

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 [36].

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 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 ННИЦ МО БГУ с 1997 г. ведется мониторинг состояния озонового слоя и уровня приземного 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

Сезонная динамика ОСО над территорией Республики Беларусь в 2025 г и многолетние средние (климатическая норма, период 1997 – 2025 гг.) среднемесячных значений представлены на рисунке 5.1.

Отличительной чертой годового хода ОСО в 2025 г. является дефицит озона (-16 %) в марте, вместо ожидаемого годового максимума. Такое низкое значение ОСО в марте наблюдается впервые за всю историю наблюдений за озоном в Республике Беларусь (рисунок 5.2).

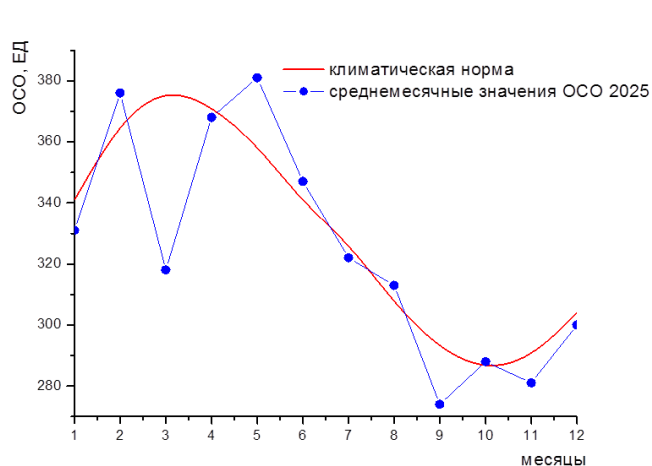


Рисунок 5.1 – Годовой ход ОСО в 2025 г. и климатическая норма для Республики Беларусь (г. Минск)

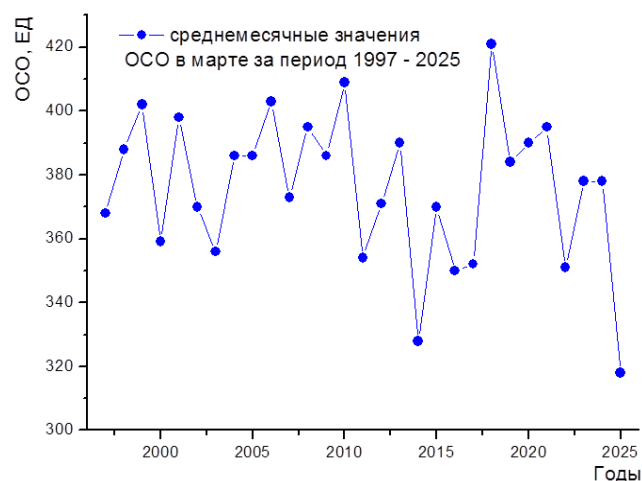


Рисунок 5.2 – Среднемесячные значения ОСО в марте за период 1997 – 2025 гг. (г. Минск)

Низкое содержание озона в атмосфере Республики Беларусь в марте было обусловлено формированием в конце февраля в высоких широтах области с низкими ОСО, связанной очевидно с переносом теплого тропического воздуха в арктические широты в конце февраля и динамикой стратосферного полярного вихря в феврале и марте. Дефицит озона в этой области временами превышал -40 % над севером Евразии и акваторией Северного Ледовитого океана (рисунки 5.3, 5.4). В первой декаде марта снижение ОСО над Республикой Беларусь составляло -25%-35%.

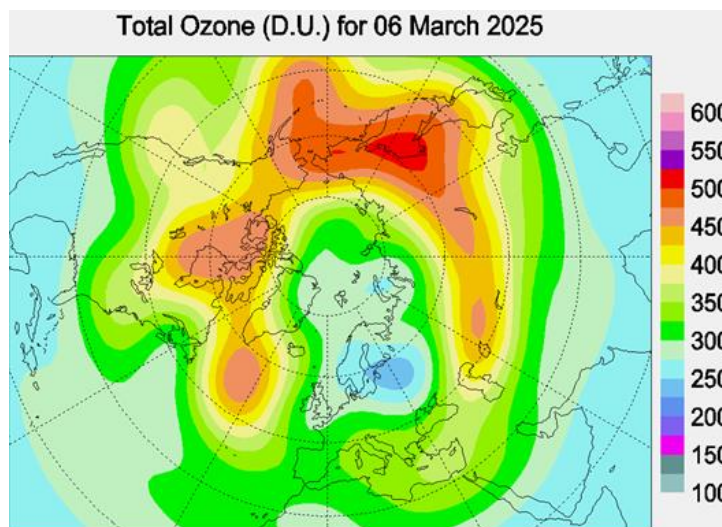


Рисунок 5.3 – Распределение полей ОСО 6 марта 2025 г. Рядом представлена цветовая шкала ОСО

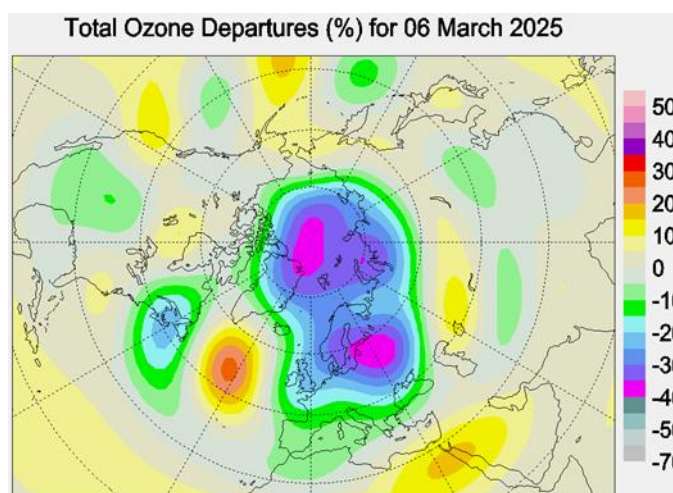


Рисунок 5.4 – Распределение отклонений полей ОСО 6 марта 2025 г. от многолетних средних значений. Рядом представлена цветовая шкала отклонений ОСО в %

Область с дефицитом ОСО просуществовала в течение почти всего марта и привела к низким среднемесячным значениям ОСО. Численное моделирование сложившихся в конце зимы в Арктике динамических и химических процессов показало, что преобладающую роль в формировании долгоживущей области с низким ОСО сыграли динамические процессы, но роль химических процессов в сложившихся условиях не была пренебрежимо мала [37]. Самое низкое значение ОСО над территорией Республики Беларусь в 2025 г. (234 ЕД) зафиксировано 6 марта 2025 г., самое высокое значение (454 ЕД) – 6 апреля 2025 г.

В остальные месяцы, за исключением мая и сентября, содержание ОСО было близко к климатической норме, отклонения от многолетних средних значений были близки к обычной межгодовой изменчивости. Только в мае среднемесячные значения ОСО превышали многолетние значения на 6,3 %, а в сентябре были на 6,6 % ниже нормы. На рисунке 5.5 приведены стандартные отклонения среднемесячных величин, наибольшая межгодовая изменчивость характерна для зимних месяцев декабря–февраля и ранней весны.

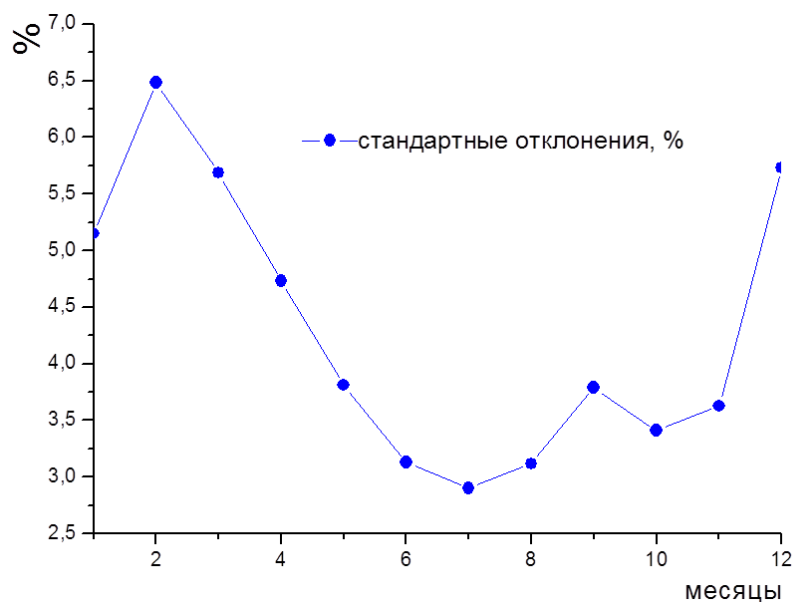


Рисунок 5.5 – Стандартные отклонения среднемесячных значений ОСО в % к многолетним средним

На рисунке 5.6, на котором приведены ежедневные значения ОСО в 2025 г., видно, что в течение всего марта значения ОСО были ниже климатической нормы, большую часть месяца превышая, иногда существенно – 20%.

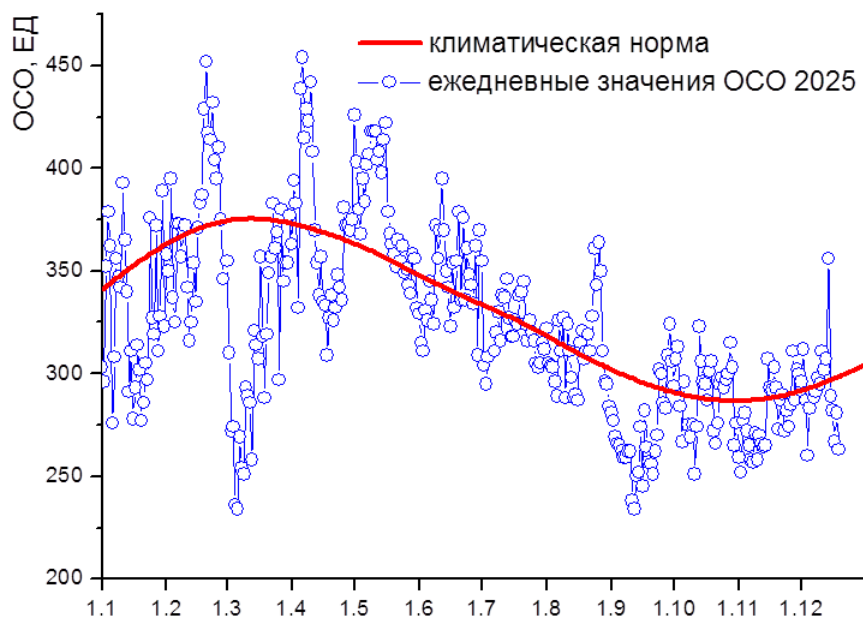


Рисунок 5.6 – Ежедневные значения ОСО и климатическая норма

Стратосферный озон, поглощая солнечное коротковолновое УФ излучение, защищает жизнь на Земле. В последние десятилетия выяснилось, что стратосферный озон, относясь к малым атмосферным примесям, играет фундаментальную роль в формировании термического режима стратосферы и химического состава мезосферы. В стратосфере озон играет существенную роль в радиационном балансе, поскольку поглощение солнечного УФ излучения и фотохимические процессы его образования в верхней стратосфере служат источником ее нагрева и формирует ее структуру, в то же время озон является парниковым газом. В то время как УФ излучение Солнца естественным образом приводит к образованию и разрушению молекул озона, крупномасштабные динамические атмосферные процессы переносят озон и влияют на температуру, что, в свою очередь, влияет на химию озона.

Это взаимодействие создаёт динамическую систему, в которой температурные и циркуляционные структуры формируются распределением озона и влияют на его распределение. Поэтому стратосферный озон является важнейшей частью климатической системы.

Установлено что, участвуя в формировании стратосферной циркуляции стратосферный озон оказывает влияние на приземный климат, включая изменения в региональных температурных режимах, осадках и поглощении тепла океаном [38, 39].

Озоновая дыра над Антарктикой в 2025 г. была небольшой по сравнению с предыдущими годами. Ожидается, что озон над Антарктикой восстановится к концу этого столетия (сообщают НАСА и Национальное управление океанических и атмосферных исследований, NOAA). В 2025 г. озоновая дыра стала пятой по величине с 1992 г., когда вступило в силу историческое международное соглашение о поэтапном отказе от озоноразрушающих веществ.

В разгар сезона истощения озонового слоя в 2025 г., с 7 сентября по 13 октября, средняя площадь озоновой дыры составляла около 18,71 миллиона квадратных километров, дыра 2025 г. начала исчезать, почти на три недели раньше обычного в последнее десятилетие.

На карте (рисунок 5.7) показаны размер и форма озоновой дыры над Южным полюсом в день её максимального развития в 2025 г. Умеренные потери озона (оранжевый цвет) видны на фоне областей с более интенсивными потерями озона (красный цвет). Учёные описывают озоновую дыру как область, в которой концентрация озона падает ниже исторического порога в 220 ЕД. Своих максимальных размеров она достигла 9 сентября (22,86 млн. км²). Это примерно на 30 % меньше, чем самая большая дыра, когда-либо наблюдавшаяся (2006 г., 26,6 млн. км²).

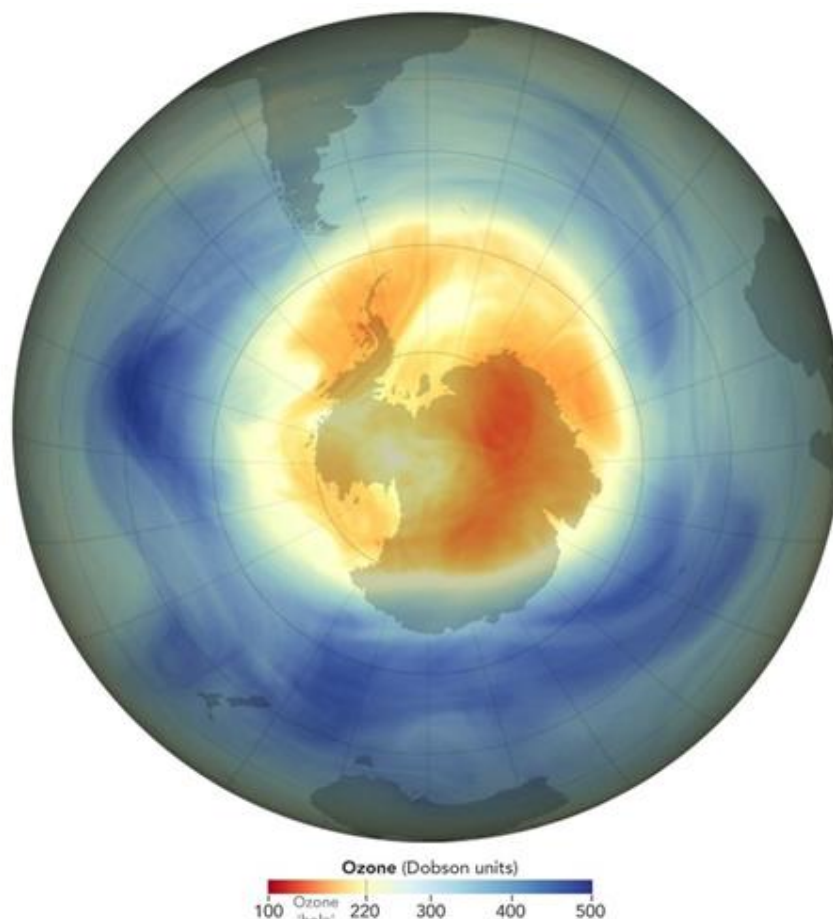


Рисунок 5.7 – Озоновая дыра над Южным полюсом в день её максимального развития в 2025 г.

Международное сравнение

Приборы ННИЦ МО БГУ, используемые для проведения мониторинга в рамках заданий программы НСМОС, калибруются в соответствии с рекомендациями ВМО.

Рекомендуемая периодичность международных сравнений и интеркалибровок составляет до 5 лет.

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 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 оправданность глобальных прогнозов и требуют дальнейшего совершенствования разработанной в ННИЦ 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 уменьшения 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.