

5. МОНИТОРИНГ ОЗОНОВОГО СЛОЯ

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 [14]. Наблюдения за состоянием озонового слоя проводятся на пунктах мониторинга озонового слоя организаций, подчиненных Министерству образования.

В настоящее время проблему озонового слоя Земли ставят в число наиболее значимых глобальных проблем, связанных с сохранением природной среды. Глобальные изменения содержания озона в атмосфере планеты стали существенным фактором климатических изменений. Причиной снижения содержания озона в стратосфере стал рост концентрации озоноразрушающих веществ, который вызвал наблюдаемый с 1980-х по середину 1990-х отрицательный тренд стратосферного озона. С конца 1990-х, концентрации озоноразрушающих веществ снижаются из-за успешного действия Монреальского протокола, отрицательный тренд озона в стратосфере замедлился.

Влияние озона на климат — это сложный механизм, обусловленный различными процессами с обратными связями, определяющими теплообмен в атмосфере и зависящими от внешних и внутренних геофизических факторов. На сегодняшний день рассматривается множество двухсторонних взаимодействий между стратосферным озоном и климатом. Изменение температурного режима стратосферы и процессов переноса влияют на концентрацию и распределение озона в стратосфере. Изменение климата тропосферы влияет на стратосферную циркуляцию, изменение содержания и распределения стратосферного озона, что влияет на радиационное воздействие (на величину разницы приходящей и уходящей радиации) на атмосферу, и, следовательно, на климат у поверхности Земли, на химию тропосферы. В настоящее время понимание совместного действия этих процессов далеко не полное.

Установленным фактом является то, что изменения стратосферного озона являются основным источником наблюдаемого в глобальных масштабах долговременного отрицательного тренда температур в стратосфере, а изменение концентрации парниковых газов играет при этом второстепенную роль. В нижней стратосфере температура понизилась на 0.5–1 К, в средней стратосфере ~0.5 К и более чем на 2 К за 10 лет в верхней стратосфере и нижней мезосфере, что значительно превышает увеличение температуры вблизи поверхности нашей планеты: ~0.2 К за декаду. Из-за этих изменений восстановление содержания озона в глобальных масштабах, предсказанное результатами математического моделирования, идет гораздо медленнее. В отдельных регионах, в том числе и над территорией нашей республики, в настоящее время сохраняется небольшой отрицательный тренд общего содержания озона (ОСО).

Надежной связи между изменениями стратосферного озона и тропосферным климатом Северного Полушария не найдено.

Связь стратосферного озона с климатом, с процессами, протекающими в средней стратосфере и в тропосфере, наиболее отчетливо проявляется в Южном полушарии, что обусловлено потерей озона весной в нижней стратосфере Антарктики, происходящей ежегодно уже более 20 лет, из-за устойчивого полярного вихря, и химического разрушения озона озоноразрушающими веществами антропогенного происхождения. Значительное снижение стратосферных температур над Антарктикой весной являются наиболее вероятной причиной наблюдаемых летом в последнее десятилетие изменений тропосферных циркуляционных процессов в Южном полушарии — сдвигу в полярные широты высотного полярного струйного течения, среднеширотных осадков и западных ветров, усилению меридиональной циркуляции в Южном полушарии.

Последние десятилетия большое внимание уделяется роли атмосферного озона в климатической системе Земли, взаимовлиянию изменений климата на стратосферный озон и влиянию озона на климат. В связи с большой ролью стратосферного озона в

климатической системе Земли как в глобальных, так и в региональных масштабах, которая становится все более очевидной, мониторингу пространственно-временных вариаций ОСО, особенностям региональной динамики полей ОСО уделяется большое внимание.

Мониторинг ОСО

Непрерывный мониторинг ОСО на Минской озонометрической станции (№354) НИИЦ МО БГУ (53.83°N , 27.47°E) проводится с 1997 г.

Начиная с 2002 года измерения ОСО проводятся в рамках специально разработанной процедуры с использованием спектров плотности энергетической освещенности приземным солнечным излучением (СПЭО), регистрируемых спектрометрическим прибором «ПИОН-УФ», разработки НИИЦ МО БГУ.

В исследовательских целях периодически осуществляется дополнительный параллельный мониторинг ОСО с помощью двухканальных фильтровых фотометров ПИОН-Ф и модернизированного в НИИЦ МО БГУ фильтрового озонометра М-124М, производства ГГО им. А.И. Воейкова (С.-Петербург, Россия).

Кроме Минской озонометрической станции мониторинг ОСО проводится в Учебно-научном центре «Нарочанская биологическая станция» имени Г.Г. Винберга (53.89°N , 27.55°E) и в Гомельском государственном университете имени Франциска Скорины (52.44°N , 31.00°E). Два последних пункта наблюдения оснащены двухканальными фильтровыми фотометрами «ПИОН-Ф» и включены в общую озонометрическую сеть НИИЦ МО БГУ.

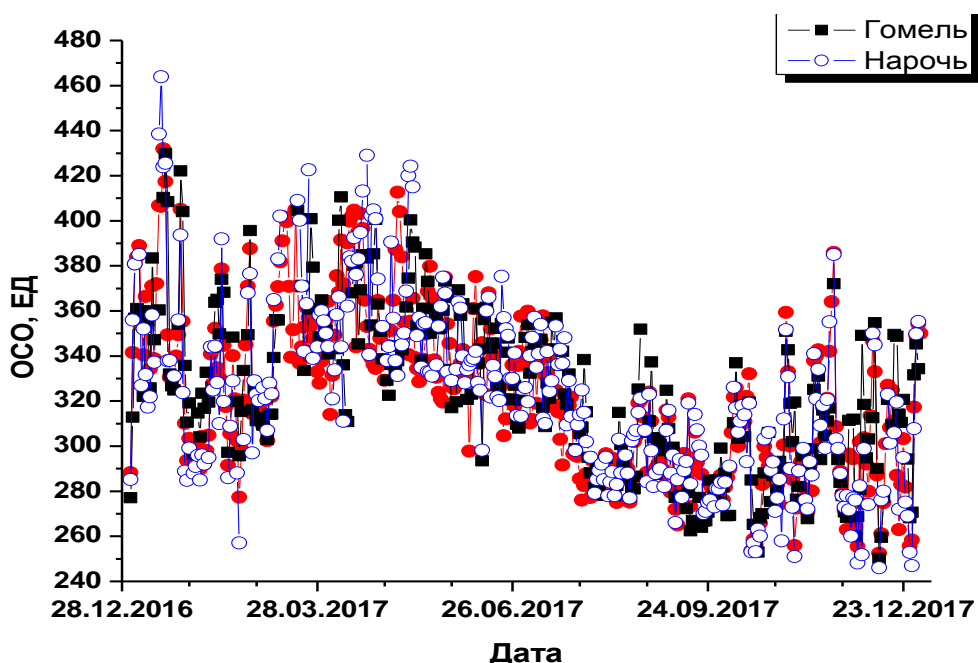


Рисунок 5.1 – Среднедневные значения ОСО для пунктов наблюдения на территории Республики Беларусь за 2017 год

На рисунке 5.1 представлены результаты мониторинга ОСО в Республике Беларусь за 2017 г. Как видно из рисунка 5.1, поле ОСО над территорией достаточно неоднородно (различие значений ОСО для разных пунктов наблюдения) и, таким образом, расширение озонометрической сети мониторинга вполне оправдано. Неоднородность поля значений ОСО особенно сильно проявляется при развитии и перемещении в атмосфере озоновых аномалий.

В течение 2017 г содержание озона над Республикой Беларусь (рисунок 5.2) было близко к климатической норме только в период с мая по июль.

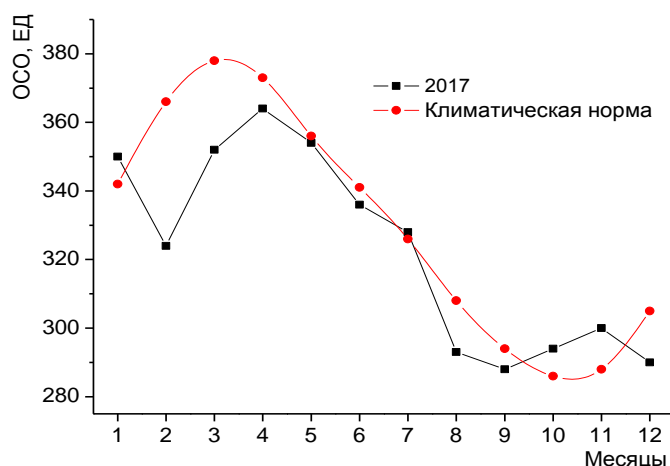


Рисунок 5.2 – Среднемесячные значения ОСО в 2017 г и климатическая норма для г. Минска

Небольшой избыток ОСО (+3%) наблюдался в январе, октябре и ноябре. Поздней зимой и ранней весной отмечен значительный дефицит озона -11.5% в феврале, -7% в марте. В остальные месяцы дефицит озона составлял 3-4%. Такой значительный дефицит озона в конце зимы и ранней весной был связан с частым появлением отрицательных озоновых аномалий, которые приводили к периодическому существенному дефициту (более 20%) озона в течение 5-7 дней (рисунок 5.3, 5.4). Значительные озоновые аномалии отмечены и в марте.

Максимальное в 2017 г. значение ОСО наблюдалось 16 января и составило 427 ЕД, что на 50 ЕД ниже, чем соответствующая величина в 2016 г. Минимальное значение 253 ЕД отмечено 12 декабря и не связано с глубокой отрицательной озоновой аномалией. 2017 г продолжил тенденции в динамике озоносферы, складывающиеся в последние 5-7 лет.

По-прежнему наблюдается небольшой положительный тренд среднемесячных значений ОСО в январе и перемещение годового максимума с марта на апрель. С середины 90-х наблюдавшийся ранее весенний максимум годового хода ОСО начал перемещаться на более ранние сроки и в начале 2000-х годов сместился на март. Теперь, в течение пяти лет наблюдается обратная тенденция.

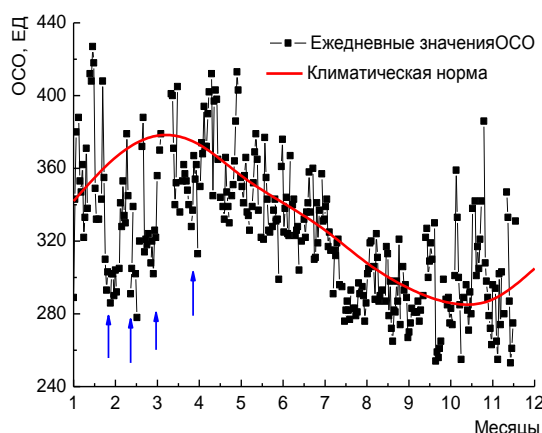


Рисунок 5.3 – Ежедневные значения ОСО в 2017 г и климатическая норма для г. Минска. Стрелками отмечены крупные отрицательные озоновые аномалии

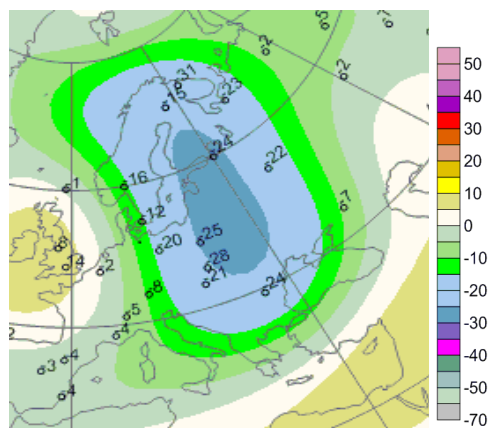


Рисунок 5.4 – Отрицательная озоновая аномалия над территорией Республики Беларусь 15.02.2017

Как и в предыдущие годы, весной 2017 г в Антарктиде наблюдалось явление, получившее название озоновой «дыры», которое представляет собой значительное истощение содержания озона в стратосфере над континентом. Стратосферный полярный вихрь, который изолирует озоновый слой над Антарктикой от окружающих воздушных масс, в 2017 году сформировался ранее, чем обычно и в начале августа достиг размеров 31 млн. кв. км, менее чем максимальные размеры вихря по сравнению с предыдущими годами. Разрушение вихря произошло в более ранние, чем обычно сроки. Внутри вихря сформировались условия для химического разрушения озона (температуры ниже -78°C). Область, в которой развивался дефицит озона, была расположена прямо над центром материка. 8 августа произошло небольшое краткосрочное потепление, которое повторилось поздним августом, в середине сентября и начале октября. Этих незначительных кратковременных потеплений хватило для того, чтобы стратосферные температуры стали выше чем обычно в последние десятилетия.

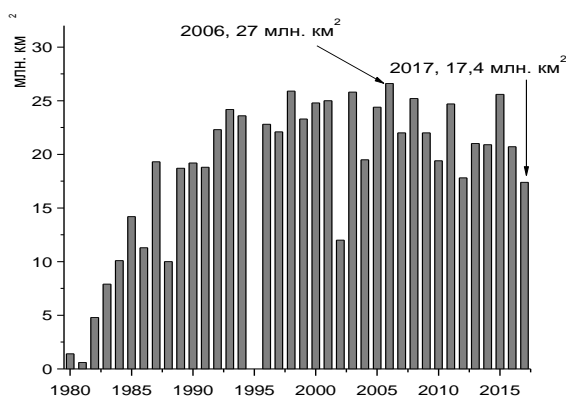


Рисунок 5.5 – Вариации размеров Антарктической озоновой «дыры» за период 1980-2017 гг.

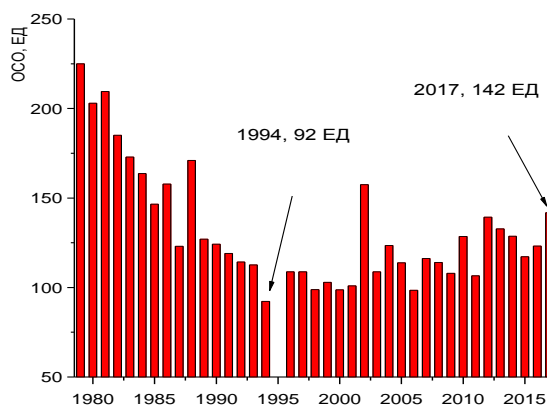


Рисунок 5.6 – Минимальные значения озона в течение антарктической весны за период 1980-2017 гг.

В результате размеры области озоновой «дыры» были меньше чем обычно за последние десятилетия, дефицит озона тоже несколько меньше. Динамика размеров области с дефицитом озона, минимальных значений СОЗ за период 1980-2017 г представлены на рисунках 5.5 и 5.6.

Мониторинг общего содержания двуокиси азота (ОСДА)

Измерение общего содержания двуокиси азота (ОСДА) в вертикальном столбе атмосферы рассматривается как дополнение к мониторингу СОЗ, поскольку содержание NO_2 оказывает заметное влияние на состояние озоносферы.

На Минской озонометрической станции (ННИЦ МО БГУ) базовый мониторинг общего содержания NO_2 в вертикальном столбе атмосферы (ОСДА) проводится с помощью установки, созданной на основе спектрометра Oriel MS-260i и ПЗС матрицы AndorTechnologyDV-420A-OE для измерения ОСДА по методике DOAS.

Для восстановления содержания NO_2 в пограничном слое атмосферы (ПСА) в сильно неоднородной атмосфере и при различных метеорологических условиях наблюдения использовался зенитный метод, предложенный и разработанной сотрудниками ННИЦ МО БГУ.

Эпизодически в экспериментальных целях измерения ОСДА проводились также на площадке УНЦ «Нарочанская биологическая станция» им. Г.Г. Винберга.

На рисунке 5.7 приведен пример суточных вариаций значений ОСДА, зарегистрированной на Минской озонометрической станции в течение 2017 г.

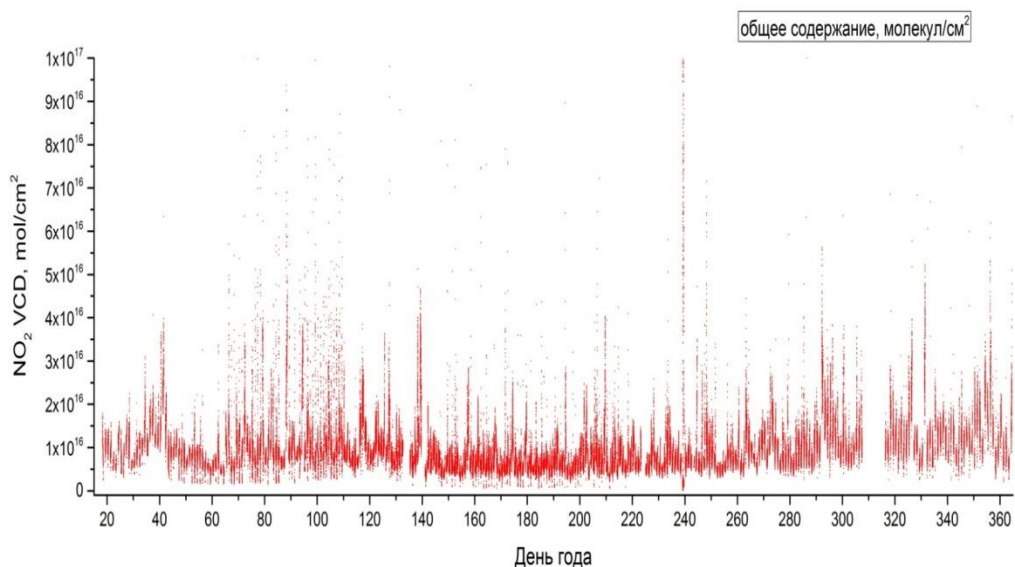


Рисунок 5.7 – Значения ОСДА по данным мониторинга на Минской озонометрической станции НИИЦ МО БГУ в 2017 г.

В осенний период максимальные концентрации чаще всего регистрируются в районе полудня. Зарегистрированные в 2017 г. максимальные значения ОСДА (NO_2) не превышали уровень $1\text{E}+17$ мол/см².

Мониторинг NO_2 , проводимый в НИИЦ МО БГУ, в значительной степени имеет научную направленность. Его результаты используются при численном моделировании переноса солнечного излучения в атмосфере, при изучении фотохимических процессов в атмосфере и стратосферно-тропосферных связей, а также для разработки методов дистанционного зондирования атмосферы.

Мониторинг приземного УФ излучения

Регулярные измерения спектров и уровней приземного ультрафиолетового солнечного излучения проводятся в НИИЦ МО БГУ с 2002 года.

В период 2013-2018 гг. мониторинг уровней приземного солнечного УФ излучения, а также оценка доз облученности основных биологических эффектов проводятся на Минской озонометрической станции НИИЦ МО БГУ, в УНЦ «Нарочанская биологическая станция» имени Г.Г. Винберга и в Гомельском государственном университете имени Франциска Скорины.

Измерения спектральной плотности энергетической освещенности (СПЭО) земной поверхности в спектральном диапазоне 285-450 нм проводились с помощью ультрафиолетового спектрорадиометра ПИОН-УФ в автоматическом режиме с восхода до захода солнца. В течение светового дня регистрировалось от 100 спектров в зимние месяцы до 200 и более – в летние. Параллельно оператором фиксировались все данные метеонаблюдений (высота и балл облачности, дальность видимости, температура окружающего воздуха, влажность, давление атмосферы).

На основе измеренных спектров СПЭО определяются значения УФ индекса, а также рассчитываются дневные (суточные) дозы УФ облучения для ряда биологических эффектов (эритемы, повреждения ДНК, рака кожи, катаракты) с различными спектрами действия. Всего за год измеряется и обрабатывается более 40 тыс. спектров.

В пунктах наблюдений УНЦ «Нарочанская биологическая станция» имени Г.Г. Винберга и Гомельский государственный университет имени Франциска Скорины, оборудованных двухканальными фильтровыми фотометрами ПИОН-Ф соответственно модификациями Ф01 и ФАР, значения УФ индекса непосредственно определяются по интегральной интенсивности, зарегистрированной специально откалиброванным коротковолновым рабочим каналом.

Значения мощности биологического эффекта эритемы, по которым рассчитываются значения УФ-индекса и дневные дозы облученности, в основном, определяются: зенитным углом солнца (SZA), общим содержанием озона (ОСО), параметрами облачности и альbedo подстилающей поверхности. Сочетание данных факторов может привести к уровням УФ облученности, опасным для здоровья человека и животных.

Высокая УФ-Б облученность ($\lambda=280-315$ нм) вызывает у человека ряд негативных эффектов – ожоги и опухоли кожи, заболевания органов зрения (катаракта), повреждение ДНК, угнетение иммунной системы, повышение риска появления раковых заболеваний (меланомы и т.п.).

Повышенные уровни УФ излучения негативно влияют также на продуктивность сельскохозяйственных культур (особенно бобовых), лесного хозяйства, а также на биологическое и экологическое состояние природных водоемов.

На рисунке 5.8 представлены результаты измерений УФ индекса на Минской озонометрической станции в 2017 г.

Как видно из рисунка 5.8, максимальные значения УФ индекса в июне – начале июля в отдельные дни достигали уровня значений 6-7 УФИ, что квалифицируется как «высокая» степень УФ облученности, и требует применения определенных средств защиты (одежда, сокращение времени пребывания на солнце и т.п.).

В благополучных районах с прозрачным воздухом и повышенными значениями альbedo подстилающей поверхности (водная поверхность, снежный покров) уровни УФ облученности могут достигать уровней 8-10, что квалифицируется как «очень высокая» степень. По результатам проведенного мониторинга такие уровни УФ облученности достигаются в районе базирования сезонных БАЭ, в районе Земли Эндерби в Антарктиде, при низких значениях ОСО и высоком альbedo поверхности.

В таких случаях возможность прогноза повышенных значений УФ-индекса приобретает первостепенное значение.

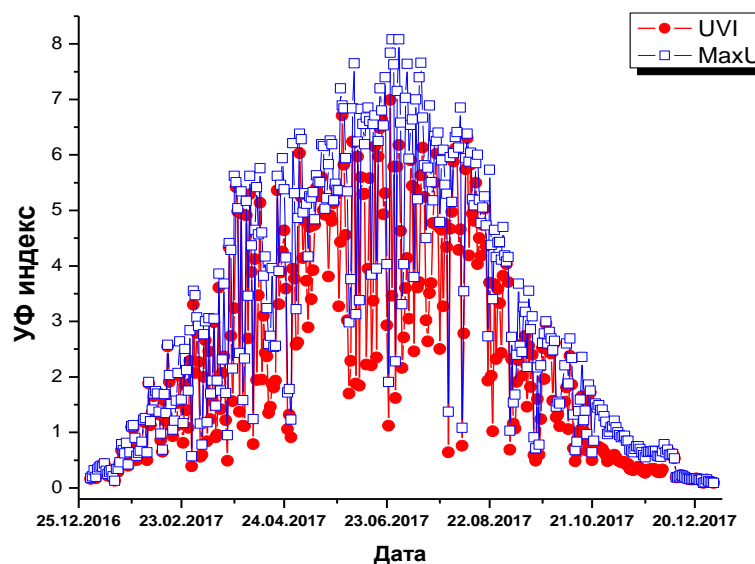


Рисунок 5.8 – Результаты мониторинга УФ индекса в 2017 г. на Минской озонометрической станции НИИЦ МО БГУ