Сезонные изменения стратосферного и мезосферного озона в полярных широтах над Кольским полуостровом

Ю.Ю. Куликов[1], В.И. Демин[2], В.М. Демкин[3], А.С. Кириллов[2], В.Г. Рыскин[1]

[1]ИПФ РАН, г. Нижний Новгород, Россия [2]ПГИ, г. Апатиты, Россия, [3]ВШЭ, г. Нижний Новгород, Россия

В сообщении представлены результаты наземных микроволновых наблюдений озона средней атмосферы за Полярным кругом в Апатитах (67N, 33E), которые были о проведены осенью - летом в 2017 – 2026 гг. Эти наблюдения были выполнены как при низкой так и высокой солнечной активности. В измерениях был использован мобильный микроволновый спектрометр с рабочей частотой 110.8 ГГц. Прибор позволяет отслеживает 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 были сопоставлены со спутниковыми данными MLS/Aura об озоне и температуре в средней атмосфере. Приводятся сезонные (осень – лето) изменения содержания озона в средней атмосфере, а также концентрации полярного мезосферного озона (60 км), в течение восьми лет. Целью работы была оценка воздействия на полярный озон средней атмосферы как динамических процессов, связанных с развитием внезапных стратосферных потеплений или активизацией полярных вихрей, так и результатов солнечной активности – протонные события, высыпания авроральных электронов.

Y. Miyoshi, et al. Relativistic electron microbursts as high-energy tail of pulsating aurora electrons. Geophysical Research Letters. V. 47, Issue 21, 2020. **https://doi.org/10.1029/2020GL090360**.

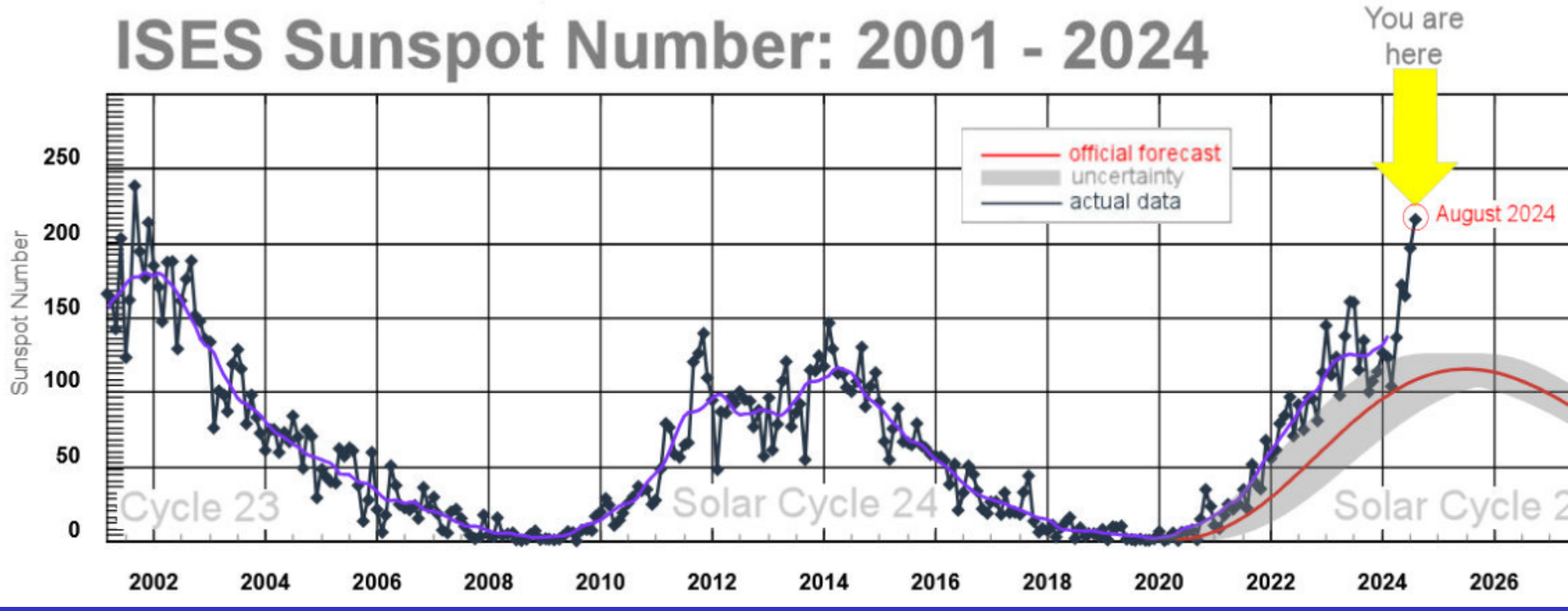
Результаты моделирования показывают, что высокоэнергичные электроны могут вызвать немедленное разрушение озона в мезосфере, примерно в **60 км** над поверхностью Земли. Кроме того, из моделирования следует, что уменьшение мезосферного озона будет происходить в ограниченной области на величину более чем **10%.**

I. Mironova, G. Doronin, A. Mironov. Ozone depletion in January 2026; impact of energetic particle precipitation. Frontiers ib Astronomy and Space Science, 13, Article 1924724. https://doi:org/10.3389/fspas.2026.1924724.

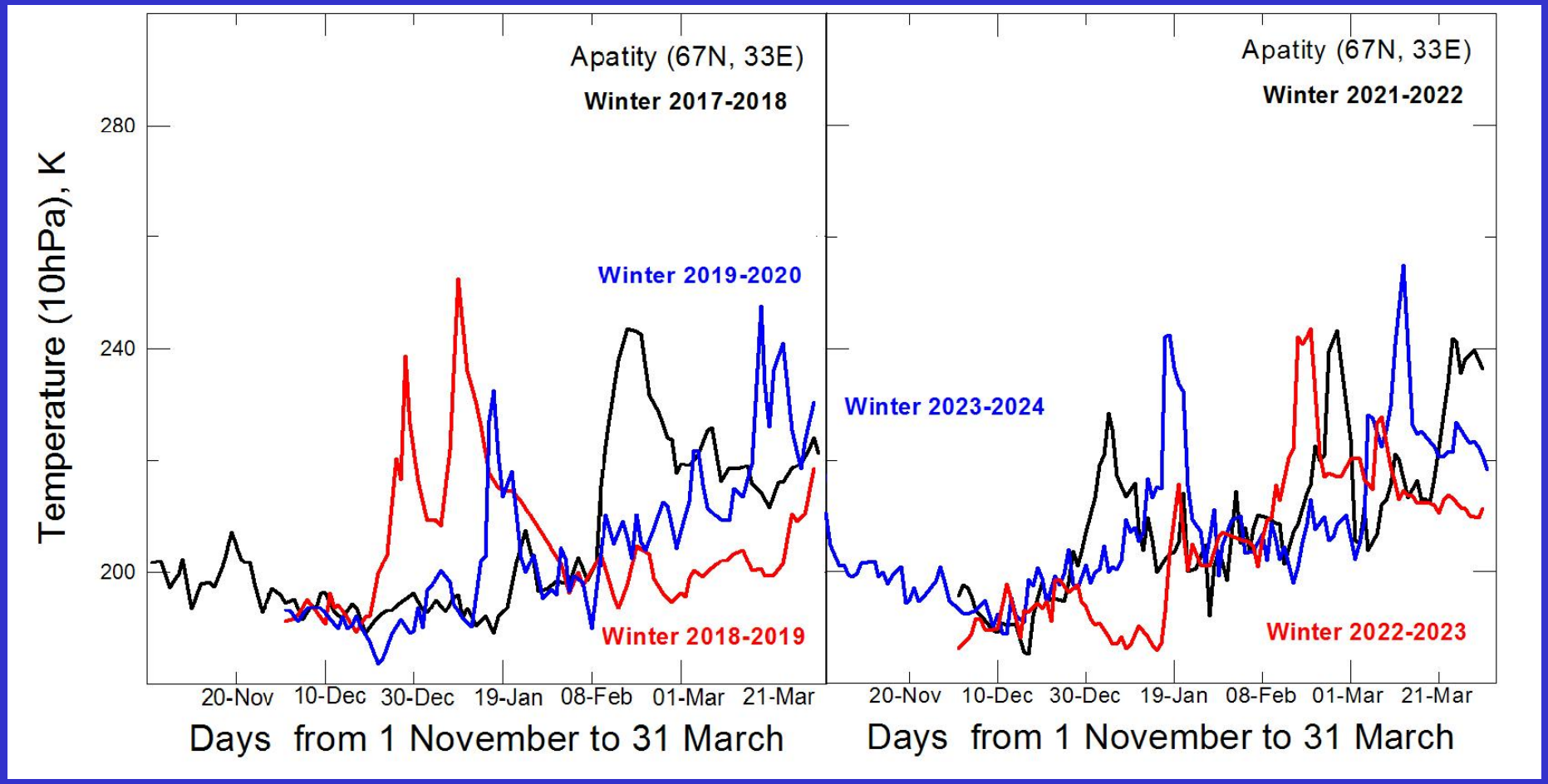
Мобильный микроволновый озонометр в Апатитах



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.

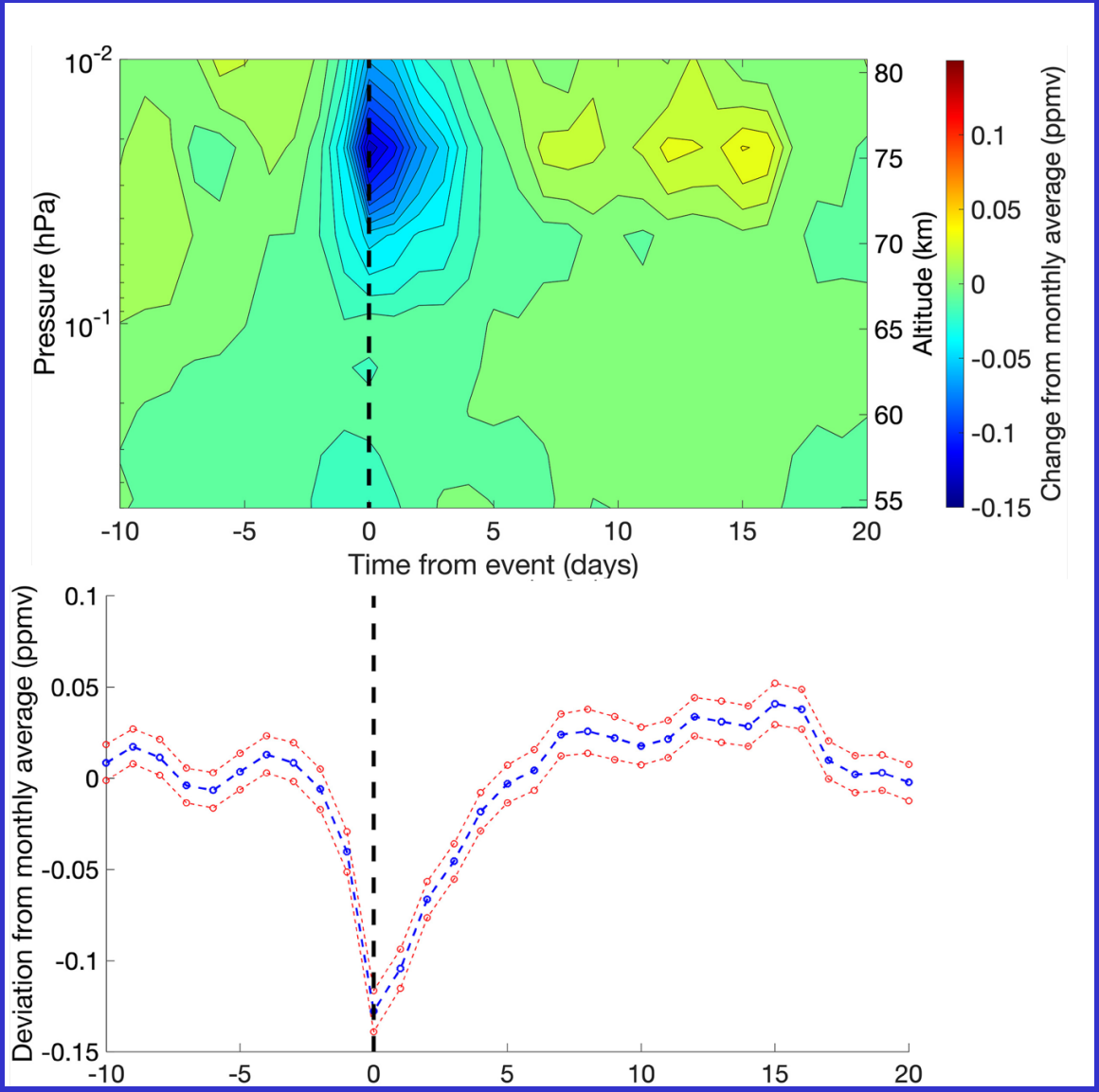


Изменения числа пятен за период от 23 до 25 солнечного цикла



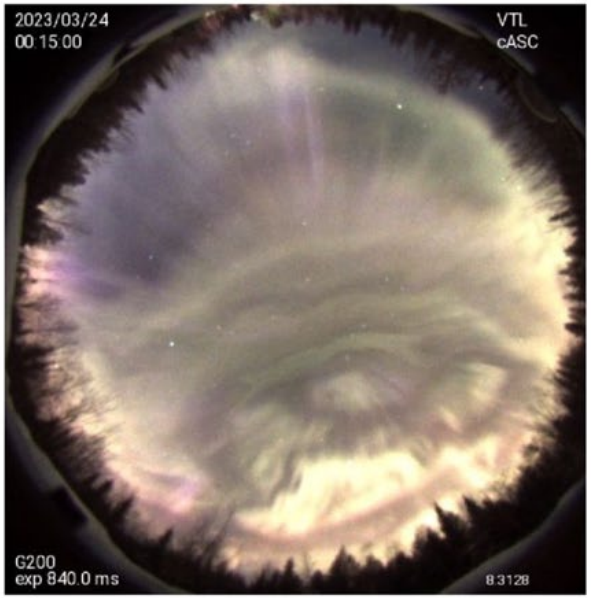
Температура на уровне 10 hPa для зимне-весенних сезонов над Апатитами (данные MLS/Aura). Левая панель – 2017 – 2020, правая панель – 2021 – 2024.

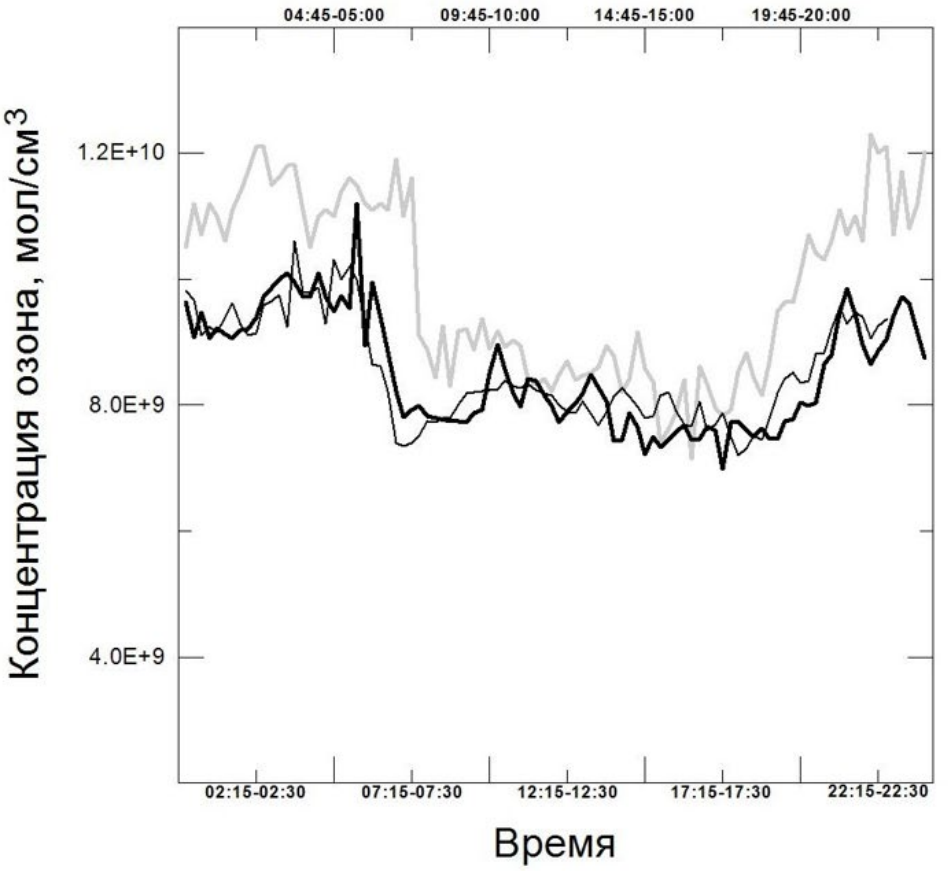
Y.Y. Kulikov, V.I. Demin, V.M. Demkin, A.S. Kirillov, V.G. Ryskin. Long-term microwave measurements of the middle atmosphere ozone above Apatity (67N, 33E) in winter-spring seasons. XLVIII Annual Seminar «Physics of Auroral Phenomena» 10-14 March Apatity. Proceedings. P. 130 – 133. 2025.



Mesospheric O_3 change from MLS/Aura observations based on 1.558 substorms epochs using AE ≥ 500 nT.
Chapman-Smith et al. Observed loss of polar mesospheric oz0ne following substorm-driven electron precipitation. Geophysical Research Letters. Doi:10.1029/2023GL104860.

Планетарная геомагнитная буря 23 – 24 марта 2023 года

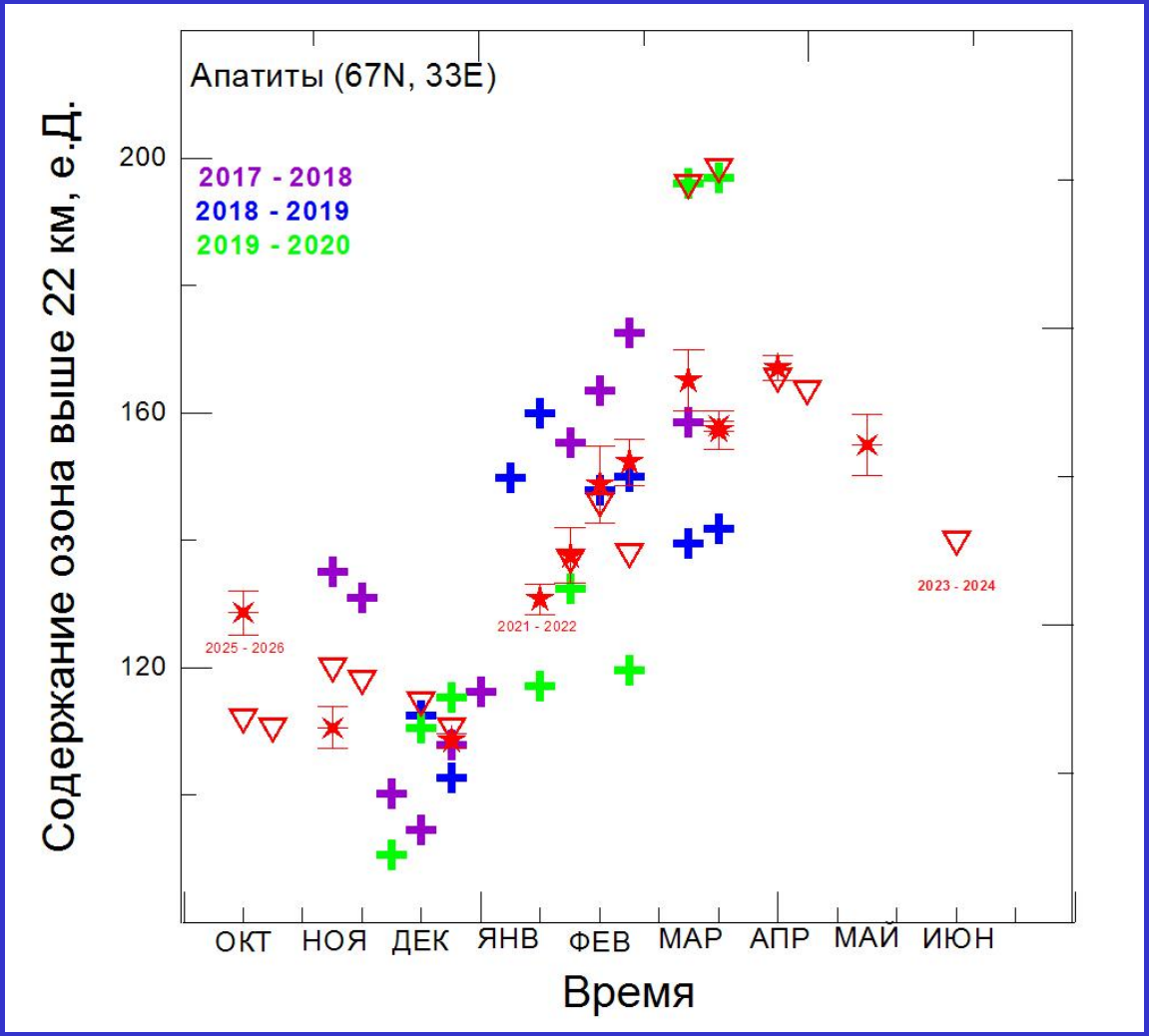




Левая панель: снимок всего неба (камера КВН-22) в обсерватории ПГИ Верхне-Туломская (69N, 32E) во время магнитной бури 23 – 24 марта. Правая панель: суточный ход концентрации мезосферного озона (60 км) вблизи весеннего равноденствия над Апатитами (67N, 33E) по данным наземной микроволновой радиометрии. Жирная черная линия – суточный ход мезосферного O_3 24 марта 2023 г.; тонкая черная линия суточный ход озона 25 марта; полупрозрачная (серая) линия – суточный ход озона 14 марта 2018 г. после мажорного стратосферного потепления в середине февраля 2018 года.

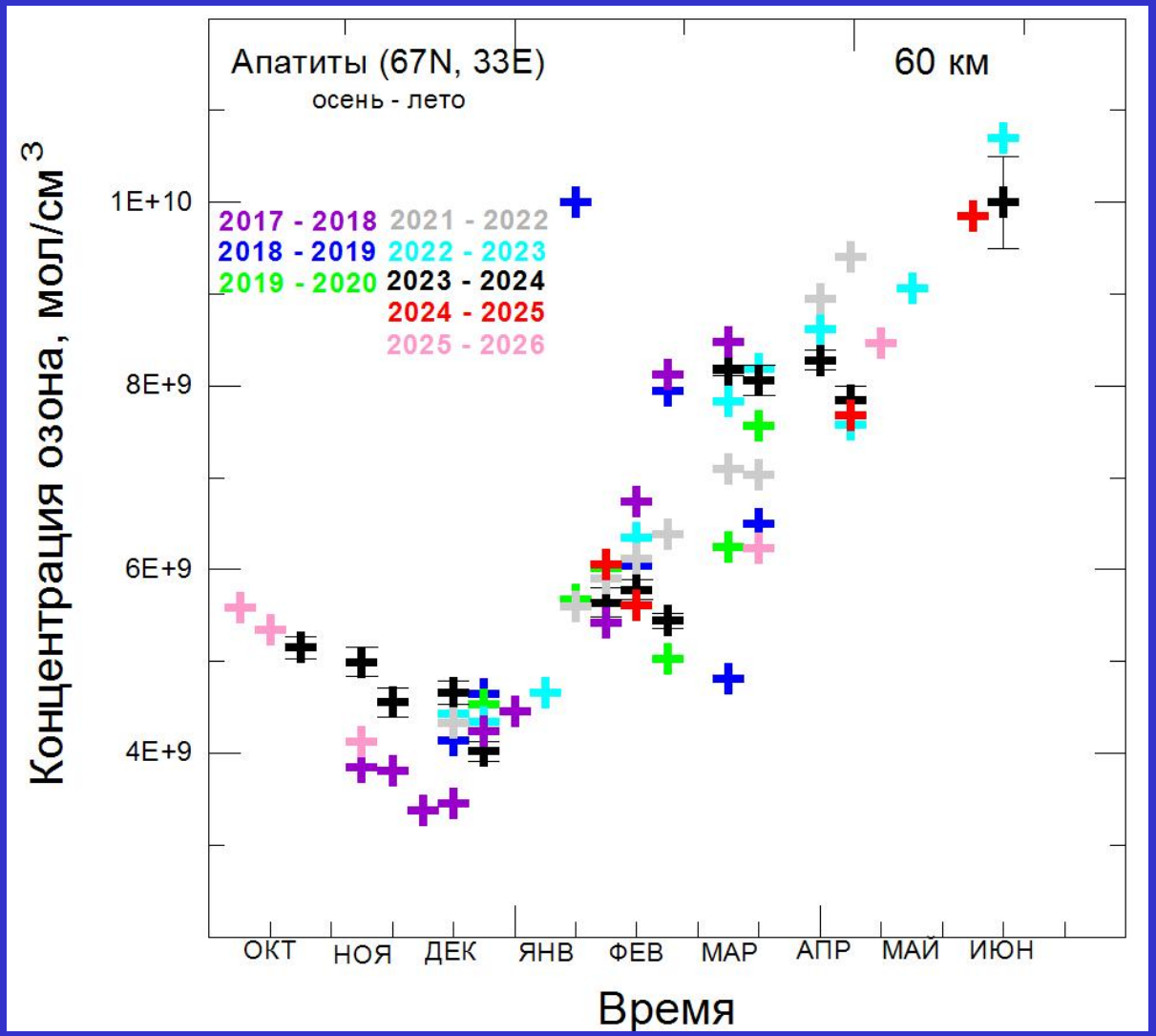
Ю.Ю. Куликов, В.И. Демин, В.М. Демкин, А.С. Кириллов, В.Г. Рыскин. Динамические явления в стратосферном и мезосферном озоне полярной атмосферы в феврале – марте 2023 года. Оптика атмосферы и океана. Т. 38. № 2. С. 109 – 114. 2025.

Сезонный ход содержания озона в средней полярной атмосфере



Изменения содержания озона в средней атмосфере от октября до июня следующего года. Разноцветные кресты - это содержание озона в минимуме солнечной активности; другие значки красного цвета – это содержание озона в максимуме солнечной активности.

Сезонный ход полярного мезосферного озона (60 км)



Вариации концентрации мезосферного озона от осени к лету

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В течение 8 лет получен устойчивый сезонный ход концентрации дневного мезосферного озона (60 км) над Апатитами. Изменения мезосферного озона от декабря к июню составили величину более чем в два раза. По-видимому, столь значительные изменения мезосферного озона определяются влиянием полярного вихря. Такой сезонный ход озона не зависит от уровня солнечной активности.

Изменчивость мезосферного озона превышает сезонный ход содержания озона в средней атмосфере.