

# **ВЕРТИКАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ОЗОНА В СЛУЧАЯХ ПРОХОЖДЕНИЯ ОЗОНОВЫХ АНОМАЛИЙ НАД ТЕРРИТОРИЕЙ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

## **VERTICAL OZONE PROFILES IN THE CASES OF OZONE ANOMALIES PASSAGE OVER THE TERRITORY OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

***Т. В. Шлендер, В. В. Жучкевич, А. Н. Красовский***  
***T. Schlender, V. Zhuchkevich, A. Krasouski***

*Белорусский государственный университет,  
Национальный научно-исследовательский центр озоносферы БГУ  
г. Минск, Республика Беларусь  
timajaya@mail.ru; ronya@tut.by; krasovsky@bsu.by  
Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus  
National Ozone Monitoring Research and Education Center of Belarusian State University,  
Minsk, Republic of Belarus*

Рассматривается вертикальное распределение озона (ВРО) для территории Республики Беларусь (РБ), озонметрической станции № 354 г. Минска, по данным спутников NOAA и AURA приборами SBUV,MLS и SAGE за период 1970–2017 гг. Представлены многолетние средние нормы ВРО за период 1984–2017 гг., а также для различных сезонов года. Показана динамика изменений вертикальных профилей по многолетним средним нормам. Рассмотрены два случая озоновых аномалий, где наблюдались отрицательные и положительные отклонения от нормы общего содержания озона для данной территории. В частности, исследовались слои, где изменялась концентрация озона, во время развития озоновой аномалии над РБ. Сделаны выводы о том, что над РБ происходит уменьшение озона за последние 30 лет, и значительное изменение концентраций озона находится в слое 200–20 гПа.

The article discusses vertical ozone profiles (VOP) for the territory of the Republic of Belarus (RB), the ozonometric station No. 354 of Minsk, according to NOAA and AURA satellites using SBUV, MLS and SAGE instruments for the period 1970–2017. The long-term average VOP standards for the period 1984–2017 and for different seasons of the year. The dynamics of profile changes by long-term averages is shown. Two cases of ozone anomalies were considered, where negative and positive deviations from the total ozone were observed for the given territory. In particular, the layers where ozone changed during the development of the anomaly over Belarus were investigated. It is concluded that ozone decreases over the last 30 years over Belarus and the greatest change in ozone is in the layer of 200–20 hPa.

*Ключевые слова:* вертикальный профиль озона, общее содержание озона, озоновые аномалии.

*Keywords:* vertical ozone profiles, total ozone, ozone anomaly.

Вертикальное распределение концентрации озона (ВРО) в земной атмосфере определяется фотохимическими процессами его создания в верхней стратосфере и процессами переноса и отличается характерной вертикальной стратификацией. Озоновый слой в основном сосредоточен в слое атмосферы, называемом «стратосфера», определяет ее температурный режим и оказывает существенное влияние на динамические процессы, происходящие как в стратосфере, так и в атмосфере в целом. Именно поэтому атмосферный озон относят к числу важнейших климатообразующих факторов, и данные о ВРО имеют большое значение для климатологии и метеорологии.

Также стратосферный озон защищает живые организмы от ультрафиолетовой радиации (УФ) Солнца. Снижение УФ индекса последнее 30 лет приводит к увеличению приземной ультрафиолетовой радиации, что губительно отражается на здоровье людей [1] и биосфере. В частности, в РБ с каждым годом растет уровень заболеваемости раком кожи и глаз [2].

Общее содержание озона (ОСО) в средних широтах характеризуется характерным сезонным ходом и сильной временной изменчивостью. Межсуточные вариации ОСО может составлять 30–40 % от многолетних средних значений. Явления с очень низким и очень высоким значением общего содержания озона называются отрицательными озоновыми аномалиями (озоновыми мини-дырами) и положительными аномалиями (максимумы озона) соответственно. Установлено, что озоновые «мини-дыры» по данным спутника Nimbus-7 (инструмент TOMS) появляются в Североатлантическом секторе гораздо чаще, чем в Тихоокеанском. Наибольшее количество дней со сниженными значениями ОСО (рис. 1) наблюдается в Европейском секторе Атлантики, над акваториями Северного, Балтийского и Норвежского морей, над Европой севернее 45 параллели [3].

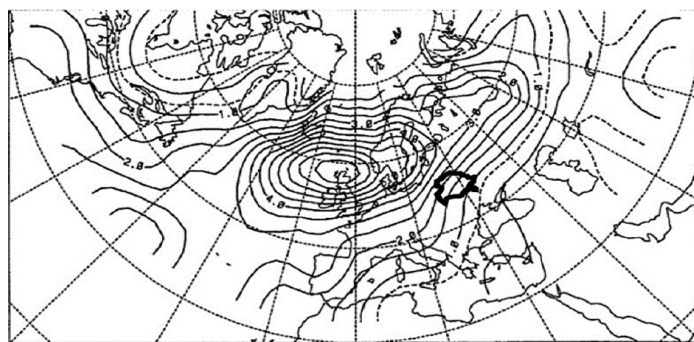


Рисунок 1 – Среднее географическое распределение частоты появления озоновых «мини-дыр» в период ноябрь–март 1979–1993 гг.[3]

Для территории РБ за анализируемый период образование отрицательных аномалий не отмечалось, аномалии попадали на ее территорию из Западной Европы или с севера Европейской части России. Причем над территорией Республики Беларусь наблюдаются аномалии, зародившиеся преимущественно в Северной Атлантике. Следует отметить, что центральные части аномалий редко проходят над территорией республики. Гораздо чаще эти области затрагивают нашу территорию краем. Снижение ОСО при этом так же бывает значительным. Отклонения от многолетних средних во время нахождения над нами озоновых мини-дыр составляет 20–25 %, в отдельные периоды превышают 40 % (рис. 2). Особенно много отрицательных озоновых аномалий отмечалось в конце 80–90-х годов прошлого столетия, когда наблюдался значительный отрицательный тренд общего содержания озона в атмосфере в глобальных масштабах.

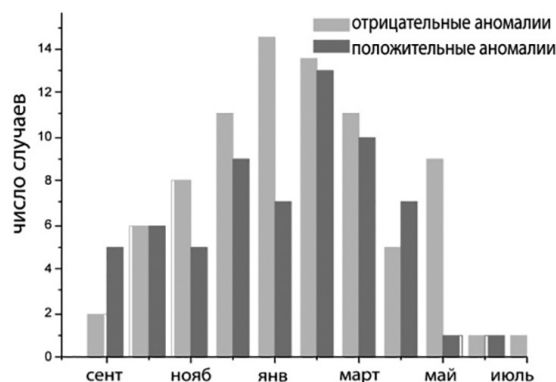


Рисунок 2 – Сезонное распределение озоновых аномалий над территорией РБ

При прохождении озоновых аномалий наблюдается значительные изменения вертикального распределения. Изменения содержания озона в атмосфере, увеличение количества озоновых аномалий отражаются и на климатологических характеристиках вертикального распределения озона над нашей республикой, исследование которых приводится ниже.

Анализ проводился с использованием данных ВРО полученных с помощью спутниковой аппаратуры NOAA и AURA [4], в частности приборов SBUV, MLS и SAGE для координат озонометрической станции № 354 г. Минска за период 1970–2017 гг. Временные ряды обрабатывались в программах MS Excel и OriginPro. Средние многолетние нормы строились исходя из непрерывности временных рядов. Данные с 1970 по 1983 г. имеют некоторые пропуски, поэтому они не использовались для расчетов норм. В период 1984–2017 год данные непрерывны и пригодны для статистической обработки. Пространственные карты ОСО для Северного полушария были получены с сайта Канадской службы окружающей среды [5].

Рассматривались изменения 5-летних средних профилей ВРО. Полученные результаты отражают общую тенденцию снижения ОСО в Европе. Многолетний средний профиль за период 1984–2017 гг. для территории РБ имеет вид характерный для среднеширотного (50–60°с.ш.) профиля ВРО, полученный по спутниковым данным [4]. Значения максимальных показаний ВРО превышает среднемноголетнее значение ВРО в слое 200–20 гПа на 45 единиц Добсона (ед.Д.), а минимальное – ниже на 25 ед.Д. (рис.3).

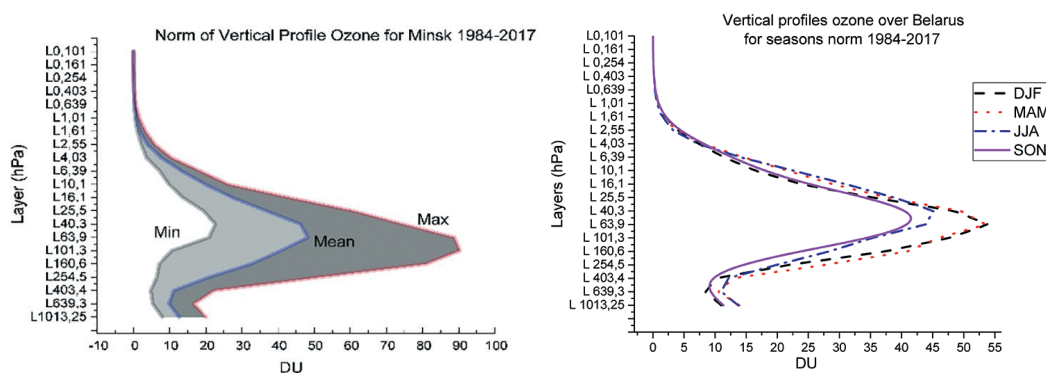


Рисунок 3 – Средняя многолетняя норма ВРО (mean), максимальное (max) и минимальное (min) значение озона в каждом слое ВРО за весь период 1984–2017гг. (слева) и средние многолетние нормы ВРО для сезонов года – зима DJF, весна MAM, лето JJA, осень SON (справа)

В динамике изменения ВРО по 5-летним средним многолетним нормам прослеживается тенденция уменьшения озона с 80-х годов. Больше всего озон уменьшается в слое от 160 гПа до 20 гПа, где расположен максимум концентрации озона. Многолетнее среднее значение ВРО по сезонам отражают общую тенденцию изменений ОСО для территории Беларуси по месяцам, где максимум – это февраль (зима) и март (весна), а минимум – октябрь и ноябрь (осень). В сезонных кривых ВРО изменения концентраций озона прослеживается от приземного уровня и до высоты 5 гПа (рис. 3).

Рассмотрены трансформации ВРО в периоды прохождения над территорией РБ значительных аномалий. При прохождении отрицательной озоновой аномалии, которая двигалась со стороны Западной Европы, над территорией РБ 14–16 февраля 2001 г. концентрации озона менялись следующим образом (см.рис.4). 10/02/01 отклонение было -2 % от нормы ОСО для февраля (штрих-штрих кривая), 14/02/01 уже -24 %, а 15/02/01 был достигнут минимум – 30 % (точка-точка кривая). 17/02/01 отклонение составило -12 % (штрих-точка-точка-штрих кривая). Вначале уменьшение озона происходит в слое 1013–65 гПа, далее уменьшение в слое 1000–7 гПа, а в конце прохождения аномалии снижение наблюдается только в слое 250 – 15 гПа. Т.е. возобновление озона начинается с нижних слоев относительно зоны максимума концентрации озона.

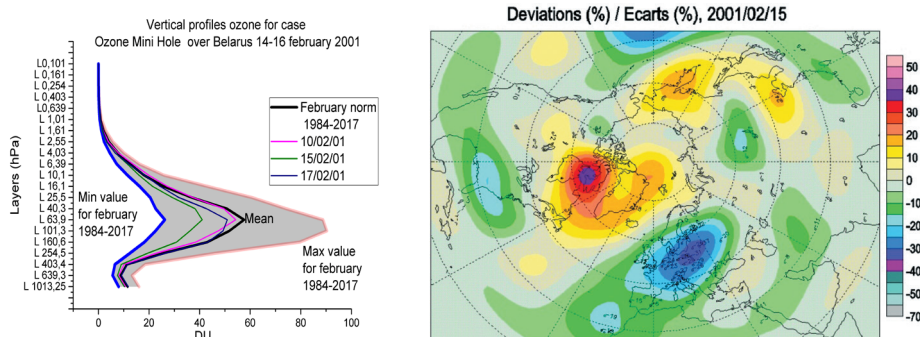


Рисунок 4 – ВРО (слева) для случая отрицательной озоновой аномалии, которая проходила по территории Беларуси в феврале 2001 г. и данные спутниковых приборов OMI/TOMS отклонений ОСО от нормы (справа) на 30 % над Беларусью за 15 февраля 2001 г.

В случае с положительной аномалии, которая переместилась на территорию РБ со Скандинавии 17/02/01 (штрих-штрих кривая) значение озона было меньше нормы февраля (см. рис. 5). Постепенный рост озона увеличивался с верхних слоев 65–20 гПа 22/02/01 на +20% от нормы февраля (точка-точка кривая). Далее достиг максимума 24/02/01 в слое 1013 - 25 гПа - +43% (штрих-точка-штрих кривая), а в конце прохождения аномалии 04/03/01 уменьшение озона наблюдалось в слое 1013–65 гПа (малые штрих-точка-штрих кривая) - +3 %

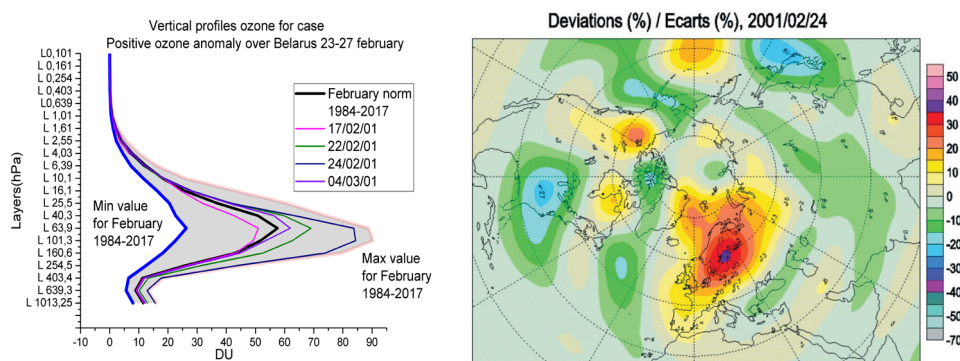


Рисунок 5 – ВРО для случая положительной озоновой аномалии, которая проходила по территории Беларуси в феврале 2001г. и данные спутниковых приборов OMI/TOMS отклонений ОСО от нормы (справа) на +43 % над Беларусь за 24 февраля 2001 г.

Результаты анализа свидетельствуют о том, что основные изменения ВРО происходят в слое 200–20 гПа. Сезонные изменения ВРО, с одной стороны, зависят от солнечной инсоляции, с другой – от конвективных и радиационных процессов в тропосфере. Поэтому кривые ВРО для лета и осени размещены выше, чем кривые ВРО для зимы и весны. Другими словами, уровень тропопаузы определяется концентрацией озона в слое 200–20 гПа. По результатам изменений концентраций озона в различных слоях атмосферы во время прохождения озоновых аномалий можно предположить, что скорее всего отрицательные аномалии это следствие тропосферного воздействия на озоносферу или же «down-up» механизма, а положительные аномалии это следствие воздействия вышележащих слоев атмосферы, таких как мезосфера и термосфера, на озон или же «up-down» механизмов преобразования солнечно – земных связей.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Herman, J. R. Global increase in UV irradiance during the past 30 years (1979–2008) estimated from satellite data / J. R. J. Herman // Geophys. Res. – 2010, 115, D04203, doi:10.1029/2009JD012219.
2. URL: <http://minzchie.by> сайт Минского зонального центра гигиены и эпидемиологии
3. James, P. M. A climatology of ozone mini-hole over the Northern hemisphere / P. M. James // Int. J. Climatol. – 1998. – Vol. 18. – P. 1287–1303.
4. URL: <http://toms.gsfc.nasa.gov> сайт спутника Aura
5. URL: <http://exp-studies.tor.ec.gc.ca> сайт Канадской службы окружающей среды