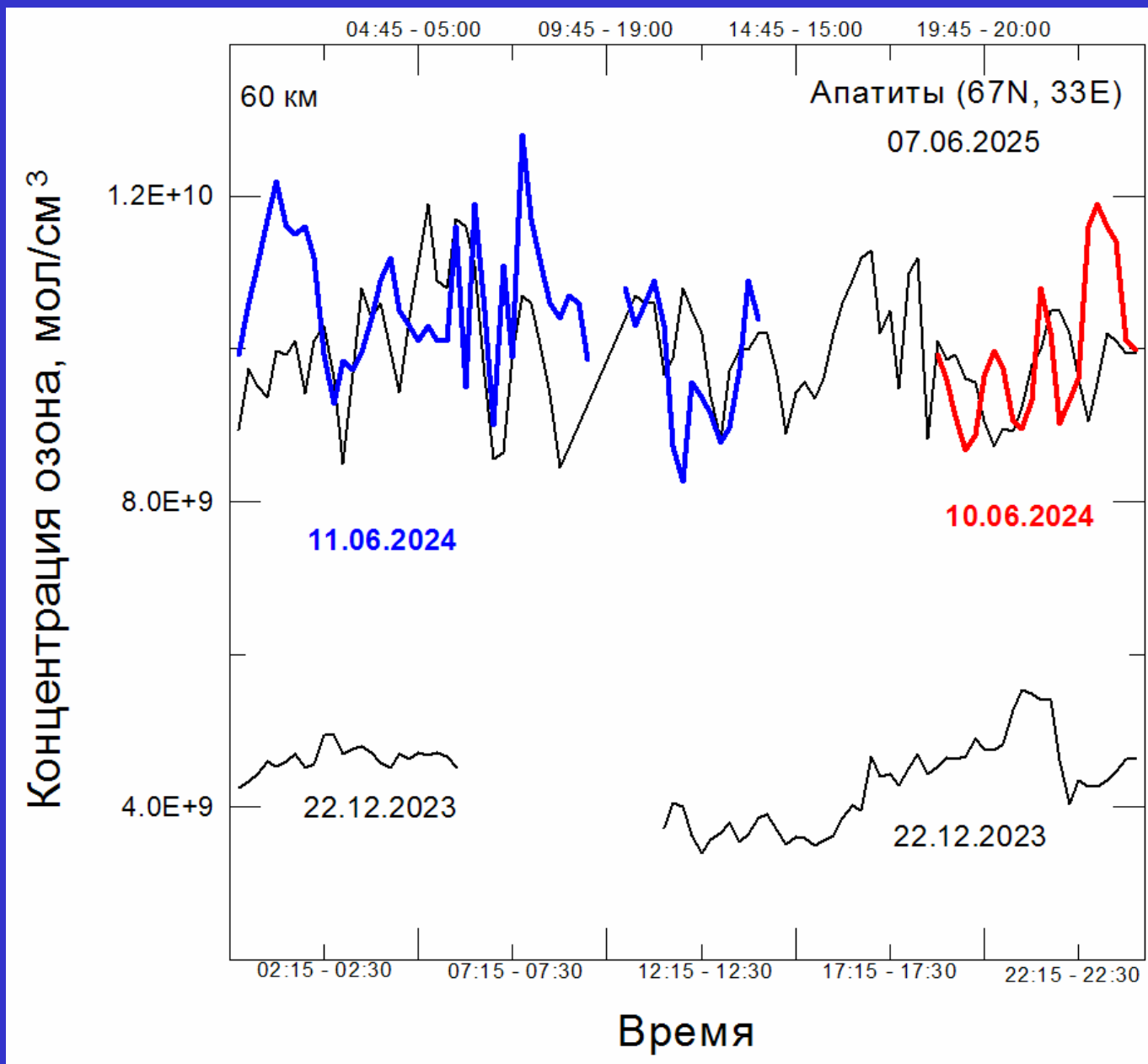
# Суточные вариации мезосферного озона (60 км) во время полярного дня июнь 2023 года



Суточный цикл 25.12.2021 (синяя кривая)  $(4.31 \pm 0.11) \cdot 10^9$   $(5.00 \pm 0.12) \cdot 10^9$   $A \approx 16\%$   
 25.12.2022 (красная кривая)  $(4.73 \pm 0.09) \cdot 10^9$   $(4.96 \pm 0.10) \cdot 10^9$   $A \approx 5\%$   
 14-15.06.2023 (черная кривая)  $(1.10 \pm 0.02) \cdot 10^{10}$   $(1.13 \pm 0.02) \cdot 10^{10}$   $A \approx 2\%$   
 Высота Солнца полдень – полночь 14-15 июня + 45.69 + 0.85  $T(60 \text{ км}) \approx (252.6 \pm 0.7) \text{ K}$



Суточные вариации мезосферного озона (60 км) в июне 2024 года



Суточный ход мезосферного озона (60 км) в июне 2035 года

## Некоторые итоги летних наблюдений

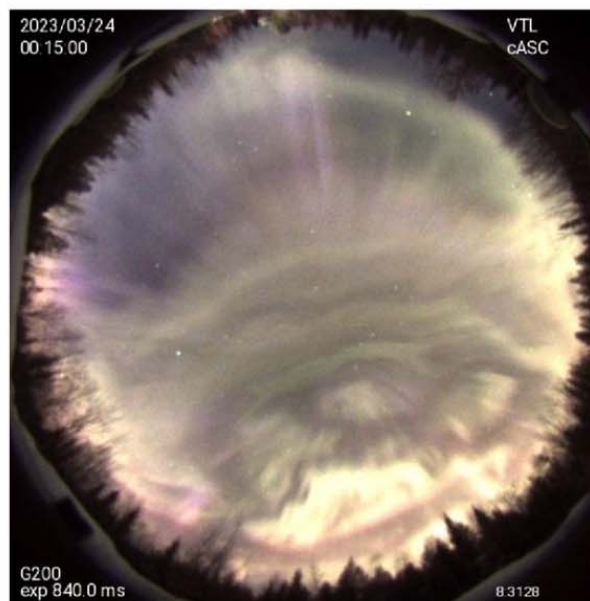
Во-первых, повторяемость величины концентрации мезосферного озона (60 км) в июне от года к году;

Во-вторых, сезонный ход содержания озона в средней атмосфере имеет максимум летом также как и в средних широтах.

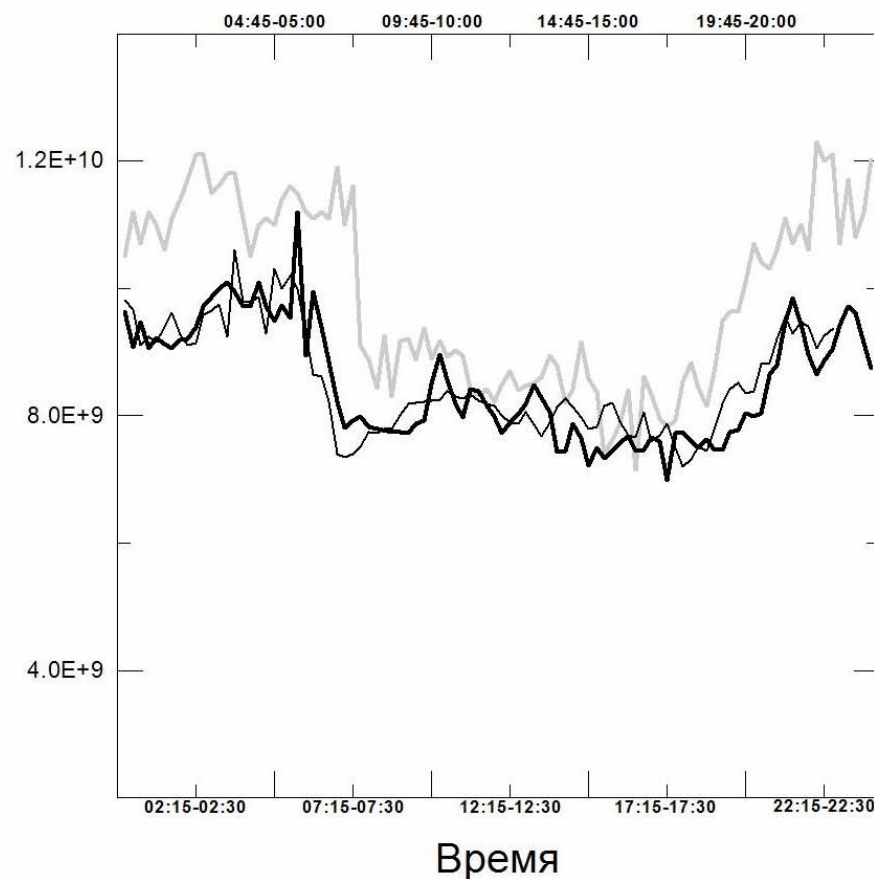
Дополнение для привлечения внимания к проблеме:

## ВЛИЯНИЕ СОЛНЕЧНОЙ АКТИВНОСТИ НА ОЗОН СРЕДНЕЙ АТМОСФЕРЫ В ПОЛЯРНЫХ ШИРОТАХ





Концентрация озона, мол/см<sup>3</sup>



Левая панель: снимок всего неба (камера КВН-22) в обсерватории ПГИ Верхне-Туломская (69N, 32E) во время магнитной бури 23-24 марта 2023 года. Правая панель: суточный ход концентрации мезосферного озона (60 км) вблизи весеннего равноденствия над Апатитами (67N, 33E) во время магнитной бури по данным наземной микроволновой радиометрии. Жирная черная кривая – суточный ход мезосферного O<sub>3</sub> 24 марта; тонкая черная кривая суточный ход O<sub>3</sub> 25 марта; полупрозрачная (серая) кривая – суточный ход озона 14 марта 2018 г. после мажорного стратосферного потепления в середине февраля 2018 года.

	10:00 – 14:00	22:00 – 02:00	A
07 – 09. 02.2024	$(6.07 \pm 0.04) \cdot 10^{09}$	$(7.51 \pm 0.12) \cdot 10^{09}$	24%
12 – 16.02.2024	<b><math>(5.53 \pm 0.20) \cdot 10^{09}</math></b>	<b><math>(6.41 \pm 0.19) \cdot 10^{09}</math></b>	16%
18 – 21.02.2024	$(5.84 \pm 0.29) \cdot 10^{09}$	$(6.88 \pm 0.23) \cdot 10^{09}$	18%

Солнечные протонные события в середине февраля 2024 г. происходили от 9 до 21 (данные спутника GOES-18). Детекторы (10, 50 и 100 МэВ) спутника зарегистрировал 3 всплеска потока протонов: 09.02. – 14 UT; 12.02. – 07 UT; 16.02. – 11 UT. Уменьшение концентрации мезосферного озона (60 км) во время событий составило  $(10 \pm 2)\%$ .

Концентрация, мол/см <sup>3</sup>		Низкая солнечная активность				
		2017/2018		2018/2019		2019/2020
День		$(4.24 \pm 0.05) \cdot 10^{09}$		$(4.64 \pm 0.11) \cdot 10^{09}$		$(4.44 \pm 0.07) \cdot 10^{09}$
Ночь		$(5.24 \pm 0.70) \cdot 10^{09}$		$(5.87 \pm 0.20) \cdot 10^{09}$		$(4.94 \pm 0.09) \cdot 10^{09}$
Н/Д		1.24		1.26		1.11
		Высокая солнечная активность				
		2021/2022		2022/2023		2023/2024
День		$(4.35 \pm 0.09) \cdot 10^{09}$		$(4.38 \pm 0.09) \cdot 10^{09}$		$(4.23 \pm 0.13) \cdot 10^{09}$
Ночь		$(5.17 \pm 0.09) \cdot 10^{09}$		$(4.66 \pm 0.13) \cdot 10^{09}$		$(4.68 \pm 0.09) \cdot 10^{09}$
Н/Д		1.19		1.06		1.11
День	НСА	$(4.44 \pm 0.09) \cdot 10^{09}$	ВСА	$(4.32 \pm 0.04) \cdot 10^{09}$	Отношение	3%
Ночь	НСА	$(5.28 \pm 0.29) \cdot 10^{09}$	ВСА	$(4.84 \pm 0.14) \cdot 10^{09}$	Отношение	9%

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

**Планетарная магнитная буря 23-24 марта 2023 года не оказала заметного влияния на мезосферный озон над Апатитами**

**В наземных микроволновых наблюдениях озона Средней атмосферы в зимний сезон 2023 – 2024 гг. над Апатитами во время протонных событий 09.02. – 25.02.2024 и 23.03. – 01.04.2024 понижение мезосферного озона составило около 10%.**

**Разница между изменениями мезосферного озона во время полярной ночи при низкой и высокой солнечной активностью не превышало 10%.**