

## 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 [32].

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) НИИЦ МО БГУ (ул. Курчатова, 7);

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

в Гомельском государственном университете имени Франциска Скорины.

Наблюдения за общим содержанием озона (далее – ОСО) в столбе атмосферы проводится с помощью приборов, разработанных в Учреждении Белорусского государственного университета «Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы» (НИИЦ 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**

Наблюдения за содержанием озона в атмосфере проводится с помощью наземных и спутниковых измерений.

Первые – дают информацию о региональной динамике озоносферы, ведутся на озонометрических станциях в разных обсерваториях.

Вторые – обеспечивают систематическую информацию о состоянии озонового слоя в глобальных масштабах.

Сезонный ход ОСО над территорией республики представлен климатической нормой (многолетние средние среднемесячные значения ОСО за период 1997 – 2021 гг.) и имеет типичный для средних широт сезонный ход – максимальные значения ОСО характерны для ранней весны (март), минимальные значения наблюдаются осенью (октябрь).

Следует отметить, что в период 1979 – 1993 гг. максимум годового хода наблюдался в апреле, в 90-х годах прошлого столетия он начал смещаться на более ранние сроки, а после 2000 г. максимальные среднемесячные значения наблюдаются в марте.

На сезонные вариации накладывается межгодовая изменчивость, которая может быть весьма велика и наиболее сильно проявляется в зимние и весенние месяцы.

### Результаты наблюдений и оценка

Основные тенденции состояния озоносферы анализировались по сезонным вариациям значений ОСО относительно соответствующей климатической нормы.

Сезонные изменения среднемесячных значений ОСО над территорией Республики Беларусь по данным наземных и орбитальных наблюдений, а также климатическая норма, полученная на базе многолетних средних за период 1997 – 2021 гг., представлена на рисунок 5.1.

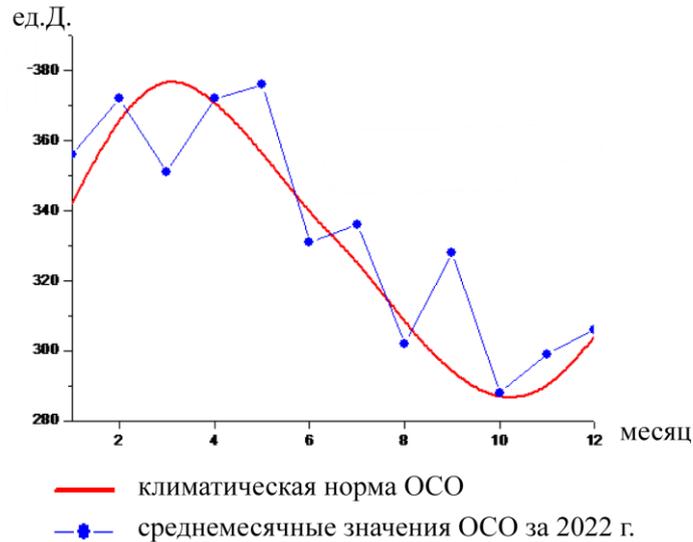


Рисунок 5.1 – Климатическая норма и среднемесячные значения ОСО (в единицах Добсона или ед.Д.) над территорией Республики Беларусь за 2022 г.

В январе-феврале 2022 г. ОСО над территорией республики было близко к климатической норме (рисунок 5.1). Небольшое превышение климатической нормы в январе (4,4 %) было обусловлено областями с повышенным содержанием озона (положительными озоновыми аномалиями), которые затрагивали территорию Беларуси своей периферийной зоной, вызывая повышение ОСО на 20-22 % по сравнению с климатической нормой.

На рисунок 5.2 представлены среднесуточные значения ОСО, зарегистрированные в пунктах наблюдения озонометрической сети ННИЦ МО БГУ.

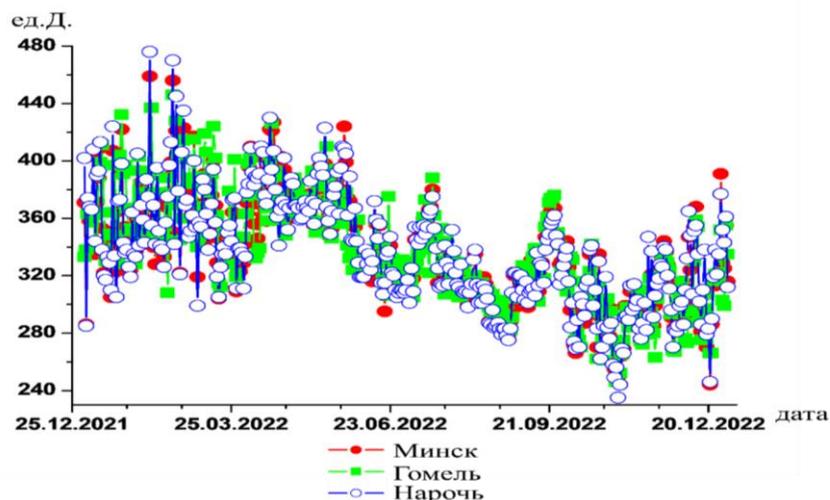


Рисунок 5.2 – Среднесуточные значения ОСО (в ед.Д.) в пунктах наблюдения ННИЦ МО БГУ в 2022 г.

В зимние месяцы над акваторией Северного Ледовитого океана оформилась область с существенным дефицитом ОСО, которая в марте сместилась сначала к побережью Восточной Сибири, а затем стала смещаться на запад, к Восточной Сибири и Уралу (рисунок 5.3). Территория Республики Беларусь некоторое время находилась на периферии этой области и к 18-19 марта 2022 г. дефицит озона над территорией Беларуси составил 20-21 %.

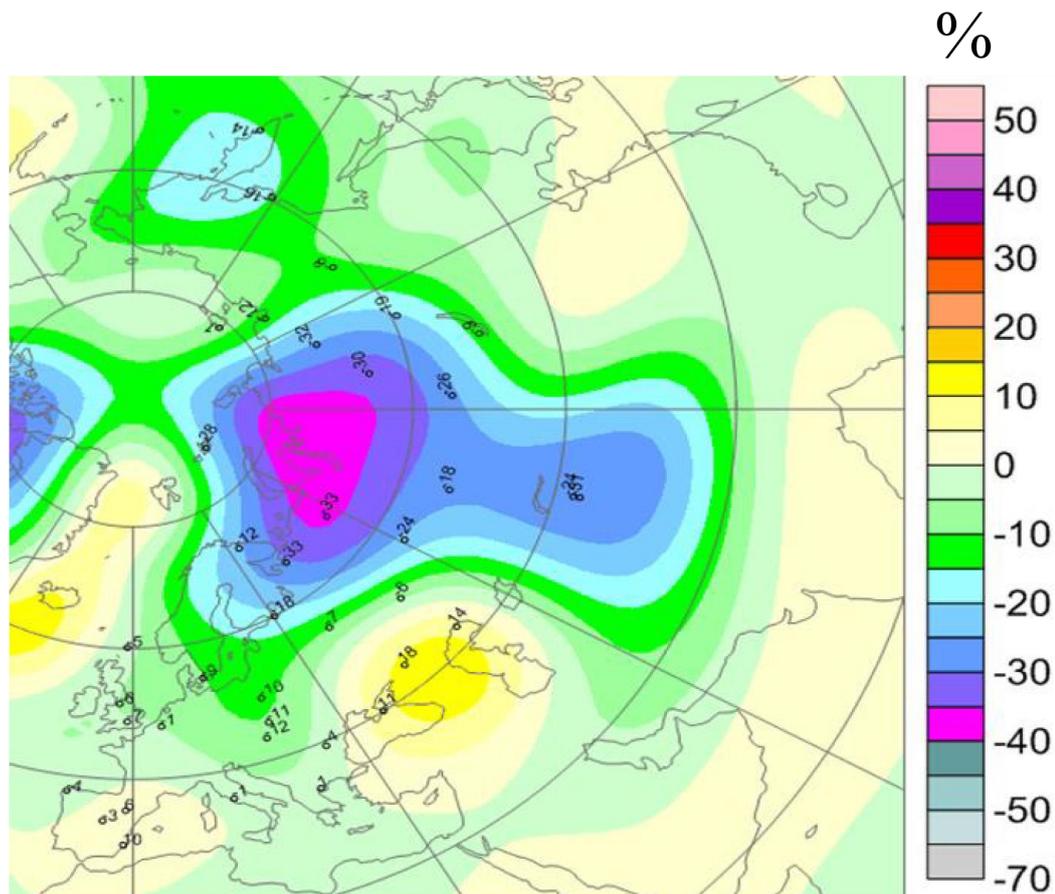


Рисунок 5.3 – Распределение полей отклонений ОСО от многолетних средних значений (в %) на 18 марта 2022 г. Приведена цветовая шкала в % от многолетних средних значений.

Как обычно, в зимне-весенний период наблюдалась сильная межсуточная изменчивость ОСО (рисунок 5.4). Минимальное значение ОСО за 1 квартал 2022 г. составило 300 ед.Д., которое было отмечено 18 марта 2022 г., а максимальное - составило 445 ед.Д., и наблюдалось 7 февраля 2022 г.

После некоторого дефицита общего содержания озона в марте, среднемесячные значения ОСО в апреле были близки к климатической норме (рисунок 5.4) ежедневные вариации озона не превышали  $\pm 10\%$ .

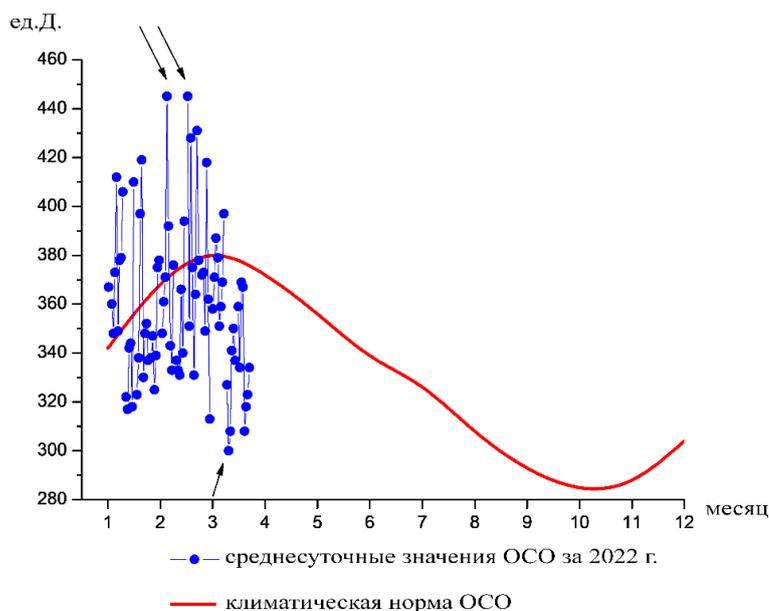


Рисунок 5.4 – Климатическая норма и среднесуточные значения ОЗО (в ед.Д.) для г. Минска. Стрелками отмечены положительные и отрицательные озоновые аномалии.

В мае ситуация изменилась, среднесуточные значения ОЗО за редким исключением превышали многолетние среднемесячные величины (рисунок 5.5), 20 мая 2022 г. ОЗО на 20 % превышало среднемноголетние значения. Превышение среднемесячных значений над нормой составило 5,5 %. В июне 2022 г. ОЗО было близко к климатической норме.

Наблюдаемая в мае динамика полей ОЗО была связана с формированием в средних и высоких широтах Северного полушария областей с повышенным ОЗО, под влиянием которых время от времени оказывалась территория Республики Беларусь.

В июле и августе ОЗО было близко к климатической норме (отклонения среднемесячных величин составили +2,2 % и -1,8 % соответственно, рисунок 5.5).



Рисунок 5.5 – Среднемноголетние среднесуточные значения ОЗО и среднесуточные значения ОЗО (в ед.Д.) за апрель - май 2022 г.

В сентябре среднемесячные значения ОСО достигло самых высоких значений за все время наблюдений (1996 – 2022 гг.) и составило 328 ед.Д., что на 11,5 % выше климатической нормы для сентября (рисунок 5.6).

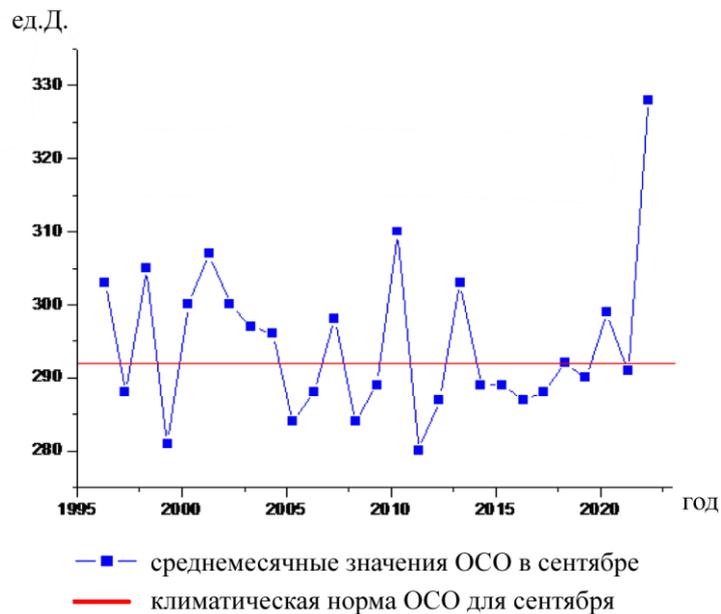


Рисунок 5.6 – Среднемесячные значения ОСО (в ед.Д.) в сентябре за период 1996 – 2022 гг.

С первых чисел сентября и до начала октября в озоносфере Северного полушария сложилась ситуация, когда содержание озона в атмосфере средних широт было больше чем в высоких широтах. Так как над территорией Республики Беларусь расположилась область с высоким, для этого времени года, общим содержанием озона. Эта область просуществовала в течении всего сентября, а к концу месяца ОСО над территорией Республики значительно превышали климатическую норму (рисунок 5.7). В 21 сентября по 23 сентября 2022 г. превышение ОСО над климатической нормой составляло 21-31 %.

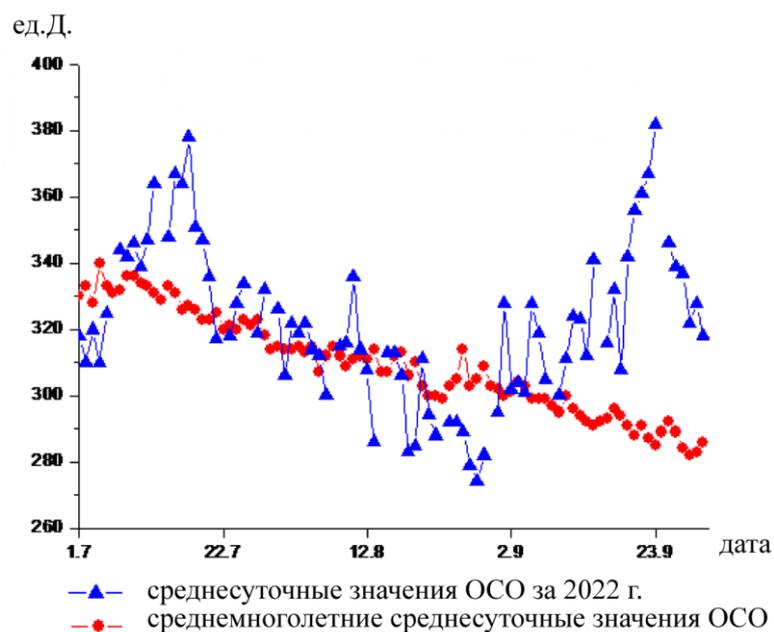


Рисунок 5.7 – Среднеголетние среднесуточные значения ОСО и среднесуточные значения ОСО (в ед.Д.) за июль – сентябрь 2022 г.

В четвертом квартале 2022 г. ОСО было близко к климатической норме, только в ноябре наблюдалось небольшое (+3,5 %) превышение среднемесячных величин (рисунок 5.8).

Минимум годового хода наблюдался в обычное время, в октябре. Минимальное значение ОСО составило 246 ед.Д., которое было отмечено 31 октября 2022 г.

Среднемноголетние среднесуточные значения и среднесуточные значения ОСО для октября – декабря 2022 г. представлены на рисунок 5.8.

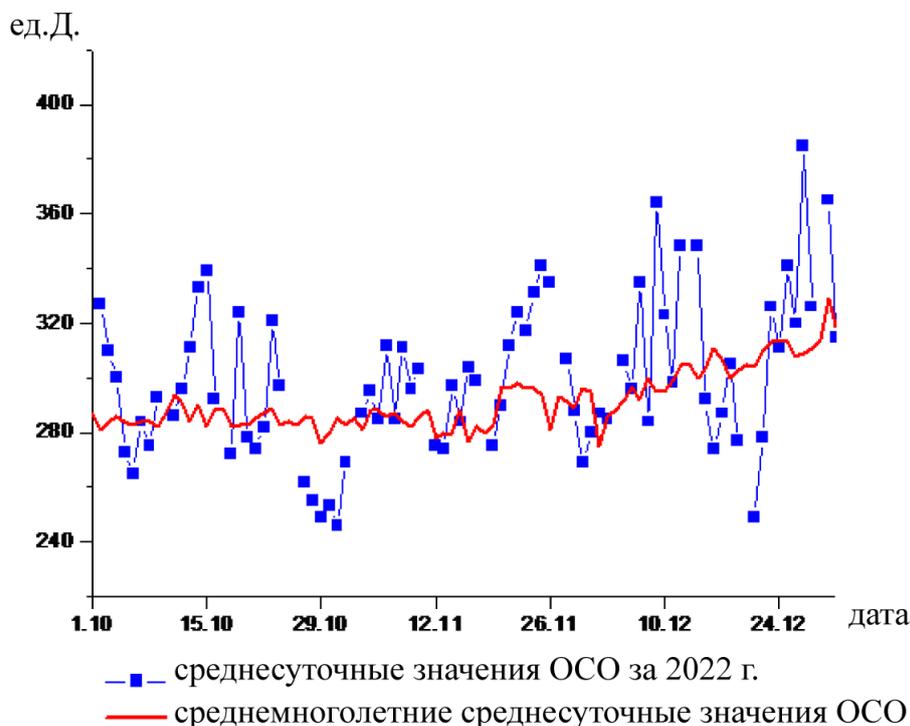


Рисунок 5.8 –Среднемноголетние среднесуточные значения ОСО и среднесуточные значения ОСО за октябрь – декабрь 2022 г.

### Состояние озоносферы в Южном Полушарии. Антарктика.

Ежегодно наблюдаемая в весенние месяцы антарктическая озоновая дыра (область атмосферы со значительно сниженным содержанием атмосферного озона) достигла средней площади 23,2 миллиона квадратных километров в период с 7 сентября 2022 г. по 13 октября 2022 г. (рисунок 5.9).

Площадь с истощенным озоновым слоем над Южным полюсом была несколько меньше аналогичного показателя за тот же период прошлого года, что продолжает тенденцию ее сокращения, наметившуюся в последние годы.

Максимальная площадь озоновой дыры составила 26,4 миллиона квадратных километров и достигла абсолютного однодневного максимума 5 октября 2022 г.

Общее содержание озона (ОСО), 05.10.2022

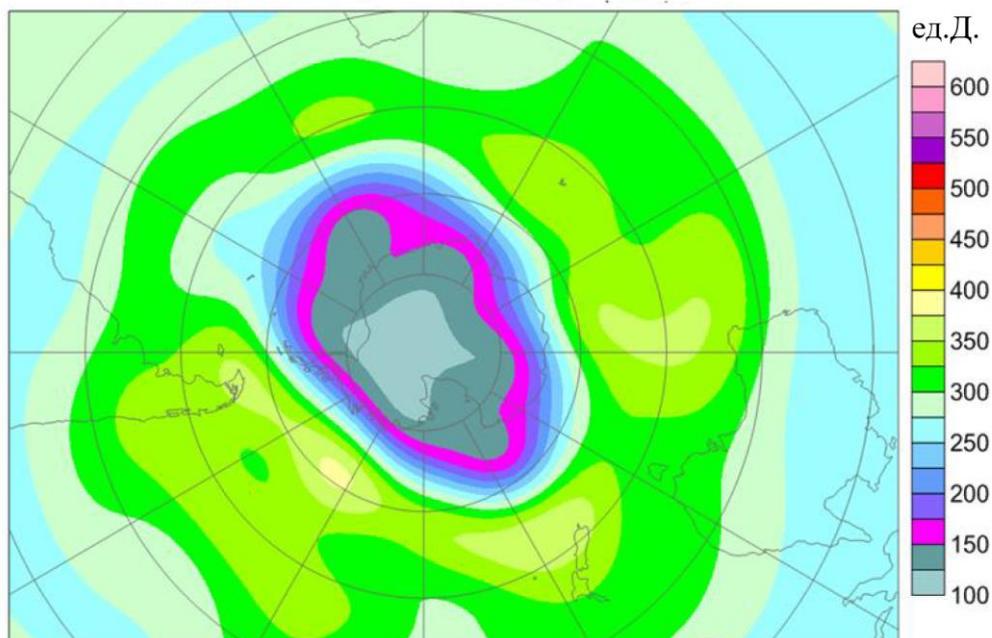


Рисунок 5.9 – Распределение ОСО над Антарктикой (в е.д.д.) на 5 октября 2022 г.

#### Международное сравнение

Приборы ННИЦ МО БГУ для измерения ОСО и УФ-индекса (озонметр М-124, спектро радиометр Пион-УФ и фотометры) были откалиброваны с использованием регионального стандарта ВМО (спектрофотометр Добсона N108) в Главной геофизической обсерватории им. А.А. Воейкова (ГГО), Санкт-Петербург, Россия. 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, Нидерланды.

Наземные озонметрические станции расположены на территории Земли крайне неравномерно: наиболее густо 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. Наибольшей точностью измерений обладают спектрофотометры Добсона и Брюера – 1-2 %, точность озонметров М-124 – 5-8 %

Например, озонметрическая сеть России включает 27 регулярно работающих станций в Северном полушарии, оснащенных фильтровыми озонметрами М-124. Методическое и техническое руководство сетью осуществляет ГГО им. А.А. Воейкова; там разрабатываются методики наблюдений, осуществляется поверка озонметров, проводится контроль качества измерений и их коррекция. Данные ОСО от российских станций, 5 станций Казахстана и 1 Туркменистана по электронной почте оперативно поступают в ЦАО, ГГО им. А.А. Воейкова и Гидрометцентр России. ЦАО оперативно обрабатывает поступившие данные, строит карты распределения ОСО над Россией и прилегающими территориями, проводит первичный контроль качества измерений, при наличии значительных аномалий оповещает Росгидромет и пересылает данные в WOUDC – Мировой центр данных ВМО (Всемирная метеорологическая организация – WMO) по озону и УФ радиации в Торонто, Канада. 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/>). На этих картах рядом с расположением станции приводится измеренное на ней значение ОСО. Кроме того, на сайте WOUDC приводятся прогнозы распределения ОСО с заблаговременностью до 5 суток по данным NCEP

(Национальный центр по прогнозам окружающей среды), США, и KNMI (Королевский Нидерландский метеорологический институт), Нидерланды.

Все наземные озонометрические станции следуют единым правилам и требованиям ВМО по измерению ОСО и УФ-индекса.

### **Прогноз**

Измерения, проведенные с помощью спутников и озонозондов, показывают, что в последние годы область озоновой дыры меньше, чем в конце 1990-х и начале 2000-х гг.

Со временем наблюдается устойчивый прогресс, и дыра становится все меньше, хотя наблюдаются некоторые вариации ее размеров от года к году, что обусловлено рядом факторов, но в целом за последние два десятилетия эта площадь дыры уменьшилась.

Предполагается, что это происходит благодаря действию Монреальского протокола, запрещающего выброс вредных озоноразрушающих химических веществ. На сегодняшний день этот протокол остается единственным международным договором, ратифицированным практически всеми странами мира.