



**МОНИТОРИНГ  
ОЗОНОВОГО СЛОЯ**

**Мониторинг озонового слоя** в Республике Беларусь проводится на Минской озонометрической станции ННИЦ МО БГУ. В 2007 г. выполнялись регулярные измерения: общего содержания озона в столбе атмосферы (ОСО), аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы в УФ области спектра, концентраций приземного (тропосферного) озона, а также уровней приземного ультрафиолетового солнечного излучения.

Данные мониторинга ОСО служат экспериментальной базой для оценки состояния озонового слоя и его трансформации в результате антропогенного воздействия и естественных планетарных процессов. Они используются для изучения степени влияния этих изменений на климат в глобальном и региональном масштабах, а также для прогноза изменения уровней и доз биологически активного солнечного ультрафиолетового излучения у поверхности Земли.

Наблюдения за изменениями спектров и доз биологически активного солнечного ультрафиолетового излучения дают возможность получения информации о риске возникновения у людей и животных онкологических кожных, глазных и иммунных заболеваний, а также о возможности поражения сельскохозяйственных культур в период вегетации.

Результаты измерений приземных концентраций озона и концентраций атмосферных аэрозолей характеризуют загрязнение тропосферного воздуха и служат критерием безопасной жизнедеятельности человека и животных. Повышенные концентрации приземного озона негативно влияют на продуктивность сельского и лесного хозяйства. Временные и пространственные изменения концентраций приземного озона позволяют оценить интенсивность трансграничного переноса загрязнений.

**Мониторинг общего содержания озона** проводился на Минской озонометрической станции (Минск 27.47E, 53.83N) с помощью ультрафиолетового спектрометра-озонометра ПИОН.

Значения ОСО измерялись методом «по прямому солнцу». В течение дневной сессии при отсутствии облачности регистрировалось от 80 до 120 серий, содержащих по 7 измерений. Регистрировались сигналы на 13 рабочих длинах волн спектрометра-озонометра ПИОН в диапазоне  $\lambda = 295\text{--}320$  нм. При неблагоприятных погодных условиях (сплошная облачность, дождь, сильный снегопад и т.п.) измерения ОСО не проводились.

Всего в процессе мониторинга ОСО за 2007 г. измерено и обработано свыше 48,5 тысяч спектров (6940 серий).

На рисунке 5.1 представлено сопоставление данных наземных измерений ОСО, проведенных на Минской озонометрической станции, со спутниковыми измерениями. Среднее относительное отклонение результатов наземных измерений ОСО от спутниковых (ОМІ) в 2007 г. не составило 2,2%.

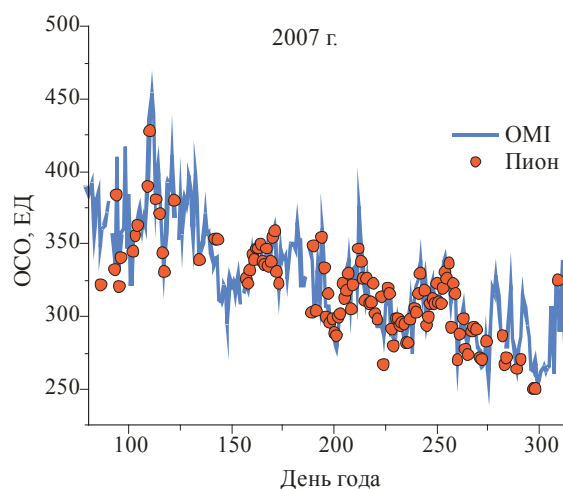


Рисунок 5.1 – Результаты наземных (ПИОН) и спутниковых (ОМІ) измерений ОСО в г. Минск, 2007 г.

Инструментальный мониторинг состояния и динамики озоносферы над Республикой Беларусь ведется с 1997 г., спутниковые измерения – с 1978 г.

На рисунках 5.2, 5.3 представлены ежедневные (за 353 дня) и среднемесячные данные по ОСО в 2007 г. для территории республики в сравнении с климатической нормой (КН) за период 1978-2006 гг.

Результаты получены путем простран-

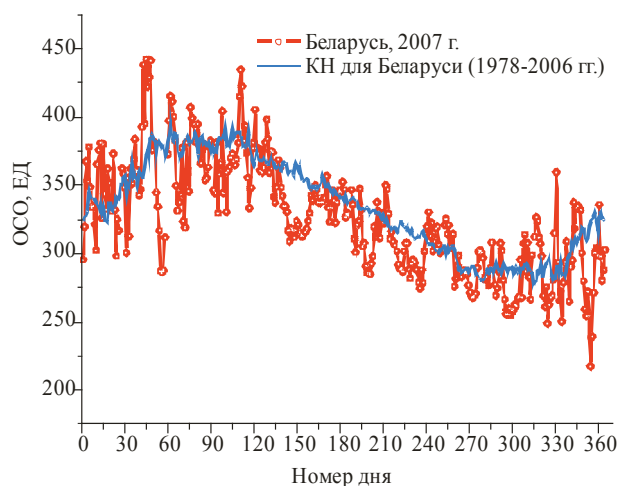


Рисунок 5.2 – Ежедневные значения ОСО для Беларуси в 2007 г. в сравнении с климатической нормой

ственного усреднения данных спутника ОМІ по сетке географических координат, покрывающей республику и насчитывающей 77 узлов.

В целом за 2007 г. дефицит ОСО составил примерно -2,5%. В январе и сентябре наблюдался небольшой (на 2%) по сравнению с климатической нормой избыток озона. В ноябре среднемесячное значение ОСО было больше нормы на 4%. В остальные месяцы дефицит озона составлял -2 – -4%. Наибольший дефицит (примерно -8%) наблюдался в декабре.

В 2007 г. наблюдались определенные различия в среднемесячном состоянии озонового слоя над разными регионами республики, причем наиболее значительные – в весенний и зимний периоды, что связано с ежегодно наблюдающейся перестройкой атмосферы в эти периоды времени (рис. 5.4).

Озон является одной из самых измен-

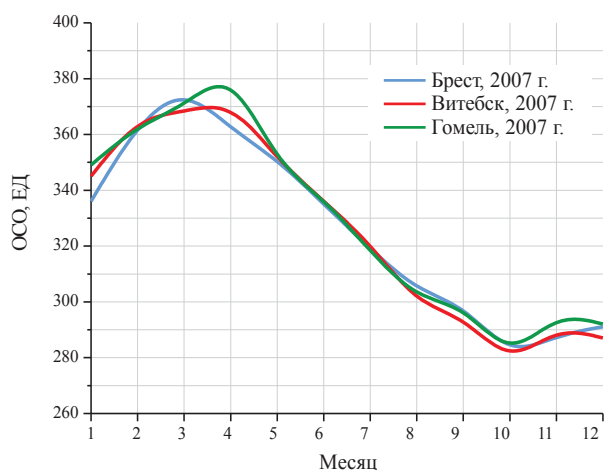


Рисунок 5.4 – Среднемесячные ОСО в 2007 году для областей Беларуси

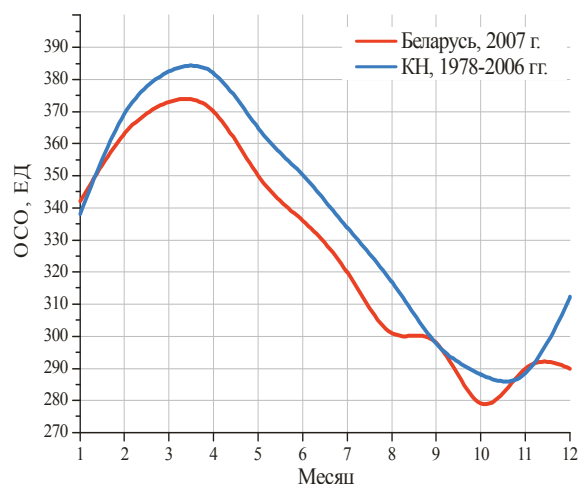
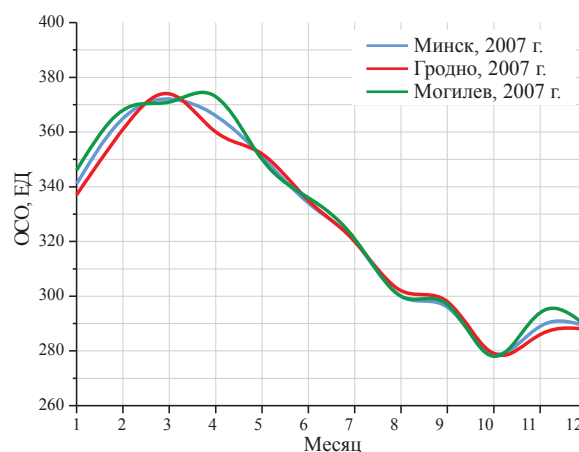


Рисунок 5.3 – Среднемесячные значения ОСО в 2007 г. для Беларуси в сравнении с климатической нормой

чивых характеристик атмосферы. Кратковременная (межсуточная или в течение нескольких суток) изменчивость озона связана с динамическими процессами синоптического масштаба, протекающими в верхней тропосфере и нижней стратосфере. Она составляет в среднем 13,5% от среднемесячных значений в зимне-весенний период и величину порядка 5,5% в конце лета. В отдельные периоды кратковременная изменчивость озона может достигать в течение одного или нескольких дней 20-30% от климатической нормы. Такие ситуации связаны с появлением над территорией республики озоновых аномалий: отрицательных, более известных как озоновые «мини-дыры» (когда содержание озона в атмосфере резко понижается), и положительных (когда значение ОСО резко возрастает). Максимальное значение ОСО в прошедшем году наблюдалось над г. Минск 14.02.07 и составило 465 ЕД. Среднее



значение ОСО над республикой в этот день составило 442 ЕД и было связано с большой (протяженностью несколько тысяч километров) областью с высоким содержанием озона (рис. 5.5). В центре этой области, расположенной над Центральной Атлантикой, ОСО превышало многолетние средние значения на 40%. Территория республики находилась на самой периферии этой области, превышение содержания озона над многолетними средними значениями над нашей территорией составило 20%. Такие большие положительные озоновые аномалии – явление довольно редкое, наблюдаются они раз в несколько лет. Особенностью зимней положительной аномалии 2007 г. был район ее формирования. Обычно области с высокими значениями ОСО формируются в районе Северной Атлантики (над Гренландией) и над акваторией Северного Ледовитого океана. В прошедшем году положительная озоновая аномалия образовалась и развивалась над Центральной Атлантикой.

Минимальное значение ОСО составило 204 ЕД и наблюдалось 21.12.07 над г. Витебск. Среднее значение ОСО над республикой в этот день составило 217 ЕД, что отвечает дефициту примерно 33% от климатической нормы (рис. 5.6). Снижение содержания озона в атмосфере было обусловлено расположением над территорией республики края отрицательной озоновой аномалии, которая начала формироваться еще 10 декабря у восточного побережья Канады и над Гренландией. Затем 12-13 декабря началось ее движение в сторону Европы. 15-16 декабря

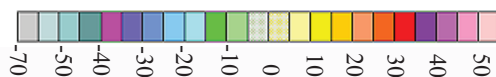
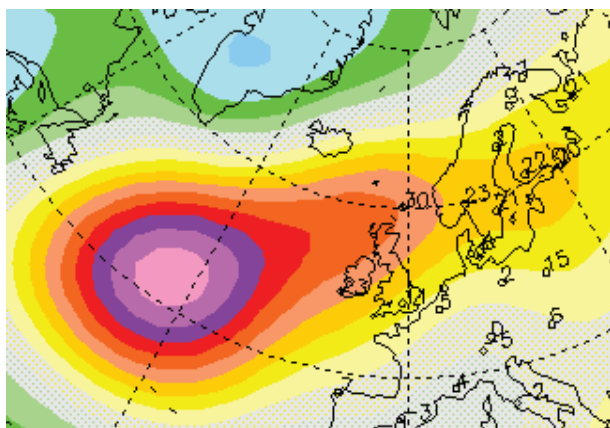


Рисунок 5.5 – Зимняя положительная озоновая аномалия 14.02.07

она накрыла Британские острова и Скандинавию, причем «глубина» ее нарастала. Максимальные «глубины» наблюдались 20-22 декабря и достигали -40%. Начиная с 24 декабря, происходило «рассасывание» аномалии.

Следует отметить, что озоновые аномалии наблюдались с первых лет наблюдений за атмосферным озоном. Анализ спутниковых карт пространственного распределения ОСО показал, что в основном они возникают над акваторией Северной Атлантики, реже в Центральной Атлантике и над Северным Ледовитым океаном. Затем области с дефицитом ОСО переносятся на материк процессами атмосферной циркуляции, чаще всего они приносятся в Европу. Положительных озоновых аномалий в течение всего года наблюдается несколько меньше, чем отрицательных. Частота появления отрицательных озоновых аномалий начала увеличиваться в конце 90-х годов 20 столетия и достигла максимума в 2004 и 2005 гг. Количество отрицательных озоновых аномалий, наблюдавшихся над Европой в 2006 и 2007 гг., сохраняется по-прежнему на высоком уровне.

Озоновые «мини-дыры» – явление сезонное. Особенно часто они появляются осенью, зимой и ранней весной. Но, начиная с 2000 г., эти явления зафиксированы в мае и даже в июне. При сохранении количества этих явлений наблюдалось изменение сезонного распределения отрицательных озоновых аномалий. В 2007 г. сохранилась тенденция изменения сезонного распределения. Помимо поздних майских «мини-дыр» над

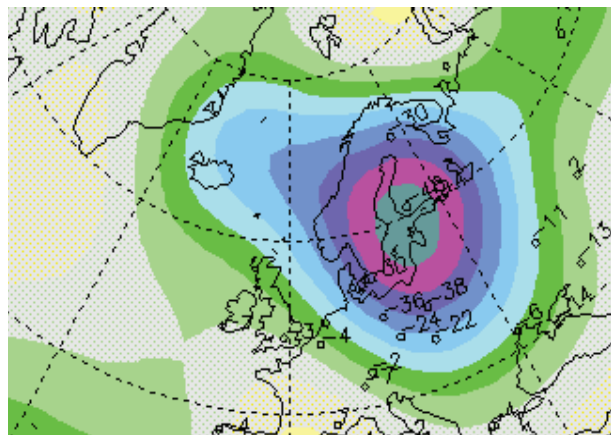


Рисунок 5.6 – Зимняя отрицательная озоновая аномалия 21.12.07

Центральной Европой наблюдалась отрицательная озоновая аномалия во второй половине июля 15.07.07-20.07.07 (рис. 5.7). Особенностью этой аномалии являлось ее формирование прямо над территорией Европы. Дефицит озона в эти дни в центре аномалии составил 15%. Снижение содержания озона в атмосфере летом – опасное явление, так как оно ведет к росту уровня приземного ультрафиолета, к которому население средних широт не адаптировано.

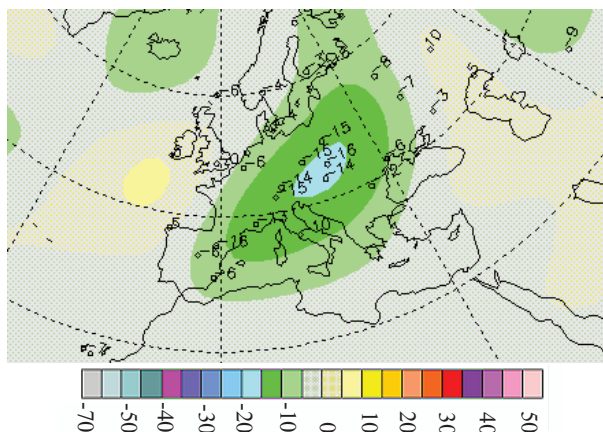


Рисунок 5.7 – Отрицательная озоновая аномалия 18.07.07

В таблице 5.1 приведены отрицательные и положительные аномалии ОСО, наблюдавшиеся над территорией республики в 2007 году с отклонением свыше 15%.

Таблица 5.1 – Озоновые аномалии с отклонением свыше 15%, 2007 г.

| Дата  | Дефицит ОСО | Дата  | Избыток ОСО |
|-------|-------------|-------|-------------|
| 23/02 | -15         | 13/01 | +18         |
| 24/02 | -26         | 22/01 | +18         |
| 25/02 | -25         | 11/02 | +15         |
| 26/02 | -25         | 12/02 | +24         |
| 27/02 | -15         | 14/02 | +28         |
| 12/03 | -16         | 16/02 | +19         |
| 13/03 | -16         | 17/02 | +15         |
| 05/04 | -15         | 21/04 | +16         |
| 28/05 | -18         | 22/04 | +15         |
| 18/07 | -15         | 31/07 | +16         |
| 26/10 | -15         | 06/10 | +17         |
| 21/11 | -15         | 07/11 | +17         |
| 17/12 | -24         | 12/11 | +17         |
| 18/12 | -15         | 13/11 | +21         |
| 19/12 | -16         | 14/11 | +17         |
| 20/12 | -18         | 15/11 | +15         |
| 21/12 | -33         | 26/11 | +20         |
| 22/12 | -33         | 27/11 | +32         |
| 23/12 | -19         |       |             |

**Мониторинг общей оптической толщины (ООТ) и аэрозольной оптической толщины (АОТ) атмосферы** в спектральном диапазоне 295-320 нм проводится на Минской озонометрической станции с 2004 г.

ООТ и АОТ измеряются методом «по прямому солнцу» ультрафиолетовым спектрометром-озонометром ПИОН в одном сеансе измерений с ОСО. При этом для учета влияния облачности, кроме 13 рабочих длин волн спектрометра-озонометра, используется сигнал его системы наведения с максимумом чувствительности в области 850 нм. Среднедневные значения ООТ и АОТ определяются по результатам полной дневной сессии измерений.

Анализ полученных на Минской озонометрической станции результатов мониторинга среднедневных значений ООТ и АОТ показал, что в 2007 г. сохраняются сезонные особенности изменения спектральных характеристик АОТ (рис. 5.8). На протяжении ряда лет регистрируется характерная связь вида спектров АОТ с наблюдаемыми метеопараметрами – результатами визуального наблюдения метеорологической дальности видимости и типом облачности. В частности, среднедневные значения и спектры АОТ в УФ области весьма чувствительны к изменению дальности видимости и наличию даже слабых дымок.

В 2007 г. продолжались регулярные измерения *параметров аэрозоля и озона* с целью исследования их крупномасштабной пространственно-временной изменчивости. Мониторинг стратосферного аэрозольного слоя осуществляется с 80-х годов.

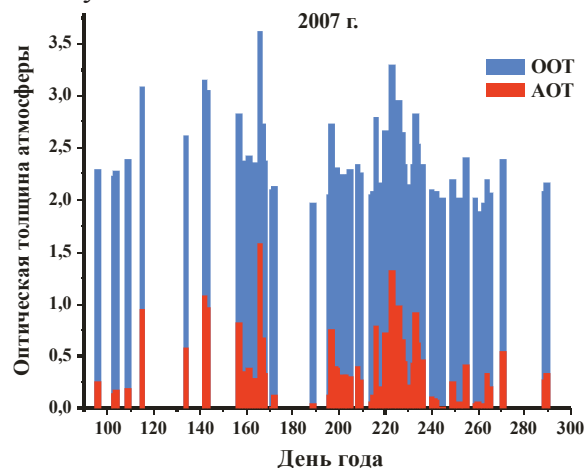


Рисунок 5.8 – Общая (ООТ) и аэрозольная (АОТ) оптические толщины атмосферы при  $\lambda=308$  нм, г. Минск 2007 г.

На рисунке 5.9 приведены данные измерений высотных профилей концентрации озона в г. Минск в 2007 г. для весеннего и осеннего периодов, когда общее содержание озона, соответственно, максимально и минимально.

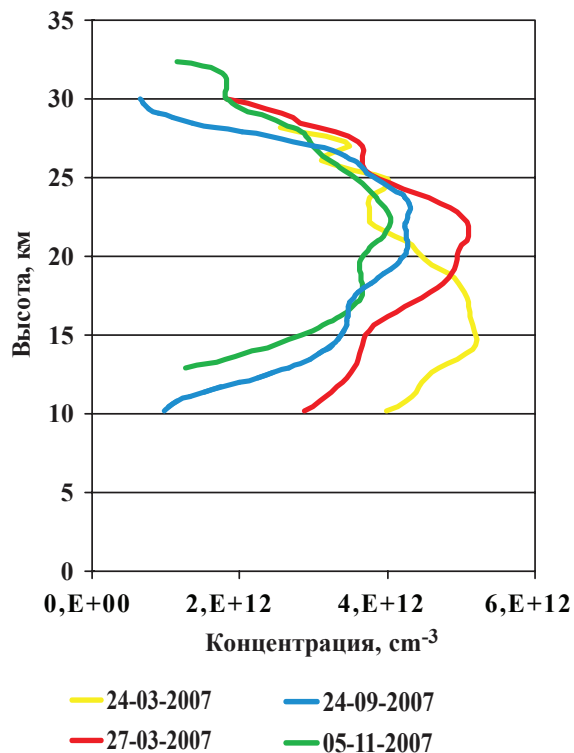


Рисунок 5.9 – Профили высотного распределения концентрации озона, г. Минск, 2007 г.

В настоящее время продолжается период отсутствия значительных вулканических выбросов в стратосферу. Это наиболее длительный фоновый период за все время наблюдения стратосферы космическими и наземными дистанционными системами.

**Концентрация озона у поверхности Земли** зависит от многих факторов. В первую очередь, она зависит от эффективности перемешивания воздуха в тропосфере, поскольку обычно концентрация озона убывает в тропосфере с высотой. В то же время концентрация озона выше планетарного пограничного слоя (1-1,5 км) определяется эффективностью генерации озона в верхней и средней тропосфере под действием солнечного ультрафиолетового излучения и эффективностью перемешивания тропосферного воздуха с богатым озоном воздухом нижней стратосферы. Экспериментально доказаны также возможности фотохимической генерации озона в приземном слое атмосферы

в присутствии загрязнений естественного и антропогенного происхождения. В нижней стратосфере и тропосфере озон является долгоживущей компонентой. Поэтому следует ожидать изменчивости концентрации приземного озона при смене воздушных масс над контролируемой территорией.

Сезонные изменения концентрации приземного озона объясняются естественными причинами, к которым относятся:

- сезонные изменения температуры, солнечной радиации и стабильности атмосферы;

- изменения эффективности разрушения озона на поверхности Земли (вследствие сезонных изменений свойств подстилающей поверхности) и на аэрозолях в приземном слое воздуха;

- сезонные изменения концентрации ОН-радикалов, оксидов азота и углеводов в приземном воздухе.

На рисунке 5.10 представлены результаты измерений среднесуточных концентраций приземного озона в период с июня 2004 г. по декабрь 2007 г. на Минской озонометрической станции (данные - на 12 часов местного времени) и данные наблюдений на станции фоновом мониторинга «Березинский биосферный заповедник». Оба ряда наблюдений получены с использованием установки для оптических трассовых измерений концентрации приземного озона ТрИО-1.

В целом, отмечались некоторые изменения в сезонных значениях концентрации приземного озона за период наблюдений: в феврале 2005 г. – заметный рост концентрации приземного озона, в феврале 2006 г. значения уже находились на постоянном уровне, а в тот же период 2007 г. наблюдалось явное снижение концентрации. По данным 2008 г. будет видно дальнейшее развитие или затухание этой тенденции.

Сопоставление данных станций в условиях фоновой (Березинский заповедник) и загрязненной местности (г. Минск) показывает в целом удовлетворительное совпадение. В 2006 г., за исключением ноября, когда фоновые концентрации были выше, данные хорошо согласуются. В 2007 г. имеется более длинный временной ряд данных в Березинском заповеднике. Колебания в сезонном ходе можно связать с различающимися

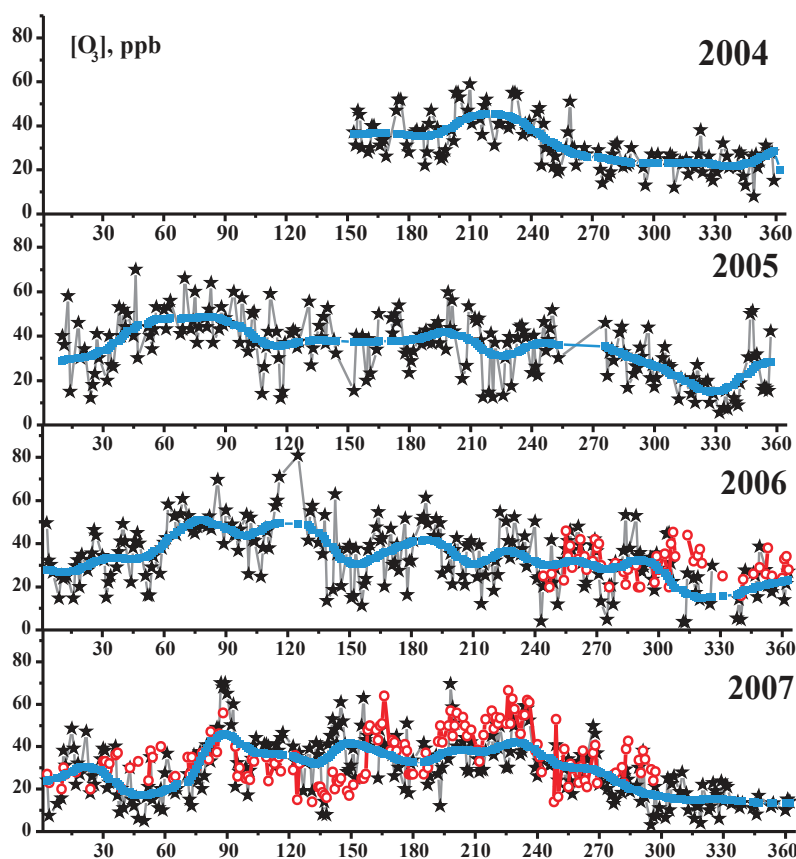


Рисунок 5.10 - Изменение концентраций приземного озона за период 2004-2007 гг.

Примечание: Звездочками отмечены данные, полученные на Минской озонометрической станции, кружками - в Березинском заповеднике. Ось абсцисс – порядковый день года.

Также приведены результаты сглаживания данных с периодом осреднения продолжительностью 15 дней.

метеоусловиями в районе обеих станций мониторинга. Кроме того, в конце марта 2007 г. можно отметить резкое возрастание концентрации приземного озона в г. Минск до 70 ppb.

Как и в предыдущем году, измерения **приземных уровней и доз солнечного ультрафиолетового излучения** производились в автоматическом режиме с восхода и до захода солнца. В течение полного светового дня обычно регистрировалось от 100 до 190 спектров. В 2007 г. измерено и обработано более 11000 спектров солнечного приземного УФ излучения.

На основе спектров, измеренных в течение светового дня, рассчитывались дневные (суточные) дозы УФ облучения для ряда биологических эффектов (эритемы, повреждения ДНК, рака кожи, катаракты) с различными спектрами действия, а также определялись значения УФ индекса.

На рисунке 5.11. приведены спектральные зависимости интенсивности солнечного УФ излучения при различных метео-

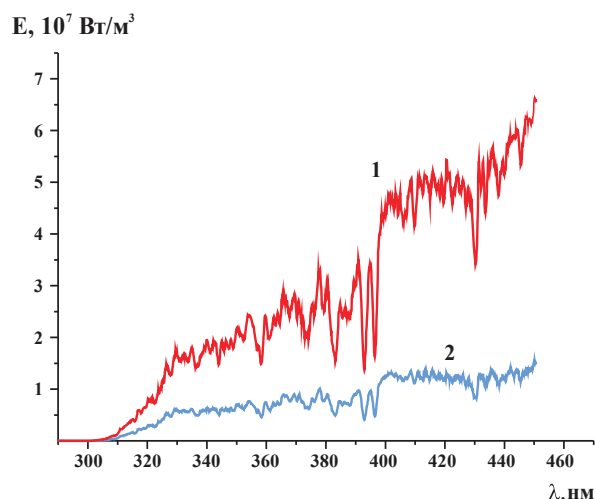


Рисунок 5.11 – Спектры приземного солнечного УФ излучения, г. Минск,

10:10 GMT: 1 – 30.10.2007 г., 2 – 29.10.2007 г. условиях. В атмосфере над г. Минск 29 и 30 октября 2007 г. зарегистрированы близкие значения ОСО, соответственно, 266 и 262 ЕД. Различия в интенсивности спектров, в основном, обусловлены различием метеоусловий: 29 октября наблюдалась сплошная

облачность, шел дождь, а 30 октября была ясная безоблачная погода.

На рисунке 5.12 показано сезонное распределение УФ индекса в Минском регионе в 2007 г. Значения УФ индекса в относительных единицах характеризуют максимально возможную в данных условиях дозу биоэффекта эритемы (среднегодовая суточная эритемная доза в 2007 г. составляет 1070 Дж/м<sup>2</sup>). Для оценки степени риска УФ облученности используется шкала, основанная на значении УФ индекса: 0-2 – минимальная, 3-4 – низкая, 5-6 – средняя, 7-9 высокая и >10 очень высокая степени.

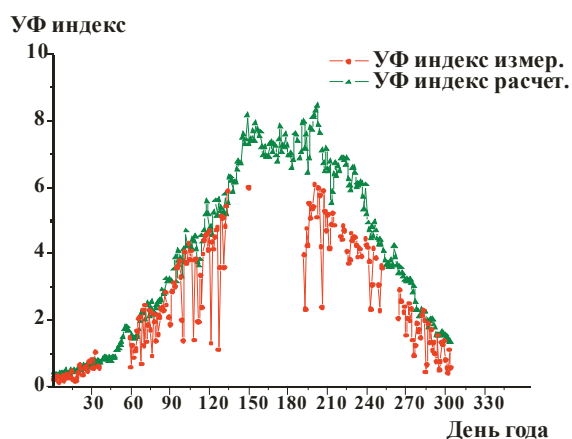


Рисунок 5.12 – Сезонное распределение УФ индекса в районе г. Минск, 2007 г.

Существует сильная зависимость значений УФ индекса от характера облачности. В Минском регионе высокие значения УФ индекса (~ 7) наблюдаются, как правило, в ясную погоду в период с июня по июль.

В 2007 году был выполнен прогноз сезонного распределения УФ индекса, суммарная погрешность которого для безоблачного неба в летний период 2007 года составила около 10%.