

Анализ результатов мониторинга тропосферного озона в городе Москве

А. Н. Цедилин^{*}, Д. А. Макаренков^{*,**,1}, А. С. Нартов^{***}

^{}Московский политехнический университет, Москва, Россия*

*^{**}НИЦ «Курчатовский институт» Курчатовский комплекс химических исследований
(ИРЕА), Москва, Россия*

*^{***}Государственный университет по землеустройству, Москва, Россия*

Аннотация

В статье описано негативное влияние тропосферного озона на технобиосферу. Отмечено, что в последние десятилетия скорость роста концентрации тропосферного озона в среднем составляет 1–2% в год и необходимо формирование нового научно-практического направления в обеспечении техносферной безопасности, связанного с природным и техногенным озоном. Для успешного развития этого направления необходимы экспериментально обоснованные реперные значения концентраций тропосферного озона для исследуемых территорий. Показано, что для урбанизированного региона целесообразно использование усредненных во времени и по территории концентраций О₃. Полученная методом статической оценки результатов базы данных ГПБУ «Мосэкомониторинг» среднегодовая за 2022 г. концентрация озона, усредненная по территории города, равная 0.0376 мг/м³, может стать реперным значением на территории города Москвы.

Ключевые слова

Тропосферный озон, технобиосфера, парниковый эффект, озоностойкость, токсичность, статистическая оценка, реперные значения.

Введение

Озон — аллотропное видоизменение кислорода, образование которого в атмосфере обусловлено преимущественно живым веществом [1]. В тропосфере (приземный воздух) присутствие О₃ оказывает существенное воздействие на технобиосферу.

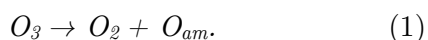
Озон способствует росту парникового эффекта. Парниковые газы — газообразные вещества природного или антропогенного происхождения, которые поглощают и выделяют инфракрасное излучение. Они

обладают высокой прозрачностью в видимом диапазоне и поглощением в инфракрасном диапазоне. Свойства озона, связанные с парниковым эффектом, обусловлены поглощением инфракрасного излучения в полосах 9.4–9.9 мкм с центром 9.65 мкм и коэффициентом прозрачности свыше 0.85. Потенциальный вклад тропосферного озона в рост парникового эффекта атмосферы по различным оценкам составляет 3–7% или около 25% от вклада СО₂ [2].

¹ Для переписки:

Email: makarenkovd@mail.ru

Озон увеличивает окислительную способность тропосферы: наиболее распространенное проявление окислительной способности приземного воздуха — коррозия, самопроизвольное разрушение материалов (металл, керамика, дерево, пластмасса и др.) в результате химического или электрохимического взаимодействия с окружающей средой. Причиной коррозии служит термодинамическая неустойчивость материалов к воздействию атмосферных газов (кислорода и паров воды). O_3 — сильнейший окислитель (сильнее атмосферного кислорода) за счет образования реакционноспособного атомарного кислорода:



Для характеристики его окислительной способности в приземном воздухе используется понятие озоностойкости. O_3 окисляет все металлы, кроме Au и Pt, и большинство неметаллов. Взаимодействует с неметаллами, окисляя их до высших оксидов. Взаимодействует с оксидами (низшие переводит в высшие). Взаимодействует с сульфидами, селенидами и теллуридами, переводя их в сульфаты, селенаты и теллулаты. Многие горючие органические вещества (спирты, кетоны, углеводороды и т. д.) при соприкосновении с озоном воспламеняются или взрываются [3]. Существенно воздействие озона на органические материалы: ткани, пластмассы, резину. Озон по-разному воздействует во влажных и сухих условиях, при высокой и низкой концентрации. Поэтому во многих случаях лучшим методом определения озоностойкости является проведение экспериментального тестирования.

Озон оказывает негативное влияние на живое вещество: являясь активным окислителем, при контакте с живыми структурами O_3 вызывает оксидативный стресс с лавинообразным образованием свободных радикалов, вызывающих их деградацию и

гибель. По параметрам острой токсичности в РФ озон относится к 1 классу опасности [4]. Предельно допустимая концентрация (ПДК) озона в воздухе рабочей зоны — 0.1 мг/м^3 , максимальная разовая ПДК озона в атмосферном воздухе — 0.16 мг/м^3 , средняя суточная ПДК озона в атмосферном воздухе — 0.03 мг/м^3 . Характерный запах озона органолептически начинает ощущаться уже при концентрациях $0.004\text{--}0.015 \text{ мг/м}^3$. Отрицательное влияние озона на растительность является установленным фактом. Увеличение концентрации озона может оказывать как прямое, так и косвенное воздействие на наземные растения. Пороговые концентрации озона для растительности: 0.04 мг/м^3 при 28-часовой экспозиции, 0.059 мг/м^3 при 4-часовой экспозиции и 0.4 мг/м^3 при 1-часовой экспозиции. Такие дозы озона приводят к гибели листы. В случае значительного поражения растительной площади листы и уменьшения вследствие этого поверхности ассимиляции возможна гибель растения. При воздействии озона на разные виды животных общим является раздражение слизистых оболочек, слезотечение, поражение ткани лёгких. Кроме отрицательного влияния на функцию лёгких могут происходить биохимические изменения на клеточном уровне. Токсические действия озона на человека проявляются воздействием на дыхательную и сердечно-сосудистую системы. Клинические и эпидемиологические исследования демонстрируют зависимость между увеличением приземных концентраций озона и частотой бронхолегочных и сердечно-сосудистых заболеваний [5].

В последние десятилетия скорость роста концентрации тропосферного озона в среднем по планете составляет примерно 1–2% в год [6]. Данная тенденция, в совокупности с указанными выше воздействиями O_3 на техносферу, становится

существенным вызовом в XXI в. [7] и формирует новое научно-практическое направление в обеспечении техносферной безопасности, связанное с природным и техногенным озоном. Для его успешного развития необходимы экспериментально обоснованные реперные (опорные, исходные) значения концентраций тропосферного озона для исследуемых территорий.

Целью данной работы является выявление реперных значений концентрации тропосферного озона над территорией города Москвы.

Исследование должно охватывать все климатические сезоны 2022 г. (годовые исследования) для последующих сравнительных наблюдений, изучения воздействия озона на технобиосферу мегаполиса, разработки организационных и санитарно-гигиенических мероприятий.

Методом исследования является статистическая оценка, для которой используется база данных Государственного природоохранного бюджетного учреждения (ГПБУ) «Мосэкомониторинг», осуществляющего квалифицированное регулярное наблюдение за состоянием атмосферного воздуха над территорией города. Статистическая оценка в выявлении реперных значений концентрации тропосферного озона, в отличие от моделирования химического состава атмосферы мегаполиса (COSMO-ART), по мнению авторов, позволяет учесть многофакторность процессов образования и разложения O_3 , трехмерный механизм трансформации кислород–озон и др.

В данной работе также была проведена оценка достоверности ранее выявленных зависимостей.

Экспериментальная часть

Показатели состояния атмосферного воздуха в базе данных ГПБУ «Мосэкомониторинг» представлены как данные автоматических измерительных станций и усреднённые по территории города

концентрации загрязняющих веществ. В таблицу 1 внесены типовые показания измерительных станций, характерные для каждого месяца 2022 г. Минимальные концентрации озона наиболее часто отмечались в Кожуховском проезде, максимальные — в МГУ, Туристской и Полярной улицах. Различие концентраций O_3 в мегаполисе авторы связывают, прежде всего, с антропогенными факторами воздействия на технобиосферу. Представленные в таблице 1 данные измерительных станций свидетельствуют о существенном и постоянном различии концентраций O_3 над территорией мегаполиса и детерминируют использование для определения реперных значений усреднённые по территории города часовые концентрации тропосферного озона (представленные в базе данных ГПБУ «Мосэкомониторинг» в виде ежедневного графика). Среднегодовые результаты O_3 $C_{ср} = 0.0376$ мг/м³ (1.25 ПДКсс), усредненные по территории города, целесообразно использовать в качестве реперных значений показателей концентрации тропосферного озона над территорией города Москвы за 2022 г. При этом следует учитывать сезонность концентраций тропосферного озона. В весенне-летний период среднемесячная концентрация O_3 $C_{ср} = 0.0509$ мг/м³ (1.69 ПДКсс), в осенне-зимний период $C_{ср} = 0.242$ мг/м³ (0.81 ПДКсс). Исследования характера ежедневных часовых графиков концентраций озона, усредненных по территории города, позволили предположить, что на реперные значения оказывают влияние: миграция стратосферного озона через тропопаузу, тропосферные потоки озона московского региона, фотохимические реакции образования озона из его предшественников. При этом необходимо учитывать, что мощности стратосферного и фотохимического источников озона в тропосфере примерно равны [8].

Таблица 1 — Данные измерительных станций для различных дней и месяцев.

03.01, 11.00, –08.0 °С, облачно с прояснениями, УФ-0 низкий, магнитное поле спокойное. ОЗ МГУ — 0.110 ПДКмр, Туристская — 0.106 ПДКмр, Останкино — 0.064 ПДКмр., Полярная — 0.076 ПДКмр, Кожухово — 0.223 ПДКмр, Лосиный остров — 0.325 ПДКмр.
02.02, 24.00, –06.0 °С, небольшой снег, УФ-1 низкий, магнитное поле возмущенное. Оз МГУ — 0.208 ПДКмр, Туристская — 0.107 ПДКмр Останкино — 0.042 ПДКмр, Полярная — 0.044 ПДКмр, Кожухово — нет ПДКмр Лосиный остров — 0.008 ПДКмр.
17.03, 12.00, –01.0 °С, УФ-2 низкий, магнитное поле спокойное. Оз МГУ — 0.289 ПДКмр, Туристская — 0.448 ПДКмр, Останкино — 0.453 ПДКмр, Полярная — 0.237 ПДКмр, Кожухово — 0.302 ПДКмр, Лосиный остров — 0.556 ПДКмр.
10.04, 11.30, 07.0 °С, УФ-2 низкий, магнитное поле спокойное. Оз МГУ — нет ПДК мр, Туристская — 0.611 ПДК мр, Останкино — 0.259 ПДК мр, По- лярная — 0.285 ПДК мр, Кожухово — 0.104 ПДК мр, Лосиный остров — 0.275 ПДК м.р.
27.05, 12.00, 12.0 °С, УФ-2 низкий, магнитное поле спокойное. Оз МГУ — 0.387 ПДКмр, Туристская — 0.583 ПДКмр, Останкино — 0.439 ПДКмр, Полярная — нет ПДКмр, Кожухово — 0.215 ПДКмр, Лосиный остров — 0.287 ПДКмр.
02.06, 10.00, 21.0 °С УФ-2 низкий, магнитное поле спокойное. Оз МГУ — 0.329 ПДКмр, Туристская — 0.440 ПДКмр, Останкино — 0.415 ПДКмр, Полярная — нет ПДКмр, Кожухово — нет ПДКмр, Лосиный остров — 0.273 ПДКмр.
15.07, 21.00, 19.0 °С, УФ-6 высокий, магнитное поле спокойное. Оз МГУ — 0.249 ПДКмр, Туристская — нет ПДКмр, Останкино — нет ПДКмр., Полярная — 0.360 ПДКмр, Кожухово — 0.152 ПДКмр, Лосиный остров — 0.258 ПДКмр.
15.08, 14.00, 29.0 °С, УФ-4 средний, магнитное поле слабо возмущенное. Оз МГУ — 0.551 ПДКмр, Туристская — 0.590 ПДКмр, Останкино — 0.594 ПДКмр, Полярная — 0.556 ПДКмр, Кожухово — 0.348 ПДКмр, Лосиный остров — нет ПДКмр, Кожуховский проезд — 0.298 ПДКмр.
18.09, 20.30, 13.0 °С УФ-2 низкий, магнитное поле возмущенное. Оз МГУ — 0.036 ПДК мр, Туристская — 0.142 ПДКмр Останкино — 0.132 ПДКмр, Полярная — 0.145 ПДКмр, Кожухово — 0.131 ПДКмр, Лосиный остров — нет ПДКмр, Кожуховский проезд — 0.064 ПДКмр.
30.10, 12.00, 08.0 °С, УФ-1 низкий, магнитное поле неустойчивое. ОЗ МГУ — 0.200 ПДКмр, Туристская — 0.399 ПДКмр, Останкино — 0.429 ПДКмр, Полярная — 0.401 ПДКмр, Кожухово — 0.308 ПДКмр, Лосиный остров — нет ПДКмр, Кожуховский проезд — 0.229 ПДКмр.
19.11, 13.00, –4.0 °С, УФ-0 низкий, магнитное поле спокойное. МГУ — 0.103 ПДКмр, Туристская — 0.068 ПДКмр, Останкино — 0.056 ПДКмр, Полярная — 0.071 ПДКмр, Кожухово — 0.050 ПДКмр, Лосиный остров — 0.046 ПДКмр, Кожуховский проезд — 0.036 ПДКмр.
17.12, 13.00, –4.0 °С, УФ-0 низкий, магнитное поле спокойное. ОЗ МГУ — 0.055 ПДКмр, Туристская — 0.064 ПДКмр, Останкино — 0.142 ПДКмр, Полярная — 0.103 ПДКмр, Кожухово — 0.125 ПДКмр, Лосиный остров — 0.162 ПДКмр, Кожуховский проезд — 0.039 ПДКмр.

Таблица 2 — Средние значения усредненных по территории города часовых концентрации тропосферного озона для различных месяцев 2022 г. (мг/м³)

Месяц	Среднемесячное значение, мг/м ³	Максимальное месячное значение, мг/м ³	Минимальное месячное значение, мг/м ³
январь	0.0306	0.0758	0.0022
февраль	0.0422	0.0793	0.0021
март	0.0507	0.0950	0.0041
апрель	0.0594	0.1060	0.0031
май	0.0585	0.1129	0.0066
июнь	0.0461	0.1267	0.0022
июль	0.0442	0.1170	0.0027
август	0.0469	0.1396	0.0025
сентябрь	0.0207	0.0606	0.0030
октябрь	0.0191	0.0624	0.0028
ноябрь	0.0173	0.0623	0.0014
декабрь	0.0155	0.0522	0.0014
Среднегодовые результаты	0.0376 (1.25 ПДК _{сс})	0.1396 (4.65 ПДК _{сс})	0.0013 (0.04 ПДК _{сс})

Таблица 3 — Превышение среднемесячных концентраций, усредненных по территории города

Дата	Время	Средние концентрации, мг/м ³
02.07	08.00 — 20.00	С _{ср} = 0.0862 (2.87 ПДК _{сс})
06.08	08.00 — 20.00	С _{ср} =0.0933 (3.1 ПДК _{сс})
14.11	08.00 — 20.00	С _{ср} =0.0486 (1.62 ПДК _{сс})
27.12	00.00 — 09.00	С _{ср} =0.0435 (1.45 ПДК _{сс})

В весенне-летний период доминируют мощности фотохимических источников, в осенне-зимний период доминируют мощности стратосферных источников.

В исследуемый период фиксировались кратковременные существенные превышения среднемесячных концентраций О₃, способных оказывать негативное воздействие на живое вещество (таблица 3).

Это явление может быть связано с тропосферными потоками озона в московском регионе.

Проведённые сравнения усреднённых по территории города концентраций тропосферного озона в жилых районах и вблизи автотрасс представлены в таблице 4.

Усреднённые по территории города концентрации озона в жилых районах практически всегда существенно превышали концентрации вблизи автотрасс, что позволяет предположить влияние автотранспортного загрязнения городского воздуха на концентрацию тропосферного О₃. Превышение озона вблизи автотрасс над концентрациями в жилых районах зафиксировано 08.11. Сопоставимые концентрации отмечались 19.07 и 20.07. Корреляция усреднённых по территории города приоритетных загрязняющих веществ показала, что наибольшее влияние на О₃ оказывают NO₂ и PM₁₀ (обратная зависимость).

Таблица 4 — Максимальные усреднённые по территории города концентрации озона в жилых районах и вблизи автотрасс

Дата	Максимальные усреднённые по территории города концентрации озона в жилых районах, мг/м ³	Максимальные усреднённые по территории города концентрации озона вблизи автотрасс, мг/м ³
10.01	0.0353	0.0118
17.02	0.0758	0.0441
27.03	0.0822	0.0578
18.04	0.0956	0.0469
15.05	0.0790	0.0500
09.06	0.1267	0.0854
20.07	0.0495	0.0429
06.08	0.0394	0.0193
22.09	0.0291	0.0106
04.10	0.0411	0.0289
08.11	0.0076	0.0142
17.12	0.0185	0.0102

Таблица 5 — Максимальные усреднённые по территории города концентрации озона в жилых районах в светлый и тёмный период суток

Дата	Максимальные усреднённые по территории города концентрации озона в жилых районах в светлый период суток, мг/м ³	Максимальные усреднённые по территории города концентрации озона в жилых районах в тёмный период суток, мг/м ³
07.01	0.0520	0.0573
08.01	0.0524	0.0520
10.02	0.0405	0.0626
11.02	0.0581	0.0724
25.12	0.0472	0.0503
26.12	0.0222	0.0514

Другие газы и атмосферные загрязнения, представленные в базе данных ГПБУ «Мосэкомониторинг» (CO , SO_2 , CH_4 , H_2S , NH_3 , NO , $\text{PM}_{2,5}$, C_6H_6 , C_{10}H_8 , C_8H_8 , C_7H_8 , $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$, CH_2O), влияние на концентрацию озона практически не оказывают.

В проводимых ранее работах [9] отмечалась сопоставимость наибольших значений тропосферного озона в светлый и темный период суток. В данных исследованиях подобная сопоставимость и превышение концентраций в темный период суток над светлым неоднократно отмечалась в зимний период.

Полученные значения позволяют предположить отсутствие влияния фотохимических реакций образования озона в зимний сезон (небольшой светлый период, низкий УФ) и доминирование стратосферных источников.

Обсуждение и анализ полученных результатов

Полученные результаты за 2022 г. позволили экспериментально установить реперные значения концентраций тропосферного озона над территорией города Москвы (крупнейшего северного мегаполиса мира), которые целесообразно использовать для оценки локальных и планетарных изменений в атмосферном воздухе и прогноза его комплексного воздействия на технобиосферу. Сопоставление с ранее выявленными зависимостями позволяет предположить, что O_3 является трансформируемым атмосферным газом. Концентрации определяются одновременно протекающими физико-химическими реакциями его образования и разложения, миграцией из стратосферы и в тропосфере, фотохимическими реакциями образования из «предшественников».

Заключение

1. Тропосферный озон в силу своих физико-химических свойств негативно воздействует на технобиосферу, и его

концентрации должны непрерывно контролироваться.

2. Концентрация тропосферного озона формируется миграцией O_3 из стратосферы и в тропосфере, фотохимическими реакциями образования из «предшественников».

3. Локальные концентрации тропосферного озона над урбанизированными территориями постоянно и существенно различаются.

4. Для оценки изменений концентрации тропосферного озона целесообразно использовать реперные значения — среднегодовые или среднемесячные сезонные концентрации O_3 , усредненные по территории.

5. Реперным значением на территории города Москвы может стать среднегодовая за 2022 г. концентрация озона, усредненная по территории города и равная 0.0376 мг/м^3 .

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1]. Вернадский В. И. Биосфера и ноосфера. Москва, Издательство АСТ, 2022, 640 с.
- [2]. Изменение климата, 2007 г.: Обобщающий доклад. МГЭИК. Женева, Швейцария, 2008, 104 с.
- [3]. Некрасов Б. В. Н48 Основы общей химии. В 2 томах. Т. 1, 4-е изд., стер.-СПб., Издательство «Лань», 2003, 656 с.
- [4]. ГОСТ 12.1.007-76. «Система стандартов безопасности труда. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности».
- [5]. Котельников С. Н. Основные механизмы взаимодействия озона с живыми системами и особенности приземного озона для России. РАН *Труды института общей физики им. А. М. Прохорова*, т. 71, 2015, с. 10–38.

[6]. Laurence Y. Yeung, Lee T. Murray, Patricia Martinerie et al. Isotopic constraint on the twentieth century increase in tropospheric ozone. *Nature*, 2019, vol. 570, pp. 224–227.

DOI: 10.1038/s41586-019-1277-1

[7]. Ларин И. К. История озона. М., РАН, 2022, 478 с.

[8]. Куколева А. А. Стратосферный источник тропосферного озона и его связь с динамикой атмосферы: дис. на соиск.

учен. степ. канд. физ.-мат. наук: 25.00.29. Физика атмосферы и гидросферы.г. Долгопрудный, 2003, 136 с.

[9]. Систер В. Г., Цедилин А. Н., Василенко А. П. Вопросы экологической безопасности тропосферного воздуха в мегаполисе. *Современные проблемы науки и образования*, 2017, № 6, с. 269.

Цедилин Андрей Николаевич — канд. техн. наук, Московский политехнический университет (Российская Федерация, 107023, Москва, ул. Большая Семёновская, д. 38).

Макаренков Дмитрий Анатольевич — д-р техн. наук, заместитель директора по науке, НИЦ «Курчатовский институт» Курчатовский комплекс химических исследований (ИРЕА) (Российская Федерация, 107076, Москва, ул. Богородский Вал, д. 3), доцент кафедры «Процессы и аппараты химических технологий», Московский политехнический университет (Российская Федерация, 107023, Москва, ул. Большая Семёновская, д. 38).

Нартов Александр Сергеевич — канд. геогр. наук, доцент кафедры Геоэкологии и природопользования, Государственный университет по землеустройству (Российская Федерация, 105064, Москва, ул. Казакова, д. 15).

Analysis of the results of monitoring tropospheric ozone in Moscow

A. N. Tsedilin^{*}, D. A. Makarenkov^{*,**,1}, A. S. Nartov^{***}

^{*}*Moscow Polytechnic University, Moscow, Russia*

^{**}*National Research Center "Kurchatov Institute" — IREA, Moscow, Russia*

^{***}*State University of Land Use Planning, Moscow, Russia*

Abstract

The article describes the negative impact of tropospheric ozone on the technobiosphere. It is noted that in recent decades, the growth rate of tropospheric ozone concentration has averaged 1–2% per year and it is necessary to form a new scientific and practical direction in ensuring technosphere safety related to natural and technogenic ozone. For its successful development, experimentally substantiated reference values of tropospheric ozone concentrations for the study areas are required. It has been shown that for an urbanized region it is advisable to use O₃ concentrations averaged over time and over the territory. The average annual ozone concentration for 2022 obtained by the method of static assessment of the results of the database of the State Budgetary Institution "Mosecomonitoring" for 2022, averaged over the city territory and equal to 0.0376 mg/m³, can become a reference value in the territory of Moscow.

Keywords

Tropospheric ozone, technobiosphere, greenhouse effect, ozone resistance, toxicity, statistical assessment, reference values.

REFERENCES

- [1]. Vernadskiy V. I. Biosfera i noosfera [Biosphere and noosphere]. Moscow, AST Publ, 2022, 640 p. (In Russ.)
- [2]. Izmeneniye klimata, 2007: Obobshchayushchiy doklad [Climate Change 2007: Synthesis Report]. MGEIK. Zheneva, Shveytsariya, 2008, 104 p. (In Russ.)
- [3]. Nekrasov B. V. N 48 Osnovy obshchey khimii. [Fundamentals of general chemistry], vol. 1, SPb., «Lan'» Publ., 2003, 656 p. (In Russ.)
- [4]. GOST 12.1.007-76. «Sistema standartov bezopasnosti truda. Vrednyye veshchestva. Klassifikatsiya i obshchiye trebovaniya bezopasnosti» [System of occupational safety standards. Harmful substances. Classification and general safety requirements]. (In Russ.)
- [5]. Kotelnikov S. N. Osnovnyye mekhanizmy vzaimodeystviya ozona s zhivymi sistemami i osobennosti prizem-nogo ozona dlya Rossii [Basic mechanisms of interaction of ozone with living systems and features of ground-level ozone for Russia]. RAN Trudy instituta obshchey fiziki im. A. M. Prokhorova [Proceedings of the Institute of General Physics named after A. M. Prokhorova], vol. 71, 2015, pp. 10–38. (In Russ.)

¹ Corresponding author:

Email: makarenkovd@mail.ru

[6]. Laurence Y. Yeung, Lee T. Murray, Patricia Martinerie et al. Isotopic constraint on the twentieth century increase in tropospheric ozone. *Nature*, 2019, vol. 570, pp. 224–227.

DOI: 10.1038/s41586-019-1277-1

[7]. Larin I. K. Istoriya ozona [History of ozone]. M., RAN, 2022, 478 p.

[8]. Kukoleva A. A. Stratosfernyy istochnik troposfernogo ozona i yego svyaz' s dinamikoy atmosfery [Stratospheric source of tropospheric ozone and its connection with

atmospheric dynamics], PhD thesis, Dolgoprudnyy, 2003, 136 p. (In Russ.)

[9]. Sister V. G., Tsedilin A. N., Vasilenko A. P. Voprosy ekologicheskoy bezopasnosti troposfernogo vozdukh v megalopole [Issues of environmental safety of tropospheric air in a megalopolis]. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2017, № 6, p. 269. (In Russ.)

Tsedilin A. N. — Cand. Sc. (Eng.), Moscow Polytechnic University (B. Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russian Federation).

Makarenkov D. A. — Dr. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Deputy Director for Science, NRC "Kurchatov Institute" — IREA (Bogorodsky Val., 3, Moscow, 107076, Russian Federation), Assoc. Professor, Department «Processes and Apparatus of Chemical Technologies», Moscow Polytechnic University (B. Semenovskaya st., 38, Moscow, 107023, Russian Federation).

Nartov A. S. — Cand. Sc. (Geog.), Assoc. Professor, Department of Geoecology and Environmental Management, State University of Land Use Planning (Kazakova st., 15, 105064, Moscow, Russian Federation).

Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:

Анализ результатов мониторинга тропосферного озона в городе Москве / А. Н. Цедилин, Д. А. Макаренков, А. С. Нартов // Промышленные процессы и технологии. 2023. Т. 3. № 3(10). С. 32 – 41.

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-3(10)-32-41

Please cite this article as:

Tsedilin A. N., Makarenkov D. A., Nartov A. S. Analysis of the results of monitoring tropospheric ozone in Moscow. *Industrial processes and Technologies*, 2023, vol. 3, no. 3(10), pp. 32 – 41.

DOI: 10.37816/2713-0789-2023-3-3(10)-32-41