

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2021-4-149-162>

УДК 504.3.054

Анализ загрязнения атмосферы в Приморском крае в 2019–2020 гг. по данным спутникового мониторинга GMAO/NASA

***Д.Н. Василевский¹, Л.Н. Василевская²,
И.А. Лисина², Б.Б. Мушта²***

*¹Российский НИИ комплексного использования и охраны водных ресурсов,
Дальневосточный филиал, г. Владивосток, Россия;*

*²Дальневосточный федеральный университет, г. Владивосток, Россия
dwassil@mail.ru*

Обсуждаются результаты моделирования вариаций загрязняющих атмосферу веществ в Приморском крае в 2019 и 2020 гг. по данным спутникового мониторинга GMAO/NASA. Показано, что среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в 2020 г. по сравнению с 2019 г. уменьшились: двуокиси серы – на 20–35 %; сульфатов – на 5–20 %; угарного газа – на 8–20 %, концентрации твердых частиц РМ (1, 2,5 и 10 мкм) – на 25–40 %. Одной из причин снижения загрязнения воздуха в Приморском крае в 2020 г. является уменьшение антропогенной нагрузки в условиях снижения промышленной активности, уменьшения потоков транспорта как в Приморье, так и на сопредельных территориях КНР. Эпизоды высокого загрязнения в 2019 г. формировались под влиянием трансграничного переноса загрязненных воздушных масс.

Ключевые слова: загрязнение атмосферы, аэрозоли и химические элементы, трансграничный перенос, спутниковый мониторинг, Приморский край

Analysis of air pollution in Primorsky Krai in 2019-2020 according to GMAO/NASA satellite monitoring

***D.N. Vasilevsky¹, L.N. Vasilevskaya²,
I.A. Lisina², B.B. Mushta²***

*¹Far Eastern Branch of Russian Research Institute for the Integrated Use
and Protection of Water Resources, Vladivostok, Russia;*

*²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia
dwassil@mail.ru*

The results of modeling variations in atmospheric pollutants over Primorsky Krai in 2019 and 2020 based on GMAO/NASA satellite monitoring data are analyzed. It is shown that average annual concentrations of pollutants in 2020 decreased as compared to 2019: by 20–35% for sulfur dioxide; by 5–20% for sulfates; by 8–20% for carbon monoxide; by 25–40 % for particulate matter PM (1, 2.5, and 10 μm). One of the reasons for the air pollution decline in Primorsky Krai in 2020 is the reduction of anthropogenic load in the context of a decrease in industrial activity and traffic flows both in Primorye

and in the adjacent areas of China. Episodes of high pollution in 2019 were formed under influence of the transboundary transport of polluted air masses.

Keywords: air pollution, aerosol and chemical elements, transboundary transport, satellite monitoring, Primorsky Krai

Введение

Целью данной работы является анализ вариаций загрязняющих атмосферу веществ в отдельных районах Приморского края за 2019 г. и 2020 г. (год локдауна) по данным спутникового мониторинга GMAO/NASA.

В условиях постоянного роста промышленного производства, а соответственно, и увеличения количества выбросов загрязняющих веществ, мониторинг качества воздуха является одной из главных задач современной метеорологии и экологии. Изменение состава воздуха отражается не только на здоровье людей, но и на всех без исключения природных объектах. Основными антропогенными источниками загрязнения атмосферы являются промышленные предприятия, топливно-энергетический комплекс и транспорт. Немаловажное влияние на пространственное распространение загрязняющих веществ в условиях глобального изменения климата, оказывают региональные циркуляционные процессы.

В России наблюдения за атмосферным загрязнением ведутся на стационарных постах системы экологического мониторинга Росгидромета. Приморский край входит в число регионов со сложной экологической обстановкой, постов регулярного контроля загрязнений мониторинга в сложных орографических условиях недостаточно [8]. Поэтому использование возможностей дистанционного зондирования Земли приобретает особую актуальность для данной территории.

По исследованиям [7], к непрерывно растущему загрязнению атмосферы в городах добавляется загрязнение, приносимое воздушными потоками с сопредельных территорий. При условии относительно небольшого уровня локального загрязнения трансграничный перенос может являться определяющим, что было подтверждено изучением более семисот циклонов, вышедших на территорию края с 1997 по 2009 г. [10]. Результаты оценки эмиссии в Восточной Азии, рассчитанные на основе данных Emission Database for Global Atmospheric Research (EDGAR), наглядно демонстрируют распространение загрязнений с северо-восточных провинций Китая (с начала стремительного экономического роста промышленного производства) на Корейский полуостров и Приморский край [14].

Материалы и методы

В качестве исходного материала использованы результаты глобального моделирования и усвоения данных (GMAO) при центре космических полетов НАСА [15]. Данные представлены системой наблюдений за Землей GEOS-5, состоящей из группы компонентов модели, включающей

модель общей циркуляции атмосферы (AGCM), модель общей циркуляции океана (OGCM), модель общей циркуляции океан – атмосфера (AOGCM), модель химия – климат (CCM) и модель химического переноса (CTM) [11].

По координатам пяти населенных пунктов сформирована база данных о концентрации загрязняющих веществ на 10 ч местного времени.

Для оценки загрязнения атмосферы были выбраны пункты: Владивосток, Находка, Уссурийск и Посыет. Здесь сосредоточены основные источники эмиссии загрязняющих веществ, поскольку большая часть населения края проживает в южной части и на побережье. Пункт Терней, расположенный на северо-восточном побережье, рассматривался в качестве фонового района, поскольку он относительно мало населен и защищен с юга и запада от источников эмиссии загрязняющих веществ горной системой Сихотэ-Алинь (рис. 1).



Пункт	Широта, с. ш.	Долгота, в. д.	Численность населения, человек
1.Посыет	42°40'	130°48'	1 757
2.Владивосток	43°07'	131°54'	600 871
3.Уссурийск	43°48'	131°57'	172 942
4.Находка	42°49'	132°53'	142 673
5.Терней	45°02'	136°36'	3 876

Рис. 1. Карта-схема расположения пунктов.

Fig. 1. Map-scheme of the location of points.

Анализировались две категории загрязняющих веществ: химические соединения – CO (приземная концентрация угарного газа в относительных единицах объема ppbv), SO₂ (приземная концентрация двуокиси серы, мкг/м³); аэрозоли – SO_{4эс} (экстинкция сульфатами, оптическая толщина аэрозолей в τ), экстинкция света пылью (плотность оптических частиц на длине волны 550 нм в τ); приземная концентрация PM₁, PM_{2,5}, PM₁₀ (мелкодисперсные частицы диаметром менее 1, 2,5 и 10 мкм, мкг/м³).

По ежедневным данным (на 10 ч местного времени) производился расчет среднемесячных и среднегодовых концентраций загрязняющих веществ в атмосфере над территорией Азиатско-Тихоокеанского региона. Проводился пространственно-временной анализ внутригодового изменения химических соединений и твердых частиц за 2019 и 2020 гг.; исследовались метеорологические условия эпизодов экстремального загрязнения частицами PM_{2,5}.

Результаты и их обсуждение

По результатам глобального моделирования [15] установлены следующие особенности загрязнения воздуха в регионе отдельными газовыми и аэрозольными веществами в 2019 и 2020 годах.

Двуокись серы. Анализ сезонного хода приземной концентрации SO₂ во Владивостоке показал, что максимально высокой в 2019 г. она была в январе–марте (до 13,6 мкг/м³), затем к лету резко уменьшилась до 3,6 мкг/м³, а увеличение началось с конца осени (рис. 2). В 2020 г., в отличие от 2019 г., максимум отмечался в конце года – в декабре (10,7 мкг/м³); в остальном ход был похож на 2019 г., однако концентрации SO₂ были меньшими.

В Посъете в 2019 г. основные черты сезонного хода совпадают с Владивостоком, однако пик концентрации двуокиси серы зафиксирован в январе (19,4 мкг/м³, это абсолютный среднемесячный экстремум на исследуемой территории), а минимум – в весенне-летний период (от 1,4 до 4,9 мкг/м³). В 2020 г. максимум пришелся на декабрь и составил 15,9 мкг/м³.

В Находке и Уссурийске изменения среднемесячных концентраций в течение 2019 и 2020 гг. схожи с владивостокскими, однако в холодное время года в Находке они почти в 1,5 раза ниже, а в Уссурийске практически равны владивостокским.

По сравнению с другими пунктами, атмосфера в районе Тернея характеризуется низкими концентрациями двуокиси серы, составляющими в холодный период года 4,9–6,4, а в теплый – всего 0,3–0,5 мкг/м³.

В целом, уровень концентраций двуокиси серы в течение холодного периода в 3–6 раз превышает таковую в теплый период года; юго-западные районы территории (Посъет) наиболее загрязнены по сравнению с северо-восточными (Терней). Выявленная картина загрязнения

двуокисью серы на территории Приморского края следует сезонному характеру изменения муссонных потоков: в холодный период континентальные ветры направлены из центров эмиссии SO_2 в Северо-Восточном Китае, а в теплый – с прилегающей, относительно чистой морской акватории.

В 2020 г. по сравнению с 2019 г. среднегодовые концентрации двуокиси серы были меньше: в Уссурийске – на 39 %, Тернее – на 26 %, Находке – на 23 %, Владивостоке – на 21 %, Посъете – на 19 %. Это может быть обусловлено снижением промышленного производства на территории КНР из-за вспышки эпидемии коронавируса [6].

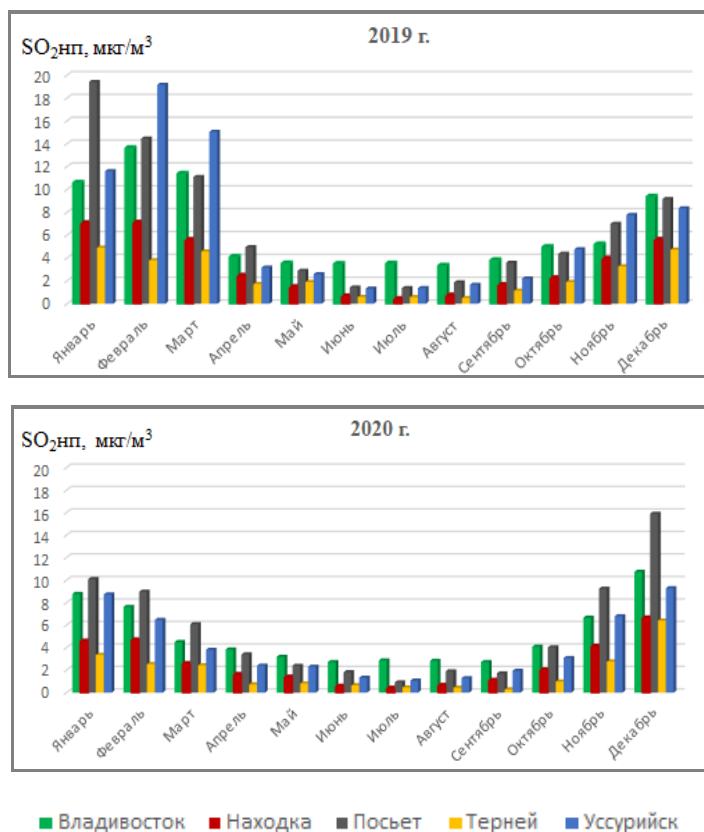


Рис. 2. Внутригодовой ход двуокиси серы в пунктах Приморского края в 2019–2020 гг.

Fig. 2. Intra-annual course of sulfur dioxide in the points of the Primorsky Krai in 2019–2020.

$\text{SO}_{4\text{ЭС}}$ – экстинкция сульфатами. В 2019 г. на исследуемой территории основной максимум среднемесячной концентрации аэрозолей – от 0,18 до 0,22 т – пришелся на летние месяцы (рис. 3), минимальные

концентрации получены для января–февраля и сентября–ноября (0,06–0,08 т). В атмосфере Тернея среднемесячные значения концентрации сульфатов самые незначительные (0,05–0,17 т) по сравнению с другими пунктами.

В 2020 г. среднемесячные концентрации $\text{SO}_4\text{эс}$ характеризуются значительной изменчивостью: максимальные величины наблюдались в июне (0,22 т), а вторичные максимумы – в марте (0,19 т) и августе–сентябре (0,15 т). Среднегодовые концентрации в 2020 г. в сравнении с 2019 г. были ниже: в Посьете, Находке и Владивостоке на 4–8 %, Уссурийске – на 10 %, Тернее – на 20 %.

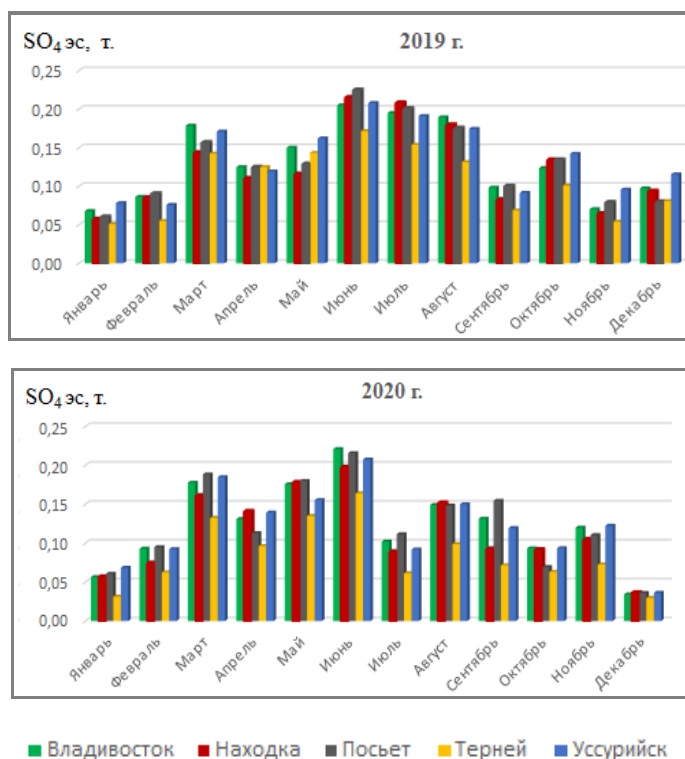


Рис. 3. Внутригодовой ход среднемесячной концентрации сульфатов в пунктах Приморского края в 2019–2020 гг.

Fig. 3. Intra-annual variation of the average monthly concentration of sulfates in the points of Primorsky Krai in 2019–2020.

Рассчитанное максимальное содержание сульфатов в период летнего дальневосточного муссона обусловлено повышенной влажностью воздуха [9], при которой химические реакции образования сульфатов происходят наиболее интенсивно. Подтверждением тому является работа ряда авторов [4], в которой показано, что пероксид водорода во влажной атмосфере

на порядок увеличивает образование сульфатов по сравнению с сухой атмосферой.

В силу особенностей исследуемой территории, в летний период наблюдается значительное поступление сульфатов от природных источников (морской аэрозоль), обусловленное господствующими ветрами морских направлений. Сезонная и межгодовая изменчивость концентраций сульфатов зависит как от влажности воздуха, так и от ветрового режима на побережье (сильный ветер и волнение моря увеличивают поступление сульфатов в атмосферу).

Угарный газ CO. В 2020 г. приземные концентрации угарного газа оказались меньше по сравнению с 2019 г. во всех рассматриваемых пунктах: в Посъете – на 6 %, Находке – на 8 %, Владивостоке – на 12 %, Уссурийске – на 21 %. Для среднемесячных концентраций угарного газа характерен максимум в зимний период, минимум – в летний сезон (рис. 4).

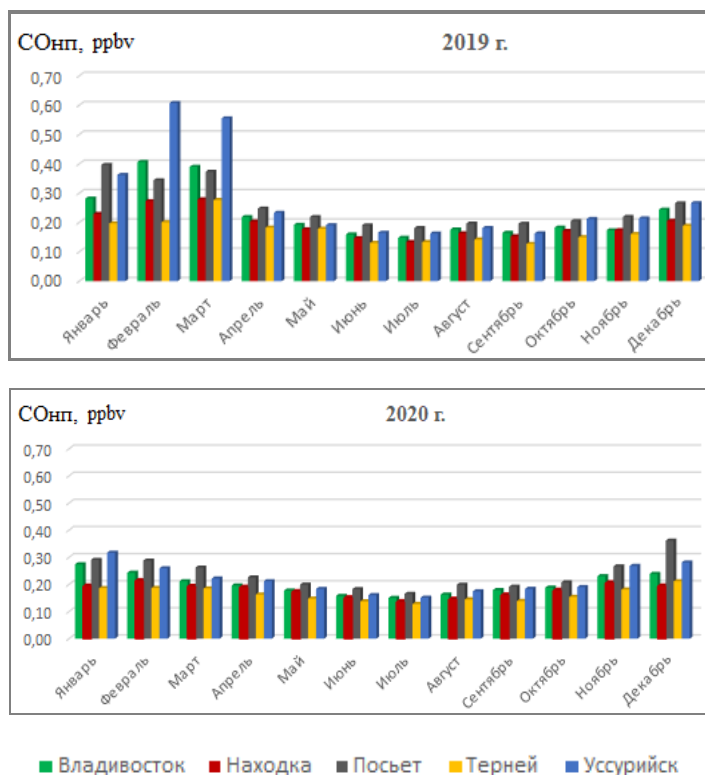


Рис. 4. Внутригодовой ход среднемесячной концентрации угарного газа в пунктах Приморского края в 2019–2020 гг.

Fig. 4. Intra-annual variation of the average monthly concentration of carbon monoxide in the points of Primorsky Krai in 2019–2020.

Плотность оптических частиц (550 нм). Внутригодовое распределение среднемесячной плотности оптических частиц в 2019 и 2020 гг. в атмосфере исследуемой территории различается (рис. 5). Так, в 2019 г. с января по май наблюдалось значительное увеличение плотности оптических частиц от 0,03 до 0,08 т. В 2020 г. увеличение АОТ происходило с января по апрель, достигнув максимального значения около 0,08 т. Постепенно концентрация уменьшалась до июля, составляя 0,02 т, и сохранялась до декабря в пределах от 0,02 до 0,03 т. В целом, в весенние месяцы среднемесячная плотность оптических частиц является наибольшей. Поскольку значительный вклад в этот показатель загрязнения, помимо антропогенных выбросов, вносят пожары и пыльные бури, то внутригодовое распределение оптической толщины аэрозолей определяется особенностями повторяемости этих явлений [8]. Пыльные бури над Приморьем наблюдаются при ветрах континентальных направлений и отсутствии снежного и растительного покрова, т. е. в весенний период.

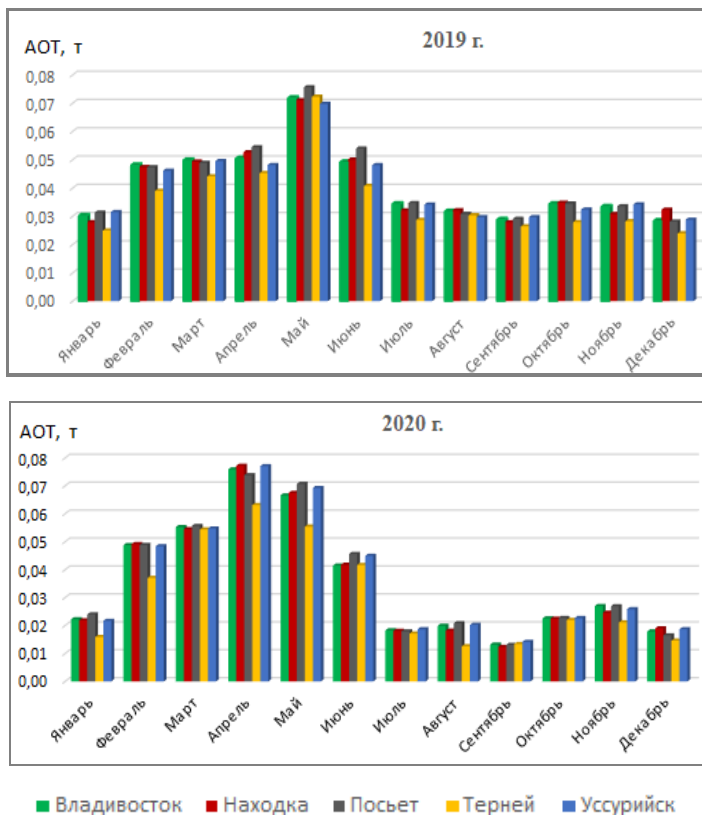


Рис. 5. Внутригодовой ход среднемесячной концентрации плотности оптических частиц в пунктах Приморского края в 2019–2020 гг.

Fig. 5. Intra-annual variation of the average monthly density of optical particles in the points of the Primorsky Krai in 2019–2020.

Взвешенные частицы РМ. Мелкодисперсные взвешенные частицы (РМ) размера 1, 2,5 и 10 мкм рекомендованы ВОЗ для оценки качества воздуха [5]. Они могут находиться в атмосферном воздухе длительное время и переноситься по воздуху на большие расстояния [2]. По модельным данным 2019–2020 гг., крупные частицы РМ₁₀ имеют наибольший вклад в аэрозольное загрязнение атмосферы Приморья – от 45 до 49 %, частицы РМ_{2,5} – от 28 до 30 %, РМ₁ – от 22 до 24 %.

РМ₁. В 2019 г. наибольшие концентрации РМ₁ на всех станциях наблюдались в январе–марте (от 34,5 до 74,5 мкг/м³), а с мая по декабрь составляли от 4,4 до 12,0 мкг/м³ (рис. 6). В 2020 г. внутригодовое распределение разительно отличалось от предыдущего года: в январе–марте концентрации были от 14,5 до 15,6 мкг/м³, в мае–октябре снизились до 5,5–8,7 мкг/м³, а в ноябре–декабре – до 15,8–23,4 мкг/м³. В целом, в 2020 г. среднегодовые концентрации частиц РМ₁ были ниже во Владивостоке и Уссурийске на 40–44 %, Находке и Посьете – на 31 %, Тернее – на 25 %. А относительный вклад в общее количество твердых частиц практически не изменился.

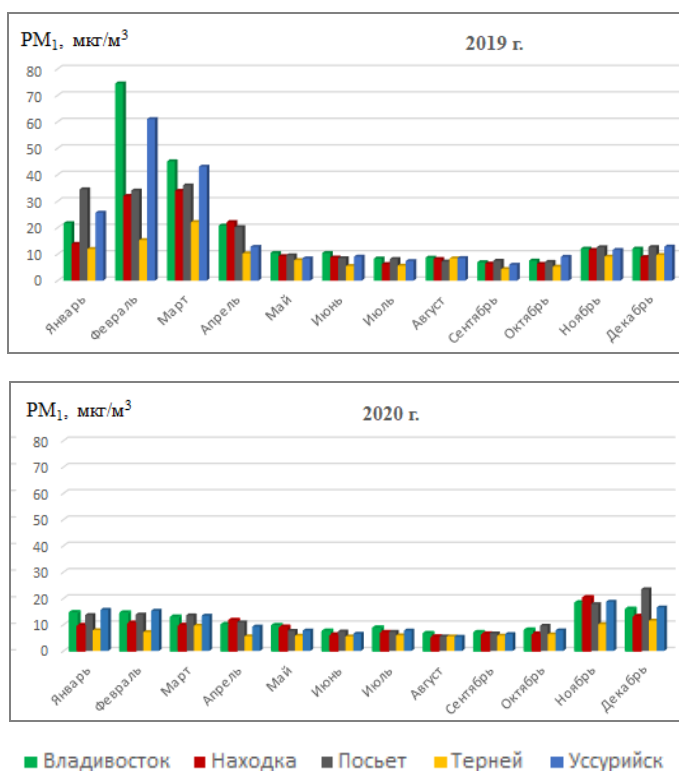


Рис. 6. Внутригодовой ход среднемесячной концентрации РМ₁ в пунктах Приморского края в 2019–2020 гг.

Fig. 6. Intra-annual variation of the average monthly concentration of РМ₁ in the points of Primorsky Krai in 2019–2020.

PM_{2.5}. Внутригодовое распределение среднемесячных концентраций этих частиц за 2019 и 2020 гг. схоже с распределением частиц PM₁. В 2019 г. концентрация PM_{2.5} менялась от 16,5 до 71,0 мкг/м³ (максимум рассчитан для Владивостока– 87,7 мкг/м³ в феврале), а в 2020 г. – от 10,7 до 25,0 мкг/м³ (максимальное значение 28,2 мкг/м³ в Посъете в декабре). По аналогии с более мелкими частицами (PM₁) в 2020 г. концентрация PM_{2.5} была ниже на 26–43 % (рис. 7).

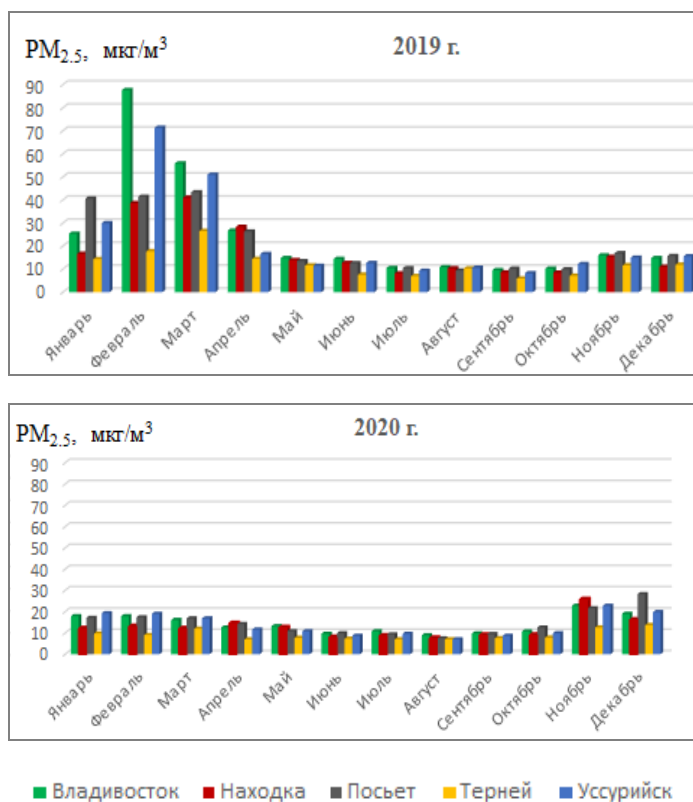


Рис. 7. Внутригодовой ход среднемесячной концентрации PM_{2.5} в пунктах Приморского края в 2019–2020 гг.

Fig. 7. Intra-annual variation of the average monthly concentration of PM_{2.5} in the points of Primorsky Krai in 2019–2020.

В городах Приморья в загрязнение атмосферы PM_{2.5} весомый вклад вносят частицы дорожно-транспортного происхождения, поскольку большое количество автотранспорта не соответствует современным экологическим стандартам [3]. По исследованиям [12] установлено, что PM_{2.5} дорожно-транспортного происхождения оказывает более негативное влияние на здоровье человека, чем аналогичная промышленная пыль. Кроме того, Китай является одной из стран, страдающих от высокого

загрязнения $PM_{2,5}$ [13]. В силу географического расположения и муссонной циркуляции Приморский край находится на пути смещения загрязненных воздушных масс из КНР.

При адвекции воздушных масс примеси выводятся из воздуха атмосферными осадками. На территории Приморья бесснежной зимой 2018–2019 гг. с декабря по март атмосферные осадки отсутствовали [1]. Среднемесячные концентрации $PM_{2,5}$ в январе–марте 2019 г. в 2–7 раз превышали нормы ВОЗ [1] во всех пяти пунктах Приморья.

Анализ метеорологических условий рассчитанного экстремального загрязнения в феврале 2019 г. показал, что 18 февраля на территорию Приморского края осуществлялся интенсивный перенос воздушных масс с соседней территории КНР; 19 февраля территория была под воздействием малоградиентного поля повышенного давления. По данным радиозондирования в северном пригороде Владивостока ночью 18 февраля наблюдалась приземная инверсия в слое 0–150 м интенсивностью 0,8 °С, днем сохранялась термическая устойчивость. Ночью 19 февраля при скорости ветра в пограничном слое 1–3 м/с приземная инверсия (0–170 м) усилилась почти до 3 °С. Ослабевая, приземная инверсия в слое 0–120 м сохранялась и днем. Такие метеорологические условия способствовали накоплению загрязняющих веществ, концентрации $PM_{2,5}$ увеличились по расчетам до 412 мкг/м³.

В другом эпизоде загрязнения (28 февраля 2019 г.) синоптические условия были похожи на условия 19 февраля: на фоне малоградиентного поля повышенного давления происходило накопление частиц при сохранении слабой приземной инверсии в слое 0–100 м. По модельным расчетам концентрация $PM_{2,5}$ увеличилась до 462 мкг/м³.

PM₁₀. Модельные расчеты показали, что изменчивость концентраций PM_{10} в исследуемые годы имеет общие черты с колебаниями более мелких частиц (PM_1 и $PM_{2,5}$ мкм) (рис. 8). В 2020 г. по сравнению с 2019 г. среднегодовые концентрации PM_{10} оказались меньше во Владивостоке на 37 %, Уссурийске – на 29 %, Находке, Посъете и Тернее – на 20 %.

По-видимому, увеличение концентраций взвешенных частиц в холодный период 2019 г. обусловлено как локальными метеорологическими условиями, в т. ч. бесснежной зимой, так и трансграничным переносом из промышленных районов Северо-Восточного Китая.

Заключение

Данные моделирования концентраций аэрозолей и химических веществ в 10 ч местного времени в Приморском крае показали, что среднегодовые концентрации загрязняющих веществ в 2020 г. по сравнению с 2019 г. уменьшились: двуокиси серы – на 20–35 %; сульфатов – на 5–20 %; угарного газа – на 8–20 %; концентрации твердых частиц PM (1, 2,5 и 10 мкм) – на 25–40 %.

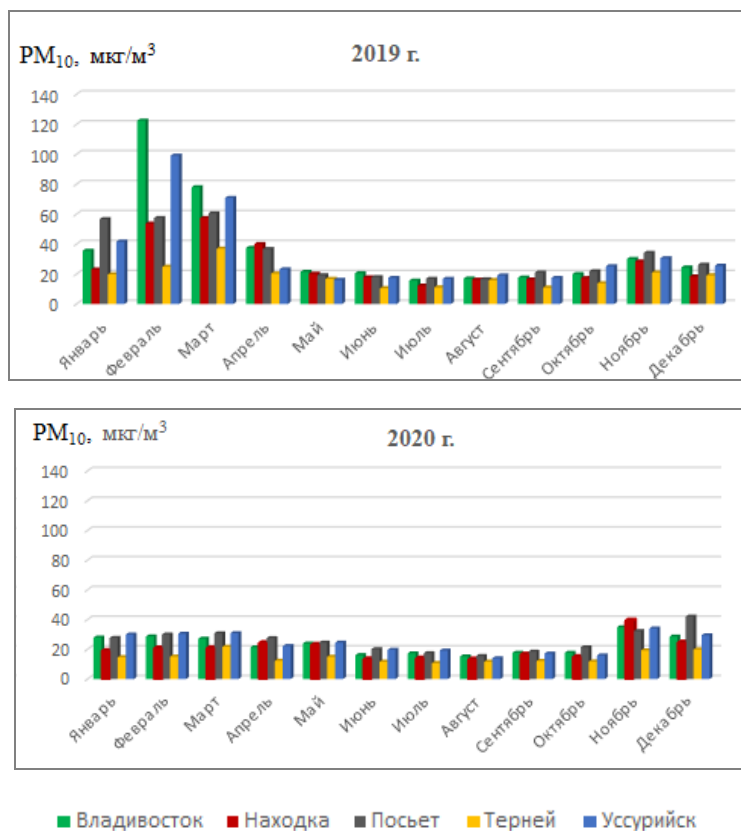


Рис. 8. Внутригодовой ход среднемесячной концентрации PM_{10} в пунктах Приморского края в 2019–2020 гг.

Fig. 8. Intra-annual variation of the average monthly concentration of PM_{10} in the points of Primorsky Krai in 2019–2020.

Одной из причин снижения загрязнения воздуха в Приморском крае в 2020 г. является уменьшение антропогенной нагрузки в условиях пандемии коронавируса COVID-19 и снижения промышленной активности, уменьшения потоков автомобильного и авиационного транспорта как в Приморье, так и на сопредельных территориях КНР. Эпизоды высокого загрязнения в 2019 г. формировались под влиянием трансграничного переноса загрязненных воздушных масс.

Список литературы

1. Василевская Л.Н., Василевский Д.Н. Особенности формирования бесснежной зимы 2018-2019 гг. на юге Приморского края // Материалы III Всероссийской конференции «Гидрометеорология и экология: достижения и перспективы развития». 2019. С. 143-145.

2. Воздействие взвешенных частиц на здоровье. Значение для разработки политики в странах Восточной Европы, Кавказа и Центральной Азии. Всемирная организация здравоохранения, Европейское региональное бюро. 2013. https://www.euro.who.int/data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf/

3. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2020 году. Владивосток. 2021. <https://www.primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/environment/protivodeystvie-korrupsii>

4. Ермаков А.Н., Алоян А.Е., Арутюнян В.О. Источники сульфатов в карбоновых частицах аэрозоля в городской атмосфере (на примере Иркутска) // Известия РАН. Физика атмосферы и океана. 2019. Т. 55, № 3. С. 52-61.

5. Загрязнение атмосферного воздуха. Всемирная организация здравоохранения. [https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

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

7. Кондратьев И.И. Атмосферный трансграничный перенос загрязняющих веществ из центров эмиссии восточной Азии на юг Дальневосточного региона России // Вестник ДВО РАН. 2008. № 1. С. 107-112.

8. Кондратьев И.И. Трансграничный атмосферный перенос аэрозоля и кислотных осадков на Дальний Восток России. Владивосток: Дальнаука, 2014. 300 с.

9. Кубай Б.В., Мендельсон Э.А., Цурикова Т.В. Изменяется ли климат Приморского края. Владивосток: Приморское УГМС, 2012. 130 с.

10. Муха Д.Э., Кондратьев И.И., Мезенцева Л.И. Трансграничный перенос кислотных осадков циклонами Восточной Азии на юг Дальнего Востока // Вестник РАН. 2011. Т. 81. № 2. С. 111-119.

11. Global Modeling and Assimilation Office. https://gmao.gsfc.nasa.gov/GEOS_systems

12. Henning F., Fuks K., Moebus S. et al. Associations between source-specific particulate matter air pollution and hs-CRP: local traffic and industrial emissions // Environ. Health Perspect. 2014. Vol. 122, no. 7. P. 703-710.

13. Maji K.J. Substantial changes in PM_{2.5} pollution and corresponding premature deaths across China during 2015–2019: A model prospective (Article) // Science of the Total Environment. 2020. Vol. 729. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138838.

14. Park S.U., Lee E.H. Long-range transport contribution to dry deposition of acid pollutants in South Korea // Atmos. Environ. 2003. Vol. 37. P. 3967-3980.

15. US National Weather Service. <https://earth.nullschool.net/ru/>

References

1. Vasilevskaya L.N., Vasilevskiy D.N. Osobennosti formirovaniya bessnezhnoy zimy 2018-2019 gg. na yuge Primorskogo kraya. Materialy III Vserossiyskoy konferentsii «Gidrometeorologiya i ekologiya: dostizheniya i perspektivy razvitiya», 2019, pp. 143-145 [in Russ.].

2. Vozdeystviye vzveshennykh chastits na zdorov'ye. Znachenije dlya razrabotki politiki v stranakh Vostochnoy Yevropy, Kavkaza i Tsentral'noy Azii. Vsemirnaya organizatsiya zdravookhraneniya, Yevropeyskoye regional'noye byuro. Available at: https://www.euro.who.int/_data/assets/pdf_file/0007/189052/Health-effects-of-particulate-matter-final-Rus.pdf/ [in Russ.].

3. Doklad ob ekologicheskoy situatsii v Primorskom kraye v 2020 godu. Vladivostok. 2021. Available at: <https://www.primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/environment/protivodeystvie-korrupsii> [in Russ.].

4. Yermakov A.N., Aloyan A.E., Arutyunyan V.O. Sulfate sources in carbonaceous aerosol particles in the urban atmosphere: the case of Irkutsk. *Izv. Atmos. Oceanic Phys.*, 2019, vol. 55, no. 3, pp. 271-280.

5. Zagryazneniye atmosfernogo vozdukha. Vsemirnaya organizatsiya zdra-vookhraneniya. Available at: [https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/ru/news-room/factsheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health) [in Russ.].

6. Kitay iz-za vspyshki epidemii koronavirusa snizil vrednyye vybrosy v atmosfere na chetvert'. Available at: <https://foxtime.ru/kitaj-iz-za-vspyshki-epidemii-koronavirusa-snizil-vrednye-vybrosy-v-atmosferu-na-chetvert> [in Russ.].

7. Kondrat'yev I.I. Atmosfernyy transgranichnyy perenos zagryaznyayushchikh veshchestv iz tsentrov emissii vostochnoy Azii na yug Dal'nevostochnogo regiona Rossii. Vestnik DVO RAN [*Vestnik of Far Eastern Branch of Russian Academy of Sciences*], 2008, no. 1, pp.107-112 [in Russ.].

8. Kondrat'yev I.I. Transgranichnyy atmosfernyy perenos aerolya i kislotnykh osadkov na Dal'niy Vostok Rossii. Vladivostok: Dal'nauka Publ., 2014, 300 p. [in Russ.].

9. Kubay B.V., Mendel'son E.A., Tsurikova T.V. Izmenyayetsya li klimat Primorskogo kraya. FBGU Primorskoye upravleniye po gidrometeorologii i monitoringu okruzhayushchey sredy, Vladivostok, 2012, 130 p. [in Russ.].

10. Mukha D.E., Kondrat'yev I.I., Mezentseva L.I. Transgranichnyy perenos kislotnykh osadkov tsiklonami Vostochnoy Azii na yug Dal'nego Vostoka // Vestnik RAN [*Vestnik of Russian Academy of Sciences*], 2011, vol. 81, no 2, pp. 111-119 [in Russ.].

11. Global Modeling and Assimilation Office. Available at: https://gmao.gsfc.nasa.gov/GEOS_systems.

12. Henning F., Fuks K., Moebus S. et al. Associations between sourespecific particulate matter air pollution and hs-CRP: local traffic and industrial emissions. *Environ. Health Perspect.* 2014, vol. 122, no. 7, pp. 703-710.

13. Maji K.J. Substantial changes in PM_{2.5} pollution and corresponding premature deaths across China during 2015–2019: A model prospective (Article). *Science of the Total Environment*, 2020, vol. 729. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.138838.

14. Park S.U., Lee E.H. Long-range transport contribution to dry deposition of acid pollutants in South Korea. *Atmos. Environ.*, 2003, vol. 37, pp. 3967-3980.

15. US National Weather Service. Available at: <https://earth.nullschool.net/ru/>

Поступила 20.06.2021; одобрена после рецензирования 30.11.2021;
принята в печать 13.12.2021.

Submitted 20.06.2021; approved after reviewing 30.11.2021;
accepted for publication 13.12.2021.