

Влияние трансграничных переносов на загрязнение атмосферы Приморского края в 2024 г., на примере поселка Смычка

София Александровна ХАРЧЕНКО¹
старший инженер
sonic_kh@mail.ru

Денис Михайлович ЖАРКОВ^{1,2}
старший инженер
Deniska2001.den@mail.ru

Кирилл Сергеевич ГАНЗЕЙ¹
доктор географических наук, директор
geo2005.84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4697-5255>

¹Тихоокеанский институт географии ДВО РАН, Владивосток, Россия

²Дальневосточный федеральный университет, Владивосток, Россия

Аннотация. В работе анализируются источники поступления поллютантов в атмосферный воздух в пос. Смычка Дальнегорского района Приморского края в результате трансграничного переноса воздушных масс. Данные за 2024 г., использованные для анализа, получены со станции экологического мониторинга состояния окружающей среды, установленной в поселке. Для анализа источников поступления поллютантов в район исследований осуществлено построение обратных траекторий движения воздушных масс на основе сервиса HYSPLIT. Выявлены причинно-следственные связи превышений показателей PM 2.5, PM 10, SO₂, NO₂, CO и H₂S или их колебаний по сравнению со средними значениями за год. Отмечается, что данные по всем показателям не превышали ПДК за весь период наблюдений. Показано, что основными источниками трансграничного поступления загрязняющих веществ в район являются выбросы промышленных предприятий Китая, прохождение пыльных бурь и выбросы от лесных пожаров. Установлено, что максимальные концентрации загрязняющих веществ наблюдаются в периоды устойчивых западных ветров, способствующих переносу загрязненного воздуха в Приморский край. Зафиксирован факт локального влияния хозяйственной деятельности на состав атмосферного воздуха в поселке Смычка, который выражается в увеличении содержания PM 2.5, PM 10 в воздухе в результате отопления жилых домов в осенне-весенний период. Выполнено сравнение полученных данных химического состава снежного покрова в регионе с материалами предыдущих исследований. Приводятся результаты первого этапа работ по анализу влияния трансграничного атмосферного переноса загрязняющих веществ на территорию Приморского края и ее геоэкологическое состояние.

Ключевые слова: трансграничный перенос, поллютанты, антропогенное воздействие, выбросы, атмосфера, Приморский край

Для цитирования: Харченко С.А., Жарков Д.М., Ганзей К.С. Влияние трансграничных переносов на загрязнение атмосферы Приморского края в 2024 году, на примере поселка Смычка // Тихоокеанская география. 2025. № 4. С. 88–98. https://doi.org/10.35735/26870509_2025_24_7.

The impact of transboundary transfers on atmospheric pollution in Primorsky Krai in 2024, using the example of Smychka Settlement

Sofia A. KHARCHENKO¹

Engineer Senior
sonic_kh@mail.ru

Denis M. ZHARKOV^{1,2}

Senior Engineer
Deniska2001.den@mail.ru

Kirill S. GANZEI¹

Doctor of Geographical Sciences, Director
geo2005.84@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4697-5255>

¹Pacific Geographical Institute FEB RAS, Vladivostok, Russia

²Far Eastern Federal University, Vladivostok, Russia

Abstract. The paper analyzes the sources of pollutant emissions into the atmospheric air in Smychka Settlement, Dalnegorsky District of Primorsky Krai, as a result of transboundary air mass transfer. Data for 2024 used for the analysis were obtained from the environmental monitoring station installed in the settlement. To analyze the sources of pollutants entering the study area, reverse trajectories of air mass movement were reconstructed using the HYSPLIT service. Causal relationships were identified regarding the exceedances of PM 2.5, PM 10, SO₂, NO₂, CO, and H₂S levels compared to the average annual values. The data for all indicators did not exceed the maximum permissible concentrations (MPC) throughout the entire monitoring period. The main sources of transboundary pollutant emissions into the region were identified as emissions from industrial enterprises in China, dust storms, and wildfires. The maximum concentrations of pollutants occurred during periods of stable westerly winds, which contribute to the transfer of polluted air to Primorsky Krai. A localized impact of economic activities in Smychka Settlement on the atmospheric air composition was recorded, resulting in increased levels of PM 2.5 and PM 10 due to residential heating in the autumn-winter period. The obtained data were compared with materials from previous research on the chemical composition of the snow cover in the region. These results represent the first stage of an analysis of the impact of transboundary atmospheric transport of pollutants on the geoecological status of the Primorsky Krai region.

Keywords: transboundary transfer, pollutants, anthropogenic impact, emissions, atmosphere, Primorsky Krai

For citation: Kharchenko S.A., Zharkov D.M., Ganzei K.S. The impact of transboundary transfers on atmospheric pollution in Primorsky Krai in 2024, using the example of Smychka Settlement. *Pacific Geography*. 2025;(4):88-98. (In Russ.). https://doi.org/10.35735/26870509_2025_24_7.

Введение

Трансграничный перенос загрязняющих веществ представляет собой важный фактор, влияющий на качество атмосферного воздуха в различных регионах. В условиях интенсивного развития промышленности загрязняющие вещества, образующиеся в одной стране, могут свободно перемещаться через границы, оказывая влияние на экологическую обстановку в соседних государствах. Особое влияние на состояние окружающей среды Дальнего

Востока России, включая Приморский край, имеет трансграничный атмосферный перенос загрязняющих веществ с территории Китая.

Атмосфера представляет собой один из ключевых компонентов географической оболочки, испытывающих прямое и косвенное воздействие в результате хозяйственной деятельности. Влияние химических веществ на атмосферу обусловлено множеством факторов и проявляется в том числе в изменениях климата. Они оказывают значительное воздействие на биологические составляющие геосистем, а также на здоровье человека. Особенностью атмосферы является высокая подвижность, что делает ее транзитной средой, благодаря чему вещества быстро распространяются на значительные расстояния.

Атмосферная циркуляция Приморского края определяется муссонами, которые формируют летний и зимний режимы погоды. Важную роль играют барические системы, такие как азиатский антициклон и область пониженного давления, которая зимой устанавливается не только над Охотским морем, но и над большей частью умеренных и полярных широт северо-западной части Тихого океана, особенно над южной половиной Берингова моря. В летний период формируется особая барическая пара: над материком устанавливается область пониженного давления (Южно-Азиатский минимум), а над океаном – область повышенного давления (Северо-Тихоокеанский максимум). Это создает благоприятные условия для формирования летнего муссона, который приносит с океана влажные воздушные массы. Циклоны, формирующиеся в различных частях Тихого океана и Азии, также оказывают значительное влияние на погодные условия в регионе [1]. Для района расположения станции мониторинга характерен морской климат умеренных широт. Район открыт к незамерзающему Японскому морю [2]. Здесь отмечается повышенная ветровая активность [3]. Зимой температура воздуха выше по сравнению с другими районами Приморского края и составляет в среднем -9.0 °С. Летние температуры, напротив, ниже среднестатистических значений для региона (в июле $+16.3$ °С, августе $+19.0$ °С). Это обусловлено воздействием холодного Приморского течения, влияние которого ослабевает только вблизи мыса Поворотный [4, 5]. Почвенный покров разнообразен: преобладают бурые лесные почвы, характерные для горных районов. В долинах рек и на равнинах встречаются черноземы и серые лесные почвы, а в поймах рек — аллювиальные почвы [6]. Основную часть территории занимают хвойно-широколиственные леса, представленные такими видами, как кедр корейский (*Pinus koraiensis*), пихта белокорая (*Abies nephrolepis*), ель аянская (*Picea jezoensis*), орех маньчжурский (*Juglans mandshurica*) и др. [7].

Точных данных о населении пос. Смычка в статистических сборниках нет. Население близлежащего с. Рудная Пристань составляет около 2000 человек [8]. Часть жителей работает в г. Дальнегорск. Поселок привлекает туристов своей уникальной природой и возможностью отдыха на море. С каждым годом численность населения уменьшается [8], что говорит о депопуляции.

Рядом с пос. Смычка находится г. Дальнегорск, в котором на данный момент работает горнометаллургический комплекс «Дальполиметалл», занимающийся добычей и обогащением свинцово-цинковой руды. В с. Рудная Пристань расположен металлургический цех Дальневосточного горно-металлургического комбината «Дальполиметалл», деятельность которого ранее неблагоприятно влияла на экологическую обстановку села и окрестностей [9].

Целью настоящей работы является анализ состояния атмосферного воздуха в пос. Смычка Дальнегорского района Приморского края и путей поступления поллютантов на основе обработки данных станции экологического мониторинга.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи: получены и проанализированы первичные данные; выявлены причинно-следственные связи превышений показателей $PM_{2.5}$, PM_{10} , SO_2 , NO_2 , CO и H_2S или их колебаний по сравнению со средними значениями за год; проанализированы траектории обратного переноса поллютантов для точного определения причин изменения содержания исследуемых показателей в атмосфере.

Материалы и методы

В пос. Смычка находится станция экологического мониторинга состояния окружающей среды PWS-918 (далее СЭМ Смычка), данные с которой поступают напрямую в Тихоокеанский институт географии ДВО РАН (ТИГ ДВО РАН). Станция укомплектована набором датчиков, анализирующих следующие показатели: содержание в воздухе диоксида азота, диоксида серы, оксида азота, оксида углерода, сероводорода, частиц PM1.0, PM2.5 и PM10. Также станция фиксирует такие метеорологические показатели как атмосферное давление, температура воздуха, влажность воздуха, усредненная скорость ветра и его направление.

Станция расположена на территории научно-экспедиционной станции ТИГ ДВО РАН в пос. Смычка (Дальнегорский район Приморского края). Территория поселка характеризуется преимущественно равнинным рельефом с наличием небольших холмов и возвышенностей. Встречаются каменистые полосы и береговые откосы. Недалеко протекает р. Рудная, впадающая в Японское море.

В рамках исследования было проанализировано содержание частиц PM2.5 и PM10 и газов – диоксида серы (SO₂), диоксида азота (NO₂), оксида углерода (CO) и сероводорода (H₂S) (единицы измерения – мкг/м³) в атмосфере. Данные показатели были выбраны, потому что вредное воздействие пыли и сопутствующих веществ может вызывать у человека раздражение и заболевания дыхательных путей (астму, хронический бронхит, силикоз (или цементоз)), кожи (например, аллергический дерматит), слизистых оболочек носоглотки и полости рта, органов пищеварения и др. [10–13]. Данные вещества являются наиболее опасными для здоровья человека и окружающей среды, за ними необходим регулярный контроль, чтобы вовремя предупредить об опасности [14].

Согласно ГН 2.1.6.3492–17 [15] среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК) выбранных показателей в мг/м³ составляет: PM2.5 – 0,035, PM10 – 0,06, SO₂ – 0,05, NO₂ – 0,04, CO – 3, H₂S – 0,008.

Для анализа источников поступления поллютантов в район исследований осуществлено построение обратных траекторий движения воздушных масс на основе сервиса HYSPLIT [16] Национального управления океанических и атмосферных исследований (NOAA) [17] по следующим характеристикам – дата, время и высота. Модель HYSPLIT используется с целью идентификации источников атмосферных аэрозолей, при помощи этой модели можно построить траектории движения в приграничном слое атмосферы для разных сезонов года [18]. Для более точного определения движения воздушных масс в самой программе указываются высоты, временные рамки, градусы наклона и другое.

Результаты и их обсуждение

На основе данных, собранных за 2024 г. на СЭМ Смычка, был проведен анализ превышений значений частиц и газов. В табл. 1 представлены усредненные месячные значения показателей частиц PM и газов, которые имеют наибольший потенциал нанесения вреда человеку и окружающей среде [10, 13].

Данные по всем показателям не превышали ПДК за весь период исследования. Сероводород, диоксид азота и диоксид серы были выше средних месячных показателей в атмосферном воздухе в апреле, августе и ноябре. Среди общих данных за год значительные отклонения наблюдаются в апреле, июле и ноябре.

На изменение содержания поллютантов в атмосфере могут влиять как природные, так и антропогенные факторы [19]. На основе анализа изменения содержания частиц PM2.5 и PM10 и построения траекторий обратных переносов воздушных масс были определены региональные и местные причины их флуктуации, проанализированы возможные источники их поступления на территорию Приморского края. В 2024 г. максимальные значения

Усредненные значения частиц РМ и газов за 2024 г. (в мг/м³)
Table 1. Average values of PM particles and gases for 2024 (in mg/m³)

Месяц	CO	NO ₂	SO ₂	H ₂ S	PM2.5	PM10
Январь	0.0004786	0.0000642	0.0000009	0.0000257	0.0056	0.0032
Февраль	0.0004680	0.0000665	0.0000006	0.0000270	0.0051	0.0027
Март	0.0004634	0.0000661	0.0000002	0.0000273	0.0045	0.0022
Апрель	0.0004901	0.0000580	0.0000009	0.0000257	0.0067	0.0042
Май	0.0004745	0.0000534	0.0000012	0.0000242	0.0055	0.0032
Июнь	0.0004734	0.0000485	0.0000060	0.0000205	0.0046	0.0024
Июль	0.0005732	0.0000431	0.0000089	0.0000188	0.0112	0.0082
Август	0.0005269	0.0000419	0.0000100	0.0000186	0.0044	0.0022
Сентябрь	0.0005074	0.0000467	0.0000092	0.0000200	0.0037	0.0015
Октябрь	0.0004903	0.0000510	0.0000055	0.0000215	0.0054	0.0030
Ноябрь	0.0004885	0.0000549	0.0000035	0.0000228	0.0073	0.0046
Декабрь	0.0004509	0.0000584	0.0000014	0.0000248	0.0044	0.0021
ПДК	3	0.04	0.05	0.008	0.035	0.06

частиц РМ и газов наблюдались в апреле, июле и ноябре. Так, в апреле наблюдались превышения частиц РМ2.5 и РМ10 в атмосфере региона, связанные с прохождением пыльной бури из КНР, образовавшейся в пустыне Гоби, а также выбросами из промышленного района КНР и, возможно, с выбросами горно-металлургического комплекса «Дальполиметалл». В июле превышения коррелируются с начавшимися масштабными пожарами в Якутии [5]. В ноябре с началом отопительного сезона определяется взаимосвязь с топкой печей в индивидуальных домах и котельных. Также в этот период были зафиксированы природные пожары в западных районах, на юго-западе Приморского края и в приграничных районах Китая [5].

В г. Владивосток 25 апреля 2024 г. была зафиксирована пыльная буря, начавшая свое



Рис. 1. Траектории обратного переноса воздуха в нижней тропосфере на 120 ч от 00 ВСВ 27 апреля

Fig. 1. Trajectories of reverse air transfer in the lower troposphere at 120 hours from 00 UTC on April 27

движение из пустыни Гоби (рис. 1). В Приморском крае фиксировалось желтое небо и образование слоя пыли на поверхностях [5, 20].

В табл. 2 приведены данные содержания частиц РМ2.5 и РМ10 до, во время и после прихода пыльной бури. С 25 апреля 2024 г. показатели частиц РМ2.5 и РМ10 в атмосфере начали превышать среднемесячные значения, максимальные показатели РМ2.5 0.0091 мг/м³ и РМ10 0.0118 мг/м³ наблюдались 27 апреля. С 28 апреля 2024 г. содержание частиц РМ2.5 и РМ10 начало снижаться как следствие переноса воздушных масс в сторону Японии [5].

По данным И.И. Кондратьева, проводившего соответствующий анализ процессов формирования пыльных бурь над Монголией и Китаем, в результате перемещения хо-

лодных воздушных масс в регионе пыльные бури достигают территории Приморского края [21]. Анализ структурно-вещественного состава пыльных бурь 2002–2004 гг., зафиксированных над Приморским краем, показал, что материал характеризовался преобладанием пелитовых частиц (0.0045–0.007 мм) с небольшой примесью мелкого алеврита (0.015–0.02 мм). Объем пыли, выпадающей на поверхность, составлял от 0.05–0.1 до >6.5 г/м² [22]. При этом структурно-вещественный состав пыли определяется набором факторов, таких как источник и перераспределение материала в процессе его переноса воздушными массами. Интересно, что при прохождении пыльной бури 27 апреля 2024 г. фиксировалось преобладание частиц ближе к алевритистой размерности, чем к пелитовой. Однако достоверно подтвердить это невозможно без отбора соответствующих проб с поверхности.

Объем выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух от стационарных и передвижных источников в 2024 г. в Дальневосточном федеральном округе России составил 1660.1 тыс. т [23], а в Приморском крае – 203,654 тыс. т, из них: SO₂ – 49.171, CO – 39.522, NO и NO₂ – 22.238 (тыс. т) [24]. За аналогичный период выбросы на территориях провинций Хэйлунцзян и Цзилинь составили 600 и 247 млн т соответственно [23–25]. Кроме того, необходимо принимать во внимание, что в северных и северо-восточных районах Китая ведется активная сельскохозяйственная деятельность. На 2020 г. в провинции Хэйлунцзян наблюдается сохранение тенденции повышения содержания углеводов и продуктов сжигания топлива при производстве пестицидов и обработке пахотных земель [26].

Трансграничное загрязнение атмосферного воздуха на юге Дальнего Востока России проявляется регулярно. Так, анализ данных станций мониторинга химического состава осадков показал рост их кислотности на юге Дальнего Востока России. Впервые аномально низкие pH снежного покрова были зарегистрированы на территории Приморского края в 2005 г. В районах, не подверженных локальному антропогенному загрязнению, была отмечена кислотность осадков ниже 4 единиц pH. При этом синоптические данные указывали на то, что устойчивый снежный покров в крае был сформирован в результате выхода пяти циклонов. Четыре из них сформировались в Восточном Китае и Желтом море [27]. Сформировавшиеся в загрязненной атмосфере урбанизированных районов Китая циклоны включили в свою циркуляцию кислотообразующие вещества.

Повышение содержания средних показателей частиц PM_{2.5} и PM₁₀ было зафиксировано в ноябре 2024 г., их значения достигали 0,0073 и 0,0046 мг/м³ соответственно, что превышает среднемесячные показатели в 1.27 раза. Анализ траекторий обратного переноса воздушных масс показал, что они проходили над северо-восточными районами Китая (рис. 2). Таким образом, данные по повышению содержания PM_{2.5} и PM₁₀ в районе расположения СЭМ Смычка согласуются с данными по повышению кислотности осадков при прохождении воздушных масс по аналогичной траектории [27].

В результате пожаров в атмосферу поступают разнообразные химические соединения. Объем и химический состав аэрозолей зависит от вида растительных горючих материалов. Достоверных оценок объема поступления аэрозолей в атмосферу в результате пожаров на Дальнем Востоке нет. Имеются только отдельные данные по регионам. Например,

Таблица 2

Содержание дисперсных частиц за период 25–29 апреля 2024 г. (мг/м³)

Table 2. The content of dispersed particles for the period April 25–29, 2024 (mg/m³)

Дата	Содержание частиц PM _{2.5}	Содержание частиц PM ₁₀
25 апреля	0.0019	0.0043
26 апреля	0.0054	0.0079
27 апреля	0.0091	0.0118
28 апреля	0.0081	0.0108
29 апреля	0.0023	0.0046

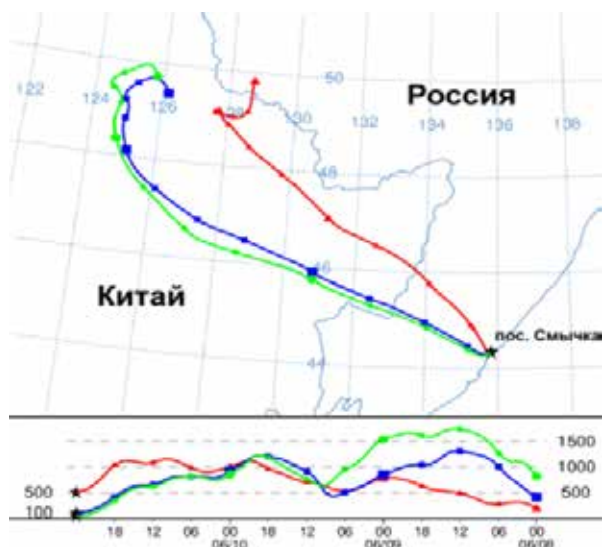


Рис. 2. Траектории обратного переноса воздуха в нижней тропосфере на 72 ч от 00 ВСВ 11 ноября

Fig. 2. Trajectories of reverse air transfer in the lower troposphere at 72 hours from 00 UTC on November 11

пление из южных районов Якутии – зоны интенсивных лесных пожаров.

Локальное влияние на состав атмосферного воздуха оказывает характер ведения хозяйственной деятельности на территории. Как отмечалось выше, станция экологического мониторинга располагается в пос. Смычка, где отсутствуют какие-либо предприятия, а застройка представлена частными домами. В осенне-весенний период обогрев домов осуществляется в том числе за счет печного отопления, что приводит к поступлению загрязнителей в атмосферу. Типичным примером является ситуация с повышением содержания частиц PM2.5 и PM10

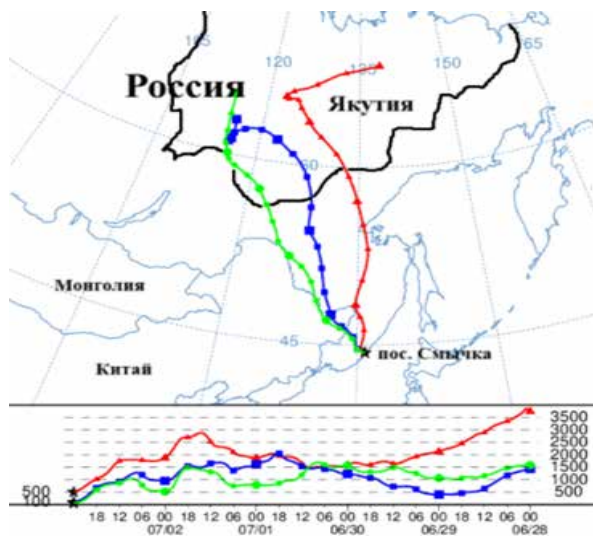


Рис. 3. Траектории обратного переноса воздуха в нижней тропосфере на 120 ч от 00 ВСВ 3 июля

Fig. 3. Trajectories of reverse air transfer in the lower troposphere at 120 hours from 00 UTC on July 3

объем эмиссии загрязнителей в атмосферу при пожарах растительности в Еврейской автономной области в 2009 г. составил 51.397 т., из них 71.6 % приходится на CO₂, 12.16 % – на углеводороды, 10.74 % – на альдегиды, 4.8 % – на СО и др. [28–30].

В 2024 г. в Якутии зафиксировали масштабные лесные пожары. По состоянию на 3 июля 2024 г. огонь охватил около 760 тыс. га леса [31]. На станции экологического мониторинга состояния окружающей среды в июле 2024 г. фиксировалось повышение средних значений концентрации частиц PM2.5 и PM10. Максимальные значения для PM2.5 составляли 0,0112, для PM10 – 0,0082 мг/м³. Данные анализа обратных траекторий воздушных масс (рис. 3) отражают их посту-

печение из южных районов Якутии – зоны интенсивных лесных пожаров. В этот день происходило снижение температуры воздуха с 8.7 °С в 16 ч до 1 °С к 00 ч 9 апреля. Скорость ветра в данный период варьировалась от 2 до 4 м/с, что, согласно шкале Бофорта, соответствует 2–3 баллам (легкий или слабый ветер) [32, 33]. В период 16–18 ч отмечалось резкое увеличение частиц в воздухе: PM2.5 с 0.0037 до 0.0093 мг/м³ и PM10 с 0.0062 до 0.0118 мг/м³, что напрямую коррелирует с падением температуры воздуха. В это время люди возвращались домой с работы и растапливали печи. К 20 ч, после прогрева жилых помещений, отмечалось снижение содержания частиц PM2.5 до 0.0018 и PM10 до 0.004 в воздухе к 00 ч.

Аналогичная картина проявления локального фактора загрязнения окружающей среды фиксировалась и в районе г. Спасск-Дальний, где расположены крупное промышленное предприятие цементный завод, железнодорожная станция, автомагистраль и частный жилой сектор. Однако вклад частного жилого сектора в данный процесс напрямую коррелирует с наступлением отопительного сезона [21].

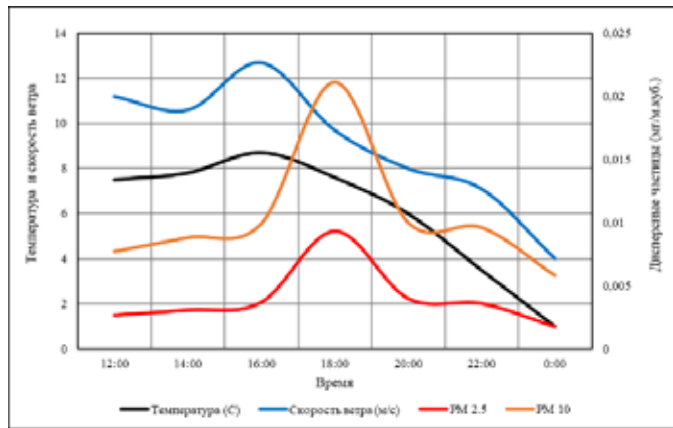


Рис. 4. Ход температуры воздуха, скорости ветра и содержания загрязняющих веществ с 12 до 24 ч 8 апреля 2024 г.

Fig. 4. The course of air temperature, wind speed and pollutants content from 12 to 24 hours on April 8, 2024

Заключение

В настоящей работе представлены первые результаты обработки данных наблюдений станции экологического мониторинга состояния окружающей среды в Приморском крае. Применение современных методов оперативного получения информации позволяет осуществлять контроль за состоянием атмосферного воздуха и достоверно определять источники поступления загрязняющих веществ в регион. Проанализированные данные отражают значительное влияние трансграничного переноса со стороны Монголии и Китая, а также влияние региональных факторов, в первую очередь пожаров, на состояние воздушной среды края. Локальные источники поступления загрязняющих веществ также приводят к повышению содержания загрязняющих веществ в атмосфере исследуемого региона. Полученные данные полностью согласуются с данными ранее проведенных исследований. Необходимо отметить, что ни один из анализируемых показателей на СЭМ Смычка за 2024 г. не превышал ПДК.

Благодарности. Работа выполнена в рамках темы государственного задания ТИГ ДВО РАН № 124053100009-5.

Acknowledgements. This work was accomplished under the state assignment to PGI FEB RAS No. 124053100009-5.

Литература

1. Мезенцева Л.И., Гришина М.А., Кондратьев И.И. Траектории и глубина циклонов, выходящих на территорию Приморского края // Вестник ДВО РАН. 2019. № 4 (206). С. 54–62.
2. Дальний Восток: физико-географическая характеристика. М.: Издательство АН СССР, 1961. 441 с.
3. Кондратьев И.И., Перепелятников Л.В. Элементный состав и сезонная изменчивость аэрозоля в Сихотэ-Алинском биосферном заповеднике // V Дальневосточная конференция по заповедному делу. Владивосток, 2001. С. 149–150.
4. Всероссийский научно-исследовательский институт гидрометеорологической информации – Мировой центр данных. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://meteo.ru/> (дата обращения: 15.01.2025).
5. Примгидромет – Приморское управление по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.primgidromet.ru/> (дата обращения: 20.01.2025).
6. Иванов Г.И. Почвы Приморского края. Владивосток: Дальневост. кн. изд-во, 1964. 107 с.
7. Исаченко А.Г. Ландшафты СССР. Л.: Издательство Ленинградского университета, 1985. 320 с.
8. Численность постоянного населения Российской Федерации по муниципальным образованиям на 1 января 2024 года. Федеральная служба государственной статистики. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Chisl_MO_01-01-2024.xlsx (дата обращения: 25.01.2025).

9. Шаров П.О. Свинец в окружающей среде пос. Рудная Пристань: оценка риска отравления детей: дис. ... канд. биол. наук. Владивосток, 2006. 185 с.
10. Голохваст К.С. Взаимодействие организмов с минералами. Владивосток: Изд-во ДВГТУ, 2010. 112 с.
11. Холодов А.С., Чернышев В.В., Угай С.М. Дисперсный и химический состав атмосферных выпадений в снежном покрове городов Дальнего Востока России. Владивосток: Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2021. 292 с.
12. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2010–2020 годах. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/forestry/upravlenie-prirodnikh-resursov/doklady-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-kraye.php?clear_cache=Y (дата обращения: 01.02.2025).
13. Холодов А.С. Геоэкологическая оценка загрязнения атмосферы малых и средних населенных пунктов Приморского края микроразмерными частицами: автореф. дис. ... канд. геогр. наук. Владивосток, 2019. 23 с.
14. Шукуров К.А. О связи РМ1.0 с обратными траекториями и скоростями воздушных масс по данным изменений на ЗНС ИФА РАН. Владивосток: Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2022.
15. Постановление Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 22 декабря 2017 г. № 165 «Об утверждении гигиенических нормативов ГН 2.1.6.3492-17 “Предельно допустимые концентрации (ПДК) загрязняющих веществ в атмосферном воздухе городских и сельских поселений”» (зарегистрировано в Минюсте РФ 09.01.2018 № 49557).
16. Air Resources Laboratory – HYSPLIT – Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php> (дата обращения: 10.02.2025).
17. National Oceanic and Atmospheric Administration. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.noaa.gov/> (дата обращения: 15.02.2025).
18. Куценогий К.П., Смирнова А.И. Метод обратных траекторий для идентификации источников атмосферных аэрозолей регионального и глобального масштабов. Владивосток: Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2000.
19. Бакланов П.Я., Ганзей С.С., Качур А.Н. Трансграничный диагностический анализ. Владивосток: Дальнаука, 2002. 255 с.
20. Кондратьев И.И., Качур А.Н. Направление воздушных потоков над Сихотэ-Алинским биосферным заповедником // V Дальневосточная конференция по заповедному делу. Владивосток, 2001. С. 151–152.
21. Кондратьев И.И. Трансграничный атмосферный перенос аэрозоля и кислотных осадков на Дальний Восток России. Владивосток: Изд-во Дальневосточного федерального университета, 2014. 300 с.
22. Ганзей Л.А., Разжигаева Н.Г. Состав материала пыльных бурь на юге Дальнего Востока // Литология и полезные ископаемые. 2006. № 3. С. 242–249.
23. Выбросы загрязняющих веществ | Государственный доклад – О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2023 году. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://2023.ecology-gosdoklad.ru/doklad/atmosfernyy-vozduh/vybrosy-zagryaznyayuschih-veschestv/> (дата обращения: 20.02.2025).
24. Доклад об экологической ситуации в Приморском крае в 2023 году [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/forestry/upravlenie-prirodnikh-resursov/doklady-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-kraye.php?clear_cache=Y (дата обращения: 22.02.2025).
25. Выбросы CO₂ в Китае | Мир данных [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://ourworldindata.org/co2/country/china#what-are-the-country-s-annual-co2-emissions> (дата обращения: 01.03.2025).
26. Статистический портал. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.statista.com/> (дата обращения: 11.03.2025).
27. Международный статистический портал [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://statbase.ru/data/chn-carbon-dioxide-emissions/> (дата обращения: 14.03.2025).
28. Luyang Zhang, Junyan Chu, Haiyang You, Zhihua Liu. Decomposition and scenario analysis of agricultural carbon emissions in Heilongjiang, China. 2024. P. 19.
29. Департамент Федеральной службы по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды по Дальневосточному федеральному округу. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://dfo.meteorf.gov.ru/news/> (дата обращения: 03.03.2025).
30. Petäjä T., Ganzei K.S., Lappalainen H.K., Kulmala M., Zilitinkevich S.S., Shakirov R.B., Mishina N.V., Egidarev E.G., Kondrat'ev I.I. Assessment of the potential of the comprehensive observations in the Russian Far East. Helsinki: Finnish Meteorological Institute, 2020.
31. Коган Р.М., Глаголев В.А. Пространственный прогноз возникновения пожаров на юге Дальнего Востока России по погодным и лесорастительным условиям // Вестник ТОГУ. 2014. № 1 (32). С. 107–116.
32. Метеосервис. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.meteoservice.ru/archive/vladivostok/2024/04/08> (дата обращения: 14.03.2025).
33. Шкала Бофорта // Большая российская энциклопедия. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://old.bigenc.ru/geography/text/5228125> (дата обращения: 01.03.2025).

References

1. Mezentseva, L.I.; Grishina, M.A.; Kondratev, I.I. Trajectories and Depth of Cyclones Reaching Primorye Territory. *Vestnik of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2019, 4(206), 54–62. (In Russian)
2. Far East: Physical and Geographical Characteristics. Publishing House of the Academy of Sciences of the USSR: Moscow, USSR. 1961; 441 p. (In Russian)
3. Kondratev, I.I.; Pereplyatnikov, L.V. Element Composition and Seasonal Variability of Aerosol in the Sikhote-Alin Biosphere Reserve. In *Proceedings of the V Far Eastern Conference on Nature Reserves*. Vladivostok. 2001, 149–150. (In Russian)
4. All-Russian Research Institute for Hydrometeorological Information – World Data Center. Available online: <http://meteo.ru/>. (accessed on 15 January, 2025). (In Russian)
5. Primgidromet. Primorsky Territorial Department for Hydrometeorology and Environmental Monitoring. Available online: <https://www.primgidromet.ru/>. (accessed on 20 January, 2025). (In Russian)
6. Ivanov, G.I. Soils of Primorsky Krai. Vladivostok: Far Eastern Book Publishers, 1964. 107 pp. (In Russian)
7. Isachenko, A.G. Landscapes of the USSR. Leningrad: Leningrad University Press, 1985. 320 pp. (In Russian)
8. Population Size of the Russian Federation by Municipal Units as of January 1, 2024. Federal State Statistics Service [Electronic resource]. Access mode: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Chisl_MO_01-01-2024.xlsx. Accessed: January 25, 2025. (In Russian)
9. Sharov, P.O. Lead in the Environment of Rudnaya Pristan Village: Risk Assessment of Child Poisoning: Dissertation for Candidate Degree in Biological Sciences. Vladivostok, 2006. 185 pp. (In Russian)
10. Golokhvast, K.S. Interaction Between Organisms and Minerals. Vladivostok: DVGТУ Publishing House, 2010. 112 pp. (In Russian)
11. Kholodov, A.S.; Chernyshev, V.V., Ugay, S.M. Dispersed and Chemical Composition of Atmospheric Precipitation in Snow Cover of Cities in the Russian Far East. Vladivostok: Far Eastern Federal University Press, 2021. 292 pp. (In Russian)
12. Report on the Ecological Situation in Primorsky Krai from 2010 to 2020 [Electronic resource]. Access mode: https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/forestry/upravlenie-prirodnikh-resurov/doklady-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-kray.php?clear_cache=Y. Accessed: February 1, 2025. (In Russian)
13. Kholodov, A.S. Geoecological Assessment of Pollution in Small and Medium-Sized Settlements of Primorsky Krai with Microsized Particles: Abstract of a PhD Thesis in Geography. Vladivostok, 2019. 23 pp. (In Russian)
14. Shukurov, K.A. On the Relationship between PM 1.0 and Backward Trajectories and Wind Speeds According to Changes at the ZNS IFARAN. Vladivostok: Far Eastern Federal University Press, 2022. (In Russian)
15. Resolution of the Chief Sanitary Doctor of the Russian Federation dated December 22, 2017 No. 165 “On Approval of Hygienic Standards GN 2.1.6.3492-17 ‘Maximum Permissible Concentrations (MPC) of Pollutants in Urban and Rural Areas’ Air”» (Registered at the Ministry of Justice of the Russian Federation on January 9, 2018 No. 49557). (In Russian)
16. Air Resources Laboratory – HYSPLIT – Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model [Electronic resource]. Access mode: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php>. Accessed: February 10, 2025. (In English)
17. National Oceanic and Atmospheric Administration [Electronic resource]. Access mode: <https://www.noaa.gov/>. Accessed: February 15, 2025. (In English)
18. Kutsenogiy, K.P., Smirnova, A.I. Reverse Trajectory Method for Identifying Regional and Global Sources of Atmospheric Aerosols. Vladivostok: Far Eastern Federal University Press, 2000. (In Russian)
19. Baklanov, P.Ya., Ganzey, S.S., & Kachur, A.N. Transboundary Diagnostic Analysis. Vladivostok: Dalnauka, 2002. 255 pp. (In Russian)
20. Kondratev, I.I.; Kachur, A.N. Direction of Air Flows over the Sikhote-Alin Biosphere Reserve. *Proceedings of the V Far Eastern Conference on Nature Reserves*. 2001. Pp. 151–152. (In Russian)
21. Kondratev, I.I. Cross-Border Transport of Aerosols and Acid Precipitation to the Russian Far East. Vladivostok: Far Eastern Federal University Press, 2014. 300 p. (In Russian)
22. Ganzei L.A.; Razzhigaeva N.G. Composition of Sand Storm Particles in the Southern Far East. *Lithology and Mineral Resources*. 2006, 41 (3): 215-221. (In English)
23. Emissions of Polluting Substances | State Report – On the Status and Protection of the Environment in the Russian Federation in 2023 [Electronic resource]. Access mode: <https://2023.ecology-gosdoklad.ru/doklad/atmosfernyy-vozduh/vybrosy-zagryaznyayuschih-veschestv/>. Accessed: February 20, 2025. (In Russian)
24. Report on the Ecological Situation in Primorsky Krai in 2023 [Electronic resource]. Access mode: https://primorsky.ru/authorities/executive-agencies/departments/forestry/upravlenie-prirodnikh-resurov/doklady-ob-ekologicheskoy-situatsii-v-kray.php?clear_cache=Y. Accessed: February 25, 2025. (In Russian)
25. CO₂ Emissions in China | Data World [Electronic resource]. Access mode: <https://ourworldindata.org/co2-country/china#what-are-the-country-s-annual-co2-emissions>. Accessed: March 1, 2025. (In English)
26. Statistical Portal [Electronic resource]. Access mode: <https://www.statista.com/>. Accessed: March 10, 2025. (In English)
27. International Statistical Portal [Electronic resource]. Access mode: <https://statbase.ru/data/chn-carbon-dioxide-emissions/>. Accessed: March 15, 2025. (In English)

28. Luyang Zhang, Junyan Chu, Haiyang You, & Zhihua Liu. Decomposition and Scenario Analysis of Agricultural Carbon Emissions in Heilongjiang, China. 2024. P. 19. (In English)
29. Department of the Federal Service for Hydrometeorology and Environmental Monitoring in the Far Eastern Federal District [Electronic resource]. Access mode: <https://dfo.meteorf.gov.ru/news/>. Accessed: March 3, 2025. (In Russian)
30. Petäjä, T.; Ganzei, K.S.; Lappalainen, H.K.; Kulmala, M.; Zilitinkevich, S.S.; Shakirov, R.B.; Mishina, N.V.; Egidarev, E.G.; Kondrat'ev, I.I. Assessment of the Potential of Comprehensive Observations in the Russian Far East. Finnish Meteorological Institute: Helsinki, Finland. 2020. (In English)
31. Kogan, R.M.; Glagolev, V.A. Spatial Prediction of Wildfires in the South of the Russian Far East Based on Weather and Forest Conditions. *TOGU Bulletin*. 2014, 1(32), 107–116. (In Russian)
32. Meteoservice [Electronic resource]. Access mode: <https://www.meteoservice.ru/archive/vladivostok/2024/04/08>. Accessed: March 14, 2025. (In Russian)
33. Beaufort Scale. *Big Russian Encyclopedia* [Electronic resource]. Access mode: <https://old.bigenc.ru/geography/text/5228125>. Accessed: March 1, 2025. (In Russian)

Статья поступила в редакцию 14.05.2025; одобрена после рецензирования 16.10.2025; принята к публикации 20.10.2025.

The article was submitted 14.05.2025; approved after reviewing 16.10.2025; accepted for publication 20.10.2025.

