

## Высотное распределение диоксида азота на территории Приволжского федерального округа

Г.И. Шишкин, В.В. Гурьянов<sup>✉</sup>

*Казанский (Приволжский) федеральный университет, Российская Федерация  
(420097, г. Казань, ул. Товарищеская, 5)*

**Аннотация.** Цель – изучение особенностей высотного распределения диоксида азота в тропо- и стратосфере Приволжского федерального округа (ПФО) за период 2003-2023 гг.

**Материалы и методы.** Исходными данными послужили многоуровневые данные глобального реанализа CAMS (EAC4) по ПФО за рассматриваемый временной период.

**Результаты и обсуждение.** Проанализирована сезонная вариация содержания  $\text{NO}_2$  в толще тропо- и стратосферы, а также проведён тренд-анализ.

**Выводы:** 1. Среднее содержание  $\text{NO}_2$  максимально вблизи 1000 гПа (12700 ppt), с увеличением высоты резко падает ( $\leq 38$  ppt на 18 км). Вблизи 10 гПа наблюдается рост (до 5900 ppt). В слоях 5-1 гПа вновь снижается ( $\leq 124$  ppt). 2. Сезонная изменчивость  $\text{NO}_2$  проявляется в разной степени на различных барических уровнях: на уровнях 1000-700 гПа максимумы среднего содержания  $\text{NO}_2$  наблюдаются зимой-весной, минимумы – летом; на 500-200 гПа максимумы отмечены зимой, минимумы – весной; в слое 100-10 гПа максимумы выявлены весной-летом, минимумы – зимой; на 7-1 гПа максимумы концентрации  $\text{NO}_2$  осенью, минимумы – в весенне-летний период. 3. Вблизи земли значимое накопление  $\text{NO}_2$  летом до 830 ppt/10 лет. В зимний период значимая тенденция к расщеплению примеси  $> 1110$  ppt/10 лет в южных и юго-восточных районах ПФО. Выше 9 км зафиксирована значимая тенденция к накоплению  $\text{NO}_2$  в весенне-летний период. Так, на уровне 10 гПа в мае КНЛТ достиг 256,5 ppt/10 лет. В осенне-зимний период значимых тенденций  $\text{NO}_2$  не обнаружено.

**Ключевые слова:** тропосфера, стратосфера, загрязняющие вещества, атмосферные примеси, диоксид азота.

**Для цитирования:** Шишкин Г.И., Гурьянов В.В. Высотное распределение диоксида азота на территории Приволжского федерального округа // Вестник Воронежского государственного университета, Серия: География. Геоэкология, 2025, № 3, с. 136-141. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/3/136-141>

### ВВЕДЕНИЕ

Исследования состава атмосферы приобретают особую значимость в свете современных проблем климатологии и экологии. Цель работы состоит в комплексном изучении высотного распределения  $\text{NO}_2$  на различных барических уровнях (от 1000 до 1 гПа) и тенденциях его изменчивости за период 2003-2023 гг. на территории ПФО – крупного экономического центра страны с высоким уровнем промышленного производства и транспортной активности.

Оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ), в целом, относятся к одним из самых важных ингредиентов-загрязнителей воздуха [4, 5]. Диоксид азота является климатически и экологически значимой переменной, принимая участие во множестве атмосферных реакций, в том числе, участвуя в генерации тропосферного и разложении стратосферного озона [1, 2]. Процессы, связанные с преобразованием  $\text{NO}_2$  в атмосфере, приводят к образованию азотистой кислоты ( $\text{HONO}$ ), которая является значимым предшественником радикала ОН. Этот радикал, обладая высокой окислительной способностью, выполняет функцию «моющего средства» для атмосферы [10].  $\text{NO}_2$  входит в число примесей, мониторингом содержания которых

системно занимаются территориальные подразделения Росгидромета, и по которым довольно часто фиксируются превышения предельных допустимых концентраций [6-9]. Таким образом, понимание структуры и динамики распределения  $\text{NO}_2$  в атмосфере крайне важно.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исходным материалом исследования послужили данные реанализа EAC4 (CAMS) за период 2003-2023 гг. с горизонтальным разрешением  $0,75^\circ \times 0,75^\circ$  по широте/долготе (около 80 км), представленные изучаемой переменной по барическим уровням: 1000, 950, ... 1 гПа [3]. EAC4 (CAMS) интегрирует модельные данные с глобальными наблюдениями, основываясь на принципах ассимиляции данных. Система усвоения способна оценивать погрешности между наблюдениями и качественно дифференцировать данные. Выбор конкретного временного интервала обусловлен недостаточной плотностью сети до 2003 года, что вызывало неточности в анализе.

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Содержание диоксида азота в атмосфере представляет собой сложную систему, зависящую от совокупности физико-химических процессов, происходящих в разных её слоях. Согласно проведённым расчётом, со-

© Шишкин Г.И., Гурьянов В.В., 2025

✉ Гурьянов Владимир Владимирович, e-mail: Vladimir.Guryanov@kpfu.ru



Контент доступен под лицензией Creative Commons Attribution 4.0 License.

держание  $\text{NO}_2$  в атмосфере существенно варьируется в зависимости от высоты и атмосферного давления. Максимальное содержание выявлено вблизи земной поверхности (до 12700 ppt), где доминируют мощные антропогенные источники выбросов: объекты промышленности, ТЭС, автотранспорт. Ещё одним важным источником образования  $\text{NO}_2$  в более верхних слоях является процесс фотохимического преобразованияmonoоксида азота (NO) под воздействием солнечных лучей. По мере увеличения высоты до 70-мб поверхности, концентрация  $\text{NO}_2$  резко падает (на высоте 18 км не превышает 38 ppt). Этому способствуют снижение плотности атмосферы, уменьшение содержания оксида азота (NO), ограниченность эмиссионного вклада и преобладание реакции фотолиза. Однако, вблизи 10-мб поверхности вновь фиксируется постепенный рост концентрации  $\text{NO}_2$  (до 5900 ppt), что связано с наличием слоя повышенной концентрации озона, активноучаствующего в реакциях образования и трансформации азотистых соединений.  $\text{O}_3$  способен инициировать реакцию восстановления  $\text{N}_2\text{O}_5$ , до  $\text{HONO}$ , который впоследствии преобразуется в  $\text{NO}_2$ . Кроме того, вторичными источниками образования небольшого количества  $\text{NO}_2$  являются электрическая активность атмосферы, а также космическое излучение. Далее, в слоях 5-1 гПа уровень  $\text{NO}_2$  снова снижается (не превышая 124 ppt на 1-мб поверхности). Объясняется это ослаблением роли фотоиницированных реакций, дефицитом кислородных соединений и низкой плотностью атмосферы, что делает невозможным значительное накопление и удерживание загрязняющих веществ.

Выявлена выраженная сезонная изменчивость средних значений  $\text{NO}_2$ . В различных слоях атмосферы наблюдались сезонные сдвиги, обусловленные множеством факторов.

Так, на уровнях 1000-700 гПа, минимумы средних концентраций вещества наблюдаются в летний, мак-

суммы – в зимне-весенний период. Можно предположить, что это связано с сезонными изменениями в эмиссии  $\text{NO}_2$ ; в зимний период в структуру эмиссии в регионе включается работа отопительных систем, что приводит к повышению выбросов  $\text{NO}_2$  в нижних слоях тропосферы. Кроме того, в зимний период на фоне возрастающей циклонической активности на территории ПФО происходит интенсивное турбулентное перемешивание, что способствует выносу  $\text{NO}_2$  из нижних слоев тропосферы в более высокие. Летние месяцы характеризуются высокими температурами и значительно более активным фотохимическим разложением  $\text{NO}_2$ , что способствует снижению его концентрации.

На уровнях 500-200 гПа, где минимумы наблюдаются в марте, а относительные максимумы средних концентраций – в декабре-январе, что связано с фотохимическими и атмосферными процессами. С одной стороны, в мартовский минимум может объясняться быстрым темпом фотохимического разложения, на фоне роста солнечной активности, с другой стороны, нестабильностью атмосферных условий. В зимний период фотохимическая активность минимальна, что ограничивает разложение  $\text{NO}_2$ .

Далее, на уровнях 100-10 гПа минимумы фиксируются уже в зимний период, а максимумы – в весенне-летний на фоне активизации фотохимических реакций с участием озона и образованием молекул диоксида азота и кислорода.

Наконец, на уровнях 7-11 гПа минимумы среднего содержания  $\text{NO}_2$  фиксируются в весенне-летний период, а максимумы – осенью. На данных высотах, в условиях разреженной атмосферы, единственным актуальным механизмом формирования и разрушения  $\text{NO}_2$  остаётся фотохимия. Реакции фотолиза здесь происходят очень быстро. При этом в отсутствии активных процессов восстановления  $\text{NO}_2$  (в частности, реакции

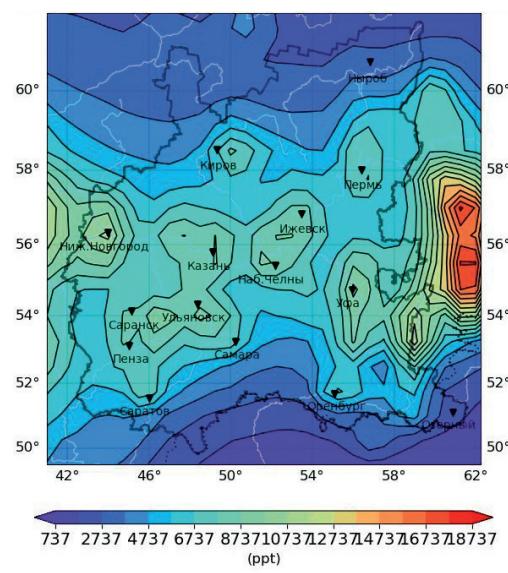
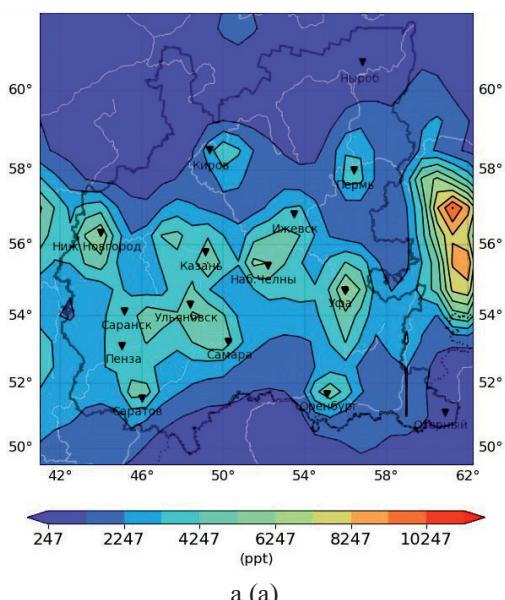


Рис 1. Среднее содержание  $\text{NO}_2$  на 1000-мб поверхности в а) июне; б) январе за период 2003-2023 гг.  
 [Fig. 1. Average  $\text{NO}_2$  content per 1000-mb surface area in a) June; b) January for the period 2003-2023]

с озоном, которого в этих слоях крайне мало), свободный  $\text{NO}_2$  не накапливается. Осенью, при ослаблении солнечной активности, фотолиз  $\text{NO}_2$  замедляется. Ранее разорвавшиеся молекулы NO начинают восстанавливаться в  $\text{NO}_2$  благодаря другим фотохимическим реакциям.

Ниже приведены карты (рис. 1-3), демонстрирующие вариацию средних полей  $\text{NO}_2$  вблизи земли, на уровнях 500 гПа, а также 50 гПа. В качестве наиболее показательных приведены карты с минимальными (а) и максимальными (б) значениями средних концентраций  $\text{NO}_2$  на соответствующих уровнях за период 2003-2023 гг.

Для выявления тенденции изменчивости был вычислен коэффициент наклона линейного тренда содер-

жания  $\text{NO}_2$  в тропо- и стратосферных слоях на территории ПФО за рассматриваемый временной период. Вблизи земли значимое накопление  $\text{NO}_2$  отмечено в летний период с максимальными значениями вблизи крупных промышленных городов (более 830 ppt/10 лет) (рис. 4б). Несмотря на высокие показатели среднего содержания  $\text{NO}_2$  в зимний период, в декабре значимое накопление примеси отмечено лишь локально, а в феврале в южных и юго-восточных районах ПФО наблюдается значимая тенденция к рассеянию примеси. Данный факт объясняется отсутствием в этих районах крупных источников эмиссии (рис. 4а), а также макромасштабной циклонической деятельностью в зимний сезон в регионе, которая способствует вымыванию и

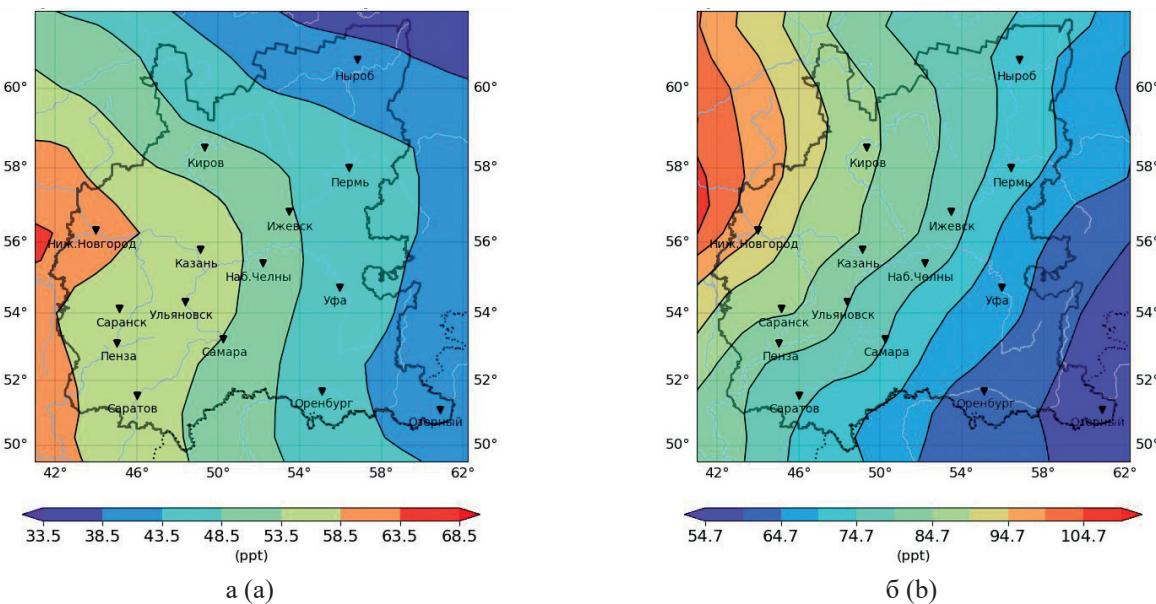


Рис. 2. Среднее содержание  $\text{NO}_2$  на 500-мб поверхности в а) марте; б) декабре за период 2003-2023 гг.  
[Fig. 2. Average  $\text{NO}_2$  content per 500-mb surface in a) March; b) December for the period 2003-2023]

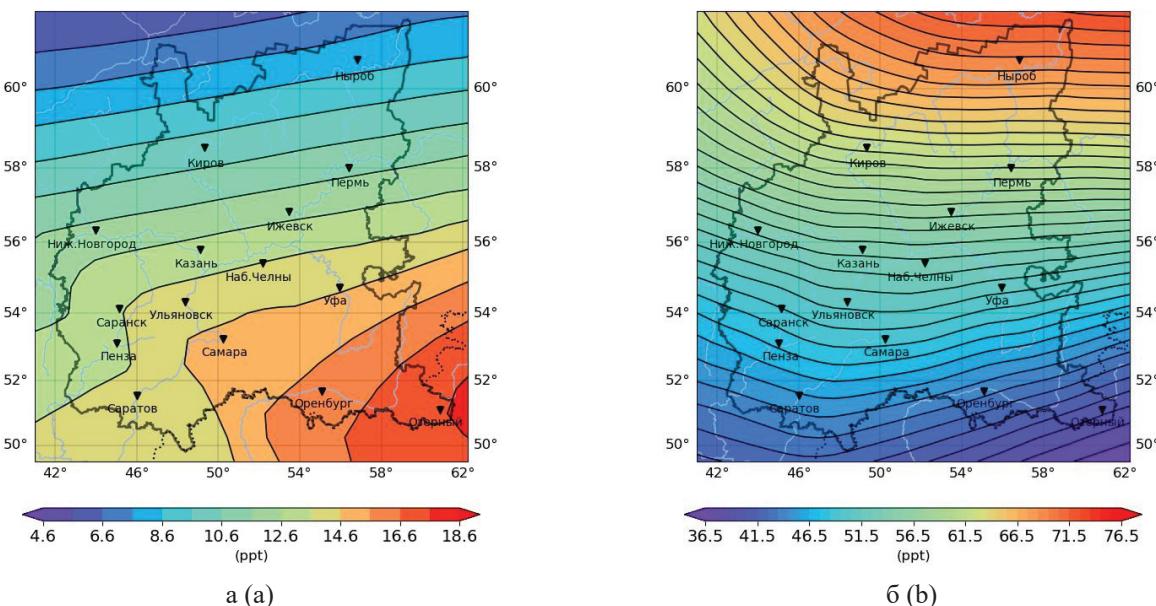
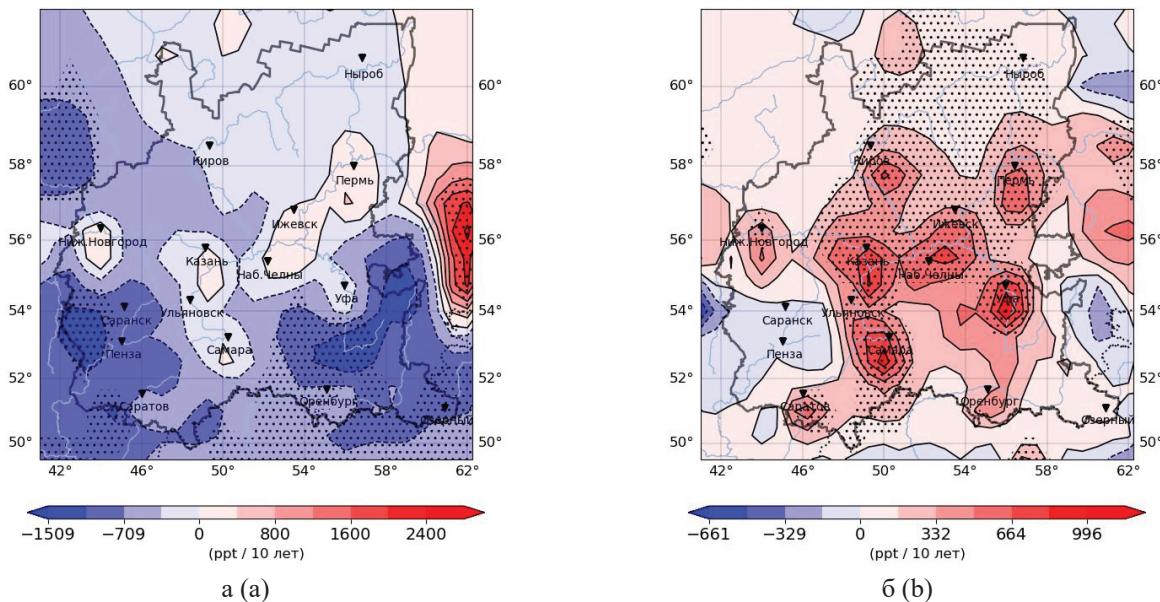


Рис. 3. Среднее содержание  $\text{NO}_2$  на 50-мб поверхности в а) декабрь; б) март за период 2003-2023 гг.  
[Fig. 3. Average  $\text{NO}_2$  content per 50-mb surface in a) December; b) March for the period 2003-2023]

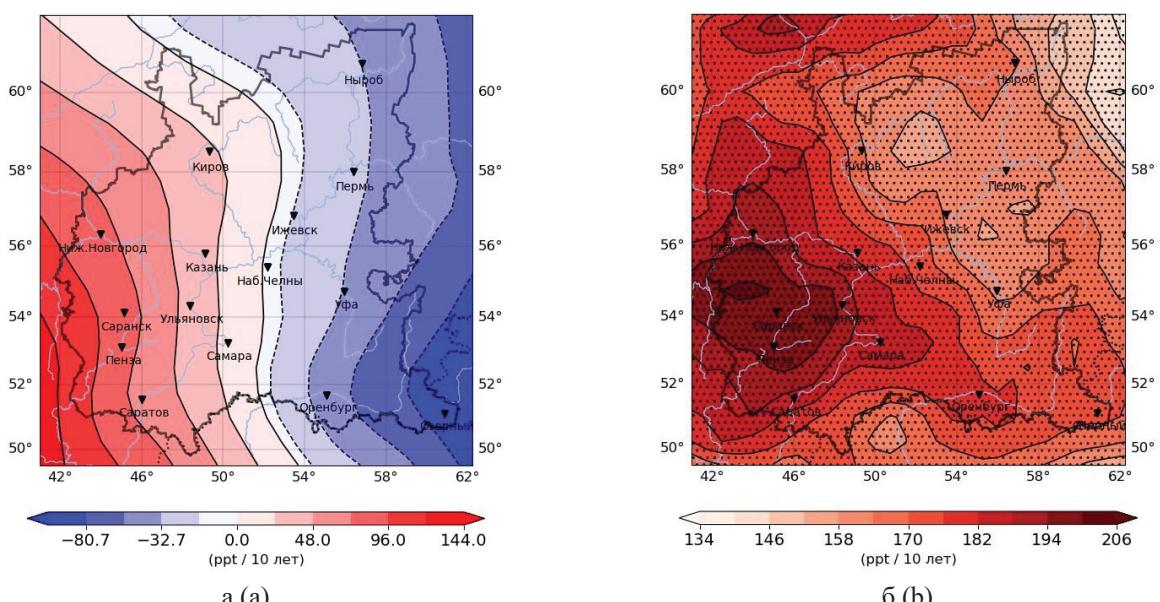
## Высотное распределение диоксида азота на территории Приволжского федерального округа



*Rus. 4. Коэффициент наклона линейного тренда содержания NO<sub>2</sub> на 1000-мб поверхности в а) феврале; б) июле за период 2003-2023 гг. (точками отмечены области со значимостью 95 % и выше)*

[Fig. 4. Slope coefficient of the linear trend of NO<sub>2</sub> content per 1000-mb surface

in a) February; b) July for the period 2003-2023 (dots marked areas with a significance of 95% and higher)]



*Rus. 5. Коэффициент наклона линейного тренда содержания NO<sub>2</sub> на 10-мб поверхности в а) январе; б) июле за период 2003-2023 гг. (точками отмечены области со значимостью 95% и выше)*

[Fig. 5. Slope coefficient of the linear trend of NO<sub>2</sub> content per 10-mb surface

in a) January; b) July for the period 2003-2023 (dots marked areas with significance of 95% and higher)]

рассеянию NO<sub>2</sub> из нижних и средних слоёв тропосфера (вплоть до 7 км высоты).

Выше 9 км в атмосфере при активном влиянии описанных выше фотохимических процессов наблюдается значимая тенденция к накоплению NO<sub>2</sub> в период в весенне-летних максимумов его концентрации. Так, на уровне 10 гПа в мае КНЛТ достиг 256,5 ppt/10 лет; в осенне-зимний период года значимых тенденций выявлено не было (рис. 5).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в ходе исследования, за период 2003-2023 гг. были выявлены следующие закономерности:

1. Содержание NO<sub>2</sub> максимально вблизи земной поверхности (достигая 12700 ppt). По мере увеличения высоты концентрация NO<sub>2</sub> падает ( $\leq 38$  ppt на высоте 18 км), что обусловлено уменьшением плотности атмосферы, снижением содержания NO и реакцией фотолиза. Вблизи 10 гПа наблюдается рост концентрации

NO<sub>2</sub> (до 5900 ppt), обусловленный наличием слоя повышенной концентрации озона, участвующего в восстановлении NO<sub>2</sub>. В слоях 5–1 гПа концентрация NO<sub>2</sub> снова снижается ( $\leq 124$  ppt), что связано с ослаблением фотохимических реакций, низким содержанием кислородных соединений и недостаточной плотностью атмосферы, препятствующими накоплению NO<sub>2</sub>.

2. Сезонная изменчивость NO<sub>2</sub> проявляется в разной степени на различных поверхностях:

- В слое 1000–700 гПа максимумы среднего содержания NO<sub>2</sub> наблюдаются зимой–весной, минимумы – летом, что связано с сезонными изменениями эмиссии и турбулентностью атмосферы.

- На уровнях 500–200 гПа максимумы отмечены зимой, минимумы – весной, что обусловлено фотохимическими и атмосферными процессами.

- В слое 100–10 гПа максимумы зарегистрированы весной–летом, минимумы – зимой, что связано с фотохимическими реакциями и восстановительными процессами.

- На уровнях 7–1 гПа максимумы концентрации NO<sub>2</sub> фиксируются осенью, минимумы – весной–летом, что обусловлено динамикой фотохимических процессов и отсутствием значимых источников восстановления NO<sub>2</sub> в остальные времена года.

3. Вблизи земли значимое накопление NO<sub>2</sub> наблюдается летом вблизи крупных промышленных центров (до 830 ppt/10 лет). В зимний период значимое накопление отмечено лишь локально вблизи от крупных источников эмиссии, в южных и юго-восточных районах ПФО – тенденция к рассеянию примеси ( $> 1110$  ppt/10 лет). Выше 9 км в атмосфере зафиксирована значимая тенденция к накоплению NO<sub>2</sub> в весенне–летний период. Так, на уровне 10 гПа в мае КНЛТ достиг величины 256,5 ppt/10 лет. В осенне–зимний период значимых тенденций NO<sub>2</sub> не обнаружено.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.

1. Белан Б.Д. Тропосферный озон. 6. Компоненты озона новых циклов // *Оптика атмосферы и океана*, 2009, № 4, с. 358–379.

2. Глобальная система наблюдения за климатом (ГСНК). – URL: <https://gcos.wmo.int/ru/node/24857/> (дата обращения: 01.06.2025). – Текст электронный.

3. Данные реанализа состава атмосферы ECMWF четвертого поколения. – URL: <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cdsapp#!/dataset/cams-global-reanalysis-eac4?tab=overview> (дата обращения: 30.04.2025). – Текст: электронный.

4. О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2022 году: государственный доклад. Москва: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2023. 368 с.

5. Оценка уровня загрязнения атмосферного воздуха города Казани диоксидом азота по данным спутниковой съемки Sentinel-5P / О.В. Никитин, Р.С. Кузьмин, И.И. Вазиев и др. // Материалы XXI Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Биодиагностика состояния природных и природно-техногенных систем», 2023, с. 50–54.

6. ФГБУ «Башкирское УГМС»: официальный сайт. – URL: <https://www.meteorb.ru/> (дата обращения: 02.05.2025). – Текст электронный.

7. ФГБУ «Верхне-Волжское УГМС»: официальный сайт. – URL: <https://vvugms.meteorf.ru/> (дата обращения: 02.05.2025). – Текст электронный.

8. ФГБУ «Приволжское УГМС»: официальный сайт. – URL: <http://pogoda-sv.ru/> (дата обращения: 02.05.2025). – Текст электронный.

9. ФГБУ «Управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды Республики Татарстан»: официальный сайт. – URL: <http://www.tatarmeteo.ru/> (дата обращения: 02.05.2025). – Текст электронный.

10. Quantification of the unknown HONO daytime source and its relation to NO<sub>2</sub> / M. Sörgel, E. Regelin, H. Bozem, J.-M. Diesch, F. Drewnick, H. Fischer, H. Harder, A. Held, Z. Hosaynali-Beygi, M. Martinez and C. Zetzsch // *Atmos. Chem. Phys.*, 2011, no. 11, pp. 10433–10447.

**Конфликт интересов:** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Поступила в редакцию: 29.06.2025

Принята к публикации: 01.09.2025

UDC 504.3.054

DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/3/136-141>

ISSN 1609-0683

## Altitude Distribution of Nitrogen Dioxide in the Volga Federal District

G. I. Shishkin, V. V. Guryanov✉

Kazan (Volga Region) Federal University, Russian Federation  
(5, Tovarishcheskaya Str., Kazan, 420097)

**Abstract.** The purpose is to study the features of the altitude distribution of NO<sub>2</sub> in the troposphere and stratosphere of the Volga Federal District (VFD) for the period 2003–2023.

© Shishkin G. I., Guryanov V. V., 2025

✉ Vladimir V. Guryanov, e-mail: Vladimir.Guryanov@kpfu.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

*Materials and methods.* The multi-level data of the CAMS (EAC4) global re-analysis of VFD for the period under consideration served as initial data.

*Results and discussion.* The seasonal variation of the NO<sub>2</sub> content in the troposphere and stratosphere was analyzed, and a trend analysis was carried out.

*Conclusions:* 1. The average NO<sub>2</sub> content is maximum near 1000 hPa (12700 ppt), sharply decreasing with increasing altitude ( $\leq 38$  ppt per 18 km). Around 10 hPa, growth is observed (up to 5900 ppt). In the 5-1 hPa layers, it decreases again ( $\leq 124$  ppt). 2. The seasonal variability of NO<sub>2</sub> manifests itself to varying degrees at different baric levels: at 1000-700 hPa, the maximum average NO<sub>2</sub> content is observed in winter-spring, the minimum in summer; at 500-200 hPa, the maximum is noted in winter, the minimum in spring; in the 100-10 hPa layer, the maximum is revealed in spring-summer, the minimum in winter; at 7-1 hPa, the maximum NO<sub>2</sub> concentration is observed in autumn, and the minimum in spring-summer. 3. Near the ground there is a significant accumulation of NO<sub>2</sub> in summer up to 830 ppt/10 years. In winter, there is a significant trend of impurity dispersion  $>1110$  ppt/10 years in the southern and southeastern regions of the Volga Federal District. Above 9 km, a significant trend towards NO<sub>2</sub> accumulation was recorded during the spring-summer period. Thus, at the level of 10 hPa in May, the SCLT reached 256,5 ppt/10 years. No significant NO<sub>2</sub> trends were detected in the autumn-winter period.

**Key words:** troposphere, stratosphere, pollutants, atmospheric impurities, nitrogen dioxide.

**For citation:** Shishkin G. I., Guryanov V. V. Altitude Distribution of Nitrogen Dioxide in the Volga Federal District. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografia. Geoekologiya*, 2025, no. 3, pp. 136-141. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2025/3/136-141>

#### REFERENCES

1. Belan B. D. Troposfernyj ozon. 6. Komponenty ozonovyh ciklov [Tropospheric ozone. 6. Components of ozone cycles]. *Optika atmosfery i okeana*, 2009, № 4, pp. 358-379. (In Russ.)
2. Global Climate Monitoring System (GCOS). – URL: <https://gecos.wmo.int/ru/node/24857/> (accessed 01.06.2025). – Text: electronic. (In Russ.)
3. Fourth generation ECMWF atmospheric composition reanalysis data. – URL: <https://ads.atmosphere.copernicus.eu/cd-sapp#!/dataset/cams-global-reanalysis-eac4?tab=overview> (accessed 30.04.2025). – Text: electronic. (In Russ.)
4. *O sostoyaniii sanitarno-epidemiologicheskogo blagopoluchiya naseleniya v Rossijskoj Federacii v 2022 godu: gosudarstvennyj doklad* [On the state of sanitary and epidemiological well-being of the population in the Russian Federation in 2022: State report.] Moscow: Federal'naya sluzhba po nadzoru v sfere zashchity prav potrebitelj i blagopoluchiya cheloveka, 2023. 368 p. (In Russ.)
5. Ocenka urovnya zagryazneniya atmosfernogo vozduha goroda Kazani dioksidom azota po dannym sputnikovoj s"emki Sentinel-5P [Assessment of the level of atmospheric air pollution in the city of Kazan with nitrogen dioxide based on Sentinel-5P satellite imagery] / O. V. Nikitin, R. S. Kuz'min, I. I. Vaziev i dr. Materialy HXI Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii c mezhdunarodnym uchastiem «Biodiagnostika sostoyaniya prirodnyh i prirodno-tehnogennyh system», 2023, pp. 50-54. (In Russ.)
6. *Bashkir UGMS Federal State Budgetary Budgetary Institution: official website.* – URL: <https://www.meteorb.ru/> (accessed: 02.05.2025). – Text: electronic. (In Russ.)
7. *Verkhne-Volzhskoye UGMS Federal State Budgetary Budgetary Institution: official website.* – URL: <https://vvugms.meteorf.ru/> (accessed: 02.05.2025). – Text: electronic. (In Russ.)
8. *Volga Federal State Budgetary Institution UGMS: official website.* – URL: <http://pogoda-sv.ru/> (accessed: 02.05.2025). – Text: electronic. (In Russ.)
9. *Federal State Budgetary Institution «Department of Hydrometeorology and Environmental Monitoring of the Republic of Tatarstan»: official website.* – URL: <http://www.tatarmeteo.ru/> (accessed: 02.05.2025). – Text: electronic. (In Russ.)
10. Quantification of the unknown HONO daytime source and its relation to NO<sub>2</sub> / M. Sörgel, E. Regelin, H. Bozem, J.-M. Diessch, F. Drewnick, H. Fischer, H. Harder, A. Held, Z. Hosaynali-Beygi, M. Martinez and C. Zetzsch. *Atmos. Chem. Phys.*, 2011, no. 11, pp. 10433-10447.

**Conflict of interests:** The authors declare no information of obvious and potential conflicts of interest related to the publication of this article.

*Received: 29.06.2025*

*Accepted: 01.09.2025*

Шишкин Георгий Игоревич

Ассистент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Института экологии, биотехнологии и природопользования Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Казань, Российская Федерация, ORCID: 0009-0001-6192-6291, e-mail: mr.GoraShi@mail.ru

Гурьянов Владимир Владимирович

Кандидат географических наук, доцент кафедры метеорологии, климатологии и экологии атмосферы Казанского (Приволжского) федерального университета, г. Казань, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-9353-7488, e-mail: Vladimir.Guryanov@kpfu.ru

George I. Shishkin

Assistant of the Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation, ORCID: 0009-0001-6192-6291, e-mail: mr.GoraShi@mail.ru

Vladimir V. Guryanov

Cand. Sci. (Geogr.), Assoc. Prof. at the Department of Meteorology, Climatology and Atmospheric Ecology, Kazan (Volga Region) Federal University, Kazan, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-9353-7488, e-mail: Vladimir.Guryanov@kpfu.ru