

DOI: <https://doi.org/10.37162/2618-9631-2024-3-64-76>

УДК 551.510.411:551.510.42

Влияние интенсивных атмосферных осадков на загрязнение воздуха города Владивостока

*Д.Н. Василевский¹, Л.Н. Василевская²,
И.А. Лисина², Д.А. Куваева³, А.С. Шпак²*

¹Дальневосточный филиал ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт комплексного использования и охраны водных ресурсов», г. Владивосток, Россия;

²ФГАОУ ВО «Дальневосточный федеральный университет», г. Владивосток, Россия;

³Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, г. Владивосток, Россия
dwassil@mail.ru

Рассмотрено содержание основных загрязняющих атмосферу Владивостока веществ (диоксид серы, угарный газ, диоксид азота и частицы PM_{2.5}, PM₁₀) до возникновения, во время и после выпадения ливневых твердых и жидких осадков 21–23 декабря 2022 г. и 8–9 июня 2023 г. соответственно. Анализируются развитие синоптических процессов, обусловивших эти осадки, траектории смещения воздушных частиц (с применением модели HYSPLIT) и характер изменения концентраций поллютантов, фиксируемых с помощью спутникового мониторинга GMAO, в эти периоды. Показано, что ливневые осадки значительно очищают атмосферу от аэрозольного загрязнения, причем во время снегопада угарный газ лучше вымывается из атмосферы, а микрочастицы PM₁₀ и PM_{2.5} практически полностью выпадают на подстилающую поверхность.

Ключевые слова: сильный снег, ливень, загрязнение атмосферы, Приморский край, обратный атмосферный перенос

The effect of intense precipitation on air pollution in the city of Vladivostok

*D.N. Vasilevsky¹, L.N. Vasilevskaya²,
I.A. Lisina², D.A. Kuvaeva³, A.S. Shpak²*

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

²FGAOU VO "Far Eastern Federal University", Vladivostok, Russia;

³Pacific Institute of Geography FEB RAS, Vladivostok, Russia
dwassil@mail.ru

Concentrations of the main substances polluting the atmosphere over Vladivostok (sulfur dioxide, carbon monoxide, nitrogen dioxide, and PM_{2.5}, PM₁₀ particles) before, during, and after stormwater solid and liquid precipitation on December 21-23, 2022 and June 8-9, 2023, respectively, are considered. The development of synoptic processes that caused this precipitation, air particle trajectories (using the HYSPLIT model), and the variation pattern of pollutant concentrations recorded using the GMAO satellite monitoring during these periods are analyzed. It is shown that heavy rainfall significantly cleanses the atmosphere from aerosol pollution, and during snowfalls, carbon monoxide is better washed out of the atmosphere, and PM₁₀ and PM_{2.5} particles almost completely fall on the underlying surface.

Keywords: heavy snow, heavy rain, atmospheric pollution, Primorsky Krai, reverse atmospheric transport

Введение

Метеорологические факторы оказывают сильное влияние на уровень загрязнения приземного слоя воздуха, важную роль играют ветер, влажность воздуха, туманы, осадки и т. п. Так, при сильных ветрах (не менее 6 м/с) концентрация примесей уменьшается в результате рассеивания; осадки (не менее 0,5 мм за сутки) также способны значительно очистить воздух от аэрозолей [7]. Вредные вещества, поступающие в атмосферу от антропогенных источников, переносятся на значительные расстояния от места выброса и вымываются атмосферными осадками, оседая на подстилающую поверхность и акватории заливов. И наоборот, при отсутствии атмосферных осадков загрязнение воздуха увеличивается. Наглядным подтверждением этому являются повышенные в 2–7 раз относительно нормы ВОЗ среднемесячные концентрации $PM_{2,5}$ в январе–марте 2019 г. во время бесснежной зимы 2018–2019 гг. в Приморском крае [1].

Авторами [5] показано, что ливневые осадки больше очищают воздух, чем обложные, причем скорость уменьшения концентрации сернистого газа и диоксида азота увеличивается с возрастанием интенсивности дождя, а озон и другие окислители в летнее время после дождя удаляются из атмосферы почти полностью.

Основными метеорологическими факторами, способствующими самоочищению атмосферы на северо-западном побережье залива Перта Великого зимой, являются сильный ветер и пониженная влажность [10]. Однако эти благоприятные условия «нивелируются» зимним северо-западным муссонным потоком, проходящим над промышленными районами Северо-Восточного Китая, которые являются основными источниками эмиссии поллютантов [4, 3, 11]. Именно зимний муссон по [2] – один из основных факторов, повышающих концентрации веществ, загрязняющих атмосферу исследуемой территории. Авторы указывают на то, что уровень концентрации загрязняющих веществ в холодный период выше по сравнению с теплым периодом, особенно это касается двуокиси серы, зимнее содержание которой в 3–6 раз превышает летнее.

В летний период загрязнение воздушного бассейна города определяется эмиссиями вредных веществ от локальных источников, главными из которых являются морской, автомобильный транспорт и перевалочные работы в морских портах. Летний юго-восточный муссонный поток, в отличие от зимнего, направлен с относительно чистых морских акваторий. Наиболее неблагоприятными для очищения атмосферы метеорологическими условиями в это время года являются повышенная влажность (туманы) и небольшие скорости ветра. Самоочищение атмосферы в основном происходит в результате выпадения обильных осадков во время выхода южных и тропических циклонов (тайфунов), как правило, во вторую стадию летнего муссона (с середины июля по сентябрь).

Целью данной работы явилась оценка влияния интенсивных осадков на очищение атмосферы г. Владивостока зимой во время сильного

снегопада (21–23 декабря 2022 г.) и летом – во время ливней (8–9 июня 2023 г.).

Владивосток с населением более 600 тыс. чел. – город в Приморском крае. Физико-географические особенности данного населенного пункта (открытость с северо-запада и расположенность на полуострове Муравьева-Амурского, вытянутом в акватории залива Петра Великого с северо-востока на юго-запад приблизительно на 35 км) способствуют наиболее яркому проявлению дальневосточного муссона.

Город практически «не обременен» крупными промышленными предприятиями (они были закрыты в постсоветский период). Основными локальными источниками, загрязняющими атмосферу Владивостока в настоящее время, являются транспортный и топливно-энергетический комплексы. Согласно [6], 90–98 % валового выброса вредных веществ определяют пять основных загрязнителей атмосферного воздуха Владивостока: твердые частицы (пыль, зола, сажа) – 16–20 %; оксиды серы – 20 %; оксиды азота – 6–8 %; оксиды углерода – 50 %; углеводороды – 2–5 %.

В задачи исследования входило изучение: синоптических ситуаций, обусловивших выпадение ливневых осадков; состояния атмосферы (включая метеорологические условия в приземном и пограничном слое, вертикальную структуру); динамики концентрации загрязняющих веществ (до начала, во время и после окончания ливневых осадков); определение района эмиссии поллютантов.

Материалы и методы

В качестве исходного материала использованы результаты глобального моделирования и усвоения данных GMAO, полученных со всех систем наблюдений, в том числе спутниковых [https://gmao.gsfc.nasa.gov/GEOS_systems]. Для формирования базы данных по каждому из загрязняющих веществ в исследовании использовался 3-часовой временной интервал (00, 03 ..., 21 ч ВСВ) с дальнейшим среднесуточным осреднением. Пространственное разрешение сетки GMAO составляет 25×25 км, что практически покрывает всю площадь (561 км²) Владивостокского городского округа.

Нами исследовалась динамика концентраций двуокиси серы, угарного газа, двуокиси азота, частиц PM_{2,5} и PM₁₀ среднесуточного осреднения за 6 суток (15 декабря) до начала интенсивного снегопада во Владивостоке, во время снегопада (21–23 декабря) и в течение недели после снегопада (до 31 декабря 2022 г.); а также за 5–11 июня 2023 г. (период до и после сильного ливня).

Концентрации диоксида азота на сайте GMAO представляют собой количество диоксида азота в воздухе у земной поверхности в мкг/м³. В сравнении со значениями ПДК и показателями стандартных наземных измерений концентраций на постах Росгидромета, они оказываются на 2 порядка

ниже. Предположительно, причиной такого расхождения являются неоткалиброванные до настоящего времени показатели, поскольку сведения о диоксиде азота появились на сайте ГМАО лишь с ноября 2020 г. (остальные загрязнители оценивались с 2013 г.). Однако по нашим исследованиям динамика внутригодового хода концентраций NO_2 аналогична таковой по стандартным наблюдениям во Владивостоке [<https://www.primgidromet.ru>].

Аэросиноптический и метеорологический материал включал в себя информацию с сайтов Гидрометцентра России [<https://meteoinfo.ru>], Приморского УГМС [<https://www.primgidromet.ru>], рп.5 [<https://rp5.ru>] и Корейского метеоагентства [<https://www.kma.go.kr/eng/weather/images/analysischart.jsp>].

Для построения обратных траекторий воздушных частиц, позволяющих определить район эмиссии аэрозолей, использовалась программа HYSPLIT (Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model). Траектории строились для высот 500, 700 и 1500 м над поверхностью Земли за сроки 06, 10, 16 и 22 ч ВСВ за сутки, предшествующие выпадению осадков в исследуемом пункте, т. е. прослеживался маршрут частиц за предыдущие 24 часа с 6-часовой дискретностью [www.arl.noaa.gov/hysplit].

Результаты и их обсуждение

Развитие синоптических процессов, вызвавших снегопад во Владивостоке 21–23 декабря 2022 г. 21–23 декабря 2022 г. в южной и восточной части края выпало значительное количество снега: во многих пунктах суточная сумма осадков превысила месячную норму. Так, во Владивостоке выпало 27 мм снега (при норме 23 мм [8]), за 102 года наблюдений такого количества снега никогда не выпадало [<https://meteoinfo.ru>]. Осадки были обусловлены многослойной мощной облачностью, которая сформировалась на теплом фронте глубокого южного циклона (рис. 1а). Выпадение снега было вызвано северной периферией этого циклона: сначала осадки были обусловлены теплым фронтом и его прохождением (на что указывает значительное потепление на 7,4 °С), а затем холодным фронтом (произошло резкое похолодание и усиление ветров тыловой части циклона) (рис. 1б).

Динамика изменения концентрации поллютантов в течение 16–31 декабря 2022 г. В период, предшествующий снегопаду, по метеорологическим данным [<https://rp5.ru>] и синоптическим картам с 18 по 20 декабря 2022 г. во Владивостоке преобладал слабый (2–5 м/с) северо-западный ветер, т. е. к локальным источникам загрязнения добавлялось загрязнение с континентальных районов.

Для уточнения района происхождения воздушной массы привлекалась модель атмосферного переноса HYSPLIT. Анализ траектории частиц позволил установить происхождение воздушных масс, смещающихся на

высотах 500 и 1500 м и поступивших в район исследования за 36–48 ч до снегопада (рис. 2).

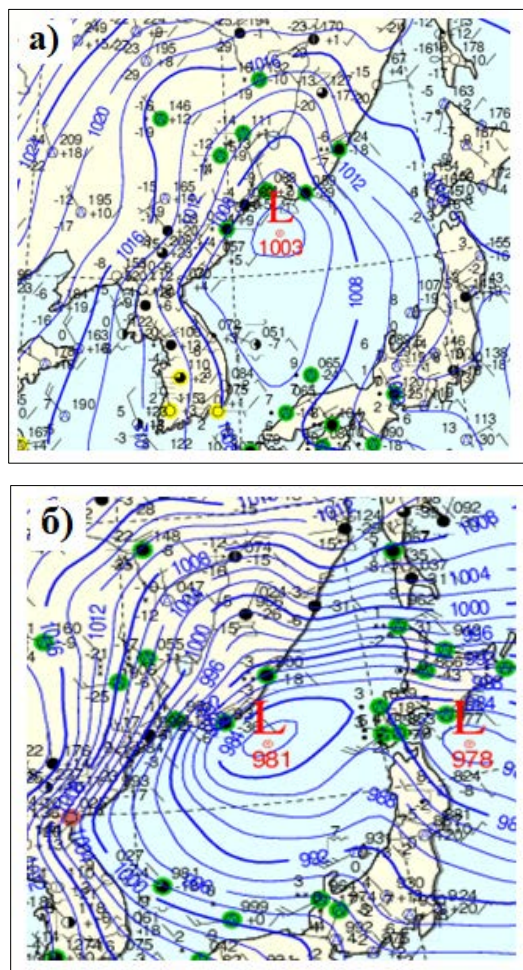


Рис. 1. Синоптические карты во время сильных снегопадов на юго-востоке Приморского края: 12 ч ВСВ 21.12.2022 (а), 15 ч ВСВ 22.12.2022 (б) [<https://meteoinfo.ru>].

Fig. 1. Synoptic maps during heavy snowfalls in the south-east of Primorsky Krai: 12 UTC 21.12.2022 (a); 15 UTC 22.12.2022 (б) [<https://meteoinfo.ru>].

За двое суток до начала снегопада (00 ч ВСВ 19 декабря) воздушная масса на высоте 700 м из провинции Внутренняя Монголия (КНР) сначала начала смещаться в юго-восточном и восточном направлениях со скоростью около 33 км/ч, а затем поднялась до 1000 м и опустилась вблизи Владивостока до 500 м 20 декабря (рис. 2а, б). А на высоте 1500 м воздушный поток из того же района в юго-восточном, практически горизонтальном

направлении смещался со скоростью около 52 км/ч. По пути смещения воздушная масса «обогащалась» поллютантами, поступающими в атмосферу Северо-Восточного Китая из таких мегаполисов, как Цицикар, Харбин, Гирин и Чанчунь.

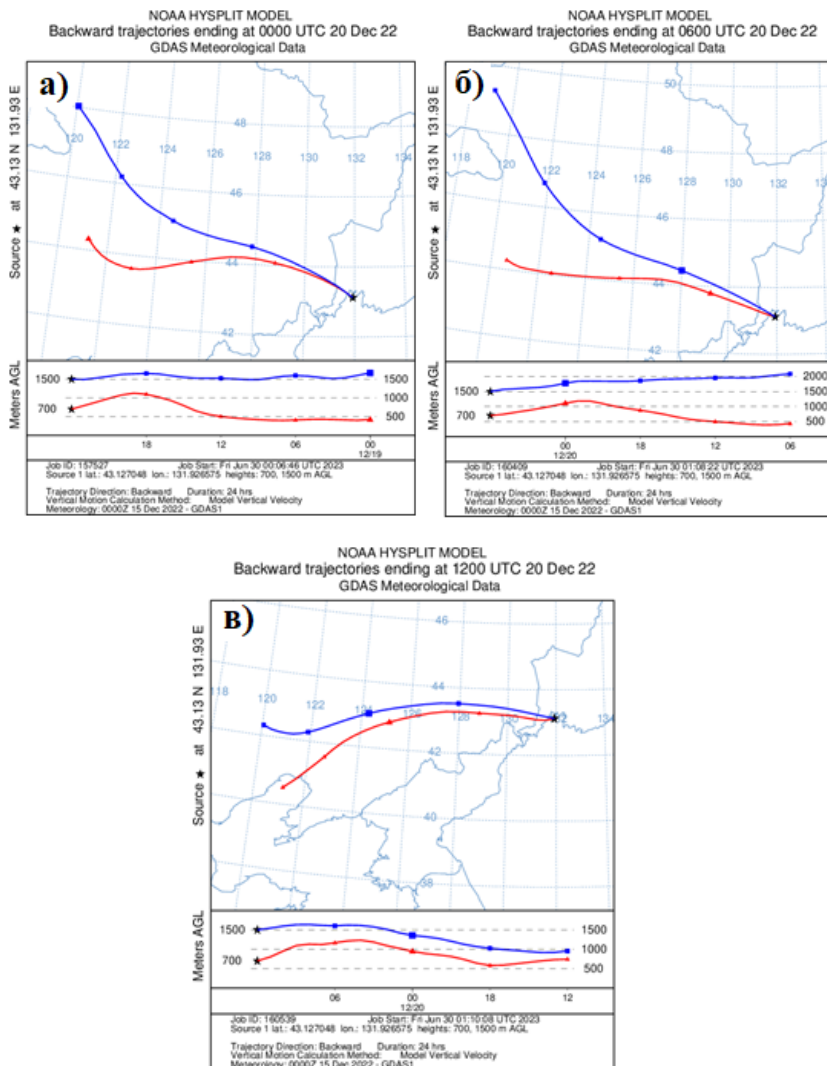


Рис. 2. Траектории воздушных частиц, поступивших во Владивосток на высоте 700 и 1500 м 20.12.2022: 00 ч ВСВ (а); 06 ч ВСВ (б); 12 ч ВСВ (в) [<https://www.kma.go.kr/eng/weather/images/analysischart.jsp>].

Fig. 2. Trajectories of air particles arriving in Vladivostok at an altitude of 700 and 1500 m on December 20, 2022: 00 UTC (a); 06 UTC (б); 12 UTC (в) [<https://www.kma.go.kr/eng/weather/images/analysischart.jsp>].

За 36 часов до снегопада траектория движения воздушной массы несколько изменилась, захватив порции воздуха с антропогенным аэрозолем из густонаселенной промышленной провинции Ляонин (рис. 2в). Таким образом, к локальному загрязнению атмосферы над югом Приморского края 19–20 декабря 2022 г. добавилось загрязнение из вышеперечисленных трансграничных районов КНР. К 10 ч ВСВ 20 декабря концентрация исследуемых загрязняющих веществ достигла максимальных значений.

Содержание диоксида серы, угарного газа, двуокиси азота и частиц $PM_{2.5}$ и PM_{10} было максимальным по сравнению с предыдущими 3–4 днями (рис. 3). Концентрация диоксида серы 20 декабря составляла $13,5 \text{ мкг/м}^3$ (рис 3а), а за время снегопада она уменьшилась на 62 % (до $5,2 \text{ мкг/м}^3$). В последующие дни концентрация постепенно повышалась и 31 декабря достигла 12 мкг/м^3 .

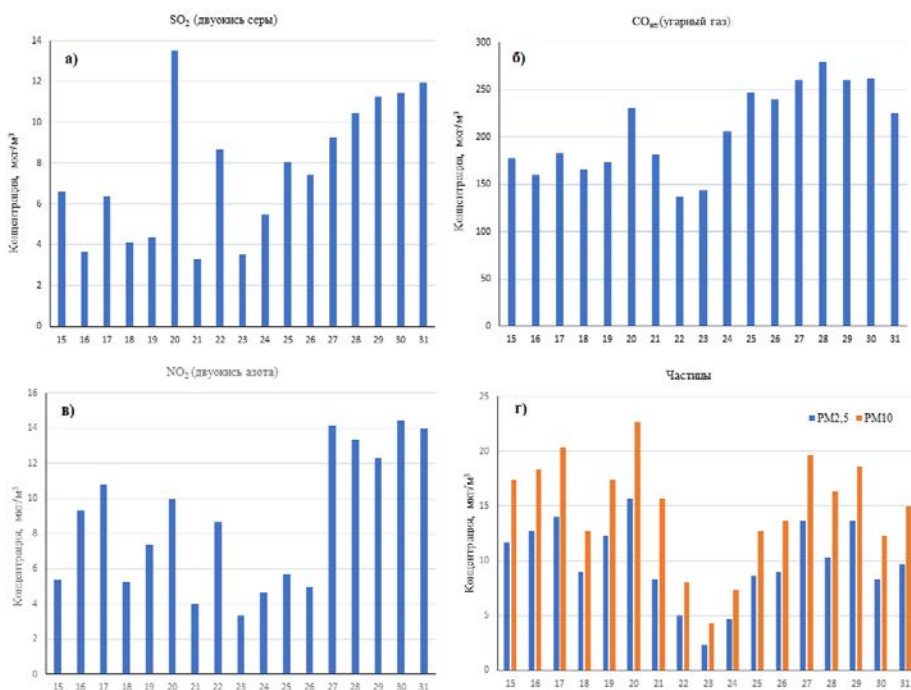


Рис. 3. Концентрации загрязняющих веществ во Владивостоке с 15 по 31 декабря 2022 г.: SO₂ (а); CO_{нп} (б); NO₂ (в); частицы PM_{2.5} и PM₁₀ (г).

Fig. 3. Concentration of pollutants in Vladivostok from December 15 to 31, 2022: SO₂ (a); CO (б); NO₂ (в); particles PM_{2.5} and PM₁₀ (г).

Максимальное содержание угарного газа (рис. 3б) в атмосфере перед снегопадом достигало 231 мкг/м^3 , выпадение снега повлекло уменьшение этого газа на 41 % (концентрация 22 декабря составила 137 мкг/м^3); начиная с 24 декабря содержание угарного газа постепенно повышалось

и достигло 279 мкг/м^3 28 декабря, что было выше значения до снегопада. Концентрация двуоксида азота в воздухе за время снегопада (21–23 декабря) понизилась на 47 %.

Перед снегопадом концентрация частиц PM_{10} была 23 мкг/м^3 , в течение двух суток они интенсивно вымывались осадками и 23 декабря их содержание понизилось на 83 % и составило 4 мкг/м^3 , а с 24 по 27 декабря оно непрерывно увеличивалось и достигло 20 мкг/м^3 . Более мелкие примеси $\text{PM}_{2.5}$ по аналогии с PM_{10} также вымывались из атмосферы твердыми осадками, их уменьшение за время снегопада составило 88 % (рис. 3г).

Следует отметить, что концентрации всех исследуемых загрязнителей за рассматриваемый период не превышали предельно допустимых концентраций, установленных СанПиН [9].

Развитие синоптических процессов, вызвавших сильный ливень во Владивостоке 8–9 июня 2023 г. Осадки 8–9 июня были связаны с прохождением фронта окклюзии (по типу теплого), который образовался в южной ложбине малоподвижной высокой дальневосточной депрессии (рис. 4).

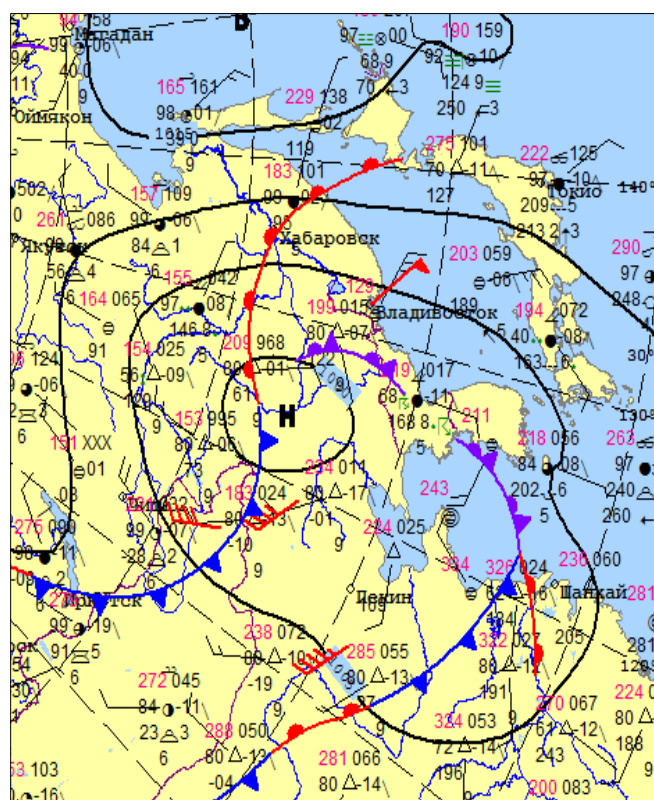


Рис. 4. Синоптическая карта 08.06.2023 06 ч ВСВ [9].

Fig. 4. Synoptic map 08.06.2023 06 UTC [9].

В зоне фронта встретились холодная воздушная масса температурой 10–13 °С, смещающаяся с Охотского моря, и теплая влажная тропическая масса температурой 18–20 °С. В области фронта в средней тропосфере наблюдалась дивергенция воздушных потоков, что наряду с термическим контрастом способствовало развитию мощной конвекции. При этом за сутки выпало 110 мм осадков, что превысило месячную норму [8] в 1,2 раза.

Динамика изменения концентрации поллютантов в течение 5–11 июня 2023 г. Погодные условия, наблюдаемые на юге Приморского края со второй половины дня 5 и 6 июня, а именно слабые ветры морского направления, повышенная влажность, временами с туманом, способствовали накоплению загрязняющих веществ локального характера и поступающих с акватории Японского моря. Но небольшие осадки (5 мм), выпавшие в первой половине дня 5 июня, способствовали вымыванию загрязнителей из атмосферного воздуха.

С утра 7 июня на исследуемую территорию переместилась более загрязненная воздушная масса, сформированная над континентальной урбанизированной частью Китая, на что указывает смещение воздушной частицы, выполненное с привлечением модели обратного атмосферного переноса HYSPLIT (рис. 5). В результате этих процессов 7 июня концентрация поллютантов в атмосфере исследуемого района достигла максимальных величин. В течение последующих суток над юго-западной частью Японского моря смешалась, постепенно увлажняясь, теплая воздушная масса, которая при выходе на южную часть Приморского края стала устойчивой и влагонасыщенной.

Вся влага 8 июня обрушилась на юг Приморского края. За время суточного ливня концентрация диоксида серы уменьшилась на 66 %, двуокиси азота – на 62 %, а содержание угарного газа понизилось лишь на 18 % (рис. 6).

Перед дождем концентрация частиц PM_{10} была 22 $мкг/м^3$, в течение суток они вымывались осадками и 9 июня их содержание понизилось на 28 % до 16 $мкг/м^3$; более мелкие примеси $PM_{2.5}$ по аналогии с PM_{10} также вымывались из атмосферы, их уменьшение за время ливня составило 29 %.

Таким образом, кратковременные ливни с грозами, прошедшие 8 июня 2023 г., обусловили снижение концентрации диоксидов серы и азота, однако они не смогли значительно очистить атмосферу от загрязнения угарным газом и аэрозольными микрочастицами.

Следует отметить, что концентрации диоксидов серы и азота в летний период были в 2,5 раза ниже, чем зимой, жидкие осадки (110 мм) значительно превышали твердые (20–25 мм), однако процесс вымывания диоксидов был заметно интенсивнее во время выпадения снега.

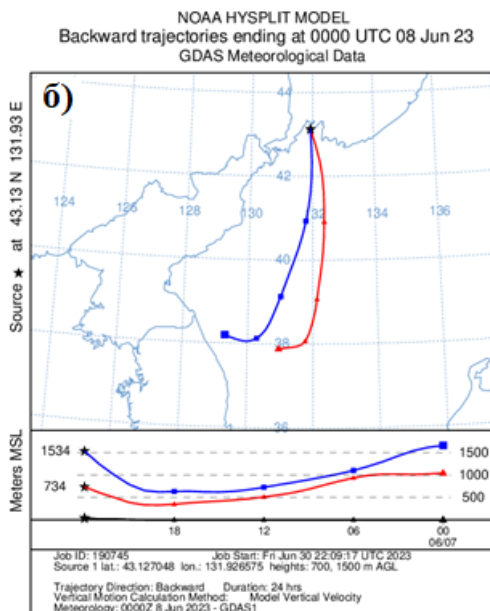
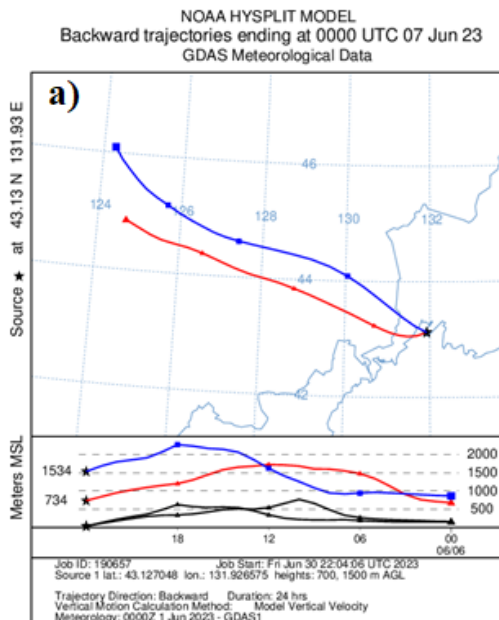


Рис. 5. Траектории воздушных частиц, поступивших во Владивосток в нижнем 1,5 км слое: 00 ч ВСВ 07.06.2023 (а); 00 ч ВСВ 08.06.2023 (б) [<https://www.kma.go.kr/eng/weather/images/analysischart.jsp>].

Fig. 5. Trajectories of air particles arriving in Vladivostok in the lower 1.5 km layer: 00 UTC on June 7, 2023 (a); 00 UTC on June 8, 2023 (б) [<https://www.kma.go.kr/eng/weather/images/analysischart.jsp>].

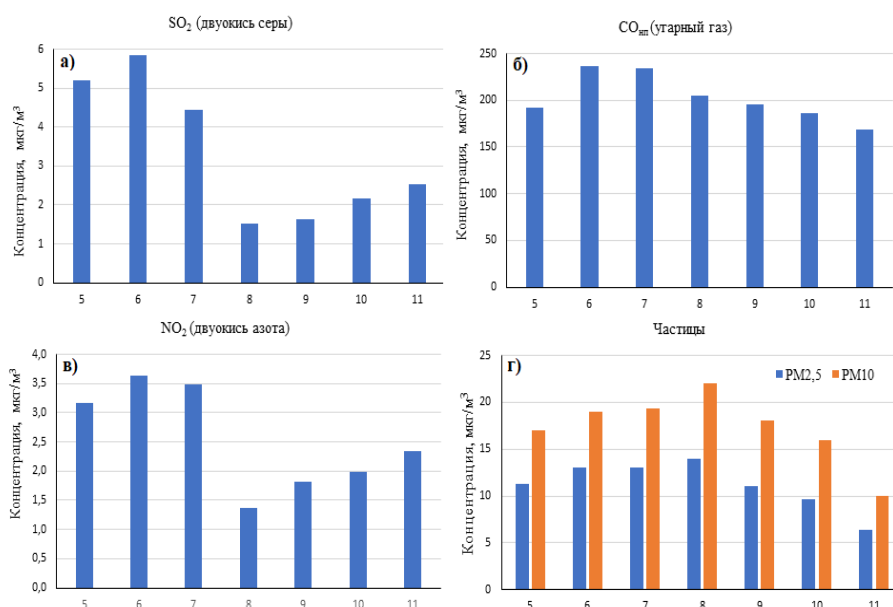


Рис. 6. Концентрации загрязняющих веществ во Владивостоке с 05 по 11 июня 2023 г.: SO₂ (а); CO_{нп} (б); NO₂ (в); частицы PM_{2.5} и PM₁₀ (г).

Fig. 6. Concentration of pollutants in Vladivostok from 05 to 11 June 2023: SO₂ (а); CO (б); NO₂ (в); particles PM_{2.5} and PM₁₀ (г).

Заключение

Смешение в приземном воздухе выбросов от транспорта, предприятий промышленности и топливно-энергетического комплекса с поллютантами, поступающими с сопредельных территорий (в зимний период с территории Северо-Восточного Китая, в летний – с акватории Японского моря) создает в атмосфере Владивостока определенную структуру загрязнения воздуха, быстро меняющуюся благодаря подвижности воздушных масс.

Использование метода обратного атмосферного переноса (модель HYSPLIT) позволило уточнить предысторию перемещения влагонасыщенных воздушных масс, вызвавших выпадение экстремальных ливневых осадков, которые способствовали очищению атмосферы от аэрозольного загрязнения.

Оксиды азота вымывались ливнями на 15 % больше, чем твердыми осадками. Очищение атмосферы от оксидов серы было практически равнозначно (62–66 %) и не зависело от фазы осадков, в отличие от угарного газа, который лучше вымывается твердыми осадками (41 % по сравнению с 18 %). Во время снегопада микрочастицы P₁₀ и P_{2.5} практически полностью выпадают на подстилающую поверхность (около 90 %), тогда как во время ливня их выпадение составило всего около 30 %.

Работа выполнена в рамках государственного задания FZNS-2023-0019 «Оценка секвестрационного потенциала прибрежно-островных экосистем».

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. *Василевский Д. Н., Василевская Л. Н., Лисина И. А., Мушта Б. Б.* Анализ загрязнения атмосферы в Приморском крае в 2019–2020 гг. по данным спутникового мониторинга GMAO/NASA // Гидрометеорологические исследования и прогнозы. 2021. № 4 (382). С. 148-161.

3. Климат Москвы в условиях глобального потепления / Под редакцией А.В. Кислова. М.: Изд-во МГУ, 2017. 288 с.

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

5. *Короткова Н. В., Семенова Н. В.* Метеорологический потенциал самоочищения атмосферы в Саратове // География в Саратовском университете. Современные исследования: сб. науч. тр. / под ред. А. Н. Чумаченко. Саратов: Изд-во Саратовского университета, 2014. С. 194–201.

6. *Котляр Е.Г., Дьмова Т.В.* Основные источники загрязнения атмосферного воздуха г.Астрахани и области // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Химическое загрязнение». Пенза, 6-7 февраля 2003 г. С. 84-86.

7. *Лапина С.Н.* Способность атмосферы различных районов Саратовской области к самоочищению // Известия Саратовского университета. Том 8. Серия Науки о Земле. 2008. Вып. 2. С. 8-11.

8. Научно-прикладной справочник по климату СССР. Серия 3, части 1-6, вып. 26. Л.: Гидрометеоиздат, 1988. 416 с.

9. Об утверждении санитарных правил и норм СанПиН 1.2.3685-21 "Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания" (с изменениями на 30 декабря 2022 года). <https://docs.cntd.ru/document/573500115/titles/65A0IQ>.

10. *Федорова А.Г., Василевская Л. Н.* Оценка способности атмосферы к самоочищению на юге Приморского края // Материалы региональной научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных по естественным наукам, Владивосток, 15–30 апреля 2022 г. С. 271-274.

11. *Чэнь Цюцзе.* Проблемы возрождения старой промышленной базы Северо-Востока КНР и пути их решения // Россия и АТР. 2022. №4. С. 156-174. DOI: 10.24412/1026-8804-2022-4-156-174.

References

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

2. Vasilevsky D.N., Vasilevskaya L.N., Lisina I.A., Mushta B.B. Analysis of air pollution in Primorsky Krai in 2019-2020 according to GMAO/NASA satellite monitoring. *Gidrometeorologicheskie issledovaniya i prognozy [Hydrometeorological Research and Forecasting]*, 2021, vol. 382, no. 4, pp. 148-161 [in Russ.].

3. *Klimat Moskvy v usloviyah global'nogo potepeniya / Pod redakciey A.V. Kislova.* Moscow, MSU publ., 2017, 288 p.

4. Kondrat'ev I.I. Transgranichnyy atmosfernyy perenos aerolya i kislotnyh osadkov na Dal'niy Vostok Rossii. Vladivostok, Dal'nauka, 2014, 300 p. [in Russ.].

5. Korotkova N.V., Semenova N.V. Meteorologicheskiy potencial samoochishcheniya atmosfery v Saratove. Geografiya v Saratovskom universitete. Sovremennye issledovaniya: sb. nauch. tr. / pod red. A. N. Chumachenko. Saratov: Izd-vo Saratovskogo universiteta, 2014, pp. 194-201 [in Russ.].

6. Kotlyar E.G., Dymova T.V. Osnovnye istochniki zagryazneniya atmosfernogo vozduha g.Astrahani i oblasti. Sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferencii «Himicheskoe zagryaznenie», Penza, 6-7 fevralya 2003 g., pp. 84-86 [in Russ.].

7. Lapina S.N., Polyanskaya E.A., Fetisova L.M., Fetisova N.A. Ability of Atmosphere in Self-Purification in Various Districts of the Saratov Region. *Izvestiya Saratovskogo universiteta [Izvestiya of Saratov University. Earth Sciences]*, 2008, vol. 8, no. 2, pp. 8-11 [in Russ.].

8. Nauchno-prikladnoy spravochnik po klimatu SSSR. Seriya 3, chasti 1-6, vyp. 26. Leningrad, Gidrometeoizdat publ., 1988, 416 p. [in Russ.].

9. Ob utverzhdenii sanitarnykh pravil i norm SanPiN 1.2.3685-21 "Gigienicheskie normativy i trebovaniya k obespecheniyu bezopasnosti i (ili) bezvrednosti dlya cheloveka faktorov sredy obitaniya" (s izmeneniyami na 30 dekabrya 2022 goda). Available at: <https://docs.cntd.ru/document/573500115/titles/65A0IQ> [in Russ.].

10. Fedorova A.G., Vasilevskaya L. N. Ocenka sposobnosti atmosfery k samoochishcheniyu na yuge Primorskogo kraya. *Materialy regional'noy nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchyonykh po estestvennym naukam*, Vladivostok, 15-30 aprelya 2022 g., pp. 271-274 [in Russ.].

11. Chen Qiujie. Problemy vozrozhdeniya staroy promyshlennoy bazy Severo-Vostoka KNR i puti ih resheniya [Problems of the Revival of the Old Industrial Base in Northeast China and Solutions]. *Rossiya i ATR*. 2022, no. 4, pp. 156-174. DOI: 10.24412/1026-8804-2022-4-156-174 [in Russ.].

*Поступила 05.04.2024; одобрена после рецензирования 24.09.2024;
принята в печать 15.10.2024.*

*Submitted 05.04.2024; approved after reviewing 24.09.2024;
accepted for publication 15.10.2024.*