

Суточная изменчивость концентраций загрязнителей воздуха в основные сезоны года во Владивостоке

Д. Н. Василевский¹✉, И. А. Лисина², Л. Н. Василевская²

¹Дальневосточный филиал Российского научно-исследовательского института комплексного использования и охраны водных ресурсов, Российская Федерация
(690002, г. Владивосток, ул. Некрасовская, 53Б)

²Дальневосточный федеральный университет, Российская Федерация
(690922, г. Владивосток, о. Русский, п. Аякс, 10)

Аннотация. Целью работы является анализ межсуточных и внутрисуточных распределений основных загрязняющих веществ в атмосфере города Владивостока в зимний и летний сезоны.

Материалы и методы. На основе сформированной базы данных восьмисрочных (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 час. местного времени) спутниковых наблюдений по содержанию диоксидов азота (NO₂) и серы (SO₂), угарного газа (CO), мелкодисперсных частиц (PM_{2,5}) в декабре-январе и июне-июле 2020-2022 годов производился расчет среднесуточных и среднесрочных концентраций загрязняющих веществ в атмосфере города Владивостока.

Результаты и обсуждение. Установлено, что на фоне небольшой численности населения и относительно низкой промышленно-производственной нагрузки на окружающую среду, значительные выбросы загрязнителей атмосферы связаны с высокой концентрацией автомобильного и морского транспорта, интенсивной работой морских портов, а также зимним муссонным трансграничным переносом из центров эмиссии с северо-восточной части Китая. Концентрации диоксида азота и диоксида серы во Владивостоке в зимний период превышают значения летних показателей в три раза, а оксида углерода – в 1,5-2 раза. В декабре, январе и июне загрязнение воздуха микрочастицами PM_{2,5} находится на одном уровне, в июле оно понижается вследствие уменьшения автомобильных потоков и более частых выпадений микрочастиц с атмосферными осадками.

Выводы. Суточный ход NO₂, SO₂ и CO характеризуется увеличенными концентрациями в вечерние и утренние часы. Для микрочастиц максимальная концентрация достигается в утренние часы, а минимальная – в вечернее время.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, суточный и межсуточный ход концентраций, основные загрязняющие вещества, спутниковый мониторинг, Владивосток.

Для цитирования: Василевский Д. Н., Лисина И. А., Василевская Л. Н. Суточная изменчивость концентраций загрязнителей воздуха в основные сезоны года во Владивостоке // *Вестник Воронежского государственного университета. Серия: География. Геоэкология*, 2023, № 2, с. 112-121. DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/112-121>

ВВЕДЕНИЕ

В последние годы все большее внимание со стороны научного сообщества уделяется вопросам загрязнения воздушной среды городов, поскольку в них сосредоточена большая часть населения, испытывающая проблемы со здоровьем из-за находящихся в атмосфере загрязнителей [2, 6, 12]. В крупных городах часто формируются аномальные метеорологические условия, которые в сочетании с

повышенным уровнем загрязнения приводят к дискомфорту проживания [8]. Это делает актуальной работой по изучению особенностей суточного загрязнения урбанизированных пространств.

Метеорологические условия сильно влияют на уровень загрязненности воздуха, поэтому по результатам мониторинга его качества нельзя судить об интенсивности и объеме антропогенных выбросов от местных источников. Для этого необ-



ходимы данные об эмиссиях отдельных источников [2, 4], включающих как местные, так и трансграничные, которые возможно оценить только с помощью спутниковых наблюдений [1].

Официальной информацией о состоянии воздушной среды в нашей стране являются ежегодные «Обзоры состояния и загрязнения окружающей среды в РФ» Росгидромета (начиная с 2007 года), по данным мониторинга окружающей среды на сети пунктов режимных наблюдений, размещенных в городах с оценкой годовых объемов выбросов ЗВ¹. Картину сезонного, межсуточного и внутрисуточного изменения возможно составить по данным спутниковых наблюдений.

Приморский край в 2020-2022 годах, в том числе и город Владивосток, по сообщению главы Росприроднадзора, попал в число регионов с самым загрязненным воздухом², где к производственным источникам загрязнения добавляются выбросы огромного количества автомобильного и морского транспорта.

Целью настоящей работы является анализ межсуточной и внутрисуточной динамики загрязняющих веществ (NO_2 , SO_2 , CO и частиц $\text{PM}_{2,5}$, используемых для комплексной оценки загрязнения индекса загрязнения атмосферы, рекомендованный ВОЗ) в зимний и летний сезоны над Владивостоком.

Одним из основных этапов исследования являлось формирование базы данных о концентрациях вышеперечисленных загрязнителей с дискретностью 3 часа в летние и зимние месяцы 2021-2022 годов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для проведения исследования были использованы данные о концентрации диоксида азота (NO_2), диоксида серы (SO_2), оксида углерода (CO) и взвешенных частиц ($\text{PM}_{2,5}$) в городе Владивостоке в месяцы основных календарных сезонов (декабрь-январь и июнь-июль) 2020-2022 годов через каждые 3 часа (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 час. местного времени). Эти данные являются результатом глобального моделирования и усвоения данных, полученных со всех систем наблюдений, в том числе спутниковых [18]. По срочным данным производился расчет среднесуточных и среднесрочных концентраций ЗВ в атмосфере. Исследо-

вание изменчивости концентраций малых газовых составляющих и твердых частиц проводилось в масштабе суточного и межсуточного разрешения.

Газовые примеси NO_2 , SO_2 , CO являются основными загрязнителями атмосферного воздуха. В последнее время резко возросла актуальность получения информации о распространении микрочастиц, загрязнение которыми представляет опасность для здоровья человека, поскольку эти частицы переносят тяжелые металлы, органические соединения, другие токсичные и вредные вещества, которые проникают в дыхательные пути человека и повреждают ДНК, вызывая рак, сердечно-сосудистые, аллергические и респираторные заболевания [13, 16]. В Российской Федерации особую важность приобретает мониторинг загрязнения атмосферного воздуха взвешенными частицами $\text{PM}_{2,5}$ [15], содержание которых наряду с газовыми примесями анализировались в настоящей работе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Город Владивосток расположен на полуострове Муравьева-Амурского и острове Русском. Муссонность климата (летом – ветры юго-восточного направления с обильными осадками и повышенной влажностью, зимой – сильные ветры северо-западного направления с небольшим количеством осадков) определяется особыми условиями его физико-географического положения на побережье Японского моря.

Владивосток является один из самых автомобилизированных городов в России. Количество машин на 1 000 человек в городе на начало 2020 года, по данным городской администрации, превысило 510, что значительно больше, чем в других крупных городах России. Большая часть автомобильного транспорта (включая грузовой и общественный) имеет значительный срок эксплуатации и поэтому не соответствует современным экологическим стандартам. Владивосток – крупный торговый и военный порт, все морские причалы которого, а их около 65, имеют закрытые и открытые склады, наливные, сухие и контейнерные терминалы, находятся в пределах городской черты. Крупные контейнеровозы, танкеры, навалочные, военные суда, подводные лодки и малые суда в процессе эксплуатации «поставляют» в ат-

¹ Обзор состояния и загрязнения окружающей среды в Российской Федерации за 2020 год. URL: <http://downloads.igce.ru/publications/reviews/review2020.pdf> (дата обращения: 20.02.2022).

² Росприроднадзор: самый грязный воздух – в Приморье. Аргументы и факты. URL: https://vl.aif.ru/society/rospririodnazdor_samuyu_gryaznyuy_vozduh_v_primore? (дата обращения: 20.02.2022).

мосферу огромное количество углекислого газа, окислов азота и серы. 5 тепловых станций и 200 котельных разной производительности работают преимущественно на углях, мазуте, дизельном топливе, только единичные из них используют газ, являются также основными источниками загрязняющих атмосферу веществ. В черте города расположен крематорий, основные выбросы которого состоят из диоксида азота, оксида углерода, твердых веществ, что сравнимо с выбросами крупной автострады (крематорий с одной печью относят к предприятиям 2-го класса опасности). Кроме того, «Дальхимпром», бутощебеночный завод, мебельные цеха, «Владхлеб», кондитерская фабрика, небольшой инструментальный завод, предприятия мясоперерабатывающей промышленности вносят свой вклад в загрязнение воздуха.

При небольшой площади города (331 км²) перечисленные источники эмиссии ЗВ формируют напряженную экологическую ситуацию, однако особые метеорологические условия способствуют ее самоочищению зимой, весной и осенью. Наиболее неблагоприятные для очищения атмосферы метеорологические условия создаются летом – повышенная влажность, небольшие скорости ветра.

Установлены особенности загрязнения воздуха во Владивостоке отдельными газовыми и аэро-

зольными веществами в зимний и летний сезоны 2021-2022 годов.

Концентрации диоксида азота в зимний период в 3 раза превышают значения летних показателей (табл. 1). Наиболее значительные межсуточные изменения отмечаются в декабре (коэффициент вариации $C_v = 63\%$), к январю эти колебания имеют меньший размах, который характерен и для летних месяцев ($C_v = 34 - 38\%$). В распределении концентраций двуокиси серы наблюдается аналогичные сезонные особенности, за исключением межсуточной изменчивости в декабре ($C_v = 34\%$). Сезонный ход оксида углерода выражен более слабо: летние концентрации в 1,5-2 раза ниже зимних. Однако, межсуточная изменчивость загрязнения атмосферы угарным газом летом выше по причине частых туманов, связанных с выносом морских воздушных масс с Охотского и Японского морей. Содержание в воздухе микрочастиц (PM_{2,5}) в декабре, январе и июне практически одинаково, к июлю оно понижается. Межсуточная изменчивость в зимний период незначительна. Повышенные ее величины летом объясняются выпадением осадков, особенно обильных в июле (вторая фаза летнего муссона), которые «осаждают» частицы на земную поверхность. Общий уровень загрязнения и распределение концентраций ЗВ в воздухе зависит от времени суток и сезона.

Таблица 1

Показатели концентрации загрязняющих веществ
[Table 1. Indicators of the concentration of pollutants]

Показатели / Indicators	Загрязняющие вещества / Pollutants			
	NO ₂ , мкг/м ³ mcg/m ³	SO ₂ , мкг/м ³ mcg/m ³	CO, мг/м ³ mcg/m ³	PM _{2,5} , мкг/м ³ mcg/m ³
	декабрь 2021 г.			
Среднее значение	8,45	8,08	0,24	10,50
Коэффициент вариации (C _v), %	63	34	23	29
	январь 2022 г.			
Среднее значение	6,68	8,47	0,25	11,00
Коэффициент вариации (C _v), %	35	29	19	30
	июнь 2021 г.			
Среднее значение	2,53	2,82	0,18	11,06
Коэффициент вариации (C _v), %	38	37	30	56
	июль 2021 г.			
Среднее значение	2,59	2,45	0,13	7,74
Коэффициент вариации (C _v), %	34	34	26	72

Диоксид азота (NO₂). Продукт химических преобразований выбросов автотранспортом и предприятиями теплоэнергетики [5].

Сезонный ход концентраций NO₂ зимой меняется в течение суток от 4 до 11 мкг/м³, тогда как

летом от 1 до 4,5 мкг/м³ (рис. 1). Повышенные значения концентраций диоксида азота в зимний период связаны с уменьшением диссоциации молекул NO₂ за счет пониженных уровней солнечной радиации [8].

Внутри суток зимой основной минимум выделяется после полудня в 13-16 часов (4 мкг/м^3), а вторичный (утренний) – в 7 часов. Максимум концентрации (11 мкг/м^3) достигается в 22-01 час, причиной такого распределения является накопление продуктов выброса к концу светового дня и приземные инверсии. Вторичный максимум (около 10 часов утра) обусловлен увеличе-

нием потока автотранспорта в часы пик. Летом минимальные концентрации наблюдаются в предутренние часы (04-07 часов) – около 1 мкг/м^3 , а к ночи (22-01 час) они увеличиваются до $4-4,5 \text{ мкг/м}^3$ и лишь в послеполуденное время они несколько снижаются до 2 мкг/м^3 (обусловлено это дневным прогревом и увеличением неустойчивости атмосферы).

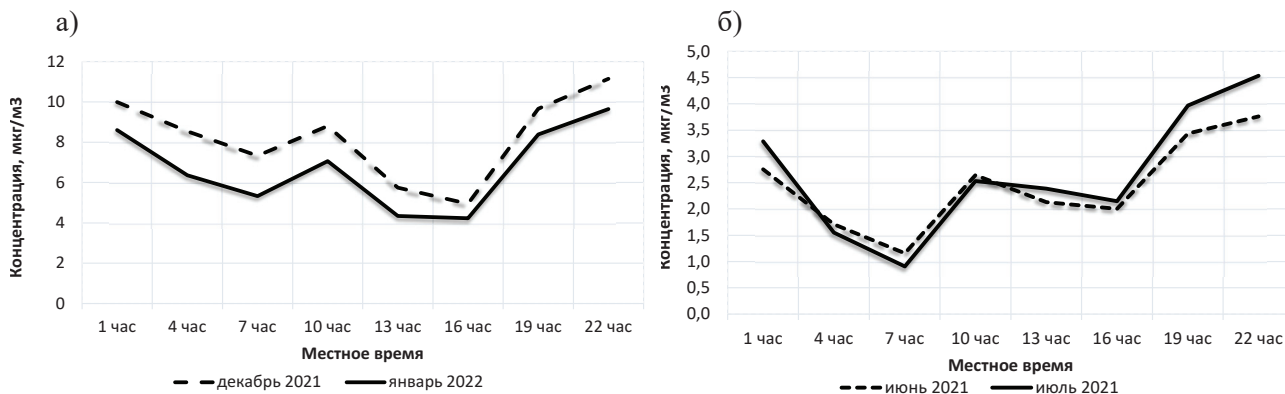


Рис. 1. Суточный ход диоксида азота зимой (а) и летом (б) в городе Владивостоке [Fig. 1. Daily variation of nitrogen dioxide in winter (a) and summer (b) in Vladivostok]

Диоксид серы (SO₂). По степени воздействия на человеческий организм относится к «умеренно-опасному химическому веществу [7].

Диоксид серы образуется при постепенном окислении сернистого ангидрида кислородом воздуха с участием света. Из-за образования в больших количествах в качестве отходов диоксид серы является одним из основных газов, загрязняющих атмосферу. Наибольшую опасность представляет собой загрязнение соединениями серы, которые выбрасываются в атмосферу при сжигании угольного топлива, нефти и природного газа, а также при выплавке металлов и производстве серной кислоты. Антропогенное загрязнение серой в два раза превосходит природное [3].

Ранее нами установлено, что в Приморском крае уровень концентраций двуокиси серы в течение холодного периода в 3-6 раз превышает таковую в теплый период года [1, 11]. По аналогии с NO₂, концентрация SO₂ зимой во Владивостоке значительно превышает летнюю (8 мкг/м^3 в сравнении с $2,5 \text{ мкг/м}^3$); диапазон суточных колебаний составляет $3,5 \text{ мкг/м}^3$ (от $6,4$ до $9,9 \text{ мкг/м}^3$) (рис. 2). Максимальная концентрация наблюдается в предутренние и утренние часы (04-07 часов), затем к 16 часам она уменьшается, достигая минимума, а вечером вновь увеличивается. Можно отметить, что утренний пик SO₂ выше вечернего.

Летом суточный ход сглажен, амплитуда составляет всего около 1 мкг/м^3 , но все же в первую

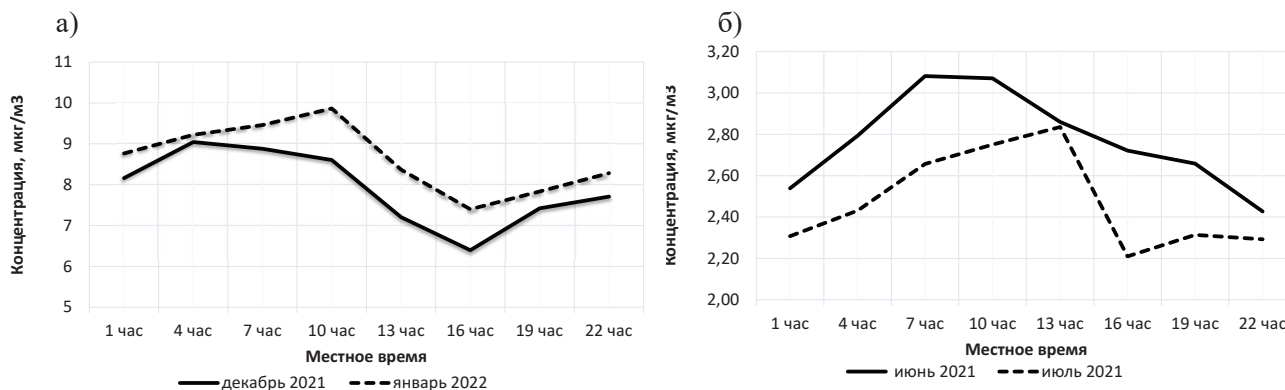


Рис. 2. Суточный ход диоксида серы зимой (а) и летом (б) в городе Владивосток [Fig. 2. Daily variation of sulfur dioxide in winter (a) and summer (b) in Vladivostok]

половину дня (10-13 часов) отмечается повышение концентрации, а в послеполуденное время её понижение.

Концентрация диоксида серы в атмосфере Владивостока связана не только с локальными источниками загрязнения, но и их поступлением из центров эмиссии с северо-восточной части Китая, в котором развита тяжелая промышленность (литейное дело, тяжелые станки, оборудование для электростанций, нефтехимическая промышленность) [9]. Долгоживущие примеси переносятся с этой территории муссонным северо-западным и западным потоками и через сутки-двое достигают юга Приморского края [17]. Поэтому диоксид серы в отличие от других городов РФ [8] не может служить индикатором выбросов дизельного автотранспорта, морского транспорта и предприятий теплоэнергетического комплекса, использующих в качестве топлива мазут и уголь.

Оксид углерода (СО). Является химически неактивным компонентом воздуха и имеет значительный срок жизни – от 10 дней до года. В го-

родских условиях основным источником является автотранспорт и выбросы ТЭЦ [6].

Суточный ход концентраций СО и SO₂ имеют схожие закономерности, которые зависят от временной изменчивости источников эмиссий и метеорологических условий в пограничном слое атмосферы (рис. 3). Максимальные концентрации угарного газа в утренние часы зимой (около 0,27 мг/м³) обусловлены низкими температурами воздуха в сочетании с интенсивным автотранспортным потоком на городских улицах. Особенно ярко это проявляется в наиболее холодный месяц года (январь). Летом в утренние часы наибольшие концентрации СО (около 0,16 мг/м³) определяются выхолаживанием приземного слоя за счет максимума эффективного излучения. В момент максимального прогрева деятельного слоя атмосферы концентрации угарного газа, соответственно, уменьшаются в 16 часов зимой (до 0,22 мг/м³) и в 13 часов летом (до 0,13 мг/м³). В целом концентрации угарного газа зимой превышают таковые в летний период более, чем в 1,5 раза.

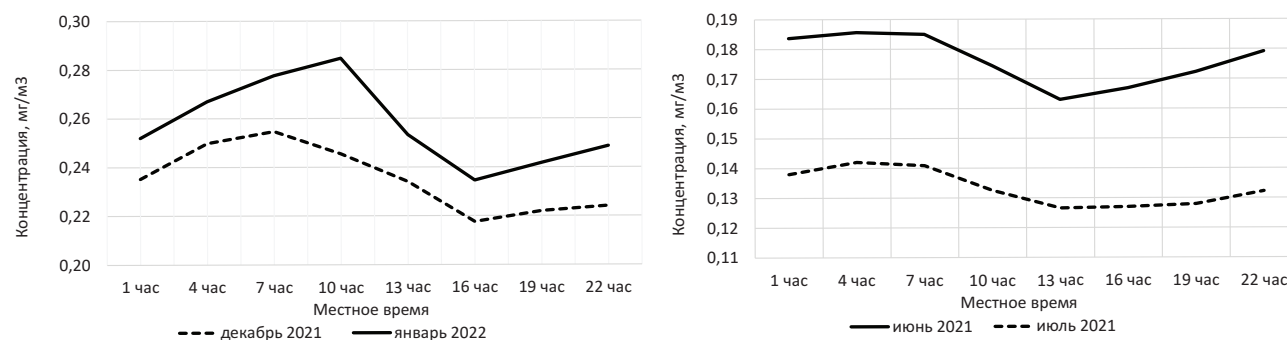


Рис. 3. Суточный ход СО зимой (а) и летом (б) в городе Владивосток
[Fig. 3. Daily variation of CO in winter (a) and summer (b) in Vladivostok]

На содержание NO₂, SO₂ и СО в атмосфере температура воздуха оказывает непосредственное влияние, поскольку меняется расход топлива на обогрев помещений, на прогрев двигателей автотранспорта. В результате зимой при понижении температуры воздуха загрязнение должно повышаться. Проведенный нами анализ выявления этой зависимости показал следующее: при понижении температуры воздуха в декабре-январе загрязнение, наоборот, снижается (коэффициент корреляции r=0,43). Мы полагаем, что во Владивостоке это связано с особенностями зимнего дальневосточного муссона: понижение температуры воздуха, как правило, сопровождается усилением ветра (в результате увеличения скорости ветра повышается потенциал самоочищения ат-

мосферы [4, 14]), что подтверждается тесной обратной связью (r = -0,44) между этими метеорологическими параметрами (рис. 4).

Частицы PM_{2,5}. Наибольшую опасность для человека представляют частицы с размерами менее 2.5 мкм (PM_{2,5}) антропогенного происхождения (выбросы промышленных предприятий и транспорта, включая эрозию дорожного покрытия вследствие движения автотранспорта и истирание тормозных колодок и шин), проникающие глубоко в легкие.

По нормам Всемирной Организации Здравоохранения среднемесячный уровень PM_{2,5} должен составлять не больше 10 мкг/м³, а среднесуточный уровень не больше 25 мкг/м³. Рассмотренные среднемесячные значения за зиму и лето 2021-

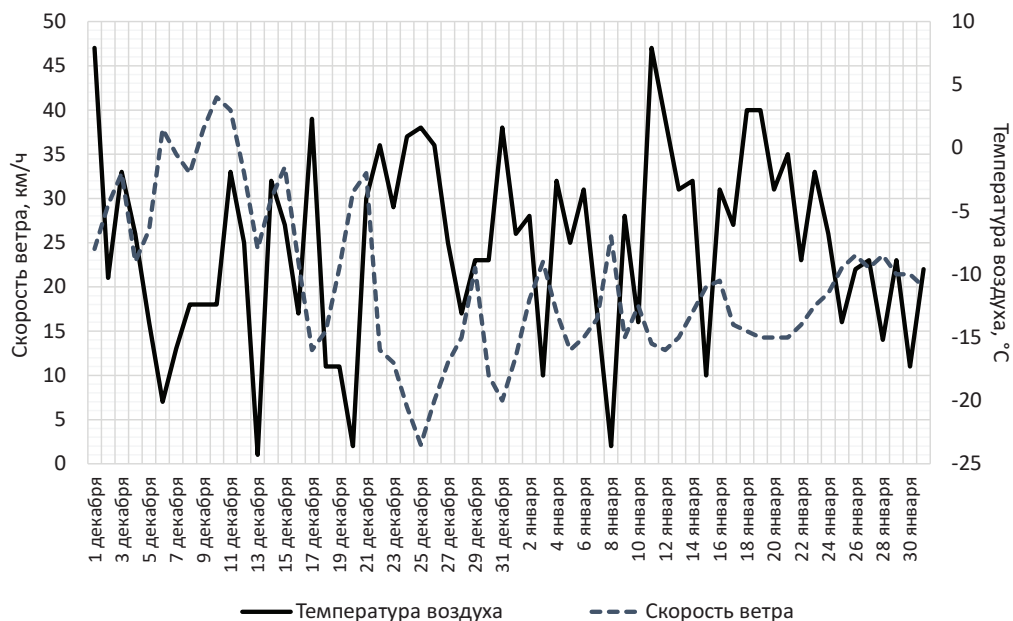


Рис. 4. Хронологический совмещенный график хода температуры воздуха и скорости ветра в декабре 2021-январе 2022 годов
 [Fig. 4. Chronological combined graph of the course of air temperature and wind speed in December 2021-January 2022]

2022 годов не превышают нормы ВОЗ, однако зафиксировано два эпизода среднесуточного максимума концентрации выше 25 мкг/м³ (10 июня и 9 июля 2021 года).

В течение двух зимних месяцев концентрация частиц меняется внутри суток от 9,8 до 12,5 мкг/м³ (рис. 5). Летом наиболее пониженная концентрация характерна для июля 2021 года (8 мкг/м³), тогда как в июне общий фон загрязнения частицами был выше (11 мкг/м³), что связано, скорее всего, с

частыми туманами. Максимальная концентрация в оба сезона достигается в утренние часы (10 час.), минимальная – в вечернее время. Следует отметить, что величины концентраций частиц зимой и летом практически сравнимы, за исключением июля, когда наблюдается ощутимый отток населения за пределы городской черты и соответственно сокращается количество автотранспорта. Это напрямую отражается на уменьшении содержания угарного газа и частиц в атмосфере.

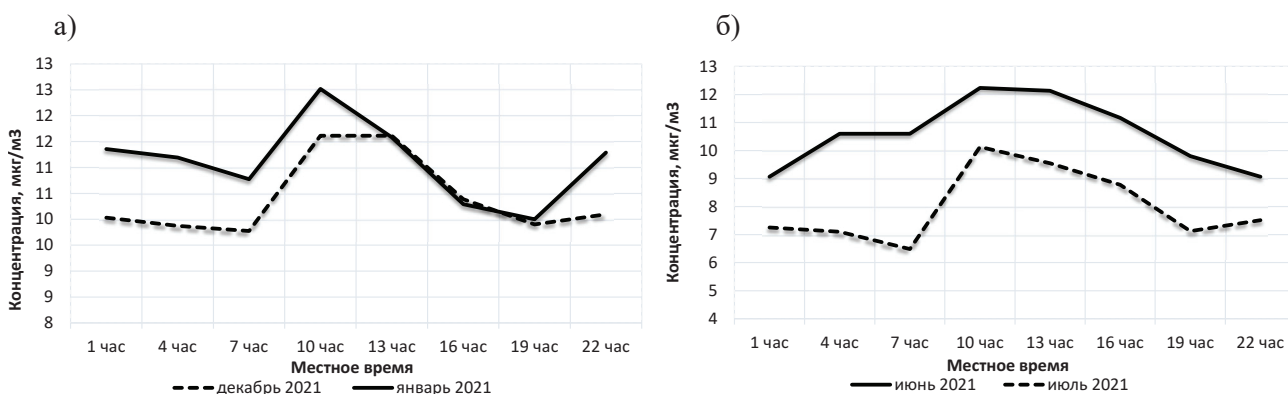


Рис. 5. Суточный ход PM_{2.5} зимой (а) и летом (б) в городе Владивостоке
 [Fig. 5. Daily variation of PM_{2.5} in winter (a) and summer (b) in Vladivostok]

Результаты аналитических исследований ряда авторов³ [10] свидетельствуют о том, что ограни-

чительные мероприятия, связанные с пандемией коронавируса COVID-19 на территории Западной

³ Китай из-за вспышки эпидемии коронавируса снизил вредные выбросы в атмосферу на четверть. URL: <https://foxtime.ru/kitaj-iz-za-vspyshki-epidemii-koronavirusa-snizil-vrednye-vybrosy-v-atmosferu-na-chetvert/> (дата обращения: 20.02.2022).

Европы и европейской части Российской Федерации привели к существенному снижению антропогенной нагрузки на окружающую среду и значительному улучшению экологической обстановки по основным типам загрязнителей. В исследовании проведенном Лаури Милливирта по данным, полученным с помощью прибора тропосферного мониторинга (TROPOMI) на спутнике Sentinel-5 EКА, показано значительное снижение содержания двуокиси азота зимой 2020 года на территории КНР⁴. Это не могло не отразиться на состоянии атмосферного воздуха в Приморском крае, на

сопредельной с КНР территории. Среднегодовые и сезонные концентрации SO_2 , CO и $\text{PM}_{2,5}$ во Владивостоке в 2020 году по сравнению с 2019 годом уменьшились [1].

Сравнительный анализ 2020 и 2021 годов показал, что однонаправленных изменений в концентрациях газовых примесей и взвешенных частиц в атмосфере Владивостока не прослеживается, но в целом заметен их незначительный рост, что связано с восстановлением темпов промышленного производства в постковидный период, особенно это характерно для диоксида серы (рис. 6).

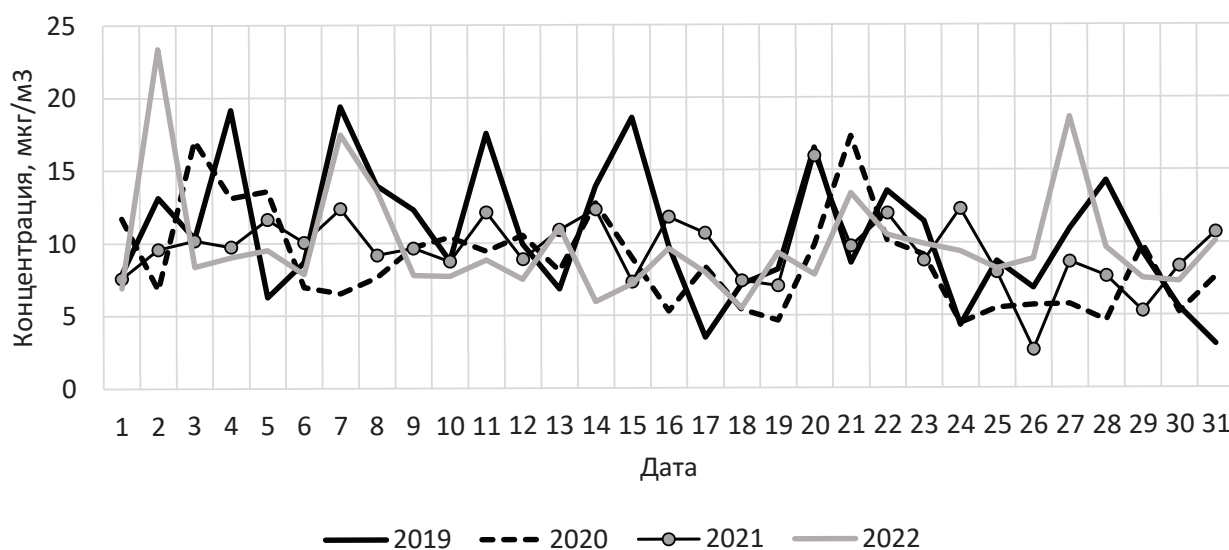


Рис. 6. Суточная межгодовая динамика диоксида серы на 10 час. местного времени в январе 2019-2022 годов [Fig. 6. Daily interannual dynamics of sulfur dioxide at 10 a.m. local time in January 2019-2022]

Так, в январе 2021 года концентрация SO_2 возросла до 9,58 мкг/м^3 в сравнении с 2020 годом (8,78 мкг/м^3), а в 2022 году достигла величины 9,86 мкг/м^3 .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фоновое загрязнение Владивостока формируется вследствие эмиссии ЗВ из множества одиночных источников, главный вклад в общее загрязнение среды вносит автомобильный, морской транспорт и ТЭК, выбросы которых при небольшой площади города формируют напряженную экологическую ситуацию.

Концентрации диоксида азота и диоксида серы в зимний период превышают значения летних показателей практически в три раза, тогда как, оксида углерода – в 1,5-2 раза. Концентрация диоксидов азота и серы, а также угарного газа в атмосфере Вла-

дивостока связана не только с локальными источниками загрязнения, но и их поступлением (особенно на фоне зимней фазы дальневосточного муссона) из центров эмиссии с северо-восточной части Китая. Содержание в воздухе микрочастиц ($\text{PM}_{2,5}$) в декабре, январе и июне практически одинаково, к июлю оно несколько понижается в результате ощутимого оттока населения за пределы городской черты и уменьшении количества автотранспорта.

Самые значительные межсуточные вариации характерны для: диоксида серы в декабре (это связано с частой сменой типов погод); микрочастиц летом (связано с выпадением осадков, особенно обильных в июле – вторая фаза летнего муссона, которые «осаждают» частицы на земную поверхность). Для суточного хода диоксида азота характерен сложный ход с основным и вторичным мак-

⁴Северо-восточные провинции Китая. URL: <https://goaravetisyan.ru/severo-vostochnye-provincii-kitaya-severo-vostochnyi-kitai-otryvok-harakterizuyushchii-severo-vostochnyi/> (дата обращения: 20.02.2022).

симумом, обусловленным, в первом случае, накоплением продуктов выброса к концу светового дня и приземными инверсиями, а во втором – увеличением потока автотранспорта в «часы пик». Летом суточный ход диоксида серы сглажен, зимой же максимальная концентрация наблюдается в предутренние и утренние часы, затем к 16 часам она уменьшается, достигая минимума, а вечером вновь увеличивается. Внутрисуточная динамика концентраций угарного газа имеет схожие закономерности с диоксидом серы, которые зависят от временной изменчивости источников эмиссий и метеорологических условий в пограничном слое атмосферы. Максимальная концентрация микрочастиц $PM_{2.5}$ в оба сезона достигается в утренние часы, а минимальная – в вечернее время.

Особые метеорологические условия на юге Приморского края, связанные с муссонным типом климата, способствуют самоочищению атмосферы зимой (сильный ветер и пониженная влажность) и летом (повышенная влажность, небольшие скорости ветра). Однако, самоочищение играет не основную роль в загрязнении атмосферы Владивостока, поскольку зимой ЗВ с промышленных предприятий Китая ухудшают экологическую ситуацию города.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анализ загрязнения атмосферы в Приморском крае в 2019-2020 гг. по данным спутникового мониторинга GMAO/NASA / Д.Н. Василевский, Л.Н. Василевская, И.А. Лисина, Б.Б. Мушта // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 2021, № 4 (382), с. 148-161.
2. Аномальное аэрозольное загрязнение воздуха в Москве вблизи локального антропогенного источника в июле 2021 года / Д.П. Губанова, А.А. Виноградова, А.И. Скороход, М.А. Иорданский // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 2021, № 4 (382), с. 134-148.
3. Ахметов Н.С. *Общая и неорганическая химия: учебник*. Санкт-Петербург: Лань, 2018. 744 с.
4. Влияние метеорологических условий на антропогенное загрязнение воздуха в городах Беларуси / В.В. Божкова, Р.Н. Бурак, Б.Б. Козерук и др. // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 2017, вып. 365, с.46-55.
5. ГН 2.1.6.1338-03. *Гигиенические нормативы. Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе населенных мест.* – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294814/4294814669.htm> (дата обращения: 30.12.2021). – Текст: электронный.
6. Изменчивость концентраций основных загрязнителей воздуха в Лондоне / А.М. Звягинцев, И.Н. Кузнецова, О.А. Тарасова, И.Ю. Шалыгина // *Оптика атмосферы и океана*, 2014, вып. 27, № 5, с. 424-434.
7. Карапетьянц М.Х., Дракин С.И. *Общая и неорганическая химия*. Москва: Химия, 2000. 592 с.
8. *Климат Москвы в условиях глобального потепления: монография* / под ред. А.В. Кислова. Москва: Издательство Московского университета, 2017. 288 с.
9. Кондратьев И.И. *Трансграничный атмосферный перенос аэрозоля и кислотных осадков на Дальний Восток России*. Владивосток: Дальнаука, 2014. 300 с.
10. Кривошеев В.В., Столяров А.И. Влияние первой волны пандемии COVID-19 на экосистему Европы // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 2021, № 4 (382), с.112-133.
11. Крюкова С.В. Симакина Т.Е. Оценка влияния метеорологических параметров на концентрации загрязняющих веществ в атмосфере Санкт-Петербурга // *Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук*, 2015, № 5-2, с. 299-305.
12. Марченко В.С., Ложкина О.В., Сорокина О.В. Постановка и результаты численных исследований возникновения чрезвычайного локального загрязнения воздуха NO_x вблизи автодорог на примере Санкт-Петербурга // *Вестник СПб УГПС МЧС РФ*, 2014, № 4, с. 1-7.
13. Система прогнозирования качества воздуха на основе химических транспортных моделей / И.Н. Кузнецова, И.Ю. Шалыгина, М.И. Нахаев и др. // *Гидрометеорологические исследования и прогнозы*, 2019, № 4 (374), с.203-218.
14. О содержании малых газовых примесей в приземном слое атмосферы над Москвой / Н.Ф. Еланский, М.А. Локощенко, А.В. Трифанова, и др. // *Известия РАН. Физика атмосферы и океана*, 2015, т. 51, № 1, с. 39-51.
15. РД 52.04.830-2015. *Массовая концентрация взвешенных частиц PM_{10} и $PM_{2.5}$ в атмосферном воздухе.* – URL: <https://base.garant.ru/72359242/>? (дата обращения: 18.12.2021). – Текст: электронный.
16. From $PM_{2.5}$ exposure to $PM_{2.5}$ risks of inhaled dose in daily activities: Empirical evidence during workdays from Guangzhou / Jie Song, Suhong Zhou, Jianbin Xu, Lingling Su // *Atmospheric Environment*, 2021, vol. 249. pp. 1-12.
17. Kim J., Cho S. Y. A numerical simulation of present and future acid deposition in North East Asia using a comprehensive acid deposition model // *Atmospheric Environment*, 2003, vol. 37. pp. 3375-3383.
18. *US National Weather Service.* – URL: <https://earth.nullschool.net/ru/> (accessed 05.12.2021). – Text: electronic.

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

Поступила в редакцию 21.06.2022

Принята к публикации 05.06.2023

Daily Variability of Concentrations of Air Pollutants in the Main Seasons of the Year in Vladivostok

D.N. Vasilevsky¹ ✉, I.A. Lisina², L.N. Vasilevskaya²

¹The Far Eastern Branch of the Russian Research Institute for Integrated Use and Protection of Water Resources, Russian Federation (53B, Nekrasovskaya Str., Vladivostok, 690002)

²Far Eastern Federal University, Russian Federation (10, Ajax, Russian island, Vladivostok, 690922)

Abstract. The purpose of the work is the day-to-day and intra-day distribution of the main pollutants in the atmosphere of Vladivostok in the winter and summer seasons.

Materials and methods. The average daily and mid-term concentrations of pollutants in the atmosphere of Vladivostok city were calculated based on the formed database of eight-hour (00, 03, 06, 09, 12, 15, 18, 21 local time) satellite observations of the content of nitrogen dioxide (NO₂) and sulfur (SO₂), carbon monoxide (CO), fine particulate matter (PM_{2.5}) in December-January and June-July of 2020-2022.

Results and discussion. The study found that against the background of a small population and a relatively low industrial and production load on the environment, significant emissions of atmospheric pollutants are associated with a high concentration of road and sea transport, intensive work of seaports, as well as winter monsoon cross-border transport from emission centers from the northeastern part of China. Concentrations of nitrogen dioxide and sulfur dioxide in Vladivostok in winter exceed the values of summer indicators by three times, and carbon monoxide by 1.5-2 times. In December, January and June, air pollution with PM_{2.5} micro-particles is at the same level, in July it decreases due to a decrease in automobile flows and their more frequent precipitation with atmospheric precipitation.

Conclusion. The daily course of NO₂, SO₂ and CO is characterized by increased concentrations in the evening and morning hours. For microparticles, the maximum concentration is reached in the morning, and the minimum – in the evening.

Key words: atmospheric pollution, daily and day-to-day course of concentrations, main pollutants, satellite monitoring, Vladivostok.

For citation: Vasilevsky D.N., Lisina I.A., Vasilevskaya L.N. Daily Variability of Concentrations of Air Pollutants in the Main Seasons of the Year in Vladivostok. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo universiteta. Seria: Geografya. Geoekologiya*, 2023, no. 2, pp. 112-121. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.17308/geo/1609-0683/2023/2/112-121>

REFERENCES

1. Analiz zagryazneniya atmosfery v Primorskom krae v 2019–2020 gg. po dannym sputnikovogo monitoringa GMAO/NASA [Analysis of atmospheric pollution in Primorsky Krai in 2019-2020 according to GMAO/NASA satellite monitoring data] / D.N. Vasilevskiy, L.N. Vasilevskaya, I.A. Lisina, B.B. Mushta. *Gidrometeorologicheskiye issledovaniya i prognozy*, 2021, no. 4 (382), pp. 148-161. (In Russ.)
2. Anomal'noye aerazol'noye zagryazneniye vozdukha v Moskve vblizi lokal'nogo antropogennogo istochnika v iyule 2021 goda [Anomalous aerosol air pollution in Moscow near a local anthropogenic source in July 2021] / D.P. Gubanova, A.A. Vinogradova, A.I. Skorokhod, M.A. Iordanskiy. *Gidrometeorologicheskiye issledovaniya i prognozy*, 2021, no. 4 (382), pp.134-148. (In Russ.)
3. Akhmetov N.S. *Obshchaya i neorganicheskaya khimiya: uchebnik* [General and inorganic chemistry: textbook]. Saint-Petersburg: Lan', 2018. 744 p. (In Russ.)
4. Vliyaniye meteorologicheskikh usloviy na antropogennoye zagryazneniye vozdukha v gorodakh Belarusi [The influence of meteorological conditions on anthropogenic air pollution in the cities of Belarus] / V.V. Bozhkova, R.N. Burak, B.B. Kozheruk i dr. *Gidrometeorologicheskiye issledovaniya i prognozy*, 2017, v. 365, pp. 46-55. (In Russ.)

© Vasilevsky D.N., Lisina I.A., Vasilevskaya L.N., 2023

✉ Denis N. Vasilevsky, e-mail: dwassil@mail.ru



The content is available under Creative Commons Attribution 4.0 License.

5. GN 2.1.6.1338-03. *Gigiyenicheskiye normativy. Pre-del'no dopustimyye kontsentratsii (PDK) zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfere vozdukh naseleennykh mest.* – URL: <https://files.stroyinf.ru/Data2/1/4294814/4294814669.htm> (accessed 30.12.2021). – Text: electronic. (In Russ.)
6. *Izmenchivost' kontsentratsiy osnovnykh zagryazniteley vozdukh v Londone [Variability of concentrations of major air pollutants in London] / A.M. Zvyagintsev, I.N. Kuznetsova, O.A. Tarasova, I.Y. Shalygina. Optika atmosfery i okeana, 2014, v. 27, no. 5, pp. 424-434.* (In Russ.)
7. Karapet'yants M. Kh., Drakin S. I. *Obshchaya i neorganicheskaya khimiya [General and inorganic chemistry].* Moscow: Khimiya, 2000. 592 p. (In Russ.)
8. *Klimat Moskvy v usloviyakh global'nogo potepleniya: monografiya [Climate of Moscow in the context of global warming: monograph] / Pod redaktsiyey A. V. Kislova. Moscow: Izdatel'stvo Moskovskogo universiteta, 2017. 288 p.* (In Russ.)
9. Kondrat'yev I. I. *Transgranichnyy atmosferynyy pereznos aerolya i kislotnykh osadkov na Dal'niy Vostok Rossii [Transboundary atmospheric transport of aerosol and acid precipitation to the Russian Far East]. Vladivostok: Dal'nauka, 2014. 300 p.* (In Russ.)
10. Krivosheyev V. V., Stolyarov A. I. *Vliyaniye pervoy volny pandemii COVID-19 na ekosistemu Yevropy [The impact of the first wave of the COVID-19 pandemic on the ecosystem of Europe]. Gidrometeorologicheskkiye issledovaniya i prognozy, 2021, no. 4 (382), pp. 112-133.* (In Russ.)
11. Kryukova S. V., Simakina T. Ye. *Otsenka vliyaniya meteorologicheskikh parametrov na kontsentratsii zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosfere Sankt-Peterburga [Assessment of the influence of meteorological parameters on the concentrations of pollutants in the atmosphere of St. Petersburg]. Aktual'nyye problemy gumanitarnykh i yestestvennykh nauk, 2015, no. 5-2, pp. 299-305.* (In Russ.)
12. Marchenko V. C., Lozhkina O. V., Sorokina O. V. *Postanovka i rezul'taty chislennykh issledovaniy vozniknoveniya chrezvychaynogo lokal'nogo zagryazneniya vozdukh NO_x vblizi avtodorog na primere Sankt-Peterburga [Formulation and results of numerical studies of the occurrence of extreme local air pollution NO_x near highways on the example of St. Petersburg]. Vestnik SPb UGPS MCHS RF, 2014, no. 4, pp. 1-7.* (In Russ.)
13. *Sistema prognozirovaniya kachestva vozdukh na osnove khimicheskikh transportnykh modeley [Air quality forecasting system based on chemical transport models] / I.N. Kuznetsova, I.Yu. Shalygina, M.I. Nakhayev i dr. Gidrometeorologicheskkiye issledovaniya i prognozy, 2019, no. 4 (374), pp. 203-218.* (In Russ.)
14. *O soderzhanii malykh gazovykh primesey v prizemnom sloye atmosfery nad Moskvoy / N.F. Yelanskiy, M.A. Lokoshchenko, A.V. Trifanova i dr. [On the content of small gas impurities in the surface layer of the atmosphere above Moscow]. Izvestiya RAN. Fizika atmosfery i okeana, 2015, t. 51, no. 1, pp. 39-51.* (In Russ.)
15. RD 52.04.830-2015. *The mass concentration of suspended particles PM10 and PM2.5 in atmospheric air.* – URL: <https://base.garant.ru/72359242/> (accessed 18.12.2021). – Text: electronic. (In Russ.)
16. *From PM_{2.5} exposure to PM_{2.5} risks of inhaled dose in daily activities: Empirical evidence during workdays from Guangzhou / Jie Song, Suhong Zhou, Jianbin Xu, Lingling Su. Atmospheric Environment, 2021, vol. 249, pp. 1-12.*
17. Kim J., Cho S. Y. *A numerical simulation of present and future acid deposition in North East Asia using a comprehensive acid deposition model. Atmospheric Environment, 2003, vol. 37, pp. 3375-3383.*
18. *US National Weather Service.* – URL: <https://earth.nullschool.net/ru/> (accessed 05.12.2021). – Text: electronic.

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

Received: 21.06.2022
Accepted: 05.06.2023

Василевский Денис Николаевич
ведущий инженер Дальневосточного филиала Российского научно-исследовательского института комплексного использования и охраны водных ресурсов, г. Владивосток, Российская Федерация, ORCID: 0000-0002-5628-3252, e-mail: dwassil@mail.ru

Лисина Ирина Альбертовна
доцент департамента наук о Земле Института Мирового океана Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток, Российская Федерация, ORCID: 0000-0001-6903-9411, e-mail: irlisina@mail.ru

Василевская Любовь Николаевна
доцент департамента наук о Земле Института Мирового океана Дальневосточного федерального университета, г. Владивосток, Российская Федерация, ORCID: 0000-0003-3241-7444, e-mail: lubavass@mail.ru

Denis N. Vasilevsky
Leading Engineer at the Far Eastern Branch of the Russian Research Institute for Integrated Use and Protection of Water Resources, Vladivostok, Russian Federation, ORCID: 0000-0002-5628-3252, e-mail: dwassil@mail.ru

Irina A. Lisina
Associate Professor at the Department of Earth Sciences of the Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation, ORCID: 0000-0001-6903-9411, e-mail: irlisina@mail.ru

Lyubov N. Vasilevskaya
Associate Professor at the Department of Earth Sciences of the Institute of the World Ocean, Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russian Federation, ORCID: 0000-0003-3241-7444, e-mail: lubavass@mail.ru