



ВСЕМИРНАЯ
МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКАЯ
ОРГАНИЗАЦИЯ



GLOBAL
ATMOSPHERE
WATCH

№ 2 – СЕНТЯБРЬ 2024 Г.

БЮЛЛЕТЕНЬ ВМО ПО ОЗОНУ И УФ-ИЗЛУЧЕНИЮ

Введение

Мэтт Талли, председатель Научно-консультативной группы ВМО по озону и солнечному УФ-излучению

На недавнем совещании руководителей научных исследований озона (участники представлены на рисунке 1) было отмечено, что благодаря успешной реализации Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой (далее – Монреальский протокол), содержание в тропосфере хлора и брома, выделяемых долгоживущими озоноразрушающими веществами, продолжает снижаться, и что имеются более веские доказательства восстановления озона в некоторых частях атмосферы.

С самого начала и по сей день одним из столпов Монреальского протокола является его высококачественная научная основа.

Программа Глобальной службы атмосферы (ГСА) ВМО продолжает играть крайне важную роль в поддержке озонологии при помощи наблюдений, анализа, моделирования, управления данными и наращивания потенциала. Очень важно, чтобы наблюдения за озонем, озоноразрушающими веществами и ультрафиолетовым (УФ) излучением велись с таким качеством, разрешением и глобальным охватом, которые необходимы для учета изменений в озоне в ближайшие десятилетия. На ожидаемое восстановление озона будут влиять многие факторы, которые должны быть полностью измерены и поняты.

Во втором выпуске Бюллетеня ВМО по озону и ультрафиолетовому излучению представлены глобальные новости и информация о состоянии озонового слоя и антарктической озоновой дыры в 2023 году. В нем также описываются меры по защите здоровья человека и окружающей среды от вредного воздействия УФ-излучения, а также недавнее крупное мероприятие по восстановлению наблюдений, проводимых с помощью приборов Брюера, в Южной Америке при поддержке Общего целевого фонда для финансирования связанной с Венской конвенцией об охране озонового слоя деятельности по проведению исследований и систематических наблюдений (далее – Целевой фонд).

Состояние озонового слоя в 2023 году

Вольфганг Штайнбрехт, Марк Вебер, Антье Иннесс

На рисунке 2 показано распределение аномалии среднегодового общего содержания озона в атмосферном столбе за 2023 год. В целом распределение было аналогично тому, что наблюдалось в 2022 году (WMO, 2023). Значения концентрации озона в Антарктике и северных средних широтах в 2023 году были ниже средних климатологических значений за 2003–2021 годы, в то время как в полосе широт от 30° северной широты до 60° южной широты и над регионом Северного полюса значения концентрации озона были выше средних климатологических значений.

Такая картина повышенного содержания озона в низких широтах и пониженного содержания озона в



Рисунок 1. Участники двенадцатого совещания руководителей научных исследований озона, Женева, апрель 2024 г.

Фото: Фабиан Рубиоло

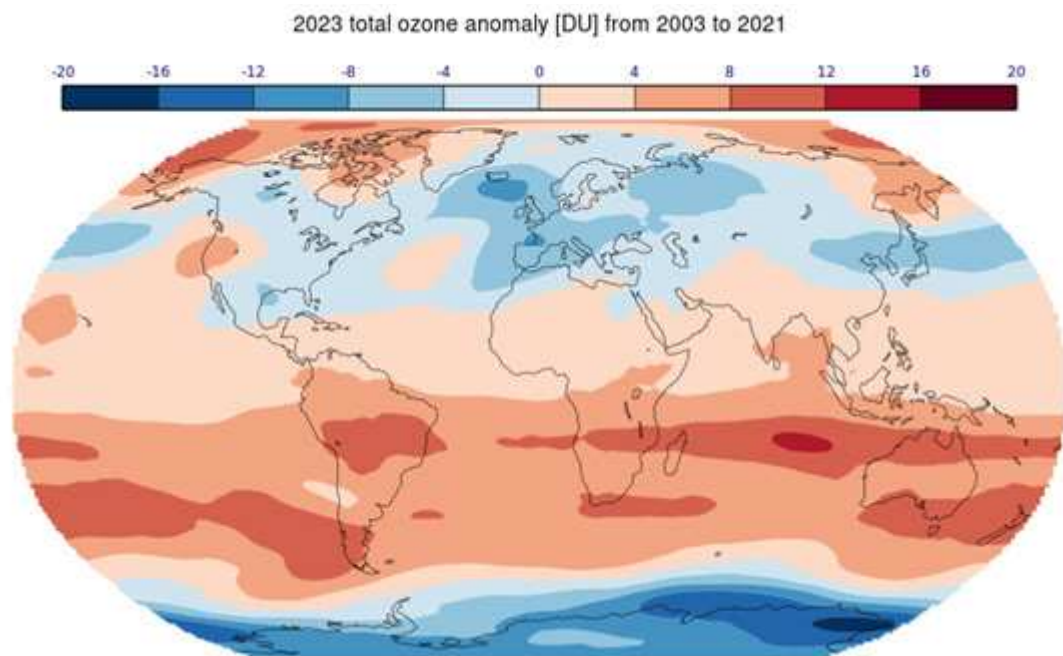


Рисунок 2. Отклонение среднегодового общего содержания озона в атмосферном столбе в 2023 году, в единицах Добсона (ЕД), по сравнению с климатологией за 2003—2021 гг.

Источник: Результаты получены на основе реанализа Службы мониторинга атмосферы программы «Коперник» (Inness et al., 2019)

высоких широтах связана с интенсивностью средней меридиональной циркуляции Брюера-Добсона (ЦБД) (которая перераспределяет озон из низких широт в высокие). Особенно в зимние месяцы слабая ЦБД будет способствовать переносу менее богатого озоном воздуха из низких широт в высокие, что приведет к высокому общему содержанию озона в атмосферном столбе в тропических районах и его низкому содержанию в более высоких широтах. В первой половине 2023 года слабая ЦБД была связана с западной фазой квази-двухлетнего колебания (КДК), периодическим колебанием экваториальных ветров. Эта западная фаза КДК преобладала в течение зимы и весны 2022/2023 годов в Северном полушарии и вызвала остаточную циркуляцию, ослабив ЦБД в Северном полушарии (Baldwin et al., 2001).

Напротив, в Южном полушарии более распространенные высокие положительные аномалии были обусловлены сочетанием восточной фазы КДК после июня 2023 года и зарождающегося сильного Эль-Ниньо с середины 2023 года. Оба эти фактора способствовали усилению ЦБД зимой в Южном полушарии (Baldwin et al., 2001; Benito-Barca et al., 2022), что привело к увеличению содержания озона в атмосферном столбе в южных средних широтах, особенно после августа 2023 года, и более крупным положительным аномалиям, как показано на рисунке 2, над большей частью Южного полушария (за исключением Антарктики: см. раздел «Состояние антарктической озоновой дыры в 2023 году» в настоящем Бюллетене).

Значения общего содержания озона в атмосферном столбе в 2023 году находились в пределах диапазона, наблюдавшегося в предыдущие годы, и соответствовали ожиданиям, что объясняется началом снижения содержания озоноразрушающих веществ, содержащих хлор и бром, в стратосфере (WMO, 2022). В Южном полушарии более высокие значения в средних широтах в 2023 году положили конец нескольким годам низкого общего содержания озона в атмосферном столбе, которое было обусловлено отчасти крупными лесными пожарами в Австралии в 2020/2021 годах и изменениями в переносе озона, вызванными избытком водяного пара в результате извержения

вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай в 2022 году. В 2023 году антарктическая озоновая дыра начала формироваться раньше, чем в предыдущие годы, и сохранялась до середины декабря, что привело к отрицательной годовой аномалии над Антарктикой, показанной на рисунке 2.

Состояние антарктической озоновой дыры в 2023 году

Джос де Лаат

Антарктическая озоновая дыра в 2023 году отличалась двумя необычными характеристиками: ранним формированием в конце августа и сохранением вплоть до декабря. Хотя в 2022 году также наблюдалась большая продолжительность (WMO, 2022), раннее формирование в 2023 году отклоняется от тренда последних лет. Последовательное более позднее формирование озоновой дыры до 2023 года было расценено как надежный ранний признак того, что озоновая дыра восстанавливается (WMO, 2022).

По сравнению с 2022 годом, в октябре и ноябре 2023 года потери озона были значительно менее выражены (см. рисунок 3). Весьма сильное извержение вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хаапай 15 января 2022 года привело к увеличению количества водяного пара в стратосфере. Хотя последние исследования показывают, что в нижних слоях стратосферы над Антарктикой этот избыток водяного пара оказал ограниченное влияние на скорость разрушения озона, что обусловлено действием солнечного света и добавлением определенных химических веществ, такой избыток водяного пара привел к усилению истощения в средних и верхних слоях, особенно вблизи края антарктического стратосферного вихря (Zhang et al., 2024; Wohltmann et al., 2024). Охлаждающий эффект водяного пара еще больше способствовал такому разрушению озона, являясь причиной раннего формирования озоновой дыры, наблюдавшегося в 2023 году, хотя эти потери были менее выражены, чем в конце антарктической весны (Zhang et al., 2024; Wohltmann et al., 2024).

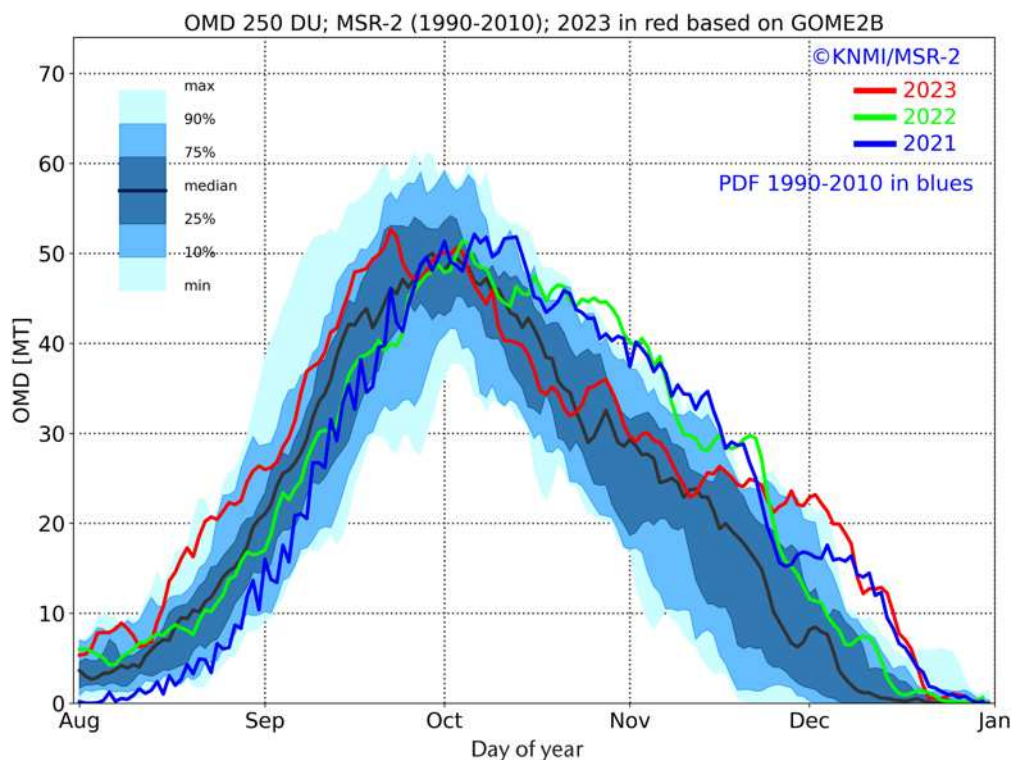


Рисунок 3. Ежедневный дефицит массы озона в Антарктике (ДМО в мегатоннах (MT)) относительно уровня общего содержания озона в атмосферном столбе 250 единиц Добсона (ЕД) (Strahan et al., 2019), полученный на основе данных реанализа общего содержания озона multi-sensor reanalysis (MSR-2) (van der A et al., 2015). Красными, зелеными и синими линиями показаны данные за 2023, 2022 и 2021 годы, соответственно. Синяя огибающая представляет собой историческую огибающую и распределение вероятностей ежедневных данных о ДМО за период 1990–2020 годов (PDF = функция плотности вероятности).

Источник: подготовлено на основе <https://temis.nl/protocols/o3hole/index.php>, Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI)

Интересно отметить, что в сентябре 2023 года не было зафиксировано ускорение разрушения озона, а результаты моделирования показали, что потери озона из-за дополнительного водяного пара были незначительными (4 ЕД) (Wohltmann et al., 2024; Santee et al., 2023). В октябре и ноябре 2023 года наблюдалось уменьшение дефицита массы озона (ДМО) (Zhang et al., 2024; см. также рисунок 3), что является признаком того, что весеннее истощение озонового слоя было более умеренным, чем в начале этого столетия. Это, вероятно, является отражением снижения содержания озоноразрушающих веществ в атмосфере и еще одним свидетельством того, что истощение озонового слоя, вызванное галогенами, уменьшилось.

Однако уровни общего содержания озона над Антарктикой были ниже среднего в период с января по июль 2023 года (Zhou et al., 2024), что привело к более раннему обнаружению озоновой дыры, исходя из обычных порогов обнаружения 220 ЕД или 250 ЕД для ДМО (Strahan et al., 2019). Эти низкие начальные уровни сказались на уровне общего содержания озона в атмосферном столбе в течение антарктической весны. Это может быть связано с усилением истощения стратосферного озона в средних широтах в результате извержения вулкана Хунга-Тонга-Хунга-Хапай.

Последние шесть антарктических озоновых дыр, за исключением 2019 года, отличались одной или двумя этими необычными характеристиками, а именно: ранним формированием и продолжительностью антарктической озоновой дыры. Эти результаты исследований отражают влияние более слабой циркуляции Брюера-Добсона и активности планетарных волн, которые приводят к меньшему перемешиванию богатого озоном воздуха из внешнего антарктического стратосферного вихря и могут задержать окончательное потепление и распад

вихря (Kessenich et al., 2023; Kramarova et al., 2024). Эти устойчивые характеристики до конца не изучены, но являются предметом постоянных исследований.

В целом, эти две ключевые необычные характеристики не ставят под сомнение недавние выводы (изложенные в WMO, 2022) о том, что восстановление озона в антарктической озоновой дыре началось. Однако они подчеркивают, что существуют относительно редкие атмосферные явления, которые могут оказать значительное влияние на антарктическую озоновую дыру; что в развитии антарктической озоновой дыры наблюдается значительная изменчивость во временных масштабах от нескольких дней до нескольких лет; что в научном понимании этой изменчивости все еще существуют пробелы и что по-прежнему крайне важно поддерживать инфраструктуру наблюдений, которая позволяет нам связывать необычные или неожиданные колебания с конкретными геофизическими процессами и явлениями.

Эффективность Монреальского протокола в борьбе с загрязнением пластиком

Ану Хейккиля, Алкис Баис

С 1950-х годов мировое производство пластика выросло в 200 раз, а за последние два десятилетия удвоилось без признаков замедления. По гибкости и долговечности пластик часто превосходит альтернативные материалы. Неудивительно, что сегодня пластик повсеместно используется в повседневных товарах, начиная от упаковки для продуктов питания и заканчивая созданными по технологии объемной печати жилыми помещениями.

К сожалению, вместе с производством пластика стремительно растет и количество неконтролируемых пластиковых отходов. Попадая в окружающую среду, крупноразмерный мусор подвергается процессу выветривания, который приводит к его распаду на более мелкие части (см. рисунок 4). Солнечное УФ-излучение является основным фактором, инициирующим поверхностную фотодegradацию (процесс разрушения материалов под воздействием света) пластика в окружающей среде. Дальнейшее разрушение под воздействием солнечного УФ-излучения, а также других стрессовых факторов, таких как тепло, влага и механическое воздействие, приводит к образованию фрагментов различных размеров: микропластика размером менее 5 мм и нанопластика размером менее 0,1 мкм. Поэтому ожидается, что изменения в УФ-излучении повлияют на распространенность этих соединений (пластикового мусора) в окружающей среде.

Монреальский протокол признан самым эффективным глобальным договором об охране окружающей среды всех времен. Действительно, он способствовал успешному предотвращению глобального увеличения средневолнового (УФ-В) солнечного излучения, достигающего поверхности Земли. Говоря о деградации пластика, Монреальский протокол помог обуздать неконтролируемое образование микро- и нанопластиков. В качестве благоприятного побочного эффекта Монреальский протокол способствовал частичному смягчению последствий глобального потепления благодаря сокращению содержания озоноразрушающих веществ, которые также выступают парниковыми газами. Данный побочный эффект привел к замедлению производства пластиковых фрагментов, снизив эффективность соответствующих процессов выветривания на открытом воздухе.

Сегодня микро- и нанопластики можно встретить повсюду на планете: в водоемах, начиная с дна океанов и заканчивая морским льдом в Арктике, а также в почве и воздухе. К сожалению, они были обнаружены и в организмах всех размеров, включая человека Amereh et al., 2022; Blackburn and Green, 2022; Liu et al., 2023). В экосистемах микро- и нанопластики несут в себе множество прямых и косвенных последствий, большинство из которых трудно оценить количественно. Ситуация еще больше усложняется выщелачиванием различных потенциально токсичных

веществ, используемых в качестве добавок для повышения прочности и/или эксплуатационных характеристик пластика.

В своей обновленной оценке 2023 года Группа по оценке экологических последствий Программы Организации Объединенных Наций по окружающей среде проанализировала текущее понимание интерактивного влияния солнечного УФ-излучения и изменения климата на загрязнение пластиком (UNEP, 2023; см. также Jansen et al., 2024). Несмотря на пробелы в знаниях, Группа пришла к выводу, что микро- и нанопластики представляют собой одну из наиболее тревожных экологических проблем на сегодняшний день. В стремлении к сохранению здоровой устойчивой планеты ключевыми факторами, которые следует учитывать, являются солнечное УФ-излучение и воздействия климата на фрагментацию пластика.

Эффективный инструмент планирования мер по защите от УФ-излучения на местном уровне

Корнелия Бальдерманн, Маттиас Зюринг, Хельге Кнооп, Катрин Герке, Себастьян Лоренц

УФ-излучение является канцерогенным для человека (El Ghissassi et al., 2009) и является основной причиной рака кожи. Оно также может привести к серьезным заболеваниям глаз и кожи, которые могут проявляться как сразу, так и в более позднем возрасте (German Commission on Radiological Protection, 2016). Рак кожи является наиболее распространенным онкологическим заболеванием среди светлокожих людей во всем мире (Apalla et al., 2017), и заболеваемость им неуклонно растет среди всех групп населения во всем мире. Поскольку в связи с изменением климата эта ситуация может ухудшиться на региональном уровне (Baldermann et al., 2023), необходимо срочно принять более эффективные превентивные меры. Эти меры включают в себя планирование окружающего пространства человека таким образом, чтобы избежать высокого уровня воздействия УФ-излучения. Здесь на помощь приходят изменения в городском планировании, инфраструктуре и проектировании зданий, а также ландшафтной архитектуре. Необходим инструмент для определения возможного воздействия УФ-излучения на

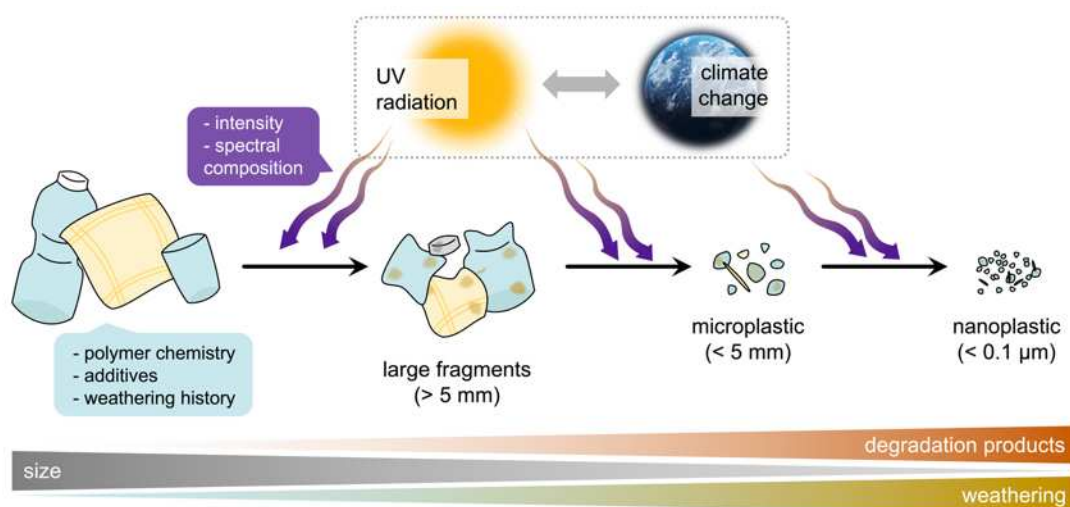


Рисунок 4. Схематическое изображение процесса фрагментации пластика под действием солнечного УФ-излучения и последующего выброса микро- и нанопластиков в окружающую среду

Источник: Jansen et al. (2024), опубликовано Springer Nature

этапе планирования строительства и включения в план структурно-технических мер, включая растительность, для максимально эффективного снижения воздействия УФ-излучения.

В рамках исследовательского проекта, инициированного и курируемого Федеральным бюро по вопросам радиационной защиты Германии (BfS), модель УФ-излучения в городских районах была успешно внедрена в существующую модель микромасштабной атмосферной турбулентности, разрешающая способность которой позволяет учитывать влияние зданий и растительности, **PALM** (программное обеспечение с открытым исходным кодом под лицензией Gnu Public License (GPL)) (Maronga et al., 2020; Kadasch et al., 2021).

Эта модель УФ-излучения количественно определяет, в зависимости от времени суток, УФ-излучение, вызывающее эритему, на застроенных территориях с разрешением сетки менее 0,5 метра. Можно получить двухмерную информацию о локальном УФ-излучении, вызывающем эритему (как показано на рисунке 5). Она учитывает затенение УФ-излучения деревьями, зданиями и солнцезащитными устройствами, такими как навесы или солнечные паруса, а также пропускание УФ-излучения растительностью и многократное отражение УФ-излучения на городских поверхностях.

Базовый сценарий атмосферного УФ-излучения моделируется с помощью внешней модели радиационного переноса (программный пакет libRadtran, включающий программу uvspec; Mayer et al., 2005; Emde et al., 2016) для различных солнечных зенитных углов. Модель была оценена путем сравнения с данными измерений УФ-излучения. Сравнение показало хорошее соответствие в незатененных местах.

Модель УФ-излучения также воспроизводит пространственную и временную изменчивость УФ-излучения, обусловленную деревьями, зданиями и навесами. Было установлено, что для точного моделирования УФ-излучения необходимо точное понимание микромасштабных условий окружающей среды, особенно подробная информация о деревьях. Разработанный код был интегрирован в **систему моделирования PALM** и выпущен в июле 2024 года под номером 24.04. Для практического использования модели

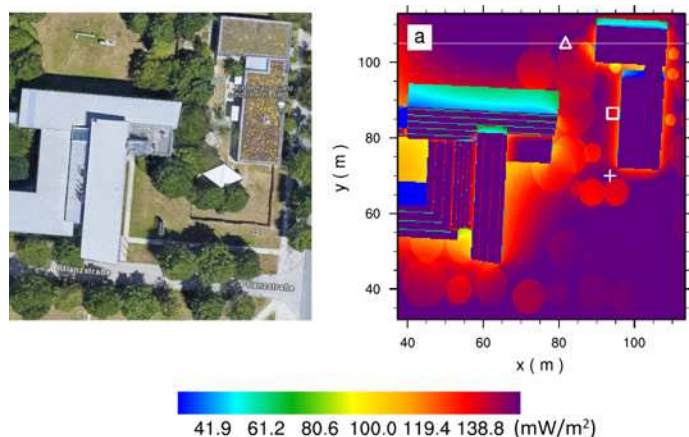


Рисунок 5. Результат работы модели УФ-излучения в PALM: двухмерная информация о локальном УФ-излучении, вызывающем эритему. Слева: вид с воздуха на детский сад с открытой площадкой справа от строения; справа: горизонтальная проекция эритемного взвешенного УФ-излучения (mWt/m^2) в 11:00 по всемирному координированному времени (BCV) на открытой территории детского сада. Белые маркеры показывают положение точек измерения УФ-спектро радиометра.



требуется прочный фундамент базовых технических, численных и физических знаний, поскольку она работает как на уровне пользовательского терминала, так и на уровне программирования. Еще предстоит разработать и внедрить удобный для пользователя веб-интерфейс.

Приложение SunSmart Global UV

Бесплатное приложение SunSmart Global UV дает советы по защите от солнца «здесь и сейчас», чтобы вы знали, когда уровень УФ-излучения может повредить вашу кожу и привести к раку кожи – где бы вы ни находились в мире. Приложение SunSmart Global UV, созданное при поддержке Всемирной организации здравоохранения и Всемирной

Download the SunSmart Global UV app



On a desktop? Scan the QR code to download



метеорологической организации совместно с Программой ООН по окружающей среде и Международной организацией труда, предоставляет рекомендации по защите от солнца, независимо от того, где вы живете. Среди последних обновлений приложения – добавление арабского языка наряду с восемью другими языками, включая французский, английский, русский, итальянский, китайский, голландский, испанский и немецкий. Чтобы загрузить приложение, перейдите по ссылке <https://www.sunsmart.com.au/resources/sunsmart-app> или отсканируйте QR-коды.

Резюме Четырехгодичного симпозиума по озону

Софи Гедин-Бикман, Ирина Петропавловских

Четырехгодичный симпозиум по озону (ЧСО) – это проводимое раз в четыре года совещание исследователей и сторон, заинтересованных в мониторинге и понимании



Рисунок 6. Групповая фотография участников Четырехгодичного симпозиума по озону

процессов, влияющих на озоновый слой. В 2024 году ЧСО проходил в Университете Колорадо в Боулдере с 15 по 19 июля (см. рисунок 6). Информацию о научной программе можно найти по ссылке <https://qos2024.colorado.edu/home>. Предыдущий ЧСО проводился в виртуальном формате в 2021 году и был очень успешно организован Университетом Ёнсе в Сеуле, Республика Корея.

Организаторами ЧСО-2024 выступили Объединенный институт исследований в области наук об окружающей среде (CIRES), Национальное управление по исследованию океанов и атмосферы (HYOA), Национальное управление по авионавигации и исследованию космического пространства (НАСА), Национальный центр атмосферных исследований (НКАР), Университет Колорадо и Международная комиссия по озону (МКО). МКО учредила научный комитет симпозиума. Основными спонсорами мероприятия выступили Международный геодезический и геофизический союз (МГГС), Международная ассоциация метеорологии и атмосферных наук (МАМФА), ГСА ВМО, CIRES, Университет Колорадо в Боулдере, НАСА (штаб-квартира) в Гринбелте (США), SciGlob, EN-SCI Environmental Science, BAE Systems и Европейская организация по эксплуатации метеорологических спутников (EUMETSAT).

ЧСО-2024 собрал вместе экспертов, работающих над всеми аспектами научных исследований озона, со всего мира, и способствовал научному обмену между ними. Сессии были доступны для онлайн-просмотра и представления виртуальных презентаций (включая 2-минутный виртуальный стендовый доклад), чтобы способствовать более широкому участию стран с переходной экономикой при минимальных затратах для исследователей. Конференция оказала поддержку 22 начинающим ученым, освободив их от регистрационных взносов, а 4 участника получили дополнительные гранты на поездки. В ЧСО приняли участие более 220 человек, включая 40 онлайн-участников, 7 основных докладчиков, 6 приглашенных докладчиков, в том числе было представлено 97 устных презентаций (на 7 сессиях) и 221 постер (34 постера онлайн). Заседания рабочих групп по инструментальной и научно-исследовательской деятельности проходили до и после ЧСО, что позволило участникам, направляющимся в Боулдер, совершать комбинированные поездки, чтобы по возможности уменьшить выбросы углерода.

Обсуждаемыми темами были мониторинг изменений глобального уровня озона, снижение выбросов озоноразрушающих веществ, регулируемых Монреальским протоколом, климатические процессы, влияющие на озон, влияние качества воздуха на тропосферный озон, воздействие на окружающую среду и здоровье, разработка новых приборов и методов, экстремальные явления (вулканические и антропогенные). На каждой тематической сессии выступали основные и приглашенные докладчики, в том числе были представлены устные и стендовые доклады, что обеспечило платформу для дискуссий и обмена мнениями на пленарных заседаниях. В рамках мероприятий состоялись встреча-знакомство, параллельные заседания исследовательских групп, встреча молодых специалистов и конференц-ужин, в ходе которого было вручено несколько наград. Премия Добсона была присуждена начинающему ученому д-ру Люку Вестерну за его статью о глобальном увеличении содержания озоноразрушающих хлорфторуглеродов с 2010 по 2020 год. Премия Фармана за карьерные достижения была присуждена д-ру Филиппу Неделеку за многолетние ряды данных по озону в рамках программы МОЗАИК проекта «Эксплуатируемые воздушные суда для Глобальной системы наблюдений» (ИАГОС) и д-ру Герману Смитту за его уникальный вклад в калибровку и повышение качества глобальных рядов данных озонзондовых измерений.

Резюме рекомендаций двенадцатого совещания руководителей научных исследований озона

Мэтт Талли

Руководители научных исследований озона (РНИО) проводят совещание раз в три года, за шесть месяцев до совещания Конференции сторон Венской конвенции, для регулярного обзора состояния международного мониторинга и исследований озона и связанных с этим потребностей. Двенадцатое совещание проходило с 24 по 26 апреля 2024 года в Женеве и началось с презентаций соответствующих организаций и приглашенных экспертов. Были представлены краткие региональные доклады, в которых рассматривались виды деятельности и потребности во всех районах мира. Затем были сформулированы

рекомендации по пяти тематическим областям: потребности в научных исследованиях, систематические наблюдения, пробелы в глобальном охвате контролируемых веществ, архивирование данных и управление данными, а также наращивание потенциала. ГСА ВМО призвана сыграть важную роль во всех этих пяти областях.

РНИО подчеркнули, что для измерения, понимания и моделирования прошлого и будущего распределения и трендов озона и УФ-излучения необходима постоянная научная работа. Для этого необходимы высококачественные наблюдения за озоном как с земли, так и из космоса, а также расширенные региональные наблюдения за озоноразрушающими веществами, в том числе очень короткоживущими веществами (ОКЖВ). Факторы, которые, как ожидается, могут повлиять на ожидаемое восстановление стратосферного озона, включают изменение климата, временно возникающие явления, такие как лесные пожары и извержения вулканов, а также антропогенная деятельность, в том числе прогнозируемый рост сверхзвуковой авиационной и космической активности. В докладе отмечается важная роль, которую играет Целевой фонд, и необходимость полного глобального охвата измерений и участия всех стран в озонологии.

Третья международная кампания по калибровке солнечных УФ-радиометров

Джулиан Грёбнер, Грегор Хюльзен

Третья международная кампания по калибровке солнечных УФ-радиометров (КУФ-III) была организована Мировым центром калибровки приборов для измерения УФ-излучения (МЦК-УФ) в Давосской физико-метеорологической обсерватории и Мировом радиационном центре (ДФМО/МРЦ) в Давосе, Швейцария, с 13 июня по 26 августа 2022 года. Всего в кампании приняли участие 74 широкополосных радиометра с фильтром из 42 институтов и 29 стран. Долгожданный отчет об этом мероприятии был опубликован в 2023 году в электронной библиотеке ВМО ([GAW Report No. 284](#)).

Цель кампании заключалась в том, чтобы провести калибровку чувствительности, прослеживаемые к международной системе единиц (СИ), для обеспечения согласования мировых измерений солнечного УФ-излучения, полученных с помощью этих радиометров. Процедура калибровки заключалась в измерении нормированных функций спектральной и угловой чувствительности каждого



Рисунок 7. Солнечные УФ-радиометры с фильтром на измерительной платформе ДФМО/МРЦ

Фото: Г. Хюльсен

радиометра в лаборатории оптической радиометрии ДФМО/МРЦ. Затем было проведено сравнение измерений солнечного УФ-излучения на открытом воздухе с эталонными спектрометрическими QASUME и QASUMEII (как показано на рисунке 7) для получения абсолютной спектральной чувствительности (Hülsen and Gröbner, 2007; Hülsen et al., 2016). Расширенный интервал значений погрешности ($k=2$) калибровок варьировался от 3,1 % до 12 % для каждого радиометра.

Измерения солнечных УФ-радиометров анализировались как с помощью калибровок, полученных во время КУФ-III, так и с помощью калибровок, используемых институтами в странах. Средний период действия пользовательских калибровок составлял три года до начала этой кампании (то есть 2019 год), и 34 из 74 приборов применяли только один коэффициент калибровки, вместо предлагаемых функций калибровки, в зависимости от общего содержания озона в атмосферном столбе и солнечного зенитного угла. Относительные различия между измерениями с использованием пользовательской калибровки и калибровки, проведенной в ходе кампании КУФ-III, варьировались от 0,8 % до более чем 50 % для определенных радиометров. До применения процедуры калибровки КУФ-III 28 радиометров измеряли солнечное УФ-излучение в пределах 5 % от эталона QASUME, 37 радиометров – в пределах 10 % и 23 радиометра превышали 10 %-ный порог. Для 15 радиометров первоначальная калибровка не проводилась. После процедуры калибровки все радиометры измеряли в пределах 5 % от эталона.

Отчет о кампании опубликован в качестве WMO GAW Report No. 284 (Отчет ГСА ВМО № 284) (Hülsen and Gröbner, 2023).

За кампанией в ДФМО/МРЦ бореальной осенью 2022 года последовала национальная кампания по калибровке, организованная Национальной метеорологической службой (НМС) Аргентины, в которой также участвовал Уругвай. В общей сложности 25 УФ-радиометров были откалиброваны относительно двух эталонных радиометров, которые участвовали в КУФ-III, чтобы связать калибровки с МЦК-УФ. Отчет об аргентинской кампании находится в процессе подготовки и будет опубликован в качестве отчета ГСА ВМО.

Консультативный комитет одобрил кампанию по мониторингу УФ-излучения в Центральной Америке и Карибском бассейне

Джон Риммер

Предлагаемый проект под руководством д-ра Мауро Вальдеса Баррона (Мексиканская соляриметрическая служба, Институт геофизики, Мексиканский национальный автономный университет) по мониторингу солнечного излучения УФ-В диапазона в Центральной Америке и Карибском бассейне был принят Консультативным комитетом для Общего целевого фонда для финансирования связанной с Венской конвенцией об охране озонового слоя деятельности по проведению исследований и систематических наблюдений (Целевой фонд). Мониторинг рассматривается как косвенный способ получения знаний о состоянии и поведении озонового слоя.

Проект представляет собой сотрудничество между институтами Мексики, Ямайки, Коста-Рики, Кубы и Доминиканской Республики. Взнос Целевого фонда,

предназначенный для первоначальной поддержки сети мониторинга, позволит установить оборудование для мониторинга УФ-излучения на нескольких площадках в Центральной Америке и Карибском бассейне, а также провести учебные курсы для групп эксплуатации. После начала эксплуатации собранные данные будут регулярно передаваться в Мировой центр данных по озону и ультрафиолетовой радиации (МЦДОУ).

Обсерватория солнечной радиации (ORS) (в составе Мексиканской соляриметрической службы) является региональным центром измерений солнечного излучения. ORS располагает всей необходимой инфраструктурой для выполнения различных процессов калибровки датчиков солнечного излучения, а также резонансных радиометров. Каждые пять лет региональные центры принимают участие в Международном сравнении пиргелиометров в Мировом радиационном центре в Давосе, Швейцария.

Взаимное сравнение приборов Брюера в Южной Америке демонстрирует совместную работу стран и организаций

Альберто Редондас, Джон Риммер

С 18 февраля по 8 марта 2024 года в Бразилии при участии нескольких стран была проведена кампания по восстановлению сети приборов Брюера в Южной Америке, что позволило возобновить измерения стратосферного озона на всем континенте.

Кампания по калибровке приборов Брюера в Южной Америке была организована Государственным метеорологическим агентством (AEMET) Испании и Федеральным университетом Санта-Мари (UFMS) в Бразилии при поддержке ВМО и Целевого фонда.

В мероприятии приняли участие более 20 экспертов и операторов 10 приборов из Аргентины (2), Многонационального Государства Боливия (1), Бразилии (4), Чили (1), Эквадора (1) и Испании (1) (см. рисунок 8). Калибровка приборов проводилась путем взаимного сравнения с глобальным эталоном, предоставленным



Рисунок 8. Участники и их приборы Брюера во время кампании по калибровке приборов Брюера в Южной Америке

Фото: Национальный институт космических исследований (ИНПЕ)

Региональным центром калибровки приборов Брюера для Европы (РЦКБ-Е), находящимся в ведении Центра атмосферных исследований Исанья (IARC) AEMET.

Кампания проходила в течение трех недель и была организована в три этапа: первая неделя была посвящена обновлению и ремонту оборудования, вторая – учебному курсу для операторов, проведенному AEMET и Португальским институтом моря и атмосферы (IPMA), а последняя неделя была посвящена непосредственно калибровке. Обновление приборов выполнялось Международной службой по озону (IOS). Основной целью первого этапа было восстановление оперативной готовности приборов Брюера в Бразилии, некоторые из которых не работали почти пять лет. В ноябре 2023 года была проведена предыдущая миссия AEMET для диагностики и сбора информации об инструментальных проблемах трех из этих приборов Брюера и восстановления работоспособности приборов из Санта-Мари и Сантарема (Бразилия).

Параллельно с кампанией проходил курс для операторов приборов Брюера, организованный AEMET и ВМО, с участием преподавателей из IPMA (Португалия), Агентства по охране окружающей среды долины Аоста (ARPA, Италия) и ВМО.

Во время этой первой иберо-американской кампании спектрометр EM27/SUN, эксплуатируемый на Совместной сети наблюдений за содержанием углерода в атмосферном столбе (KOKKON-Испания) в IARC-AEMET, регистрировал измерения парниковых газов на той же террасе, что и приборы Брюера. Прибор EM27/SUN, работающий в ближней инфракрасной области спектра, предназначен для измерения основных парниковых газов, таких как метан и диоксид углерода.

Редакционная группа (в алфавитном порядке)

Лейлани Дулгуеров (Секретариат ВМО/ГСА)
Джулиан Грёбнер (Давосская физико-метеорологическая обсерватория/Мировой радиационный центр (ДФМО/МРЦ))
Гордон Лабоу (Центр космических полетов им. Годдарда НАСА)

Авторы и соавторы (в алфавитном порядке)

Алкис Баис (Лаборатория физики атмосферы, Университет Аристотеля в Салониках)
Корнелия Бальдерманн (Федеральное бюро по вопросам радиационной защиты (BfS), Германия)
Катрин Герке (Pecanode GmbH, Германия)
Софи Годин-Бикман (Лаборатория исследований атмосферы, космические наблюдения, Институт им. Пьера-Симона Лапласа)
Джулиан Грёбнер (ДФМО/МРЦ)
Ану Хейккиля (Финский метеорологический институт (ФМИ))
Грегор Хюльзен (ДФМО/МРЦ)
Антъе Иннесс (Европейский центр среднесрочных прогнозов погоды (ЕЦСПП))
Хельге Кнооп (Pecanode GmbH, Германия)
Джос де Лаат (Королевский Нидерландский метеорологический институт (KNMI))
Себастьян Лоренц (BfS, Германия)

Ирина Петропавловских (Университет Колорадо, Боулдер; Лаборатория глобального мониторинга НУОА)
Альберто Редондас (Государственное метеорологическое агентство (АЕМЕТ), Испания)
Джон Риммер (консультант, секретариат ВМО/ГСА) Крейг Синклер (Совет по борьбе с раком штата Виктория; Университет Квинсленда) Вольфганг Штайнбрехт (Метеорологическая служба Германии (DWD), Германия)
Маттиас Зюринг (Pescanode GmbH, Германия) Мэтт Талли (Австралийское метеорологическое бюро) Марк Вебер (Бременский университет)

Другие члены Научно-консультативной группы (в алфавитном порядке)

Д-р Рауль Р. Кордеро (Университет Сантьяго-де-Чили)
Д-р Виталий Фиолетов (Министерство окружающей среды и изменения климата Канады)
Том Кралидис (Министерство окружающей среды и изменения климата Канады) София Милона (Программа ООН по окружающей среде/Секретариат по озону)
Д-р Дэвид Пламмер (Министерство окружающей среды и изменения климата Канады)

Ссылки

Amereh, F.; Amjadi, N.; Mohseni-Bandpei, A. et al. Placental Plastics in Young Women from General Population Correlate with Reduced Foetal Growth in IUGR Pregnancies. *Environmental Pollution* **2022**, 314. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120174>.

Apalla, Z.; Lallas, A.; Sotiriou, E. et al. Epidemiological Trends in Skin Cancer. *Dermatology Practical and Conceptual* **2017**, 7, 1–6. DOI: [10.5826/dpc.0702a01](https://doi.org/10.5826/dpc.0702a01).

Baldermann, C.; Laschewski, G.; Grob, J.-U. Impact of Climate Change on Non-communicable Diseases Caused by Altered UV Radiation. *Journal of Health Monitoring* **2023**, 6, 57–75. DOI: [10.25646/11653](https://doi.org/10.25646/11653).

Baldwin, M. P.; Gray, L. J.; Dunkerton, T. J. et al. The Quasi-biennial Oscillation. *Reviews of Geophysics* **2001**, 39(2), 179–229. <https://doi.org/10.1029/1999RG000073>.

Benito-Barca, S.; Calvo, N.; Abalos, M. Driving Mechanisms for the El Niño–Southern Oscillation Impact on Stratospheric Ozone. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2022**, 22 (24), 15729–15745. <https://doi.org/10.5194/acp-22-15729-2022>.

Blackburn, K.; Green, D. The Potential Effects of Microplastics on Human Health: What is Known and What is Unknown. *Ambio* **2022**, 51 (3), 518–530. <https://doi.org/10.1007/s13280-021-01589-9>.

El Ghissassi, F.; Baan, R.; Straif, K. et al. A Review of Human Carcinogens—Part D: Radiation. *The Lancet Oncology* **2009**, 10, 751–752. [https://doi.org/10.1016/S1470-2045\(09\)70213-X](https://doi.org/10.1016/S1470-2045(09)70213-X).

Emde, C.; Buras-Schnell, R.; Kylling, A. et al. The libRadtran Software Package for Radiative Transfer Calculations (version 2.0.1). *Geoscientific Model Development* **2016**, 9, 1647–1672. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-1647-2016>.

German Commission on Radiological Protection (Strahlenschutzkommission). *Protection of Man Against the Hazards of Solar UV Radiation and UV Radiation in Solaria: Recommendation of the German Commission on Radiological Protection*; 2016. https://www.ssk.de/SharedDocs/Beratungsergebnisse/EN/2016/2016-02-11_Empf_UV-Schutz_KT.pdf?__blob=publicationFile&v=4.

Hülsen, G.; Gröbner, J. Characterization and Calibration of UV Broadband Radiometers Measuring Erythemally Weighted Irradiance. *Applied Optics* **2007**, 46, 5877–5886. DOI: [10.1364/ao.46.005877](https://doi.org/10.1364/ao.46.005877).

Hülsen, G.; Gröbner, J. *Report of the Third International Solar UV Radiometer Calibration Campaign (UVC-III)* (GAW Report No. 284); World Meteorological Organization (WMO): Geneva, 2023.

Hülsen, G.; Gröbner, J.; Nevas, S. et al. Traceability of Solar UV Measurements Using the QASUME Reference Spectroradiometer. *Applied Optics* **2016**, 55 (26), 7265–7275. <https://doi.org/10.1364/AO.55.007265>.

Inness, A.; Ades, M.; Agustí-Panareda, A. et al. The CAMS Reanalysis of Atmospheric Composition. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2019**, 19 (6), 3515–3556. <https://doi.org/10.5194/acp-19-3515-2019>.

Jansen, M. A.; Andrad, A. L.; Bornman, A. F. et al. Plastics in the Environment in the Context of UV Radiation, Climate Change and the Montreal Protocol: UNEP Environmental Effects Assessment Panel, Update 2023. *Photochemical & Photobiological Sciences* **2024**, 23 (4), 629–650. <https://doi.org/10.1007/s43630-024-00552-3>.

Kadasch, E.; Sühling, M.; Gronemeier, T. et al. Mesoscale Nesting Interface of the PALM Model System 6.0. *Geoscientific Model Development* **2021**, 14, 5435–5465. <https://doi.org/10.5194/gmd-14-5435-2021>.

Kessenich, H. E.; Seppälä, A.; Rodger, C. J. Potential Drivers of the Recent Large Antarctic Ozone Holes. *Nature Communications* **2023**, 14. <https://doi.org/10.1038/s41467-023-42637-0>.

Kramarova, A.; Newman, P. A.; Lait, L. R. et al. 2023 Antarctic Ozone Hole. In *State of the Climate in 2023. Bulletin of the American Meteorological Society* **2024**, 105 (8), S358–S361. <https://doi.org/10.1175/BAMS-D-24-0099.1>.

Liu, S.; Guo, J.; Liu, X. et al. Detection of Various Microplastics in Placentas, Meconium, Infant Feces, Breastmilk and Infant Formula: A Pilot Prospective Study. *Science of the Total Environment* **2023**, 854. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158699>.

- Maronga, B.; Banzhaf, S.; Burmeister, C. et al. Overview of the PALM Model System 6.0. *Geoscientific Model Development* **2020**, *13*, 1335–1372. <https://doi.org/10.5194/gmd-13-1335-2020>.
- Mayer, B.; Kylling, A. Technical Note: The libRadtran Software Package for Radiative Transfer Calculations – Description and Examples of Use. *Atmospheric Chemistry and Physics* **2005**, *5*, 1855–1877. <https://doi.org/10.5194/acp-5-1855-2005>.
- Santee, M. L.; Lambert, A.; Froidevaux, L. et al. Strong Evidence of Heterogeneous Processing on Stratospheric Sulfate Aerosol in the Extrapolar Southern Hemisphere Following the 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha’apai Eruption. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2023**, *128*. <https://doi.org/10.1029/2023JD039169>.
- Strahan, S. E.; Douglass, A. R.; Damon, M. R. Why Do Antarctic Ozone Recovery Trends Vary? *Journal of Geophysical Research: Atmospheres* **2019**, *124*, 8837–8850. <https://doi.org/10.1029/2019JD030996>.
- United Nations Environment Programme (UNEP). *Plastics in the Environment in the Context of UV Radiation, Climate Change and the Montreal Protocol: 2023 Assessment Update of the UNEP Environmental Effects Assessment Panel*; UNEP: Nairobi, 2023. <https://ozone.unep.org/sites/default/files/documents/EEAP-Update-2023UNEP-19Dec23.pdf>.
- van der A, R. J.; Allaart, M. A. F.; Eskes, H. J. Extended and Refined Multi-sensor Reanalysis of Total Ozone for the Period 1970–2012. *Atmospheric Measurement Techniques* **2015**, *8*, 3021–3035. <https://doi.org/10.5194/amt-8-3021-2015>.
- Wohltmann, I.; Santee, M. L.; Manney, G. L. et al. The Chemical Effect of Increased Water Vapor from the Hunga Tonga-Hunga Ha’apai Eruption on the Antarctic Ozone Hole. *Geophysical Research Letters* **2024**, *51*. <https://doi.org/10.1029/2023GL106980>.
- World Meteorological Organization (WMO). *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2022* (GAW Report No. 278); WMO: Geneva, 2022.
- World Meteorological Organization (WMO). *WMO Ozone and UV Bulletin, No. 1*; WMO: Geneva, 2023.
- Zhang, J.; Kinnison, D.; Zhu, Y. et al. Chemistry Contribution to Stratospheric Ozone Depletion After the Unprecedented Water-rich Hunga Tonga Eruption. *Geophysical Research Letters* **2024**, *51*. <https://doi.org/10.1029/2023GL105762>.
- Zhou, X.; Dhomse, S. S.; Feng, W. et al. Antarctic Vortex Dehydration in 2023 as a Substantial Removal Pathway for Hunga Tonga-Hunga Ha’apai Water Vapor. *Geophysical Research Letters* **2024**, *51*. <https://doi.org/10.1029/2023GL107630>.