

## ЛИТЕРАТУРА

1. Chucholl, C. Invaders for sale: trade and determinants of introduction of ornamental freshwater crayfish / C. Chucholl. – Biol. Invasions, 15, 2013. – P.125 – 141.
2. Patoka, J. Garden ponds as potential introduction pathway of ornamental crayfish / J. Patoka, M. Petrtýl, L. Kalous. – Knowl. Manage. Aquat. Ecosyst 13, 2014. – 414 p.
3. Chucholl, C. First evidence for an established Marmorkrebs (Decapoda, Astacida, Cambaridae) population in Southwestern Germany, in syntopic occurrence with *Orconectes limosus* (Rafinesque, 1817) / C. Chucholl, M. Pfeiffer. – Aquat. Invas., 5, 2010. – P.405 – 412.
4. Parthenogenesis in an outsider crayfish / G. Scholtz [et al.]. – Nature, 421, 2003. – 806 p.
5. The enigmatic Marmorkrebs (marbled crayfish) is the parthenogenetic form of *Procambarus fallax* (Hagen, 1870) / P. Martin [et al.]. – Contributions to Zoology, 79, 2010. – P.107–118.

## ПРИЗЕМНЫЙ ОЗОН, АЭРОЗОЛИ И АНТРОПОГЕННЫЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ. АПРЕЛЬ 2019 г.

## SURFACE OZONE, AEROSOLS AND ANTHROPOGENIC POLLUTANTS IN CITIES OF BELARUS. APRIL 2019

**В. В. Божкова, Л. М. Болотько, А. М. Людчик, С. Д. Умрейко**  
**V. Bojkova, L. Balatsko, A. Liudchik, S. Umreika**

Белорусский государственный университет,  
Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озонасферы,  
г. Минск, Республика Беларусь  
*liudchikam@tut.by*  
Belarusian State University, National Ozone Monitoring Research Centre,  
Minsk, Republic of Belarus

Анализируется необычное поведение концентрации приземного озона над территорией Беларуси в апреле 2019 г. В этот период времени существенно менялись содержание аэрозолей в воздухе и метеорологические условия. Задачей исследования являлось выяснить факторы, оказавшие определяющее влияние на концентрацию приземного озона. Таким фактором оказалась интенсивность термической конвекции, способствующей снижению уровня антропогенного загрязнения приземного воздуха.

The unusual behavior of surface ozone concentration over the territory of Belarus in April 2019 is analyzed. During this period, the aerosol content in the air and meteorological conditions changed significantly. The objective of the study was to find out the factors that had a decisive influence on the concentration of surface ozone. Such a factor was the intensity of thermal convection, which contributes to a decrease in the level of anthropogenic pollution of surface air.

*Ключевые слова:* приземный озон, антропогенные загрязнители воздуха, аэрозольная оптическая толщина, термическая конвекция, вертикальная устойчивость атмосферы.

*Keywords:* surface ozone, anthropogenic air pollutants, aerosol optical thickness, thermal convection, vertical atmosphere stability.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2020-1-234-237>

В апреле 2019 года наблюдения за приземным озоном на территории Беларуси показали весьма необычные результаты: в первой и третьей декадах месяца наблюдались характерные для этого времени года высокие дневные концентрации озона и низкие ночные, однако во второй декаде максимальные дневные концентрации заметно снизились и повысились минимальные ночные (рис. 1). В этот период также существенно изменялась оптическая толщина атмосферных аэрозолей вследствие переноса пыли из Северной Африки или пожаров в Беларуси и близких к ней регионах. Результаты измерений аэрозольной оптической толщины на длине волны 380 нм на минской станции AERONET [1] показаны на рис. 2. Выбранная длина волны излучения приблизительно соответствует спектральной области солнечного фотохимически активного излучения в приземном слое атмосферы, приводящего к фотолизу загрязнителей атмосферы и генерации озона. В связи с этим можно предположить, что «странные» поведение приземного озона непосредственно обусловлено произошедшими в течение месяца изменениями в оптической толщине атмосферы, например, за счет изменения уровня фотохимически активного солнечного излучения у поверхности земли.

Аэрозольные частицы также способны принимать участие в химических процессах с участием озона и таким образом влиять на его концентрацию [2]. Концентрации твердых аэрозольных частиц у поверхности земли

в апреле 2019 г. по данным пунктов мониторинга атмосферного воздуха Белгидромета в городах Минске, Бресте и Могилеве также снижаются во второй декаде месяца, как и аэрозольная оптическая толщина атмосферы. Это косвенно свидетельствует о том, что аэрозольная оптическая толщина в течение месяца над всей территорией Беларуси изменялась приблизительно так же, как и в г. Минске.

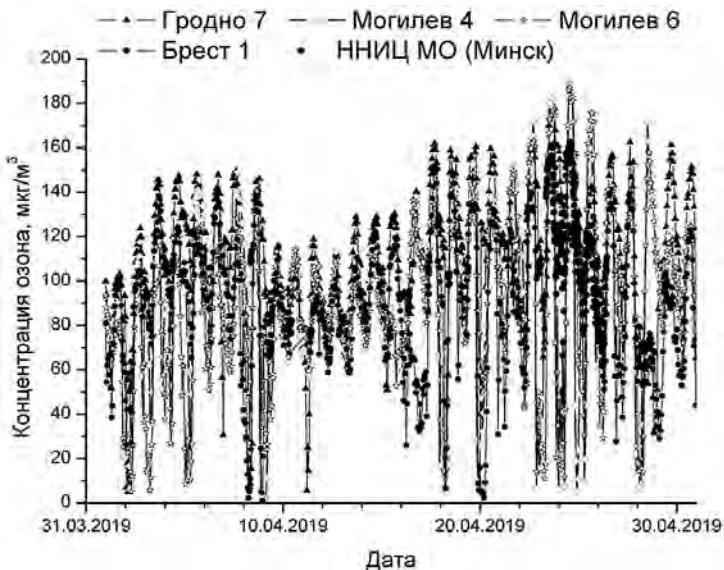


Рисунок 1 – Концентрация приземного озона, зарегистрированная в апреле 2019 г. в городах Беларуси

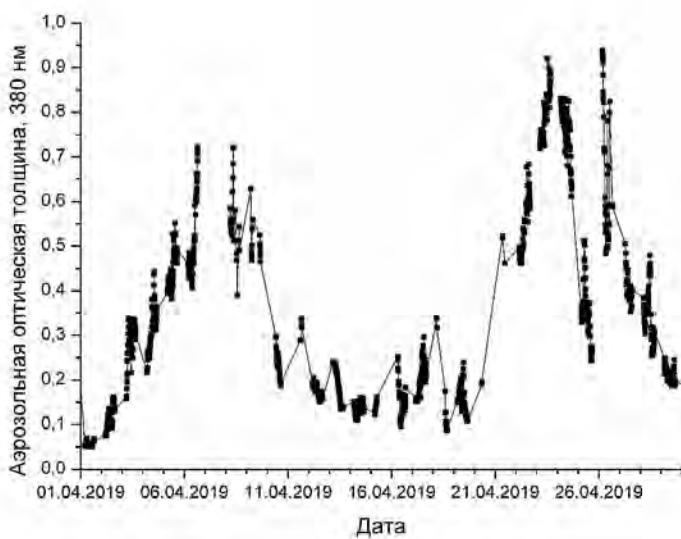


Рисунок 2 – Аэрозольная оптическая толщина на длине волн 380 нм в апреле 2019 г. над Минском

Безусловно, на концентрацию приземного озона (по крайней мере, на ее региональную составляющую [3]) влияет природа воздушной массы, находящейся над территорией страны. Существенную роль в формировании наблюдаемой концентрации приземного озона играют также метеорологические условия в месте наблюдений [3]. И, наконец, следует указать на роль прекурсоров озона естественного и антропогенного происхождения, способствующих или препятствующих генерации озона в приземном слое атмосферы в зависимости от абсолютных значений и соотношения их концентраций [4]. При этом весьма маловероятно, что концентрации загрязнений в областных городах, являющихся интенсивным источником антропогенных загрязнений, и данные которых будут использованы для анализа, существенно меняются с приходом разных воздушных масс.

Таким образом, существует целая совокупность возможных причин странного поведения приземного озона в апреле 2019 г. Для анализа можно было бы ограничиться только городом Минском, поскольку именно здесь измерялась оптическая толщина аэрозолей. Однако, в г. Минске в апреле не проводились измерения концентрации приземного озона, за исключением непродолжительных измерений в Национальном научно-исследовательском центре мониторинга озоносферы (далее – ННИЦ МО), но имеются данные о погоде и других загрязнителях атмосферы. Поэтому были рассмотрены также Брест и Могилев – города, где в апреле пункты мониторинга атмосферного воздуха регистрировали всю совокупность загрязнений: твердые частицы, CO, NO<sub>2</sub>, NO, летучие органические соединения (ЛОС: бензол, толуол, ксиол) и приземный озон.

В течение месяца Беларусь находилась в основном под влиянием трех воздушных масс (табл.). Дневные и ночные температуры воздуха растут с начала апреля, но резко опускаются во второй декаде месяца. В третьей декаде рост температур с незначительными вариациями продолжает тенденции, первой.

*Таблица – Периоды антициклонов и преимущественное направление ветра в апреле 2019 года*

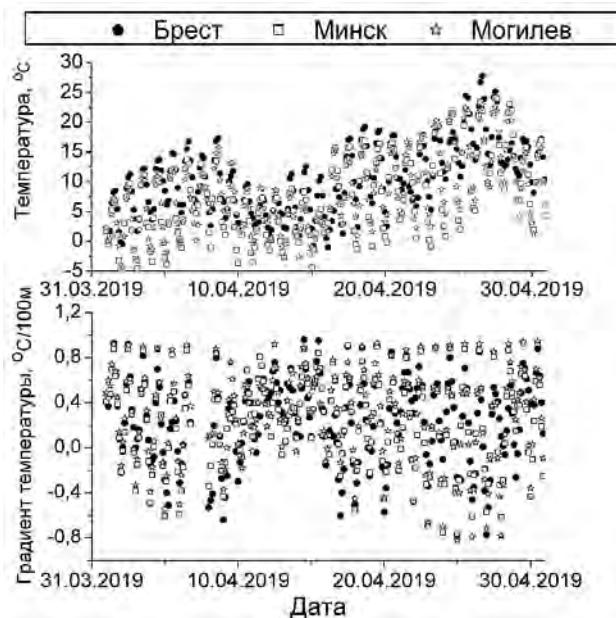
Период	1-7	10-20	22-26	28-30
Направление ветра	Юго-восточный	Северо-восточный	Юго-восточный	Восточный

Существенное снижение атмосферного давления в конце первой, начале третьей декады и в конце месяца соответствует периодам смены воздушных масс над территорией страны.

Особых изменений в скорости ветра в течение месяца в трех городах не произошло. Разве что в Могилеве во второй декаде скорость была заметно выше, чем в Бресте и Минске, и редко падала до нуля в ночное время. Преимущественное направление ветра в первой и третьей декадах – юго-восточное (менее 180 градусов), во - второй северо-восточное (менее 60 градусов).

Относительная влажность воздуха не претерпела за месяц существенных изменений, а небольшое ее увеличение в дневное время во второй декаде соответствует снижению дневных температур.

Заметные изменения в течение месяца произошли с вертикальным градиентом температуры, определяющим вертикальную устойчивость атмосферы в планетарном пограничном слое. Отметим, что вертикальный градиент температуры определялся по прогнозным расчетам [5] в двух слоях (0 – 925 и 925 - 850 гПа), и для характеристики устойчивости выбиралось минимальное значение, оказывающее определяющее влияние на эффективность термической конвекции. Чем выше градиент температуры, тем менее устойчива атмосфера. Как видно из графика на рис. 3, вертикальная устойчивость в дневное время практически не менялась в течение апреля и была приблизительно одинакова во всех рассматриваемых городах.

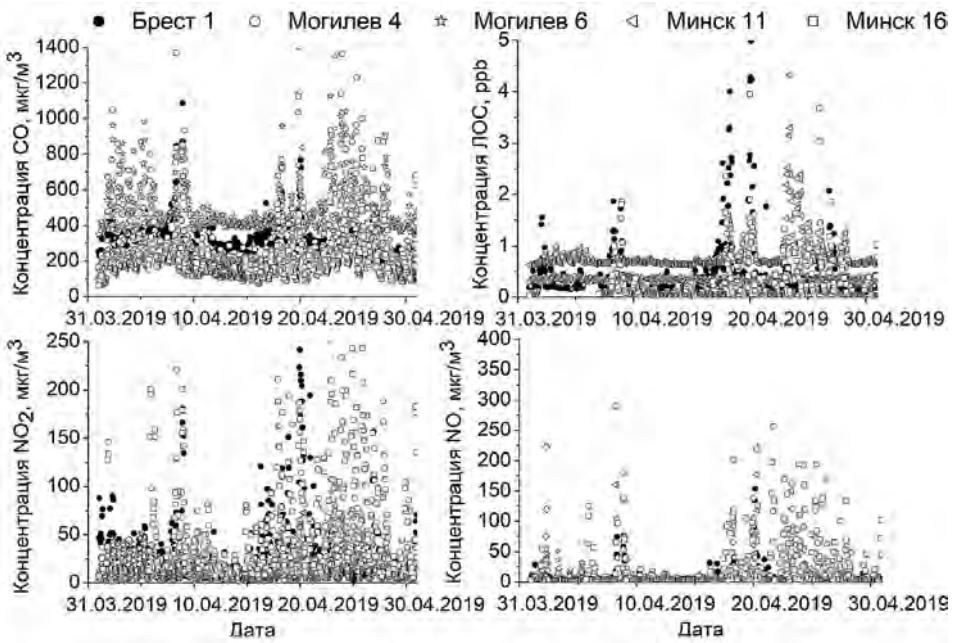


*Рисунок 3 – Температура воздуха и вертикальный градиент температуры в Бресте, Минске и Могилеве. Апрель 2019 г.*

Однако, в ночное время во второй декаде апреля она была заметно ниже по сравнению с первой и третьей декадами месяца. Пониженная устойчивость атмосферы способствует вертикальному обмену, снижению концентраций антропогенных загрязнений в приземном слое воздуха и притоку озона из верхних слоев атмосферы.

Данные о концентрациях загрязнителей атмосферы, зарегистрированных на пунктах мониторинга атмосферного воздуха в городах Бресте, Могилеве и Минске в апреле 2019 г., представлены на рис. 4. Во второй декаде месяца происходило снижение концентраций всех загрязнителей, и это могло существенно повлиять на изменения в поведении приземного озона. Особое значение имеет снижение концентрации диоксида азота, поскольку фотолиз солнечным излучением именно этого соединения является источником атомарного кислорода и последующего образования озона.

Снижение максимальных дневных концентраций озона во второй декаде апреля никак нельзя объяснить увеличением солнечной радиации из-за уменьшения оптической толщины аэрозолей. Солнечное излучение является единственной причиной генерации озона у поверхности земли, поскольку процесс генерации включает в себя фотохимические реакции. В первой и третьей декадах из-за аэрозолей радиация уменьшалась, а дневные концентрации увеличивались, хотя следовало бы ожидать обратного эффекта. Поэтому изменение уровня приземного солнечного излучения в течение месяца не является причиной «странныго» поведения приземного озона.



*Рисунок 4 – Концентрации антропогенных загрязнений в апреле 2019 г. в городах Беларусь.  
Концентрации летучих органических соединений суммированы в объемных единицах*

Поскольку одновременное повсеместное снижение интенсивности источников антропогенных загрязнений просто невероятно, единственной причиной уменьшения концентраций загрязнений в городах являются метеорологические факторы, способные понизить уровень загрязнения воздуха: скорость ветра и интенсивность вертикального перемешивания атмосферы. Скорость ветра в течение месяца существенно не менялась, следовательно, главным фактором, оказавшим влияние на приземный озон во второй декаде апреля является снижение вертикальной устойчивости атмосферы, способствующее очищению приземного воздуха от антропогенных прекурсоров озона. Определенную роль сыграло также уменьшение температуры воздуха во второй декаде, приводящее к замедлению химических реакций производства и уничтожения озона.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. AERONET. – <https://aeronet.gsfc.nasa.gov>.
2. Marathe, S. A. Multiple Regression Analysis of Ground level Ozone and its Precursor Pollutants in Coastal Mega City of Mumbai, India / S. A. Marathe, S. Murthy, N. Gosawi, and M. Herlekar // MOJ Eco Environ Sci. – 2017. – Vol. 2. – № 6: 00041. DOI: 10.15406/mojes.2017.02.00041.
3. Clapp L., J. Analysis of the relationship between ambient levels of  $O_3$ ,  $NO_2$  and NO as a function of  $NO_x$  in the UK / L. J. Clapp, and M.E. Jenkin // Atmospheric Environment. – 2001. –Vol. 35. – P. 6391-6405.
4. Божкова, В. В. Суточный ход концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городов Беларусь / В.В. Божкова [и др.] // Природные ресурсы. – 2018. – № 2. – С. 79 – 87.
5. Людчик, А. М. Статистическая оценка антропогенного воздействия на приземный озон / А.М. Людчик [и др.] // Природные ресурсы. – 2015. – № 1. – С. 95-105.

## РАЗВИТИЕ ПОВЕДЕНИЯ ПТЕНЦА БОЛЬШОЙ СИНИЦЫ (*Parus major* L., 1758) THE DEVELOPMENT OF THE GREAT TIT CHICK BEHAVIOR (*Parus major* L., 1758)

**А. Ю. Глызина, О. В. Василькова, А. С. Зырянов, В. О. Соловаров**  
**A. Glyzina, O. Vasilkova, A. Zyryanov, V. Salovarov**

*Иркутский государственный аграрный университет им. А.А. Ежевского,  
г. Иркутск, Российская Федерация  
ania.glyzina@yandex.ru*

*Irkutsk State Agrarian University named after A.A. Ezhevsky,  
Irkutsk, Russia*

В данной статье изучалось поведение птенца большой синицы, выращенного в неволе. Наблюдения проводились в имитируемом искусственном гнезде, в виде картонной коробки, куда был посажен птенец