

5 МОНИТОРИНГ ОЗОНОВОГО СЛОЯ

Введение

Мониторинг озонового слоя представляет собой систему наблюдений за состоянием озонового слоя, а также оценку и прогнозирование его изменений в целях своевременного выявления негативных воздействий природных и антропогенных факторов [27].

Основными задачами мониторинга озонового слоя являются:

получение данных о состоянии озоносферы над конкретными пунктами территории Республики Беларусь, которые будут использованы для валидации орбитальных наблюдений, для оценки общего экологического состояния отдельных регионов, а также как параметры климатических и других моделей;

исследование механизмов стратосферно-тропосферных связей, в частности, влияния стратосферных процессов на динамику тропосферы и формирование регионального климата;

исследование механизмов образования приземных концентраций озона и разработка методики их краткосрочного и среднесрочного прогноза.

Наблюдения за состоянием озоносферы и уровнем приземного солнечного излучения на территории Республики Беларусь проводятся:

на Минской озонометрической станции (№ 354) ННИЦ МО БГУ (ул. Курчатова, 7);

в учебно-научном центре «Нарочанская биологическая станция» имени Г.Г. Винберга;

в учреждении образования «Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины».

Наблюдения за общим содержанием озона (далее – ОСО) в столбе атмосферы проводится с помощью приборов, разработанных в ННИЦ МО БГУ (спектрорадиометра ПИОН-УФ-П, двухканальных фильтровых радиометров ПИОН-Ф).

Для оценки состояния озоносферы привлекаются также данные наблюдений за содержанием приземного озона и иных веществ в атмосферном воздухе, проводимых Белгидрометом.

Основной посыл и вывод

На сегодняшний день общепризнано, что стратосферный озон, являясь одной из малых газовых составляющих атмосферы, играет существенную роль в процессах, определяющих состояние глобальной климатической системы. Если ранее большинство исследований стратосферного озона было сосредоточено на последствиях химического разрушения озона из-за озоноразрушающих веществ, то в последнее десятилетие основное внимание уделяется количественной оценке двусторонней связи между стратосферным озоном и климатической системой через радиационные, динамические и химические процессы.

В 1987 г. было достигнуто международное соглашение, известное как Монреальский протокол согласно которому многие страны мира проводят политику сокращения, а затем и постепенного прекращения использования озоноразрушающих химических веществ.

В настоящее время (2017 – 2023 гг.) ОСО снижено по сравнению с периодом 1964 – 1980 гг. примерно на:

2 % для широтного пояса (60° ю.ш.-60° с.ш.);

4 % в средних широтах СП (35-60° с.ш.);

5 % в средних широтах ЮП (35-60° ю.ш.);

1 % в тропиках (20° ю.ш.-20° с.ш.).

В НИИЦ МО БГУ с 1997 г. ведется мониторинг состояния озонового слоя и уровня приземного ультрафиолетового (далее – УФ) излучения над территорией Республики Беларусь, проводятся и исследования связи стратосферного озона с тропосферными процессами, в частности разработана и обосновывается концепция «озонового механизма» – одного из возможных механизмов передачи изменений состояния в верхней атмосфере вниз, в тропосферу.

Результаты наблюдений и оценка

Динамика озоносферы над территорией Республики Беларусь в 2023 г. отличалась некоторыми особенностями. Среднемесячные значения ОСО и климатическая норма для г. Минск представлены на рисунке 5.1, ежедневные значения ОСО и ежедневные многолетние средние значения ОСО представлены на рисунке 5.2. В январе наблюдался небольшой дефицит среднемесячных значений ($\sim -4\%$), что было связано с периодическим нахождением областей с небольшим (до -20%) дефицитом стратосферного озона над территорией Республики Беларусь. В первой декаде февраля над Северной Европой сформировалась большая по размерам область со значительным дефицитом озона (до -25%), край которой периодически располагался над территорией Республики Беларусь, вызывая снижение ОСО над ней на 15-18 %.

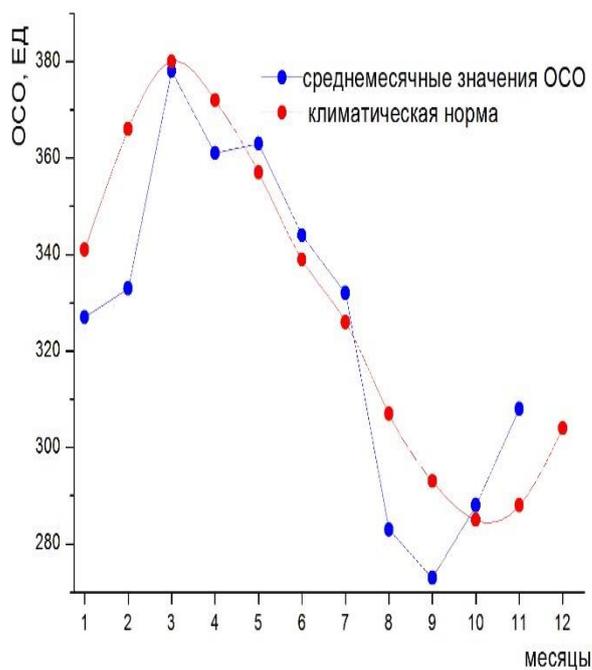


Рисунок 5.1 – Среднемесячные значения и климатическая норма ОСО для г. Минск в 2023 г.

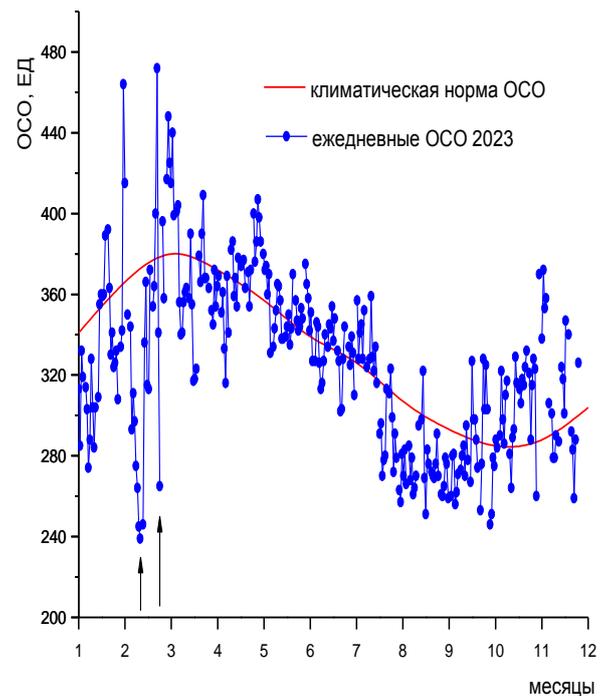


Рисунок 5.2 – Средние дневные значения ОСО и ежедневные значения ОСО в 2023 г. (стрелками отмечены отрицательные озонные аномалии)

Во второй декаде эта область стала еще больше по размерам, сместилась на юго-восток, дефицит озона в ней увеличился до -40% , территория Республики Беларусь оказалась под влиянием этой области (рисунок 5.3).

В период 11 февраля 2023 г. – 16 февраля 2023 г. дефицит озона над территорией Республики Беларусь составлял (–28 % – –35 %). Это привело к снижению среднемесячного значения ОСО более чем на 9 %.

Самое низкое значение ОСО над территорией Республики Беларусь 239 ЕД зафиксировано 14 февраля 2023 г., самое высокое – 472 ЕД 26 февраля 2023 г.

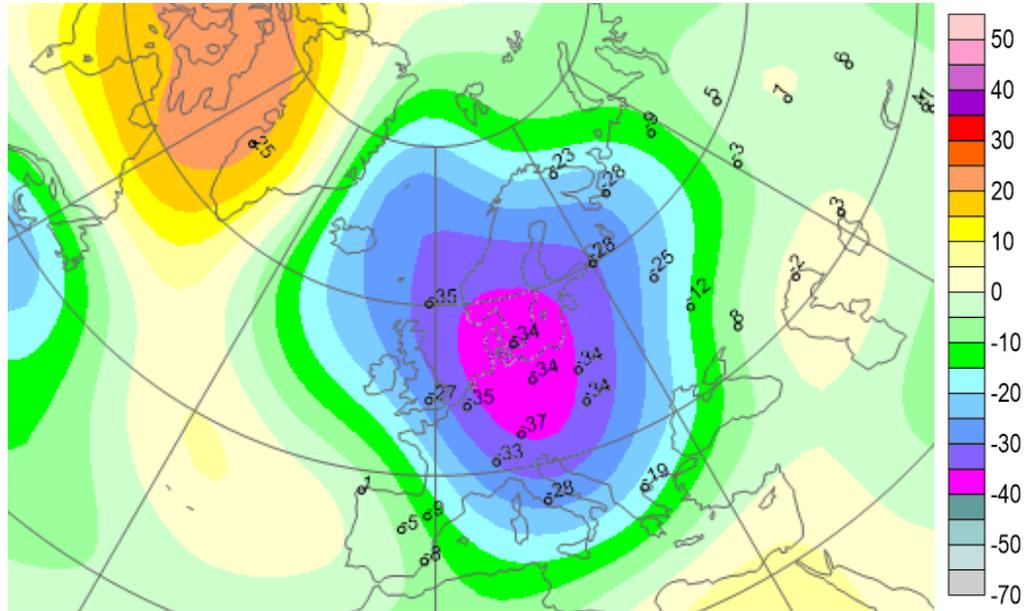


Рисунок 5.3 – Отрицательная озоновая аномалия 13 февраля 2023 г. (на цветовой шкале приведены отклонения от многолетних средних значений в процентах)

Как всегда, в зимне-весенний период наблюдалась сильная межсуточная изменчивость ОСО (рисунок 5.2). Минимальное значение ОСО за первый квартал 2023 г. было самым низким значением, наблюдаемым в это время года за весь период наблюдений и составило 239 ЕД 14 февраля 2023 г., максимальное составило 472 ЕД и наблюдалось 26 февраля 2023 г.

Среднемесячные значения ОСО во втором квартале 2023 г. были близки к климатической норме (рисунок 5.1), отклонения от многолетних средних значений составляет –3 % (апрель), –1,5 % (июнь, июль), что соответствует обычной межгодовой изменчивости среднемесячных значений во втором квартале.

В третьем квартале 2023 г. среднемесячные значения ОСО были близки к климатической норме только в июле (рисунок 5.1). В августе и сентябре среднемесячные значения ОСО были ниже климатической нормы на 8 % и 7,5 % соответственно.

Среднемесячные значения ОСО в августе (283 ЕД) и сентябре (273 ЕД) 2023 г. оказались самыми низкими (рисунок 5.4) за весь период наблюдений (1996 – 2023 гг.).

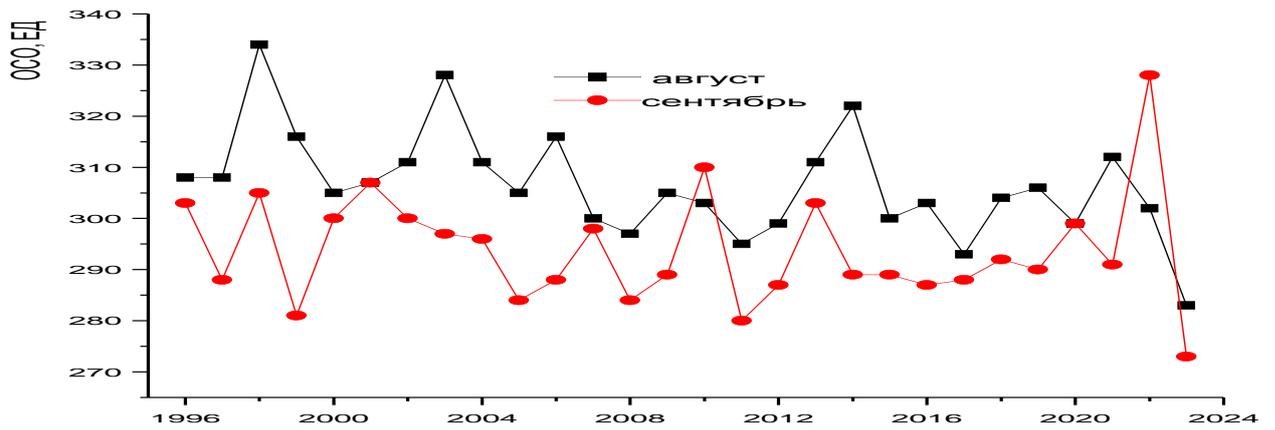


Рисунок 5.4 – Среднемесячные значения ОСО в августе и сентябре за период 1996 – 2023 гг.

Снижение значений ОСО в августе и сентябре было связано с поступлением в течение длительного периода тропических воздушных масс, содержание озона в которых невелико, в средние широты и подъемом высоты тропопаузы, в результате чего содержание озона в отдельные дни еще более снижалось (рисунок 5.4).

Так 17 августа 2023 г. и 5 сентября 2023 г. ОСО над Республикой Беларусь было снижено на 16 % по отношению к многолетним средним значениям для этих дней (рисунок 5.5).

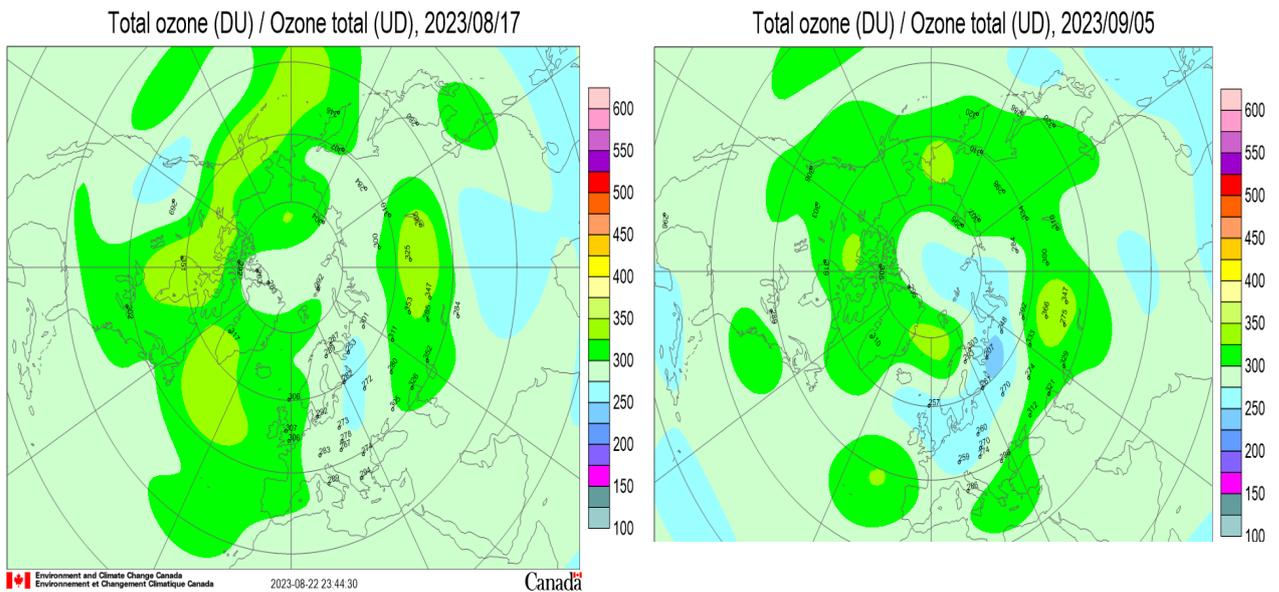


Рисунок 5.5 – Распределение полей озона в северном полушарии в ЕД 17 августа.2023 г. и 5 сентября 2023 г.

В четвертом квартале 2023 г. среднемесячные значения ОСО были близки к климатической норме в октябре и декабре (рисунок 5.6).

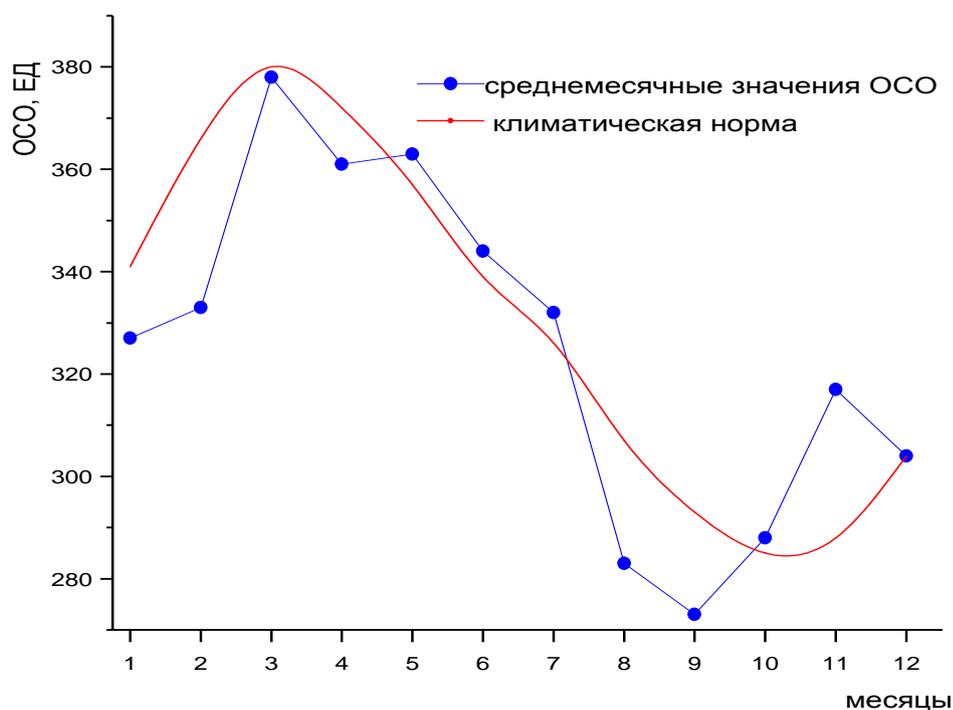


Рисунок 5.6 – Среднемесячные значения ОСО за 2023 г. и климатическая норма для г. Минск

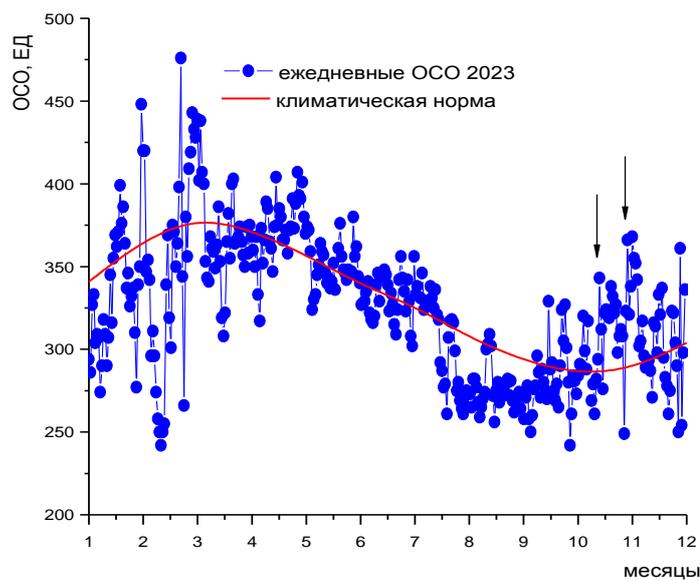


Рисунок 5.7 – Ежедневные значения в 2023 г. и климатическая норма ОСО для г. Минск (стрелками отмечены положительные озоновые аномалии)

В ноябре превышение среднемесячных ОСО над многолетними средними значениями составило чуть меньше 10 %, что более чем в два раза превышает стандартное отклонение для этого времени года.

Высокие значения ОСО в ноябре были вызваны тем, что области с повышенным содержанием озона располагались над территорией республики.

Во второй половине ноября превышение ОСО над климатической нормой в Минске составляло 10-15 %, а 25 ноября 2023 г. превышало многолетние средние значения на 29 % (рисунки 5.7 и 5.8).

Deviations (%) / Ecart (%) , 2023/11/25

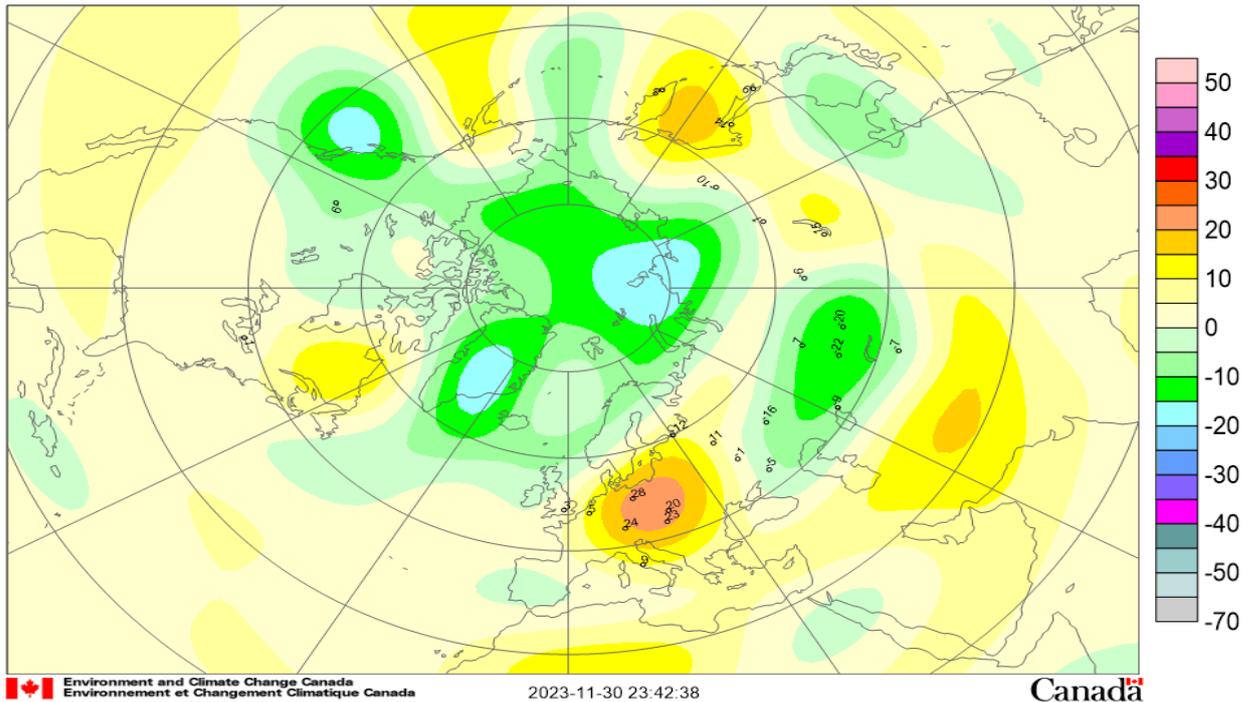


Рисунок 5.8 – Пространственное распределение отклонений ОСО от многолетних средних значений 25 ноября 2023 г. (на цветовой шкале приведены отклонения от многолетних средних значений в процентах)

Состояние озоносферы в Южном Полушарии

Вот уже более сорока лет ранней весной в Антарктике формируется область с пониженным содержанием озона в атмосфере. Это явление широко известно, как Антарктическая «озоновая дыра». Размеры ее испытывают сильные межгодовые вариации, максимальных размеров она достигала в конце 90-х гг. прошлого века.

Total ozone (DU) / Ozone total (UD), 2023/09/21

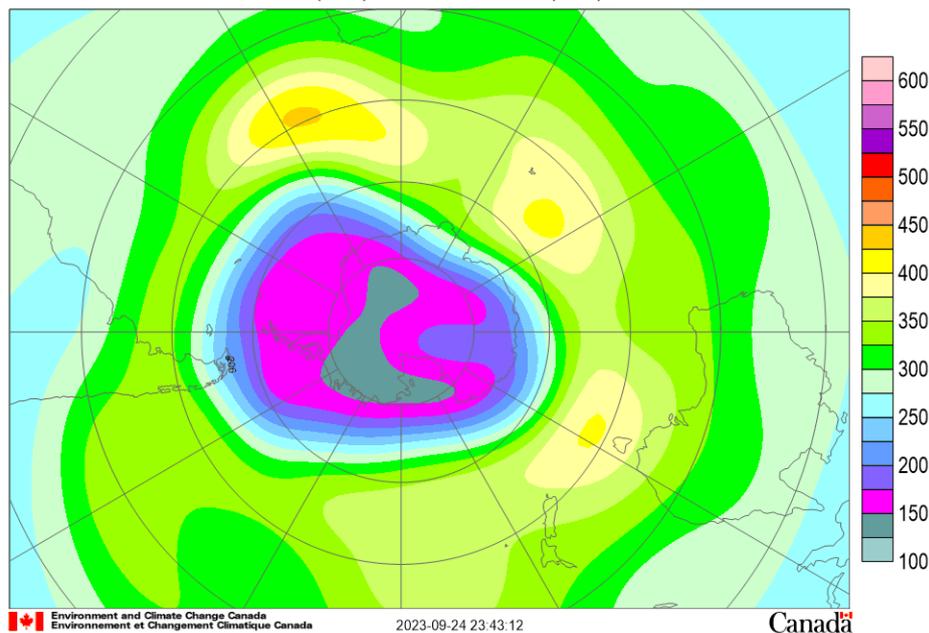


Рисунок 5.9 – Распределение полей озона в Антарктиде (в ЕД) на 21 сентября 2023 г.

В последнее время считается, что существует тенденция сокращения размеров области с пониженным содержанием ОСО. Дефицит озона в отдельных ее областях по-прежнему велик и временами опускается ниже 150 ЕД.

По данным ежегодных спутниковых и аэростатных измерений, проводимых NASA и NOAA, озоновая дыра в Антарктике в 2023 г. достигла максимального размера 21 сентября. Площадь дыры составила 10 млн. миль² или 26 млн. км², что стало 12-й по величине озоновой дырой за один день с 1979 г. (рисунок 5.9). В пик сезона разрушения озонового слоя с 7 сентября по 13 октября дыра в этом году составила в среднем 8,9 млн. миль² (23,1 млн. км²), что примерно равно площади Северной Америки. Содержание озона в отдельных областях над Антарктикой опускалось ниже 200 ЕД.

Международное сравнение

Приборы ННИЦ МО БГУ, используемые для проведения мониторинга в рамках заданий программы НСМОС, калибруются в соответствии с рекомендациями Всемирной метеорологической организации (далее – ВМО).

Рекомендуемая периодичность международных сравнений и интеркалибровок составляет до 5 лет.

Как уже упоминалось, прибор ННИЦ МО БГУ MARS-B успешно принял участие в международной компании сравнения приборов для измерения диоксида азота и озона (CINDI-2), проведенной под эгидой Метеорологического института Нидерландов в г. Кабау.

Периодические калибровки приборов, измеряющих спектры и уровни приземного УФ излучения (двухканальные фильтровые УФ фотометры, погружные системы) проводятся на специальном лабораторном оптическом стенде ННИЦ МО БГУ, а также сравнением результатов измерения с прибором, признанным эталоном. В ННИЦ МО БГУ эталонным прибором в настоящее время является спектрорадиометр ПИОН-УФ.

Для калибровки озонометрических характеристик (ОСО, вертикальные профили распределения озона в атмосфере) используется метод сравнения с эталонным озонометром. Озонометр М-124 проходит регулярные процедуры международных сравнений с использованием регионального стандарта ВМО (озонометр Добсона N108) в Главной геофизической обсерватории им. А.А. Воейкова (ГГО), Санкт-Петербург, Россия. При участии приборов в программах сезонных Белорусских антарктических экспедициях (БАЭ) сеансы международных сравнений проводятся как до, так и после окончания экспедиции.

Наибольшей точностью измерений ОСО обладают озонометры Добсона и Брюера – 1-2 %, точность озонометров М-124 – 5-8 %.

Для обеспечения оперативного контроля работы приборов в отсутствие наземных эталонов в ННИЦ МО БГУ разработана процедура калибровки УФ фотометров и озонометров по данным спутниковых наблюдений приборами OMI/OMPS.

Обобщение данных глобального мониторинга озоносферы проводится в WOUDC – Мировом центре данных ВМО по озону и УФ радиации в Торонто, Канада. Необходимость такого обобщения связана с тем, что Наземные озонометрические станции расположены по территории Земли крайне неравномерно.

Наиболее густо станции мониторинга расположены в Западной и Центральной Европе, заметно реже – в Северной Америке, по нескольку станций в Индии, Китае и Японии, и совсем мало – в остальной части Северного полушария и Южном полушарии.

WOUDC получает данные по ОСО из различных стран и оперативно с привлечением спутниковой информации строит карты распределения ОСО и его аномалий над территорией всего земного шара (<http://exp-studies.tor.ec.gc.ca/>). Важно, что все наземные озонометрические станции следуют единым правилам и требованиям ВМО по измерению ОСО и УФ-индекса.

Это дает возможность оценивать глобальные тренды и региональные особенности изменения состояний озоносферы, а также использовать данные мониторинга в климатических программах.

Одним из результатов обобщения данных являются приводимые на сайте WOUDC прогнозы распределения ОСО с заблаговременностью до 5 суток по данным NCEP (Национального центра по прогнозам окружающей среды), США, и KNMI (Королевского Нидерландского метеорологического института), Нидерланды.

В этой связи, можно отметить, что, несмотря на сравнительно небольшие размеры нашей республики, ее озоносфера отличается достаточно частым возникновением пространственных и временных неоднородностей распределения ОСО, которые снижают оправдываемость глобальных прогнозов и требуют дальнейшего совершенствования разработанной в НИИЦ МО БГУ региональной системы прогноза.

Прогноз

В будущем ожидается, что антропогенное изменение климата будет играть важную роль в эволюции уровней УФ-В излучения, несмотря на ожидаемое восстановление ОСО. Уменьшение облачности над северными средними широтами в результате климатических изменений позволит большему количеству УФ-В излучения достичь поверхности Земли. Большие уменьшение до 30-50 % (весной и осенью) в месячных уровнях биологически взвешенного УФ-В ожидается над северными высокими широтами из-за комбинированных изменений в поверхностном альбедо и облачности.

Ожидается в течение этого столетия увеличение глобального содержания стратосферного озона по мере снижения концентрации озоноразрушающих веществ. Будущая эволюция для различных широт и вертикальных уровней зависит от будущих концентраций парниковых газов и предшественников тропосферного озона.