
ИНДИКАТОРЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ

Научная статья

УДК 504.3.054(470.2)

DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-6-82-91

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ КОНЦЕНТРАЦИЙ ДИОКСИДА АЗОТА В АТМОСФЕРНОМ ВОЗДУХЕ ГОРОДОВ СЕВЕРО-ЗАПАДА РОССИИ ПО ДАННЫМ РАЗНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ

© СС ВУ Стурман В. И.

*Санкт-Петербургский государственный университет телекоммуникаций
имени профессора М. А. Бонч-Бруевича
г. Санкт-Петербург, Российская Федерация
e-mail: st@izh.com; ORCID: 0000-0003-2467-9997*

Поступила в редакцию 06.05.2025

После доработки 22.07.2025

Принята к публикации 05.09.2025

Аннотация

Цель. Оценка достоверности, факторов и особенностей динамики показателей доступной в интернете информации о загрязнении атмосферного воздуха.

Процедура и методы. Выполнено сопоставление показателей загрязнения атмосферного воздуха из официальных источников с находящимися в свободном доступе данными из интернет-источников о текущих концентрациях загрязняющих веществ и о метеорологических характеристиках на примере диоксида азота для городов Северо-Запада России: Калининграда, Пскова, Великого Новгорода, Санкт-Петербурга, Кириши, Пикалёво, Петрозаводска. Выполнена количественная оценка зависимости концентраций от скоростей ветра, атмосферного давления, наличия или отсутствия атмосферных осадков, рабочих или нерабочих дней.

Результаты. Концентрации диоксида азота по данным наземных измерений и представленным на сайте *Ventusky.com* результатам расчётов с использованием данных дистанционного мониторинга выбросов и погодных условий сопоставимы и подчиняются одним и тем же закономерностям изменчивости во времени. Корреляционные связи между концентрациями диоксида азота по данным наземных измерений и представленными на сайте *Ventusky.com* результатами расчётов по модели *SILAM* с использованием данных дистанционного мониторинга выбросов и погодных условий слабые, но устойчивые. В зимне-весенний период отмечалась отчётливая тенденция к снижению концентраций, что отражает уменьшение использования топлива для отопления. Нисходящий тренд наиболее выражен в городах с преобладанием промышленных источников выбросов – Кириши и Пикалёво, а также Пскове, что может быть объяснено выбросами локальных котельных и индивидуальных печей. Снижение концентраций в нерабочие дни по сравнению с рабочими составляет от 15,8% до 50%, а при выпадении атмосферных осадков – от 4,4% до 33,3%. Данные сайта *Ventusky.com* могут рассматриваться как важное дополнение к результатам наземных наблюдений, но не как равнозначная альтернатива.

Теоретическая и/или практическая значимость. Проведена оценка возможностей дополнения информации о загрязнении атмосферного воздуха из официальных источников доступными в интернете данными. Выявлены и количественно охарактеризованы тенденции динамики концентраций.

Ключевые слова: воздушная среда, двуокись азота, загрязнение, интернет-источники, Северо-Западная Россия

Для цитирования:

Стурман В. И. Сравнительное исследование динамики концентраций диоксида азота в атмосферном воздухе городов северо-запада России по данным разных информационных источников // Географическая среда и живые системы. 2025. № 4. С. 82–91. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-6-82-91

Original Article

COMPARATIVE EXPLORATION OF THE DYNAMICS OF NITROGEN DIOXIDE CONCENTRATIONS IN THE ATMOSPHERIC AIR OF CITIES IN NORTHWESTERN RUSSIA ACCORDING TO VARIOUS INFORMATION SOURCES

© CC BY V. Sturman

*The Bonch-Bruевич St. Petersburg State University of Telecommunications
St. Petersburg, Russian Federation
e-mail: st@izh.com; ORCID: 0000-0003-2467-9997*

Received 06.05.2025

Revised 22.07.2025

Accepted 05.09.2025

Abstract

Aim. Assessment of the reliability, factors and features of the dynamics of information on atmospheric air pollution available on the Internet.

Methodology. A comparison of nitrogen dioxide concentration indicators from official sources with freely available data from Internet sources on current concentrations of pollutants and meteorological characteristics, using the example of nitrogen dioxide, for cities in Northwestern Russia has been performed.: Kaliningrad, Pskov, Veliky Novgorod, Saint Petersburg, Kirishi, Pikalevo, Petrozavodsk. A quantitative assessment of the dependence of concentrations on wind speeds, atmospheric pressure, the presence or absence of precipitation, working or non-working days had been performed.

Results. Nitrogen dioxide concentrations according to ground-based measurements and calculation results presented on the Ventusky website, using data from remote monitoring of emissions and weather conditions, are comparable and follow the same patterns of temporal variability. The correlations between nitrogen dioxide concentrations according to ground-based measurements and the calculation results presented on the Ventusky website using the SILAM model, using data from remote monitoring of emissions and weather conditions, are weak but stable. In the winter and spring period, there was a clear tendency to decrease concentrations. This reflects a decrease in the use of fuel for heating. The downward trend is in cities with a predominance of industrial sources of emissions – Kirishi and Pikalevo, as well as Pskov, which can be explained by emissions from local boilers and individual furnaces. The decrease in concentrations on non-working days compared to working days ranges from 15.8% to 50%, and during precipitation from 4.4% to 33.3%. The data from the Ventusky website can be considered as an important addition to the results of ground-based observations, but not as an alternative.

Research implications. It is an assessment of the possibilities of supplementing information on atmospheric air pollution from official sources with data available on the Internet. Trends in concentration dynamics have been identified and quantified.

Keywords: air environment, nitrogen dioxide, pollution, Internet sources, North-Western Russia

For citation:

Sturman, V. I. Comparative exploration of the dynamics of nitrogen dioxide concentrations in the atmospheric air of cities in northwestern Russia according to various information sources. In: *Geographical Environment and Living Systems*, 2025, no. 4, pp. 82–91. DOI: 10.18384/2712-7621-2025-4-6-82-91

ВВЕДЕНИЕ

Вопросы загрязнения и охраны атмосферного воздуха неизменно привлекают внимание общественности. Состояние этого компонента окружающей среды жизненно важно и при этом сложно поддается корректировке посредством технических решений. Информация о состоянии атмосферного воздуха из официальных источников (ежегодники загрязнения атмосферы..., государственные доклады о состоянии окружающей среды..., в отдельных городах – сайты региональных управлений Росгидромета и других организаций) не вполне удовлетворяет общественный запрос в силу невысокого пространственного разрешения и задержек во времени. С другой стороны, развитие телекоммуникаций, технологий дистанционного зондирования атмосферы и моделирования атмосферных процессов создаёт новые возможности для мониторинга воздушного загрязнения. Однако разрешающая способность и количество дистанционных газоанализаторов недостаточны для ежедневного мониторинга [14]. Также определённые ограничения создаёт облачность [15].

Объектом спутникового мониторинга в настоящее время являются выбросы примесей, включая в т. ч. диоксид азота [17]. Данные о выбросах в сочетании с метеорологическими параметрами используются в химико-транспортных моделях [18], что позволяет получать постоянно меняющиеся поля концентраций примесей. Доступные в интернете ресурсы (*Ventusky.com*, *BreezoMeter.com*, *AirVisual Earth (iqair.com)* и др.) позволяют оценивать состояние атмосферного воздуха в режиме реального времени. Сопоставления спутниковых и наземных данных пока немногочисленны и свидетельствуют в основном о достаточно хорошей сходимости, в частности для оксида углерода и метана [9], аэрозольных частиц и оксида углерода [12; 19], диоксида серы [6].

Однако в целом вопрос о сопоставлении официальной информации о загрязнении воздуха и доступных неофициальных данных в интернете изучен и освящён в литературных источниках крайне скупо. Хотя вопрос о необходимости интеграции

спутниковых и наземных методов мониторинга ставится уже более 20 лет [2; 7], в публикациях преобладает изолированное рассмотрение либо только спутниковых, либо только наземных данных.

В основе нашего исследования – оценка достоверности, факторов и особенностей динамики показателей доступной в интернете информации о загрязнении атмосферного воздуха путём сравнения с официальными результатами мониторинга.

Исследование выполнено на примере диоксида азота для крупных городов и промышленных центров Северо-Запада России, включая Калининград, Псков, Великий Новгород, Санкт-Петербург, Кириши, Пикалево, Петрозаводск. Диоксид азота выбран в качестве примера потому, что это вещество, образующееся при всех высокотемпературных процессах в техносфере и в природе, является одним из наиболее характерных и приоритетных для крупных городов [4]. Также диоксид азота даже при концентрациях ниже действующих предельно допустимых способен оказывать существенное негативное влияние на здоровье [10; 16; 20].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В ходе исследования нами выполнено сопоставление показателей концентраций из официальных источников (ежегодника «Состояние загрязнения атмосферы в городах на территории России за 2023 г.», докладов о состоянии окружающей среды Санкт-Петербурга, Ленинградской, Калининградской, Псковской и Новгородской областей, Республики Карелия; Экологического портала Санкт-Петербурга – *infoeco.ru*) с общедоступными данными о текущих концентрациях загрязняющих веществ и метеорологических характеристиках. За текущие показатели по данным сайта *Ventusky.com* принимались наибольшие значения в пределах приуроченной к городу зоны повышенных концентраций, независимо от нахождения максимума в пределах городской территории или вне её. Протяжённость ветровых шлейфов повышенных концентраций диоксида азота по

спутниковым данным может достигать до 300–400 км [5]; максимальные значения в рамках выполненного исследования были примерно такие же. Точки максимальных концентраций находились в пределах городских территорий или отстояли от них не более чем на первые десятки километров.

Сайт *Ventusky.com* основывается на модели *SILAM (System for Integrated modeling of Atmospheric composition)* и представляет расчётные концентрации для высотного уровня 10 м над поверхностью земли, с разрешением 8 км. Данные об объёмах эмиссии представляет газоанализатор *OMI*, установленный на спутнике *AURA* (США) и определяющий суммарное содержание примеси по всей атмосфере в ячейках размером 13×24 км по трассам пролёта спутника [13].

Снятие значений с сайта *Ventusky.com* производилось в феврале–апреле 2025 г., дважды по рабочим дням (утренние и вечерние часы «пик») и 1 раз в середине нерабочих дней. Одновременно фиксировались скорости и направления ветра, атмосферное давление и осадки, по данным сайта Расписание погоды (*rp5.ru*). Всего получено и обработано при помощи типовых программных средств *Excel* по 104 значения для каждого города.

Данные наземных наблюдений имеются только по Санкт-Петербургу как среднесуточные значения по постам наблюдения за загрязнением (ПНЗ). В исследовании учтены средние и максимальные по городу среднесуточные значения по всем 25 ПНЗ.

ДИНАМИКА КОНЦЕНТРАЦИИ ЗАГРЯЗНЕНИЯ АТМОСФЕРНОГО ВОЗДУХА ГОРОДОВ СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ РОССИИ

Оценка достоверности доступной в интернете информации выполнена путём сопоставления с данными ПНЗ, включая аспекты:

1. сопоставление средних характеристик загрязнения по городам;
2. сравнительный анализ характера сезонной динамики;
3. сопоставление показателей, полученных при разных условиях (рабочие и не-

рабочие дни, наличие и отсутствие атмосферных осадков);

4. прямое сравнение ежедневных данных для Санкт-Петербурга.

Краткое изложение основных результатов исследования представлено в таблице 1.

Как видно из представленных данных, соотношения концентраций по данным ПНЗ и сайта *Ventusky.com* различны: средние по ПНЗ для Калининграда, Пскова и Пикалево больше, чем по *Ventusky.com*, а для Великого Новгорода, Санкт-Петербурга и Кириши – наоборот. Максимальные значения по *Ventusky.com* больше, чем по ПНЗ только для г. Кириши, причём разница в этом случае незначительна.

Влияние сезонных факторов на концентрацию загрязняющих веществ в общих чертах общеизвестно. Согласно преобладающих оценок, для диоксида азота характерны зимние максимумы концентраций, обусловленные сжиганием топлива в отопительных системах, хотя возможны и иные варианты [1; 8; 14]. Так, А. В. Ахтиманкина и О. А. Лопаткина [3] отметили для Иркутска максимумы достигаются летом, которые объясняются лесными пожарами и фотохимическими реакциями (рис. 1). Как видно, во всех 7 городах тренд концентраций в зимне-весенний период нисходящий.

Наиболее выражен нисходящий тренд в городах с преобладанием промышленных источников выбросов – Кириши и Пикалево, а также Пскове, что может быть объяснено выбросами локальных котельных и индивидуальных печей. Это вполне закономерно, поскольку господствующие в остальных городах выбросы от автотранспорта более устойчивы по сезонам.

Общеизвестно снижение концентраций в нерабочие дни и при выпадении атмосферных осадков. Средние концентрации в рабочие и нерабочие дни и при наличии или отсутствии атмосферных осадков представлены в таблицах 2–3.

Таким образом, по данным ПНЗ, в Санкт-Петербурге снижение концентраций в нерабочие дни составляет 16% для средних и 17% – для максимальных из всех постов. Снижение при выпадении осадков – 21% на уровне средних и отсутствует для максимальных. Вероятно, последнее

Таблица 1 / Table 1

Характерные значения и площади распространения концентраций диоксида азота, мг/м³ / Characteristic values and distribution areas of nitrogen dioxide concentrations, mg/m³

Города	Среднегодовые по ПНЗ	Максимальные по ПНЗ	Средние из максимальных по данным Ventusky	Максимальные по данным Ventusky	Средняя протяжённость зоны значений выше 10 мг/м ³ , км	Средняя площадь зоны значений выше 10 мг/м ³ , км ²
Калининград	0,04	0,31	0,030	0,096	134	2400
Псков	0,048	0,38	0,006	0,033	5	46
Великий Новгород	0,015	0,087	0,018	0,067	67	1070
Санкт-Петербург	0,024	0,54	0,049	0,125	164	5100
Кириши	0,016	0,056	0,022	0,063	66	990
Пикалёво	0,047	0,099	0,014	0,050	31	360
Петрозаводск	<0,04	<0,2	0,005	0,038	4	30

Источники: составлено автором по: Государственный доклад «Об экологической обстановке в Калининградской области в 2023 году». Калининград, 2024. 200 с.; Доклад «О состоянии и об охране окружающей среды Псковской области в 2023 году». Псков, 2024. 170 с.; Обзор «О состоянии и об охране окружающей среды Новгородской области в 2022 г.». В. Новгород, 2023. 434 с.; Доклад об экологической ситуации в Санкт-Петербурге в 2023 году. СПб., 2024. 221 с.; Об экологической ситуации в Ленинградской области в 2022 году. СПб., 2023. 219 с.; Государственный доклад о состоянии окружающей среды Республики Карелия в 2022 году. Петрозаводск, 2023. 265 с.; Ventusky: [сайт]. URL: ventusky.com/ (дата обращения 28.04.2025)

Таблица 2 / Table 2

Средние значения концентраций диоксида азота по ПНЗ Санкт-Петербурга в зависимости от условий измерения, мг/м³ / Average values of nitrogen dioxide concentrations according to the monitoring points of St. Petersburg, depending on the measurement conditions, mg/m³

Показатели	Все дни	Рабочие	Нерабочие	Без осадков	С осадками
Средние	0,065	0,064	0,054	0,063	0,05
Максимальные	0,114	0,119	0,099	0,114	0,115

Источники: составлено автором по данным: Погода в России: [сайт]. URL: rp5.ru/ (дата обращения 28.04.2025); Экологический портал Санкт-Петербурга: [сайт]. URL: public.mon.ecopass.adc.spb.ru/air/ concentrate (дата обращения: 28.04.2025)

отражает преобладающее влияние эмиссионного фактора. Для Санкт-Петербурга подобные тенденции выявлялись и ранее [11]. Сопоставление наземных и спутниковых данных позволяет трактовать их как более распространённые, отражающие общие закономерности.

Из представленных данных видно, что снижение концентраций в нерабочие дни и при выпадении атмосферных осадков проявляется во всех городах. При этом снижение в нерабочие дни менее выражено в городах с преобладанием промыш-

ленных источников выбросов, в т. ч. с непрерывным производственным циклом (Великий Новгород, Кириши, Пикалёво). В отношении влияния атмосферных осадков подобной закономерности не отмечается. Вероятно, снижение концентраций становится выраженным не сразу после начала дождя или снегопада, а после выпадения некоторого количества осадков.

Связи концентраций со скоростями ветра обратные, слабые и средней силы (r от -0,394 до -0,701). Связи с атмосферным давлением слабые и очень слабые прямые

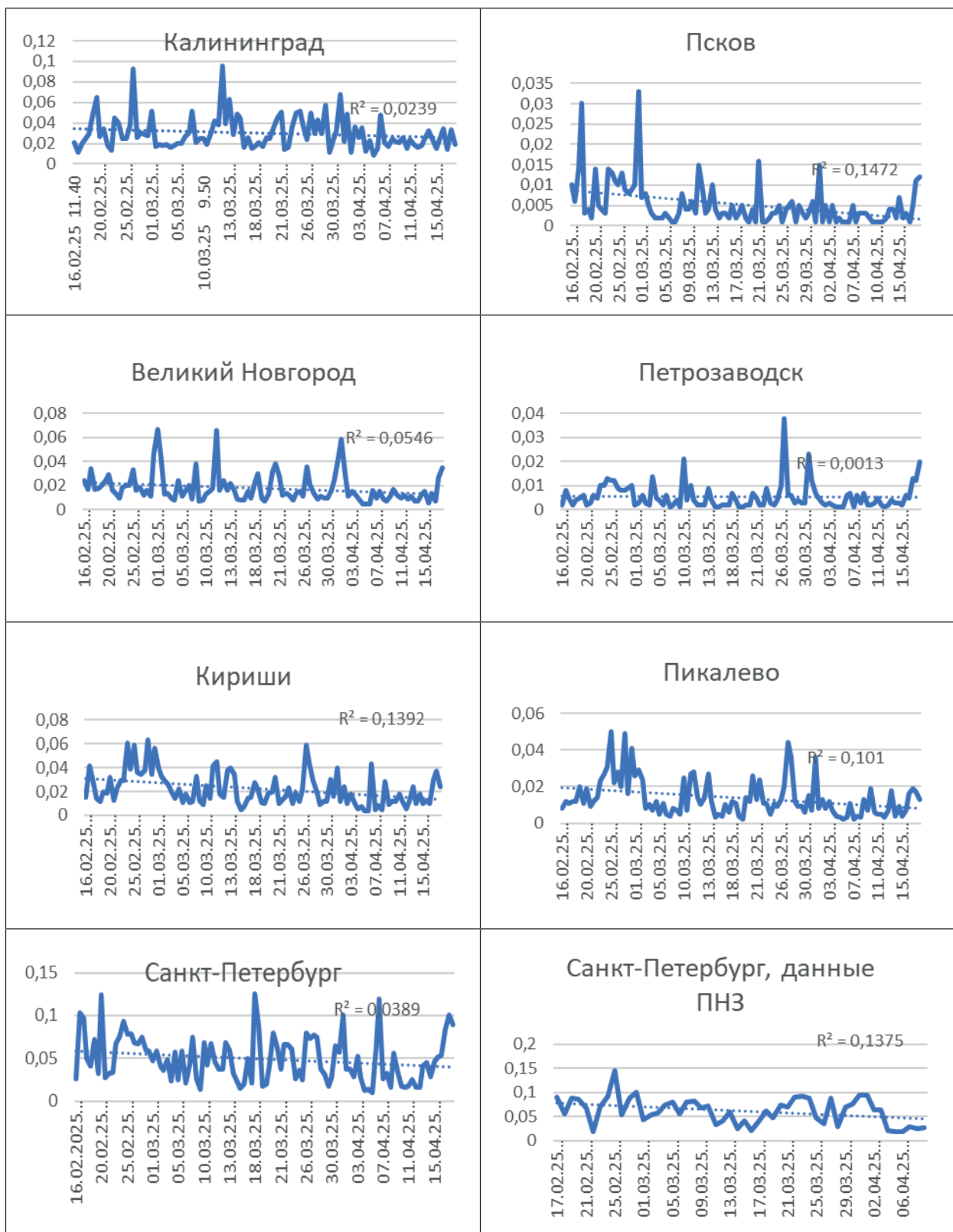


Рис. 1 / Fig. 1. Динамика концентраций диоксида азота (мг/м³) по городам и линии тренда / Dynamics of nitrogen dioxide concentrations (mg/m³) by cities and trend lines

Источник: составлено автором: для Санкт-Петербурга слева указаны данные сайта Ventusky, а справа – данные ПНЗ, для остальных городов – только данные сайта Ventusky.com

Таблица 3 / Table 3

Средние (из максимальных) значения концентраций диоксида азота по данным сайта Ventusky.com в зависимости от условий измерения, мг/м³ / The average (of the maximum) values of nitrogen dioxide concentrations according to the Ventusky website, depending on the measurement conditions, mg/m³

Города	Все дни	Рабочие	Нерабочие	%% снижения	Без осадков	С осадками	%% снижения
Калининград	0,030	0,032	0,020	37,5	0,030	0,028	6,7
Псков	0,006	0,006	0,004	33,3	0,005	0,003	40
Великий Новгород	0,018	0,019	0,016	15,8	0,019	0,015	21,1
Санкт-Петербург	0,049	0,052	0,033	36,5	0,051	0,041	19,7
Кириши	0,022	0,023	0,015	34,8	0,023	0,022	4,4
Пикалево	0,014	0,014	0,01	28,6	0,014	0,012	14,3
Петрозаводск	0,005	0,006	0,003	50	0,006	0,004	33,3

Источники: составлено автором по: Ventusky: [сайт]. URL: ventusky.com/ (дата обращения 28.04.2025); Погода в России: [сайт]. URL: rp5.ru/ (дата обращения 28.04.2025); Экологический портал Санкт-Петербурга: [сайт]. URL: public.mon.ecopass.adc.spb.ru/air/concentrate (дата обращения: 28.04.2025)

(г от 0,108 до 0,284). Интересно отметить, что теснота связей увеличивается с запада на восток, по мере роста континентальности климата и увеличения контрастности метеорологических характеристик.

Прямое сопоставление ежедневных данных ПНЗ и сайта *Ventusky.com* для Санкт-

Петербурга представлено на рисунке 2.

Итак, тенденции и даты максимумов и минимумов в основном совпадают, в отличие от конкретных минимальных и максимальных значений. Коэффициент корреляции составляют 0,465 для средних из всех ПНЗ и 0,312 – для максимальных.

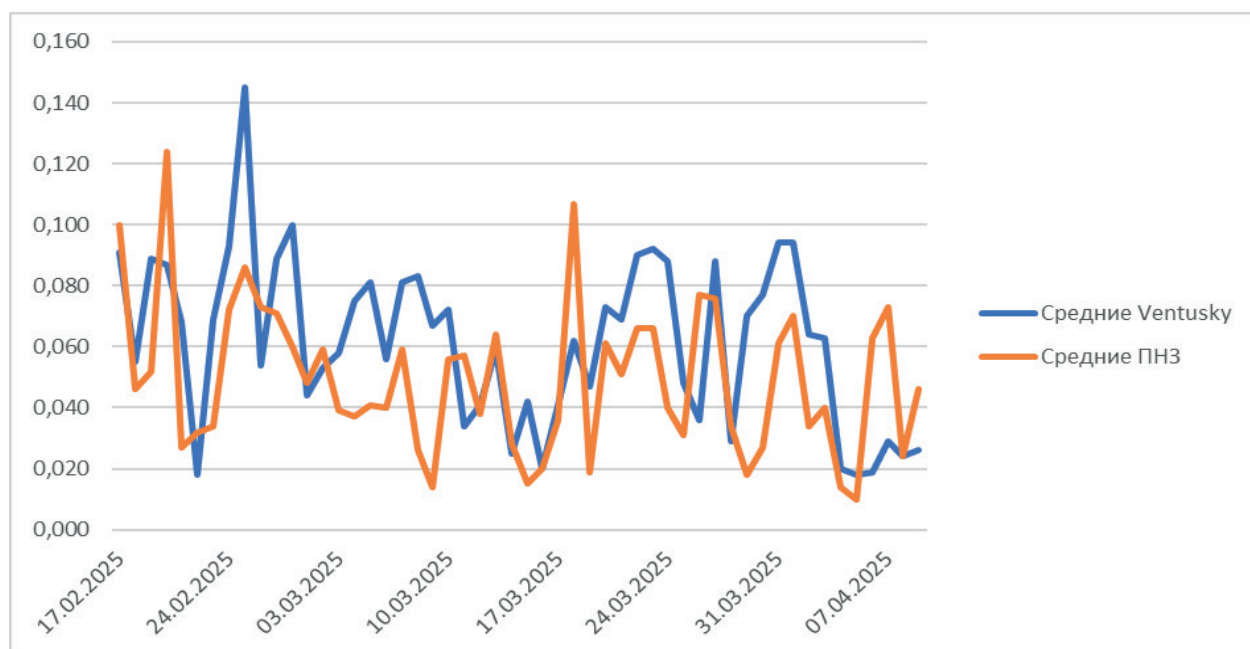


Рис. 2 / Fig. 2. Динамика средних значений концентраций диоксида азота (мг/м³) по данным сайта Ventusky и ПНЗ в Санкт-Петербурге / Dynamics of average nitrogen dioxide concentrations (mg/m³) according to the website Ventusky and monitoring points in St. Petersburg.

Источник: составлено по данным: Ventusky: [сайт]. URL: ventusky.com/ (дата обращения 28.04.2025)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Распределение показателей загрязнения воздуха по данным стационарных постов наблюдения и доступной в интернете (*Ventusky.com*) информации в целом сопоставимо и подчиняются одним и тем же закономерностям, что может рассматриваться как свидетельство достоверности упомянутого интернет-источника. В то же время доступные в интернете данные могут рассматриваться как важное дополнение к результатам наземных наблюдений, но не как равнозначная альтернатива им.

Во всех изученных городах в зимне-весенний период имела место тенденция к снижению концентраций, причём нисходящий тренд был более выражен в городах с преобладанием промышленных источников выбросов (Кириши и Пикалево, а также Пскове), что может быть объяснено значительной долей выбросов локальных котельных и индивидуальных печей. Средние концентрации по данным ПНЗ и сайта *Ventusky.com* в целом сопоставимы и различаются как в одну, так и в другую сторону, тогда как максимальные по данным *Ventusky.com*, как правило, ниже. Концентрации в нерабочие дни на 15–50% меньше, чем в рабочие (в городах с преобладанием промышленных выбросов это выражено в меньшей степени), а в дни с осадками – на 4,4–33,3% меньше, чем в дни без осадков.

Корреляционные связи между концентрациями диоксида азота по данным наземными измерениями на ПНЗ и представленными на сайте *Ventusky.com* результатами расчётов по модели *SILAM*, с использованием данных дистанционного мониторинга выбросов и погодных условий, характеризуются как слабые. Даты максимумов и минимумов по данным сравниваемых источников в основном совпадают, в отличие от их конкретных значений. Поэтому, несмотря на хорошую сходимость тенденций, корреляция между значениями слабая. Определённую роль в этом играет и то, что наблюдения на ПНЗ характеризуют высотный уровень от 1,5 до 3,5 м, а расчётные характеристики *Ventusky.com* – 10 м от поверхности земли.

ЛИТЕРАТУРА

1. Акимов Л. М., Акимов Е. Л. Сезонная динамика и пространственное распределение концентраций антропогенных загрязнителей в воздухе г. Воронеж // Региональные геосистемы. 2021. № 45. С. 545–557. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-545-557.
2. Амикишиева Р. А., Рапута В. Ф., Соловьёва И. А. Наземный и спутниковый мониторинг процессов загрязнения Искитимо-Линевской промышленной зоны // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2021. Т. 4. № 1 С. 60–65. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-4-1-60-65
3. Ахтиманкина А. В., Лопаткина О. А. Исследование динамики концентраций загрязняющих веществ в атмосферном воздухе г. Иркутска // Известия Иркутского государственного университета. Серия: Науки о Земле. 2014. Т. 9. С. 2–15.
4. Безуглая Э. Ю., Смирнова И. В. Воздух городов и его изменения. СПб.: Гидрометиздат, 2008. 200 с.
5. Еланский Н. Ф. Примеси в атмосфере континентальной России // Природа. 2002. № 2. С. 32–43.
6. Зуев Д. В., Кашкин В. Б., Симонов К. В. Использование спутниковых методов мониторинга для оценки экологического состояния северных территорий Красноярского края // Успехи современного естествознания. 2018. № 2. С. 86–92.
7. Кудашев Е. Б., Мясников В. П., Сюнтюренко О. В. Конвергенция новейших информационных технологий и методов дистанционного зондирования Земли для построения экологического мониторинга мегаполисов // Вестник РФФИ. 2001. № 2. С. 37–43.
8. Лупян Е. А., Прошин А. А., Бурцев М. А. и др. Система «Вега-Science»: особенности построения, основные возможности и опыт использования // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 6. С. 9–31. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-9-31.
9. Охрана окружающей среды, природопользование и обеспечение экологической безопасности в Санкт-Петербурге в 2004 г. / под ред. Д. А. Голубева, Н. Д. Сорокина. СПб.: ООО «Сезам-Принт», 2008. 472 с.
10. Раkitин В. С., Еланский Н. Ф., Панкратова Н. В., и др. Использование спутниковых данных о составе атмосферы в фоновых и загрязнённых условиях / Турбулентность, динамика атмосферы и климата: мат-лы конф. М., 2018. С. 160. DOI: 10.13140/RG.2.2.30690.07362

11. Региональные публикации ВОЗ. Европейская серия. № 85: Мониторинг качества атмосферного воздуха для оценки воздействия на здоровье человека. Копенгаген: ВОЗ, 2001. 293 с.
12. Родионова Н. В. Оптические характеристики аэрозоля и содержание угарного газа в атмосфере над районами Иркутской области и Бурятии в 2010–2021 гг. // Исследование Земли из космоса. 2023. № 2. С. 3–15. DOI: 10.31857/S0205961423020033
13. Трони А. А., Крицук С. Г., Киселёв А. В. Многолетние тренды содержания диоксида азота в воздушном бассейне России по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019. Т. 16. № 2. С. 259–265. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-259-265
14. Тронин А. А., Крицук С. Г., Латыпов И. Ш. Диоксид азота в воздушном бассейне России по спутниковым данным // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2009. Т. 2. № 6. С. 217–223.
15. Фатеева Ю. Г., Легович Ю. С., Ефремов А. Ю. Методы прогнозирования загрязнения атмосферного воздуха на основе исторических данных / Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2020: мат-лы конф. Под ред. С. Н. Васильева, А. Д. Цвиркуна. М., 2020. С. 1753–1760. DOI: 10.25728/mlsd.2020.1753
16. Чичерин С. С. О критериях качества атмосферного воздуха и их применении в целях его мониторинга и охраны // Труды Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова, 2024. Вып. 612. С. 6–36.
17. Kuhlmann G., Henne S., Meijer Y., Brunner D. Quantifying CO₂ Emissions of Power Plants With CO₂ and NO₂ Imaging Satellites // *Frontiers in Remote Sensing*. 2021. Iss. 2. P. 689838. DOI: 10.3389/frsen.2021.689838
18. Ponomarev N., Yushkov V., Elansky N. Air Pollution in Moscow Megacity: Data Fusion of the Chemical Transport Model and Observational Network // *Atmosphere*. 2021. Vol. 12. P. 374–393. DOI: 10.3390/atmos12030374
19. Popp T., Hegglin M., Hallmann R., et al. Consistency of satellite climate data records for Earth system monitoring // *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2020. Iss. 101. DOI: 10.1175/BAMS-D-19-0127.1
20. WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide. Bonn, 2021. 290 p.

REFERENCES

1. Akimov L. M., Akimov E. L. Seasonal dynamics and spatial distributions of concentrations of anthropogenic pollutants in the atmosphere in Voronezh. In: *Regionalnyye geosistemy* [Regional Geosystems], 2021, no. 45, pp. 545–557. DOI: 10.52575/2712-7443-2021-45-4-545-557.
2. Amikisheva R. A., Raputa V. F., Solovyova I. A. [Solar and satellite monitoring of pollution processes in the Iskitim-Linevskaya industrial zone]. In: *Inter Ekspo Geo-Sibir* [Inter Expo Geo-Siberia], 2021, vol. 4, no. 1, pp. 60–65. DOI: 10.33764/2618-981X-2021-4-1-60-65
3. Akhtimankina A. V., Lopatkina O. A. Study of the dynamics of pollutant concentrations in the atmospheric air in Irkutsk. In: *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Nauki o Zemle* [Bulletin of Irkutsk State University. Series: Earth Sciences], 2014, vol. 9, pp. 2–15.
4. Bezuglaya E. Yu., Smirnova I. V. *Gorodskoy vozdukh i yego izmeneniya* [Urban air and its changes]. St. Petersburg: Gidrometeoizdat Publ., 2008. 200 p.
5. Elansky N. F. [Impurities in the atmosphere of continental Russia]. In: *The Nature* [Priroda], 2002, no. 2, pp. 32–43.
6. Zuev D. V., Kashkin V. B., Simonov K. V. [Using satellite methods to assess the environmental state of the northern territories of Krasnoyarsk Krai]. In: *Dostizheniya sovremennoy yestestvennoy nauki* [Advances in Modern Natural Science], 2018, no.2, pp. 86–92.
7. Kudashev E. B., Myasnikov V. P., Syuntyurenko O. V. [Convergence of the latest information technologies and methods of remote sensing of the Earth for constructing environmental Diptychs of megacities]. In: *Vestnik Rossiyskogo fonda fundamentalnykh issledovaniy* [Bulletin of the Russian Foundation for Basic Research], 2001, no. 2, pp. 37–43.
8. Lupyan E. A., Proshin A.A., Burtsev M. A., et al. [The Vega-Science system: design features, main capabilities, and experience of use]. In: *Sovremennyye problemy rentgenovskogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of X-ray sounding of the Earth from space], 2021, vol. 18, no. 6, pp. 9–31. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-6-9-31.
9. Golubev D. A., Sorokin N. D., eds. *Okhrana okruzhayushchey sredy, prirodopol'zovaniye i bezopasnost v Sankt-Peterburge v 2004 godu* [Environmental Protection, Nature Management, and Safety in St. Petersburg in 2004]. St. Petersburg: Sezam-Print Publ., 2008. 472 p.

10. Rakitin V. S., Elansky N. F., Pankratova N. V., et al. [Use of Satellite Data on Atmospheric Composition in Background and Polluted Conditions]. In: *Turbulentnost, atmosfernaya i klimaticheskaya dinamika* [Turbulence, Atmospheric and Climate Dynamics]. Moscow, 2018, p. 160. DOI: 10.13140/RG.2.2.30690.07362.
11. *Regionalnyye publikatsii VOZ. Yevropeyskaya seriya. № 85: Monitoring kachestva vozdukhа dlya otsenki vozdeystviya na zdorovye* [WHO Regional Publications. European Series. No. 85: Monitoring Air Quality for Health Impact Assessment]. Copenhagen: WHO, 2001. 293 p.
12. Rodionova N. V. [Optical characteristics of aerosol and carbon monoxide content in the atmosphere over the areas of the Irkutsk region and Buryatia in 2010–2021]. In: *Issledovaniya Zemli iz kosmosa* [Earth Research from Space], 2023, no. 2, pp. 3–15. DOI: 10.31857/S0205961423020033
13. Troni A. A., Kritsuk S. G., Kiselev A. V. [Long-term trends in nitrogen dioxide content in the air basin of Russia based on satellite data]. In: *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2019, vol. 16, no. 2, pp. 259–265. DOI: 10.21046/2070-7401-2019-16-2-259-265
14. Tronin A. A., Kritsuk S. G., Latypov I. Sh. [Nitrogen dioxide in the air basin of Russia based on satellite data]. In: *Sovremennyye problemy distantsionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2009, vol. 2, no. 6, pp. 217–223.
15. Fateeva Yu. G., Legovich Yu. S., Efremov A. Yu. Methods for forecasting atmospheric air pollution based on historical data. In: Vasiliev S. N., Tsvirkun A. D., eds. *Upravleniye razvitiyem krupnomasshtabnykh sistem MLSД'2020* [Management of the development of large-scale systems MLSД'2020]. Moscow, 2020, pp. 1753–1760. DOI: 10.25728/mlsd.2020.1753
16. Chicherin S. S. [On the criteria for atmospheric air quality and their application for its monitoring and protection]. In: *Trudy Glavnoy geofizicheskoy observatorii imeni A. I. Voyeykova* [Proceedings of the Main Geophysical Observatory named after A. I. Voeikov], 2024, iss. 612, pp. 6–36.
17. Kuhlmann G., Henne S., Meijer Y., Brunner D. Quantifying CO₂ Emissions of Power Plants With CO₂ and NO₂ Imaging Satellites. In: *Frontiers in Remote Sensing*, 2021, iss. 2, p. 689838. DOI: 10.3389/frsen.2021.689838
18. Ponomarev N., Yushkov V., Elansky N. Air Pollution in Moscow Megacity: Data Fusion of the Chemical Transport Model and Observational Network. In: *Atmosphere*, 2021, vol. 12, pp. 374–393. DOI: 10.3390/atmos12030374
19. Popp T., Hegglin M., Hallmann R., et al. Consistency of satellite climate data records for Earth system monitoring. In: *Bulletin of the American Meteorological Society*, 2020, iss. 101. DOI: 10.1175/BAMS-D-19-0127.1
20. *WHO global air quality guidelines. Particulate matter (PM_{2.5} and PM₁₀), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Bonn, 2021. 290 p.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ

Стурман Владимир Ицхакович (г. Санкт-Петербург) – доктор географических наук, профессор кафедры экологической безопасности телекоммуникаций факультета социальных технологий и экономики данных Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций имени профессора М. А. Бонч-Бруевича;
e-mail: st@izh.com; ORCID: 0000-0003-2467-9997

INFORMATION ABOUT THE AUTHOR

Vladimir I. Sturman (St. Petersburg) – Dr. Sci. (Geography), Prof., Department of Environmental Safety, Faculty of Social Technologies and Data Economics, Bonch-Bruevich St. Petersburg State University of Telecommunications;
e-mail: st@izh.com; ORCID: 0000-0003-2467-9997