

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 [28].

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 озонметрической 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-II, 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 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

Изменчивость общего содержания озона в атмосфере Республики Беларусь, характерная для умеренных широт, наблюдается в различных временных масштабах. Наиболее четко проявляются сезонный (годовой ход) и межсуточные вариации. Наблюдается также существенная межгодовая изменчивость.

Зимой и в начале весны (март) среднемесячные значения ОСО были близки к климатической норме. В апреле и мае среднемесячные значения ОСО превышали многолетние средние значения на 4,4% и 8,7 % соответственно (рисунок 5.1).

Если среднемесячные значения ОСО в апреле не превышали стандартное отклонение, рассчитанное за период наблюдений 1997 – 2024 гг., (рисунок 5.2), то в мае такое превышение было существенным. Летом и осенью содержание озона в атмосфере над территорией РБ было близко к климатической норме.

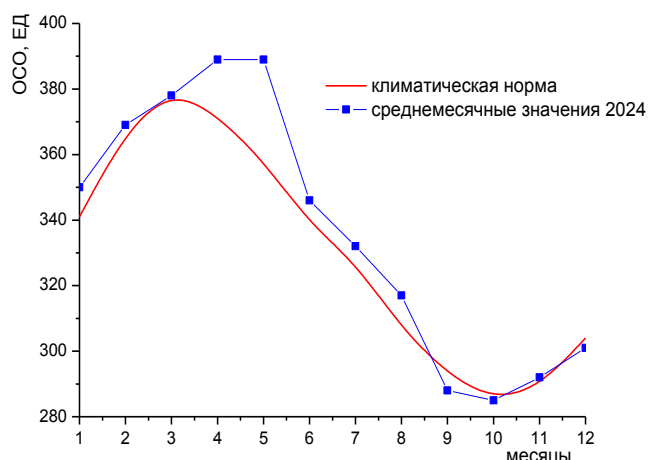


Рисунок 5.1 – Среднемесячные значения ОСО в 2024 г и климатическая норма общего содержания озона для г. Минск.

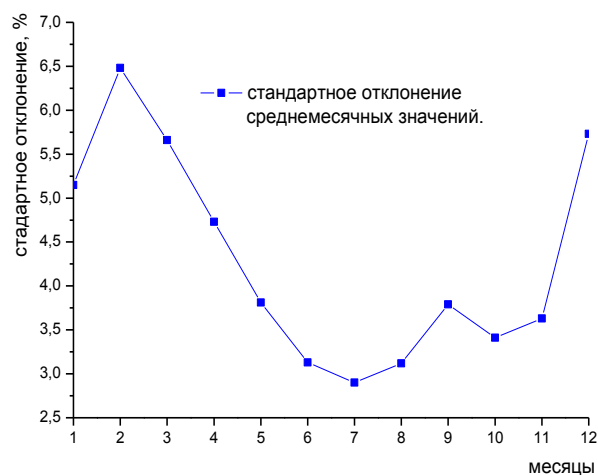


Рисунок 5.2 – Стандартные отклонения среднемесячных значений ОСО рассчитанные за период 1997 – 2024 для г. Минск.

Зимой и ранней весной поля ОСО в западной части Северного полушария наблюдались большие значения ОСО, (рисунок 5.3) в отдельных регионах. превышение над нормой составило 30 % (рисунок 5.4).

Эти превышения продержались весь апрель и май, постепенно смещаясь на территорию Европы. Практически в течение всего мая территория Республики Беларусь находилась в области высоких значений ОСО (рисунок 5.5). В результате среднемесячные значения ОСО в мае составили ту же величину что и в апреле, для которого характерно проявления годового максимума озона.

Total ozone (DU) / Ozone total (UD), 2024/03/05

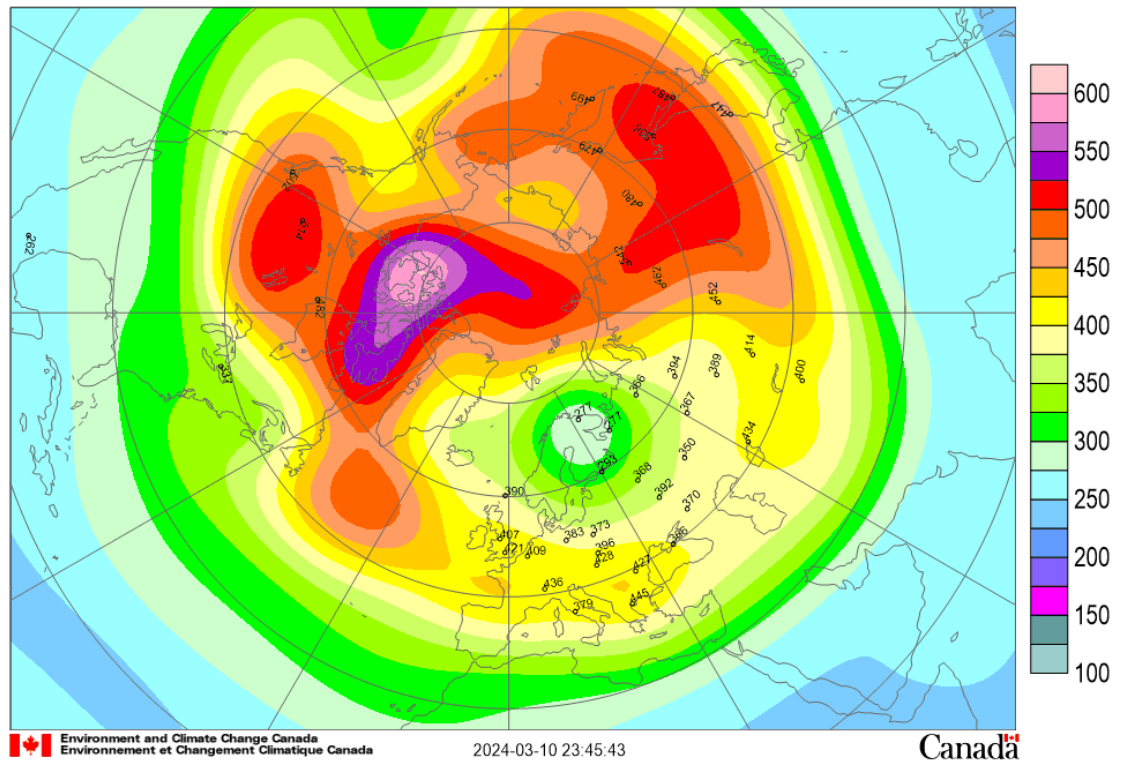


Рисунок 5.3 – Распределение полей озона 05 марта 2024 г. Рядом представлена цветовая шкала ОЗО.

Deviations (%) / Ecart (%) , 2024/03/05

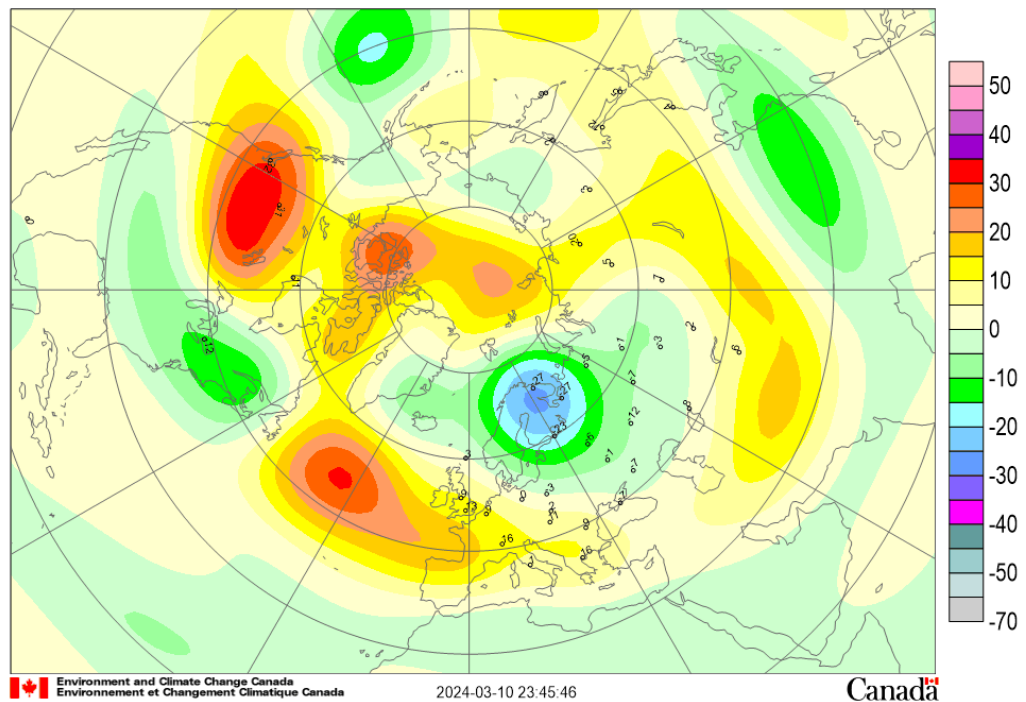


Рисунок 5.4 – Отклонение полей озона 05 марта 2024 г. от многолетних средних значений. Рядом представлена цветовая шкала отклонений ОСО в %.

Total ozone (DU) / Ozone total (UD), 2024/05/09

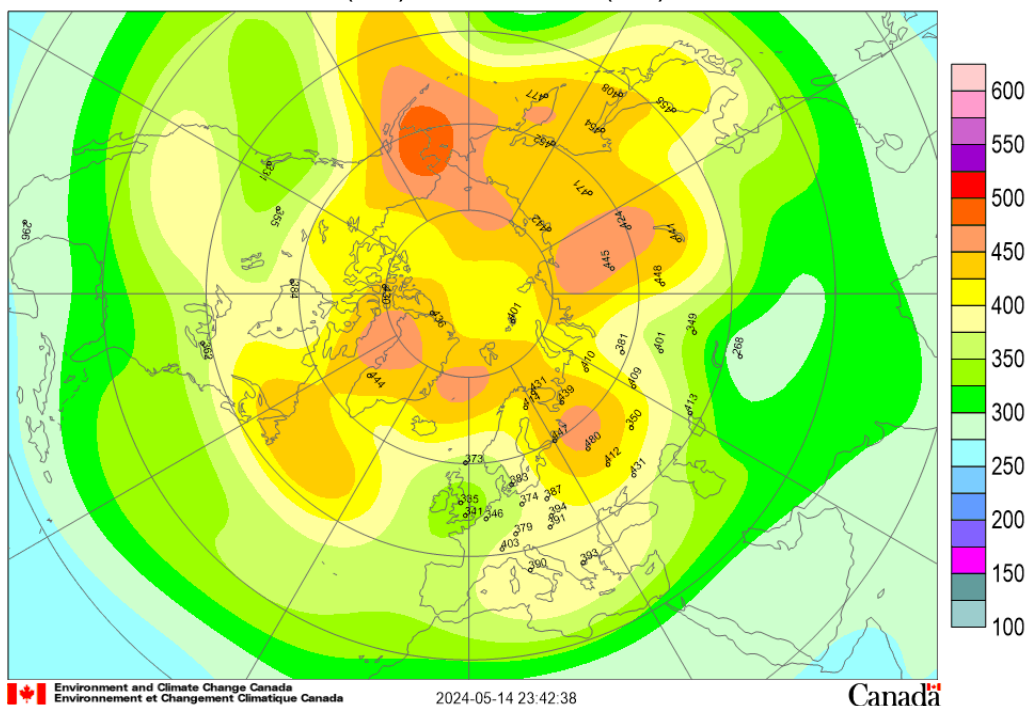


Рисунок 5.5 – Распределение полей ОСО 9 мая 2024 г. В Минске превышение ОСО над многолетними средними составило +23 %. Рядом представлена цветовая шкала ОСО.

Total ozone (DU) / Ozone total (UD), 2024/01/03

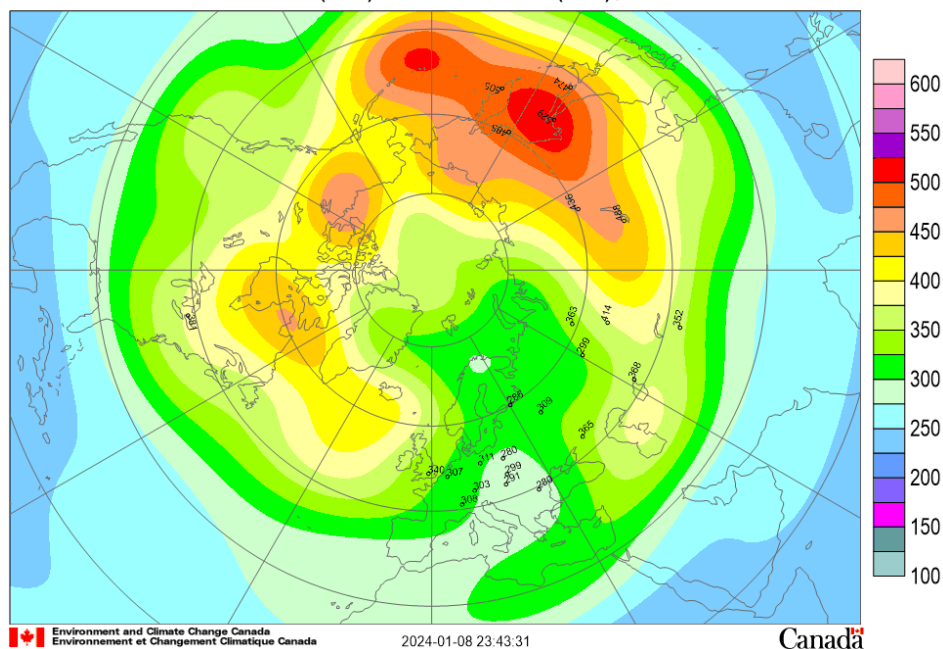


Рисунок 5.6 – Распределение полей ОСО 3 января 2024 г. Рядом представлена цветовая шкала ОСО.

В течение 2024 г. над территорией Республики наблюдалась всего одна озоновая аномалия, которая краем затронула нашу Республику (рисунок 5.6), вызвав снижение ОСО на 18 % 1 января 2024 г. Максимальное значение ОСО для г. Минск отмечено 26 марта 2024 г. (+23 %) и составило 469 ЕД, минимальное наблюдалось 28 октября 2024 г. и составило 251 ЕД. Как всегда, наблюдалась значительная межсуточная изменчивость, более высокая в зимние месяцы и ранней весной (рисунок 5.7).

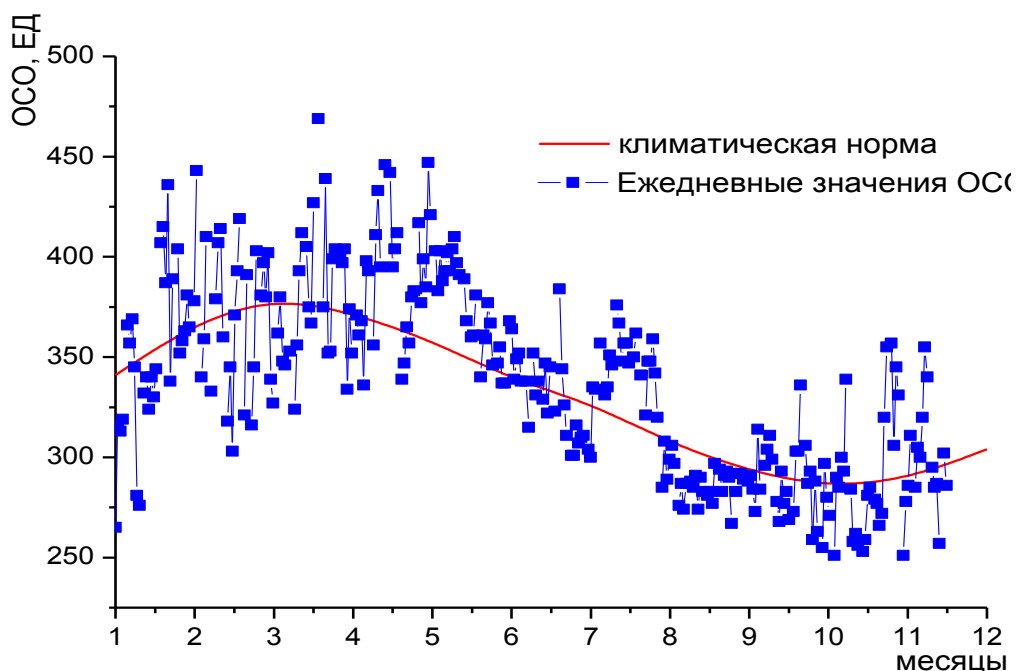


Рисунок 5.7 – Ежедневные значения ОСО в 2024 г. и климатическая норма для г. Минск.

Состояние озоносферы в Южном Полушарии

Как и в предыдущие годы во время Антарктической весны наблюдалось снижение общего содержания озона в атмосфере Южного полушария над Антарктидой. Мониторинг этого явления ведется с 1979 г. Размеры области с низкими значениями ОСО колеблются год от года, минимальные наблюдаемые значения ОСО так же испытывают межгодовые вариации. Новые данные показали, что в 2024 г. эта область оказалась одной из самых маленьких за последние десятилетия, т.е. «озоновая дыра» над Антарктидой планомерно сокращается. Ее площадь в 2024 г. в максимуме оказалась всего лишь седьмой «с конца» по величине за все время наблюдений – 22,4 миллиона квадратных километров.

Содержание озона над Антарктикой в 2024 г. достигло минимума в 109 ЕД 5 октября (рисунок 5.8). Самое низкое значение, когда-либо зарегистрированное над Южным полюсом, составляло 92 ЕД – в октябре 2006 г. При этом значения ОСО все еще значительно меньше значения в 225 ЕД, зафиксированного в 1979 г.

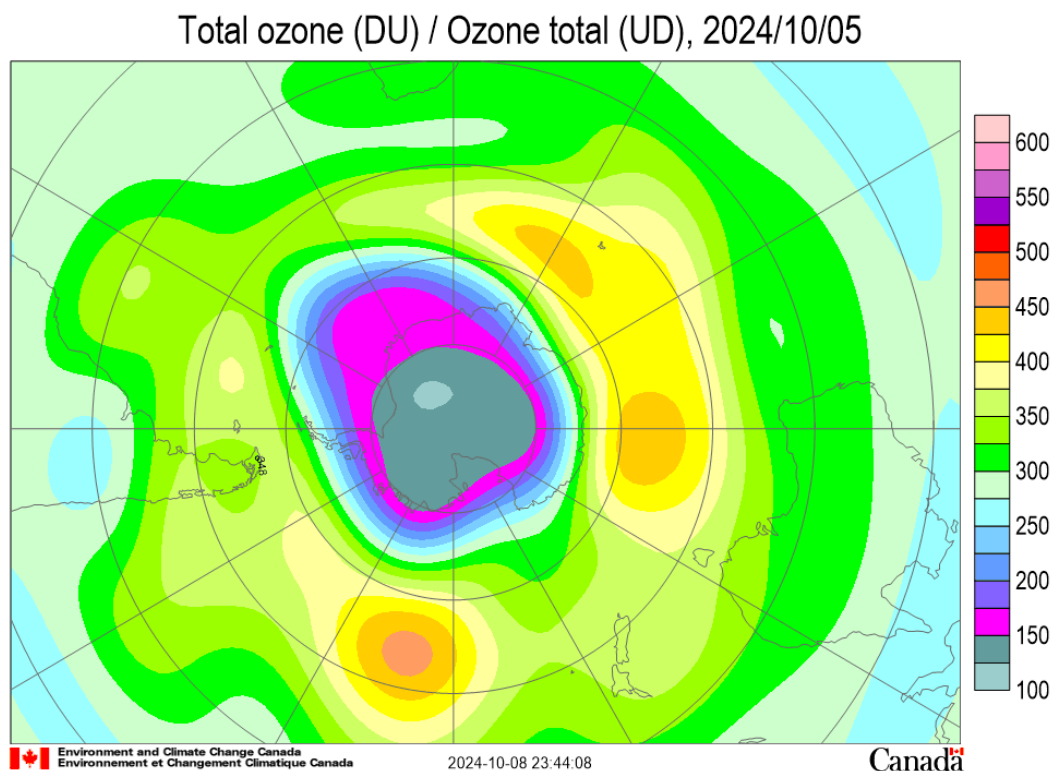


Рисунок 5.8 – Распределение полей озона в Южном полушарии на 5 октября 2024 г. Рядом приведена цветовая шкала.

Критически низким уровень озона в стратосфере был в середине 1980-х годов, когда почти вся территория Антарктики находилась под озоновой дырой. Чтобы избежать пагубных последствий для человечества и земных экосистем, в 1987 г. был подписан Монреальский протокол, реализация которого помогла справиться с проблемой.

Ученые из NASA и Национального управления океанических и атмосферных исследований США провели очередную оценку размеров озоновой дыры над Антарктидой. Она колеблется в течение года и достигает своей максимальной площади в первой половине осени. В это время и происходят сравнительные измерения. Новые данные показывают, что в 2024 г. она оказалась одной из самых маленьких за последние десятилетия.

Регулярные спутниковые замеры проводятся с 1992 г., когда начал действовать Монреальский протокол. Это международное соглашение, предписывающее странам постепенно отказываться от использования в промышленности химикатов, разрушающих озоновый слой. С тех пор с небольшими колебаниями дыра в нем над Антарктидой планомерно сокращается. Ее площадь в 2024 г. в максимуме оказалась всего лишь седьмой «с конца» по величине за все время наблюдений – 22,4 млн км².

Концентрация озона 2024 г. достигла минимума в 109 ЕД 5 октября 2024 г. Самое низкое значение, когда-либо зарегистрированное над Южным полюсом, составляло 92 ЕД – в октябре 2006 г. При этом это все еще значительно меньше значения в 225 ЕД, зафиксированного в 1979 г.

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 несколько 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.