

## 5. МОНИТОРИНГ ОЗОНОВОГО СЛОЯ

Согласно п. 4 Положения о порядке проведения в составе НСМОС мониторинга озонового слоя и использования его данных, мониторинг озонового слоя – система наблюдений за состоянием озонового слоя, оценки и прогнозирования его изменений в целях своевременного выявления негативных воздействий природных и антропогенных факторов [14].

Общее содержание озона (далее – ОСО) в вертикальном столбе атмосферы определяет уровень и спектральный состав приземного биологически активного солнечного ультрафиолетового излучения на поверхности Земли, что является жизненно важным для существования человека и разнообразных форм жизни. Поглощение озоном солнечной радиации в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра формирует радиационный и термический баланс атмосферы. Всемирная Метеорологическая Организация (ВМО) уделяет большое внимание изучению и мониторингу данного показателя.

В 2014 г. основной (базовый) мониторинг ОСО проведен на Минской озонометрической станции (Минск 27.47E, 53.83N) с помощью ультрафиолетового спектрорадиометра ПИОН-УФ, разработанного в Национального научно-исследовательского центра мониторинга озоносферы Белгосуниверситета (далее – ННИЦ МО БГУ) и предназначенного для измерения спектральной плотности энергетической освещенности (далее – СПЭО) в диапазоне 285–450 нм. Определение ОСО из данных СПЭО осуществлено модифицированным методом Стамнеса.

Дополнительный (параллельный) мониторинг ОСО осуществлен экзemplярами модернизированного в ННИЦ МО БГУ фильтрового озонометра М-124М, реализующего методики измерений «по прямому солнцу» (Direct-Sun) и «из зенита неба» (Zenith-Sky), а также узкополосным фильтровым фотометром ПИОН-Ф, позволяющим проводить измерения ОСО по отношению интегральных освещенностей земной поверхности в двух спектральных интервалах.

В 2014 г. мониторинг ОСО в атмосфере над территорией Республики Беларусь проведен также на метеорологических площадках г. Гомеля и биостанции БГУ на оз. Нарочь.

Для сравнительного анализа состояния озоносферы использованы данные наземных измерений и системы орбитального базирования ОМІ (рисунок 5.1). Среднеквадратическое отклонение данных наземных измерений от спутниковых данных составляет ~4%.

### **Состояние озонового слоя в атмосфере.**

Общее содержание озона в атмосфере над территорией Республики Беларусь в 2014 г. в основном было близким к норме. Исключение составляет март месяц, когда в течение нескольких дней над территорией Беларуси проходила сильная отрицательная озоновая аномалия (рисунок 5.2).

В остальные месяцы года общее содержание озона было близким к климатической норме (две незначительные положительные аномалии наблюдались в июне и августе). В результате среднегодовое значение оказалось несколько ниже нормы и составило 326 единиц Добсона (рисунок 5.3).

Существенный дефицит ОСО над территорией Республики Беларусь в 2014 г. отмечен только в марте: отклонение среднемесячных значений от нормы составило 14%. Такое значительное снижение значения показателя в этот период вызвано существованием в течение длительного времени над севером Евразии и над акваторией Северного Ледовитого океана значительной по глубине и размерам области с низкими значениями ОСО – отрицательной озоновой аномалии (рисунок 5.4), которая существовала в течение почти всего марта. Территория Республики Беларусь периодически оказывалась под ее влиянием, что и вызвало снижение ОСО на 20%-25%. Так 13.03.2014 г. дефицит озона над территорией Республики составил -28%.

Установлено, что 17.03.2014 г. отрицательная озоновая аномалия, сформировавшаяся над акваторией северной части Атлантического океана и распространившая свое воздействие на территорию Республики Беларусь, вызвала снижение ОСО над территорией нашей страны более чем на 25%.

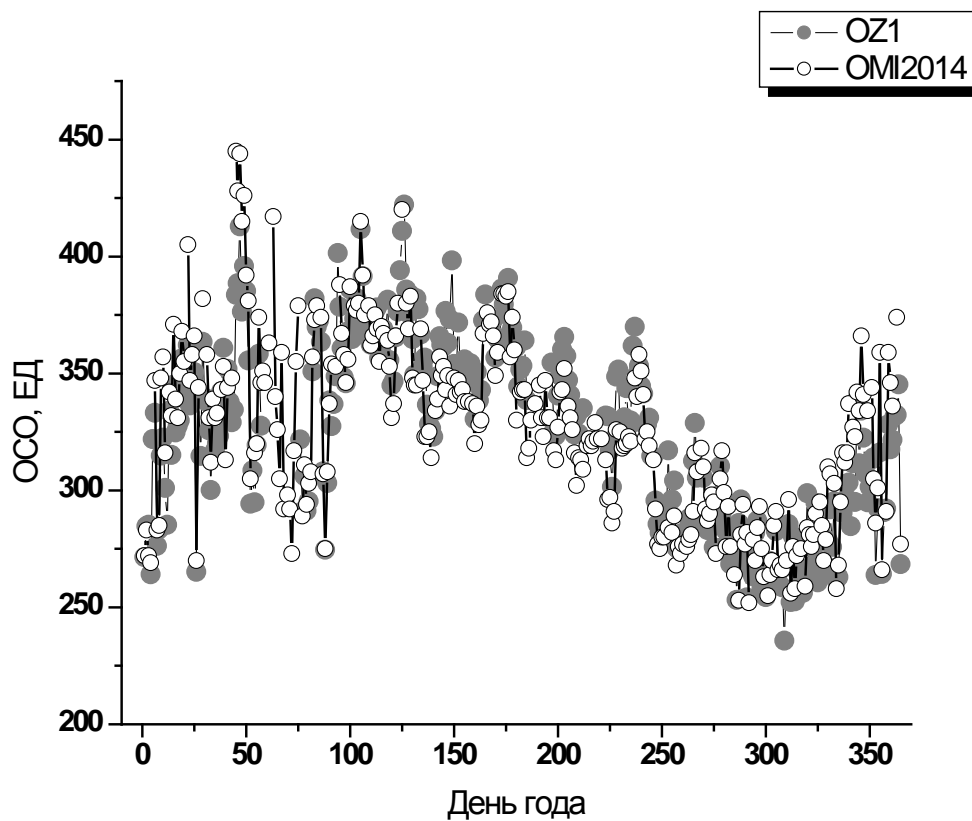


Рисунок 5.1 – Сопоставление результатов наземных (ПИОН-УФ) и спутниковых (ОМІ) измерений ОСО в атмосфере над г. Минском в 2014 г.

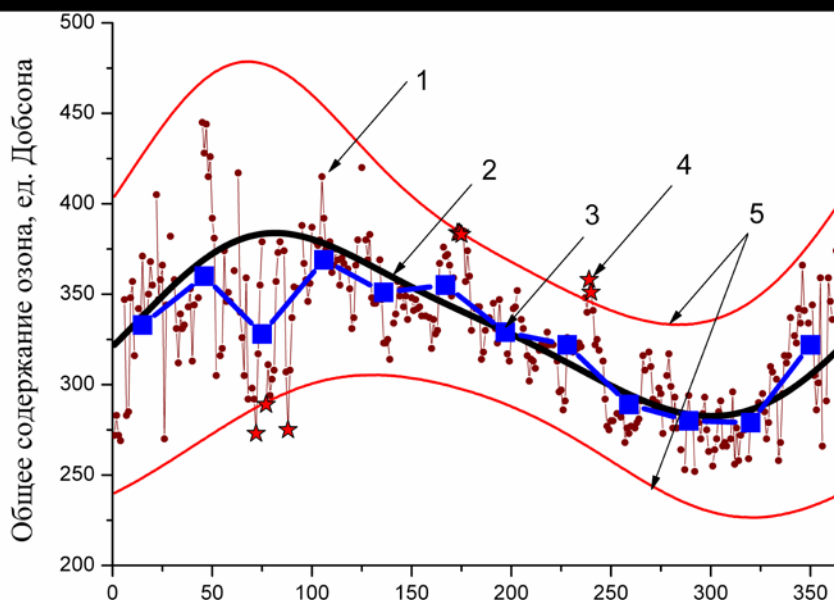


Рисунок 5.2 – Общее содержание озона над территорией Республики Беларусь в 2014 г. (1 – результаты наблюдений; 2 – климатическая норма с учетом многолетнего тренда; 3 – среднемесячные значения; 4 – озонные аномалии; 5 – 95%-й доверительный интервал)

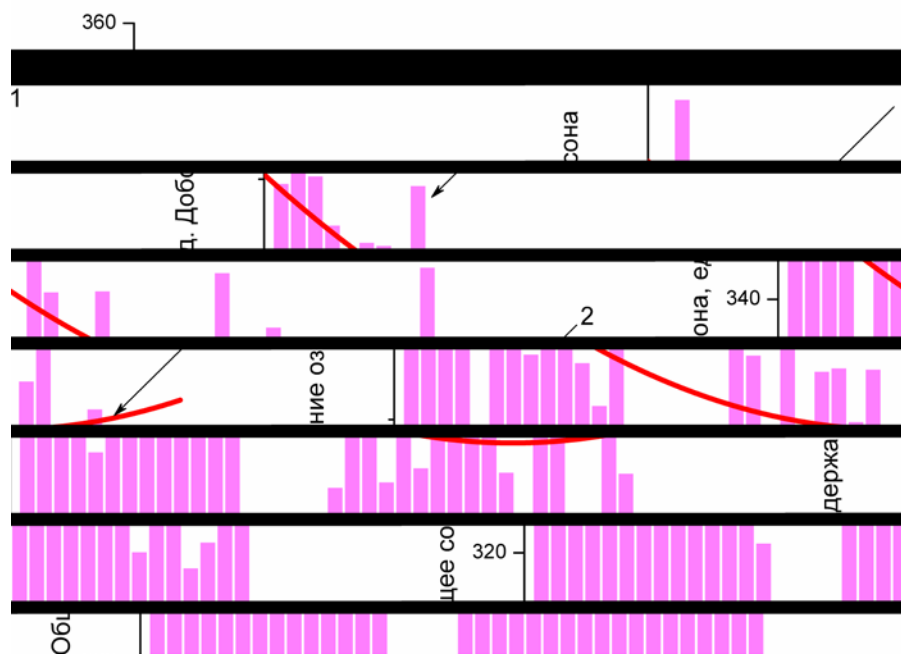


Рисунок 5.3 – Среднегодовые значения ОСО по данным спутниковых наблюдений над территорией Республики Беларусь (1) и многолетний тренд, определенный на основании данных за период 1979–2013 гг. (2)

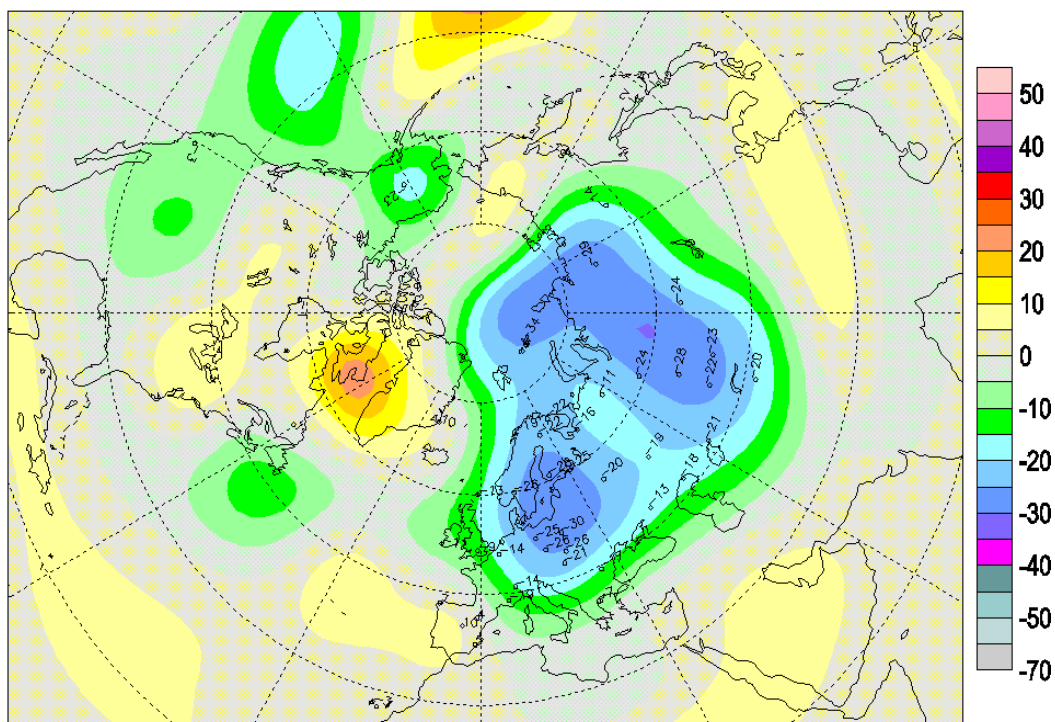


Рисунок 5.4 – Отрицательная озоновая аномалия 13.03.2014 г. (цветом обозначено отклонение значений ОСО от средних многолетних значений ОСО, выраженное в процентах)

Наблюдались также достаточно глубокие озоновые аномалии в первой декаде января и в декабре, снижение ОСО в эти периоды составило 20–22%, хотя в этом случае значения ОСО и не выходили за границы 95% доверительного интервала (рисунок 5.2). Все эти аномалии вызвали снижение ОСО над территорией республики на величину, существенно превышающую естественную изменчивость ОСО.

Годовой максимум значения показателя в 2014 г. отмечен в феврале (обычно он наблюдается в марте), составил 445 ЕД (14.02.2014 г., +18%) и был обусловлен наличием небольшой положительной озоновой аномалии. Минимальная величина ОСО в 2014 г. установлена в октябре (не связана с отрицательной аномалией) и составила 252 ЕД (19.10.2014 г.).

Анализ долговременных изменений состояния озоносферы над территорией Республики Беларусь проводился с использованием среднесуточных спутниковых данных для г. Минск (рисунок 5.5).

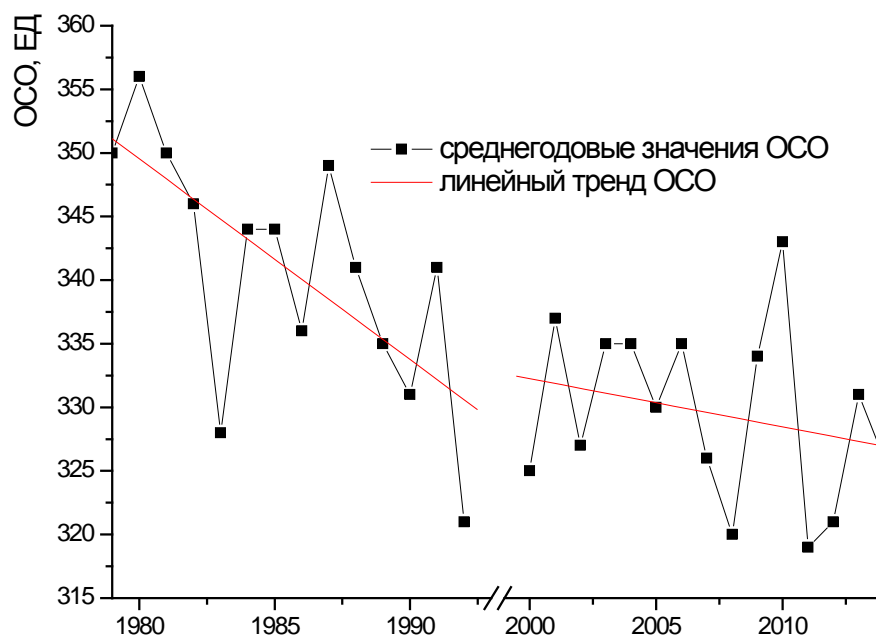


Рисунок 5.5 – Среднегодовые значения ОСО и линейный тренд для периодов 1979–1992 гг. и 2000–2014 гг. (спутниковые измерения в период 1993–1996 гг. не проводились)

Очевидно, что величина отрицательного тренда ОСО в 1980-х и начале 1990-х годов была существенно больше (~ 1,5 ЕД/год). Начиная с 2000 г. и до настоящего времени отрицательный тренд общего содержания озона над нашей республикой сохраняется, но величина его несколько снизилась (~ 0,3 ЕД/год). При этом необходимо отметить, что среднегодовые значения ОСО испытывают значительную межгодовую изменчивость.

Результаты анализа долговременных тенденций изменения среднемесячных значений ОСО для рассматриваемых временных периодов (рисунок 5.6), показали, что в 1980-х и начале 1990-х гг. отрицательный тренд ОСО в той или иной мере был выражен во все сезоны, но снижение ОСО наиболее выражено зимой и ранней весной. После 2000 г. величина отрицательного тренда для всех месяцев, за исключением июня и сентября значительно снизилась, а в январе и феврале отмечается положительный тренд среднемесячных значений ОСО.

Ранее нами было установлено, что одновременно с отрицательным трендом ОСО, характерным для всех сезонов, произошло смещение годового максимума на более ранние сроки. Если в 1980-х и начале 1990-х гг. он наблюдался обычно в апреле, то в конце 1990-х гг. и до настоящего времени положение годового максимума отмечается в феврале–марте. Было также установлено, что изменение годового хода связано с изменением глобальных циркуляционных процессов в Северном полушарии. Изменение направления тренда в зимнее время и изменения циркуляционных процессов в тропосфере взаимосвязаны.

Для анализа колебаний циркуляционных процессов была использована типизация макромасштабных циркуляционных процессов внетропических широт Дзердзеевского и соответствующий календарь смены циркуляционных ситуаций в Северном полушарии. Выбранная классификация глобальных циркуляционных процессов в тропосфере основана на учете цирку-

ляционной связи между высокими и умеренными широтами, выраженной количеством арктических вторжений и районом, где они происходят, позволяет выявить многократно повторяющиеся циркуляционные ситуации в масштабе полушария. С помощью данных о повторяемости (в днях) в каждом году типовых циркуляционных ситуаций получен многолетний ход повторяемости зональной и меридиональной циркуляции (календари циркуляции).

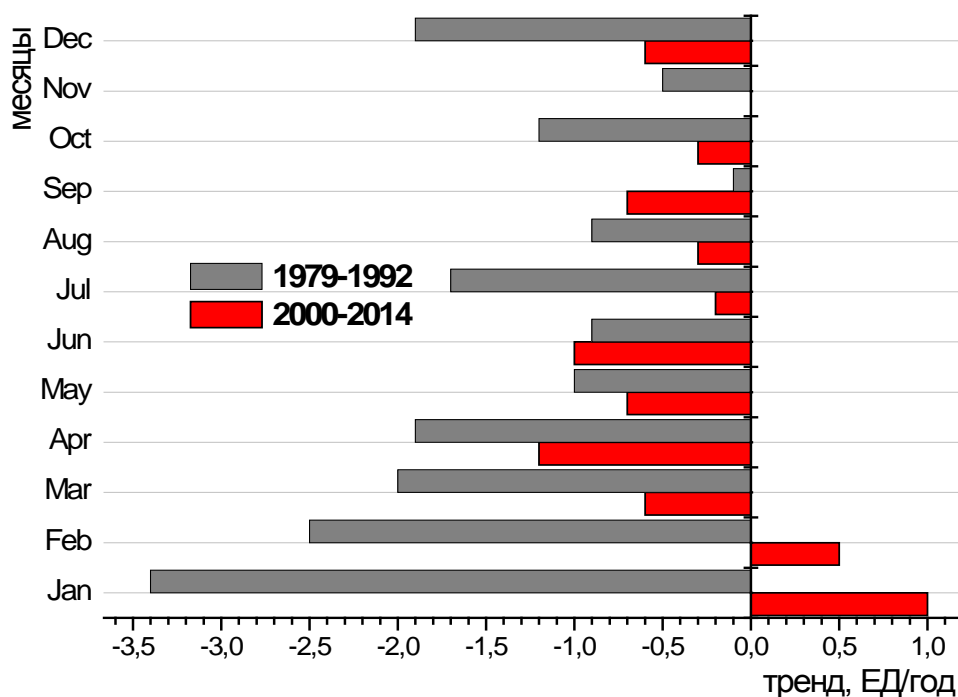


Рисунок 5.6 – Значения трендов среднемесячных величин ОСО для периодов 1979–1992 гг. и 2000–2014 гг.

Анализ повторяемости типов зональной и меридиональной циркуляции для января и февраля, для временных периодов 1979–1992 гг. и 2000–2014 гг. показал, что связь процессов, протекающих в озоносфере и тропосфере, подтверждается и в случае смены знака тренда. Установлено, что для рассматриваемых временных периодов для января и февраля количество дней с меридиональной северной циркуляцией испытывает то же направление тренда, что и средние за январь–февраль значения ОСО (рисунок 5.7).

#### Мониторинг приземных концентраций озона.

Приземный озон является сильным окислителем, отрицательно влияет на здоровье человека и животных, на состояние и развитие лесных растений и сельскохозяйственных культур. Приземные концентрации озона в крупных городах, в результате воздействия антропогенных факторов могут достигать значений, в десятки раз превышающих естественный уровень, и достаточных для ощутимого негативного влияния на живые организмы.

Мониторинг концентраций приземного озона в Беларуси начат в 2004 г. и регулярно проводится на озонометрической станции ННИЦ МО БГУ (филиал БГУ, г. Минск, ул. Курчатова), а также на других станциях в рамках мониторинга атмосферного воздуха (см. главу 4).

Полуденные значения концентраций приземного озона хорошо коррелируют со среднесуточными значениями (рисунок 5.8). Весенний озонный максимум в 2014 г. пришелся на апрель, как и в 2013 г. Летний максимум 2014 г. был ярко выражен и наблюдался в июле–августе. Ввиду сильной чувствительности озона к метеоусловиям и загрязнению воздуха, результаты измерений даже в пределах одного города заметно различаются. По результатам статистической обработки данных мониторинга установлено, что концентрация приземного озона возрастает при повышении температуры воздуха, увеличении интенсивности солнечного излучения, скорости ветра и увеличении эффективности вертикального обмена. Анализ показывает также,

что на концентрацию приземного озона определяющее влияние оказывают оксиды азота: чем выше концентрация последних, тем меньше концентрация озона у поверхности земли.

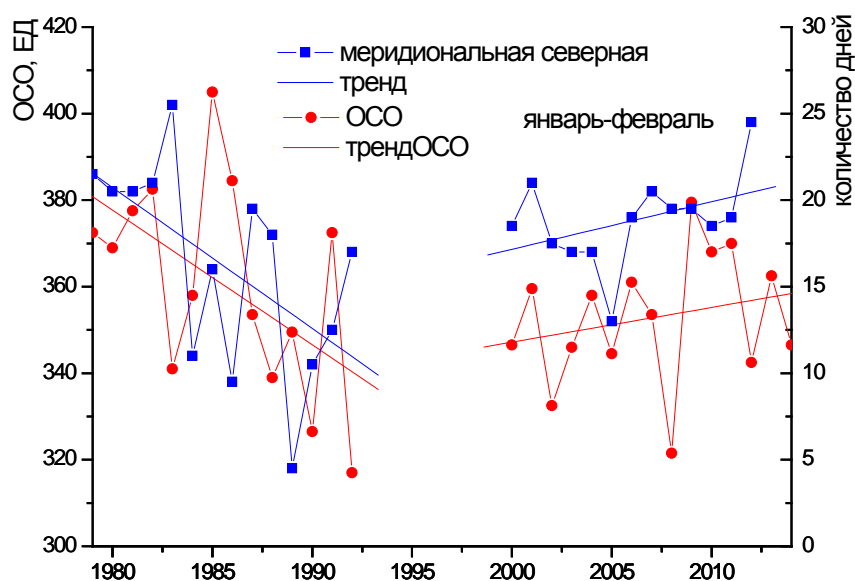


Рисунок 5.7 – Тренды средних для января–февраля значений ОСО и количества дней с меридиональной северной циркуляцией для периодов 1979–1992 гг. и 2000–2014 гг.

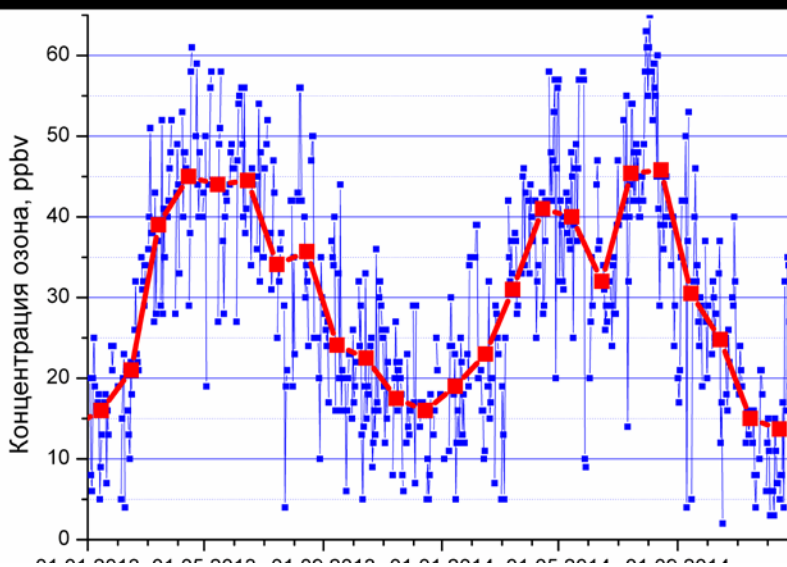


Рисунок 5.8 – Полуденные и среднемесячные концентрации приземного озона, 2013–2014 гг., станция ННИЦ МО БГУ

#### Мониторинг спектров и доз биологически активного солнечного УФ излучения.

В 2014 г. измерения спектров плотности энергетической освещенности (далее – СПЭО) земной поверхности солнечным излучением в спектральном диапазоне 285–450 нм проводились с помощью ультрафиолетового спектрорадиометра ПИОН-УФ и его полярной модификации ПИОН-УФ-II, разработанных в ННИЦ МО БГУ.

Измерения производились в автоматическом режиме от восхода до захода солнца. При этом в течение светового дня регистрировалось от 100 спектров в зимние месяцы до 200 и более – в летние. По измеренным спектрам в соответствии с требованиями Всемирной метеорологи-

ческой организации рассчитаны значения мощностей и суточных доз различных биоэффектов (эритемы, повреждения ДНК и т.п.), а также значения УФ-индекса (рисунок 5.9).

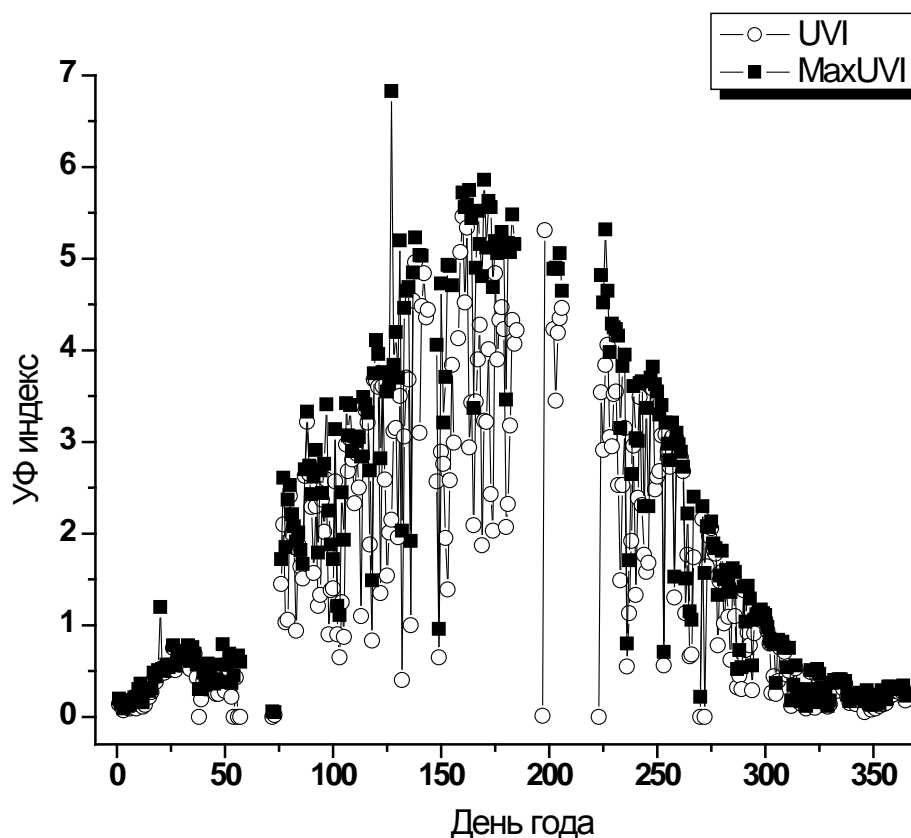


Рисунок 5.9 – Экспериментальные значения УФ-индекса, г. Минск, 2014 г.

#### **Выводы.**

Общее содержание озона в атмосфере над территорией Республики Беларусь в 2014 г. в основном было близким к норме. Существенный дефицит ОСО над территорией Республики Беларусь в 2014 г. отмечен только в марте: отклонение среднемесячных значений от нормы составило 14%, что вызвано существованием отрицательной озоновой аномалии, сформировавшейся над акваторией северной части Атлантического океана и над акваторией Северного Ледовитого океана.

По результатам статистической обработки данных мониторинга установлено, что концентрация приземного озона возрастает при повышении температуры воздуха, увеличении интенсивности солнечного излучения, скорости ветра и увеличении эффективности вертикального обмена. Анализ показывает также, что на концентрацию приземного озона определяющее влияние оказывают оксиды азота: чем выше концентрация последних, тем меньше концентрация озона у поверхности земли.