

- принцип взаимосвязанного рассмотрения величины антропогенного загрязнения и состояния здоровья населения рассматриваемой урбанизированной территории;
- принцип учета критериев, описывающих заболеваемость населения, условия жизнедеятельности, комфортность и благоустроенность рассматриваемой урбанизированной территории;
- принцип учета мероприятий и соответствующих им затрат на обеспечение экологической безопасности рассматриваемой урбанизированной территории;
- принцип учета экономических факторов и характеристик рассматриваемой урбанизированной территории.

Для дальнейшего совершенствования методологии комплексной оценки уровня экологической безопасности городских территорий, а также для последующего выбора экологически эффективных и экономичных организационных, технических и специальных инженерно-экологических мероприятий по обеспечению экологической безопасности зон исследования в условиях урбанизации был проведен анализ предложенных подходов с выявлением положительных особенностей основных положений, выводов и зависимостей, сформулированных в имеющихся научных исследованиях [4-5]. Полученные результаты на выполненном этапе исследования могут быть положены в основу совершенствования существующей научной базы с целью минимизации недостатков имеющихся подходов.

По результатам выполненного этапа исследований можно сделать вывод, что достижение экологической безопасности крупных городов возможно только при совершенствовании существующей научно-методической базы в области предварительной оценки уровня воздействий на окружающую среду и подбора соответствующих мероприятий для его снижения. Это, в свою очередь, способно уменьшить риск для общества от возрастания антропогенных нагрузок на окружающую среду и приблизить достижение глобальной цели в области устойчивого развития урбанизированных территорий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Нефёдов В.А. Как вернуть город людям. М.: Искусство-XXI век, 2015. – 160 с.
2. Pacetti M., Passerini G. The Sustainable City VII: Urban Regeneration and Sustainability. WIT Press, 2012. – 1312 p.
3. Ледащева Т.Н., Пинаев В.Е. Обзор зарубежных публикаций по вопросам оценки современного состояния окружающей среды и оценки воздействия на окружающую среду // Наукoведение, 2017. № 1 (Том 9). – URL: naukovedenie.ru/PDF/16EVN117.pdf.
4. Беспалов В.И., Котлярова Е.В., Бондаренко А.С. Научно-методические основы обеспечения экологической безопасности территорий в условиях урбанизации // Инженерный вестник Дона [Электронный ресурс], 2019. № 1. Код доступа: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n1y2015/XXXX
5. Bepalov V., Kotlyarova E. Features of environmental factors to ensure the environmental safety of urban planning complexes // E3S Web of Conferences, 2019. P. 00060.

ВЛИЯНИЕ ДИОКСИДА СЕРЫ НА ПРИЗЕМНЫЙ ОЗОН В ГОРОДАХ БЕЛАРУСИ INFLUENCE OF SULFUR DIOXIDE ON SURFACE OZONE IN CITIES OF BELARUS

**А. М. Людчик¹, Е. А. Мельник², П. Н. Павленко³,
A. M. Liudchik, E. A. Melnik, P. N. Paulenka**

¹Национальный научно-исследовательский центр мониторинга озоносферы
Белорусского государственного университета,
г. Минск, Республика Беларусь
liudchikam@tut.by

²Республиканский центр по гидрометеорологии, контролю радиоактивного загрязнения
и мониторингу окружающей среды,
г. Минск, Республика Беларусь
kbb@rad.org.by

³Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь
pavlenko_pn@mail.ru

*National Ozone Monitoring Research Centre of the Belarusian State University, Minsk, Republic of Belarus
Republican Center for Hydrometeorology, Control of Radioactive Contamination
and Environmental Monitoring, Minsk, Republic of Belarus
Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus*

Приведены сведения о роли диоксида серы в формировании наблюдаемой в городах Беларуси концентрации приземного озона. Задача решалась посредством построения уравнения регрессии, аппроксимирующего зависимость концентрации приземного озона от метеорологических условий и прекурсоров озона.

Присутствие диоксида серы в городском воздухе приводит к снижению концентрации приземного озона за счет связывания диоксида азота. Именно фотолиз последнего является источником атомарного кислорода и последующей генерации озона.

Information on the role of sulfur dioxide in the formation of the concentration of ground-level ozone observed in the cities of Belarus is presented. The problem was solved by constructing a regression equation approximating the dependence of the concentration of ground-level ozone on meteorological conditions and ozone precursors. The presence of sulfur dioxide in urban air leads to a decrease in the concentration of ground-level ozone due to the binding of nitrogen dioxide. It is the photolysis of the latter that is the source of atomic oxygen and the subsequent generation of ozone.

Ключевые слова: диоксид серы, приземный озон, уравнение регрессии, диоксид азота, метеорологические условия.

Keywords: sulfur dioxide, ground-level ozone, regression equation, nitrogen dioxide, meteorological conditions.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-348-352>

В [1] с использованием наблюдений в областных городах на пунктах мониторинга атмосферного воздуха Белгидромета, наблюдений на метеорологических станциях и расчетов была определена приближенная зависимость концентрации приземного озона от метеорологических условий и антропогенных загрязнителей воздуха: CO, NO, NO₂, летучих органических соединений (ЛОС) – бензола, толуола, ксилола. Задача решалась посредством нахождения коэффициентов уравнения линейной регрессии, аппроксимирующего названную зависимость. Результаты позволяют «объяснить» более 60% дисперсии флуктуаций измеренных концентраций озона.

Перечисленные выше загрязнители воздуха не исчерпывают список влияющих на озон веществ. Помимо них следует учитывать такие антропогенные загрязнители, как диоксид серы, формальдегид, метан, другие летучие органические соединения. В воздухе также присутствуют и загрязнители естественного происхождения. Из сказанного следует вывод, что полученная зависимость не совершенна и может быть уточнена за счет расширения списка учитываемых веществ.

Система мониторинга атмосферного воздуха в городах Беларуси развивается, и расширяется список определяемых загрязняющих веществ. В частности, становятся доступными результаты измерений концентраций твердых частиц и диоксида серы. Названные загрязнители также участвуют в процессах образования и разрушения озона в приземном слое атмосферы и должны быть включены в список объясняющих переменных уравнения регрессии.

Можно ожидать, что диоксид серы, восстановитель, содержащийся в городском воздухе, будет реагировать с окислительной атмосферой, создаваемой фотохимическим смогом. Однако он не вступает в непосредственную реакцию ни с озоном, ни с диоксидом азота в воздухе, хотя эти реакции могут происходить в растворе или на поверхностях. В то же время диоксид серы реагирует с другими, менее четко идентифицированными окислителями, которые синтезируются в процессе фотохимического образования смога. Один из механизмов включает реакцию SO₂ с NO₃ (или N₂O₅ - соединением, образующемся в результате реакции NO₂ с O₃). Взаимодействие SO₂ с фотохимическим смогом исследовали в лабораторных условиях [2]. Анализ показал, что эффективность влияния SO₂ на озон зависит от концентраций водяного пара, исходного диоксида азота и диоксида серы. Эффект также зависит от типа углеводорода, присутствующего в анализируемой смеси газов. Во всех исследованных случаях максимальная концентрация NO₂ оказывалась ниже при наличии SO₂. Иными словами, в присутствии диоксида серы возможности генерации озона за счет солнечного излучения уменьшаются вследствие уменьшения концентрации потенциального источника атомарного кислорода – диоксида азота.

В других публикациях описаны случаи как генерации озона в присутствии диоксида серы, так и его уничтожения в зависимости от условий. В частности, в [3] определенно подчеркивается положительная корреляция SO₂ с озоном: «SO₂ является 3-м наиболее важным фактором, участвующим в процессах образования O₃, однако ранее основное внимание уделялось влиянию ЛОС, и роль этого загрязнителя игнорировалась».

Твердые частицы, присутствующие в воздухе, ослабляют уровень солнечной радиации и тем самым снижают эффективность фотолиза у поверхности земли, приводящего к генерации приземного озона. К тому же возможны различные гетерогенные химические реакции на поверхности этих частиц, приводящие в конечном итоге к генерации или разрушению озона. Результирующий эффект зависит от состава и концентрации частиц, а также от концентраций других малых составляющих приземной атмосферы.

Для проведения расчетов коэффициентов регрессии были отобраны около 48 000 усредненных около метеорологических сроков результатов измерений во всех областных городах Беларуси. Помимо метеорологических параметров измерения включали данные о концентрациях приземного озона, оксида углерода, оксида и диоксида азота, диоксида серы, летучих органических соединений (суммарной концентрации бензола, толуола и ксилола) и среднесуточной концентрации твердых частиц в приземном слое воздуха.

Сначала расчеты проводились без учета переменных, связанных с твердыми частицами и диоксидом серы. В этом случае объясненная дисперсия составила 55% от полной дисперсии концентрации приземного озона.

Затем в список объясняющих переменных были включены дополнительно концентрации SO₂ и твердых частиц. Объясненная дисперсия увеличилась до 58 %. Возможно, это не слишком существенное улучшение

качества расчетов, однако оно действительно заметно и подтверждается приводимым ниже рисунком, на котором сравниваются результаты измерений в Гомеле с расчетами по двум названным схемам.

Коэффициент корреляции SO₂ с озоном оказался равным -0.1. Это довольно высокое значение, судя по таблице 1. В таблице приведены коэффициенты корреляции с измеренной концентрацией приземного озона основных объясняющих переменных, входящих в уравнение регрессии, для которых коэффициенты корреляции превышают 0.05 по абсолютной величине. Корреляция твердых частиц с озоном также отрицательна, однако в 2 раза слабее.

Таблица 1 – Коэффициенты корреляции с концентрацией приземного озона основных объясняющих переменных уравнения регрессии

Температура воздуха	0.15
Солнечная радиация	0.08
Скорость ветра	0.19
Концентрация CO	-0.17
Концентрация NO ₂	-0.37
Концентрация NO	-0.36
Концентрация ЛОС	-0.20
Концентрация SO ₂	-0.10
Частицы	-0.05

Отрицательные коэффициенты корреляции диоксида серы, как, впрочем, и других определяемых в городах Беларуси загрязняющих воздух веществ, свидетельствуют о том, что в настоящее время антропогенное загрязнение в Беларуси приводит к снижению концентрации приземного озона и не достигло тех уровней, когда происходит его генерация.

Анализ взаимной корреляции концентраций диоксида серы и твердых частиц с другими объясняющими переменными позволяет судить о возможных общих источниках загрязнителей (таблица 2).

Наибольшие по абсолютной величине значения коэффициента корреляции диоксида серы (причем отрицательные) наблюдаются с диоксидом азота и летучими органическими соединениями. Возможно, это является свидетельством справедливости упомянутого ранее механизма взаимодействия диоксида серы с диоксидом азота и ЛОС. Большое положительное значение имеет коэффициент корреляции диоксида серы со скоростью ветра, что может служить доказательством его поступления в городской воздух из других регионов. Заметные положительные коэффициенты корреляции твердых частиц получены для солнечной радиации, оксидов углерода и азота, отрицательные – для скорости ветра и вертикальной устойчивости атмосферы. Интерпретировать эти данные, наверное, преждевременно, поскольку в дальнейшем они будут перепроверяться и уточняться.

Таблица 2 – Коэффициенты взаимной корреляции диоксида серы и твердых частиц с другими объясняющими переменными

Переменная	Концентрация SO ₂	Концентрация частиц
Температура воздуха	-0.02	0.09
Влажность	-0.01	0.02
Солнечная радиация	-0.04	0.12
Скорость ветра	0.22	-0.09
Вертикальная устойчивость атмосферы	0.01	-0.22
Концентрация CO	0.02	0.15
Концентрация NO ₂	-0.24	0.21
Концентрация NO	-0.03	0.15
Концентрация ЛОС	-0.18	0.11

В связи со сказанным уместно упомянуть результаты некоторых работ, в которых исследовалось влияние диоксида серы на приземный озон. В них фиксируются весьма противоречивые данные о поведении суточного хода диоксида серы. В частности, в [4] отмечается, что концентрации SO₂ в выходные и будние дни были практически одинаковыми на всех участках отбора проб, хотя концентрации других антропогенных загрязнителей заметно снижались в выходные дни. Концентрации SO₂ увеличивались с высотой из-за выбросов дымовых газов. Это вполне согласуется с некоторыми наблюдениями в Беларуси, когда интенсификация вертикального перемешивания заметно снижала концентрации практически всех антропогенных загрязнителей в приземном воздухе, однако это не касалось диоксида серы. В иных публикациях иногда отмечается сходство суточного хода диоксида серы с ходом концентраций других антропогенных загрязнителей воздуха, а иногда – существенные различия.

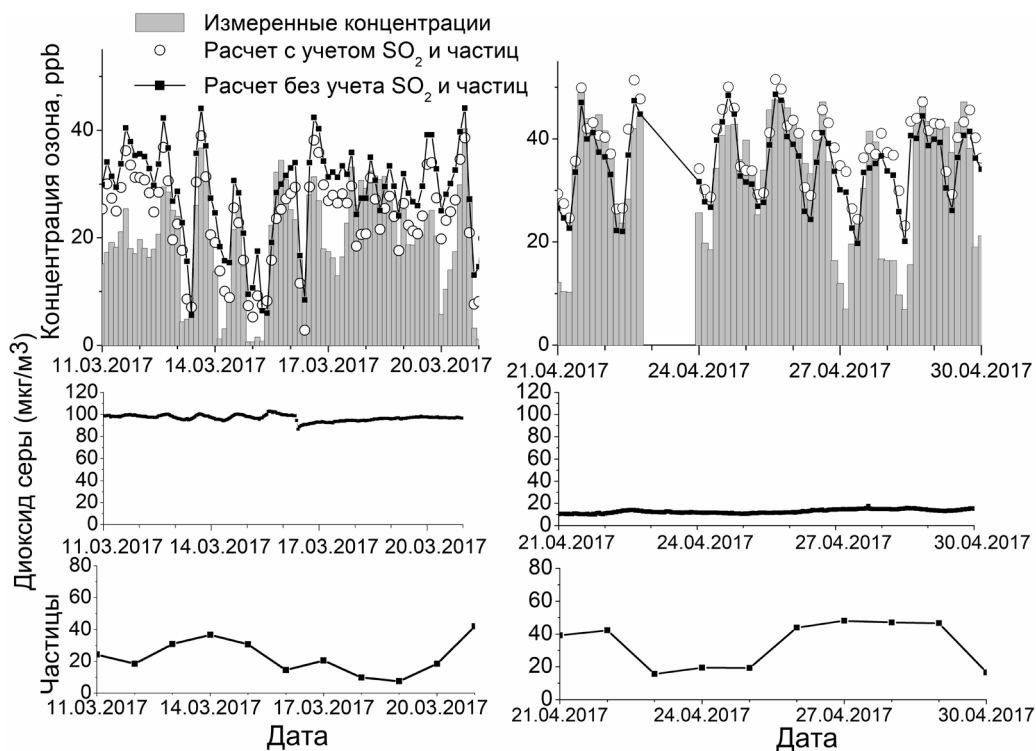


Рис. 1. Результаты наблюдений за приземным озоном в г. Гомель в марте и апреле 2017 г. и их сравнение с расчетами по уравнению регрессии без учета и с учетом диоксида серы и твердых частиц. Приведены также данные о концентрациях диоксида серы и твердых частиц в эти периоды времени

Как видно из рис. 1, в Беларуси выраженный суточный ход концентрации диоксида серы практически отсутствует в отличие от четко ранее установленных утренних и вечерних пиков концентраций других антропогенных загрязнителей. Очевидно существующий суточный ход концентрации твердых частиц в данной публикации не обсуждается, поскольку в настоящее время Белгидромет предоставляет только их среднесуточные концентрации.

Влияние дополнительно учтенных переменных на концентрацию приземного озона зависит, во-первых, от «силы» конкретного загрязнителя, во-вторых, от его концентрации в воздухе. Первый аспект проблемы оценен посредством расчета коэффициентов корреляции загрязнителей с озоном. Оказалось, что диоксид серы весьма сильно отрицательно коррелирует с озоном. Концентрация твердых частиц в приземном слое атмосферы также отрицательно коррелирует с озоном, однако, в два раза слабее. Иными словами, присутствие в воздухе названных загрязнителей уменьшает концентрацию приземного озона. Наиболее ярко такое уменьшение проявляется в случае высоких концентраций диоксида серы и твердых частиц. Тем не менее, обнаружить эффект влияния на концентрацию озона запыленности воздуха не удалось, хотя тщательно анализировался случай сильного аэрозольного загрязнения в апреле 2019 г. [5], а рассчитанные коэффициенты корреляции свидетельствуют о заметном отрицательном влиянии.

В качестве примера, демонстрирующего заметную роль диоксида серы в формировании наблюдаемой концентрации приземного озона, рассмотрим ситуацию в марте и апреле 2017 года в г. Гомель (пункт наблюдений № 14, расположенный в районе ул. Барыкина, 319). Результаты наблюдений представлены на рис. 1. В марте концентрация диоксида серы была довольно высокой, и это с учетом ее и твердых частиц в уравнении регрессии проявилось в заметном снижении рассчитанных концентраций озона и улучшении соответствия расчета наблюдениям. В апреле месяце зафиксированы очень низкие концентрации диоксида серы. В результате рассчитанные по уравнению регрессии с учетом диоксида серы и частиц концентрации приземного озона увеличились, и соответствие с наблюдениями также улучшилось. Концентрации твердых частиц в рассмотренные периоды существенно не различались, поэтому эффект от учета такой переменной в уравнении регрессии следует искать дополнительно.

Представленные на рисунке результаты расчетов, дополненные учетом диоксида серы и твердых частиц, не устраняют полностью различие между расчетными и измеренными концентрациями озона. Это свидетельствует о недостатках использованной методики, неполном учете всех прекурсоров озона или несовершенстве системы мониторинга атмосферного воздуха. По всем названным проблемам ведутся исследования с целью их устранения или минимизации их роли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Божкова В.В. Флуктуации поля приземного озона в Беларуси, обусловленные метеорологическими условиями и антропогенным загрязнением воздуха /В. В. Божкова, А. М. Людчик, Е. А. Мельник // Природные ресурсы. – 2020. – № 1. – С. 81 – 90.

2. *Wilson Wm. E., Jr.* A Study of Sulfur Dioxide in Photochemical Smog / Wm. E. Wilson Jr., Arthur Levy, and D.B. Wimmer // Journal of the Air Pollution Control Association. – 1972. – Vol. 22. – No 1. – P. 27-32. DOI: 10.1080/00 022470.1972.10469605.
3. *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. – No 6: 00041. DOI: 10.15406/mojes.2017.02.00041.
4. *Anadolu O. O. U.* Atmospheric Concentrations of Inorganic Pollutants (NO₂, SO₂ and Ozone) in Eskisehir: Spatial and Vertical Variations, Weekday-Weekend Differences / O. O. U. Anadolu // University Journal of Science and Technology A- Applied Sciences and Engineering. – 2018. – Vol. 19. No 2. – P. 523 – 535. DOI: 10.18038/aubtda.376520.
5. *Божкова В. В.* Причины «странного» поведения приземного озона в апреле 2019 г. / В.В. Божкова и [др]// Природные ресурсы. – 2021. – № 2. – С. 94 – 103.

ПРИРОДООХРАННЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ОБЕЗВРЕЖИВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СТОКА С УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ENVIRONMENTAL CLEANING MEASURES SURFACE FLOW FROM URBANIZED AREAS

М. М. Мадани

M. Madani

*Одесская национальная академия пищевых технологий ОНАПТ
г. Одесса, Украина*

*Odessa National Academy of Food Technology ONAFT,
Odessa, Ukraine
madanikader50@gmail.com*

В статье предлагается совершенствование методов обеспечения экологической безопасности окружающей среды при очистке поверхностного стока с урбанизированных территорий. Проведен анализ влияния поверхностного стока с урбанизированных территорий на экологическую ситуацию в районе строительства очистных сооружений. Обосновано и экспериментально доказано для г. Одессы необходимость комплексного решения проблемы очистки поверхностного стока с урбанизированных территорий с учетом данных формирования, загрязнения и особенностей дождевых и талых вод.

The article proposes the improvement of methods for ensuring the ecological safety of the environment when cleaning surface runoff from urbanized areas. The analysis of the influence of surface runoff from urbanized areas on the ecological situation in the area of construction of treatment facilities has been carried out. Justified and experimentally proved for the city of Odessa the need for a comprehensive solution to the problem of cleaning surface runoff from urbanized areas, taking into account the data on the formation, pollution and characteristics of rain and melt waters.

Ключевые слова: поверхностный сток, дождевые и талые воды, урбанизированная территория.

Keywords: surface runoff, rain and melt water, urbanized area.

<https://doi.org/10.46646/SAKH-2021-2-352-355>

Введение. Среди факторов, которые негативно влияют на состояние урбанизированных территорий и окружающей среды является загрязненный поверхностный сток. В задачи исследований входило охарактеризовать влияние поверхностного стока с урбанизированной территории на окружающую среду и разработать природоохранные мероприятия по его обезвреживанию (на примере г. Одесса).

На сегодня водотоки г. Одессы преобразованы в объекты преимущественно дождевого питания, поэтому качество их вод в значительной степени зависит от качественного состава поверхностного стока, который в достаточной мере не исследован, изменчивый, и при отсутствии его очистки впоследствии может привести к заиливанию и загрязнению водных экосистем. [1]

Экологическая безопасность городских территорий может быть достигнута лишь при комплексном решении проблемы: от анализа закономерностей образования и загрязнения поверхностного стока к разработке на этой основе комплексных технологических систем его очистки.

Первоочередной задачей было установление закономерностей динамики формирования поверхностного стока для г. Одессы за долгосрочный период (1920-2020 гг.), по данным геофизической обсерватории. Изменение расходов осадков по месяцам, сезонам, годам и периодам представлено в табл. 1.