



ВЛИЯНИЕ ТРАНСГРАНИЧНЫХ ПЕРЕНОСОВ НА ЗАГРЯЗНЕНИЕ АТМОСФЕРЫ ПРИМОРСКОГО КРАЯ НА ПРИМЕРЕ 2023–2025 ГОДОВ В ПОСЕЛКЕ СМЫЧКА

Харченко С. А., Ганзей К. С.

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения
Российской академии наук», Владивосток, Российская Федерация,
e-mail6 geo2005.84@mail.ru*

В данной работе исследовано состояние атмосферного воздуха п. Смычка Приморского края и его близлежащих территорий с дальнейшим построением траекторий обратного движения воздушных масс с использованием статистических данных со станции экологического мониторинга окружающей среды, а также построение макетов распространения вредных инородных веществ от источника загрязнения. Основное внимание уделено эпизодам значительного ухудшения экологической обстановки, совпадающим с периодами интенсивных выносов воздушных масс из промышленных регионов Северо-Восточного Китая и других стран Северо-Восточной Азии. На основе данных непрерывного мониторинга станции экологического мониторинга окружающей среды в п. Смычка и результатов моделирования обратных траекторий движения воздушных масс (HYSPLIT) проведен ретроспективный анализ динамики концентраций взвешенных частиц (PM 2.5 и PM 10). Установлены статистически значимые корреляции между пиковыми значениями концентраций в поселке и локализацией крупных источников антропогенных эмиссий в соседних государствах. Особое внимание при анализе уделено сезонным закономерностям, связанным с отопительным сезоном и преобладающими западными и северо-западными ветрами. Результаты исследования наглядно демонстрируют, что трансграничный фактор является значимым, а в отдельные кризисные периоды – определяющим источником загрязнения атмосферы Приморского края. Работа подтверждает необходимость развития международного сотрудничества в области мониторинга и регулирования выбросов, а также важность учета трансграничного переноса при разработке региональных программ по охране окружающей среды и оценке экологических рисков для здоровья населения.

Ключевые слова: атмосферный воздух, трансграничный перенос, воздушные массы, поллютанты

THE IMPACT OF TRANSBOUNDARY TRANSFERS ON ATMOSPHERIC POLLUTION IN PRIMORSKY KRAI ON THE EXAMPLE OF 2023–2025 IN THE VILLAGE OF SMYCHKA

Kharchenko S. A., Ganzey K. S.

*Federal State Budgetary Institution of Sciences “Pacific Institute of Geography
of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences”,
Vladivostok, Russian Federation, e-mail6 geo2005.84@mail.ru*

This paper studies the state of the atmospheric air of the village of Smychka, Primorsky Krai and its nearby territories, with further construction of trajectories of the reverse movement of air masses using statistical data from the environmental monitoring station, as well as the construction of models of the spread of harmful foreign substances from the source of pollution. The focus is on episodes of significant deterioration of the environmental situation, coinciding with periods of intensive air masses from the industrial regions of Northeast China and other countries of Northeast Asia. Based on continuous monitoring data from the environmental monitoring station in Smychka and the results of reverse air masses trajectory modelling (HYSPLIT), a retrospective analysis of the dynamics of suspended particle concentrations (PM 2.5 and PM 10) was carried out. Statistically significant correlations were found between peak concentrations in the village and the localization of large sources of anthropogenic emissions abroad. Particular attention was paid to seasonal patterns associated with the heating season and prevailing west and northwest winds. The study results clearly demonstrate that the transboundary factor is a significant, and in some crisis periods the determining source of atmospheric pollution of Primorsky Krai. The work confirms the need for developing international cooperation in the field of monitoring and regulation of emissions, as well as the importance of considering transboundary transfer in the development of regional programs for air protection and assessment of environmental risks to public health.

Keywords: atmospheric air, transboundary transport, air masses, pollutants

Введение

Качество атмосферного воздуха напрямую зависит от воздушных масс, переносимых из различных регионов одной страны, между государствами или континентами.

В Приморском крае трансграничные переносы воздушных масс являются одним из важнейших факторов качественного состояния атмосферного воздуха и окружающей среды в целом. Основное влияние

на воздух Приморского края имеют граничащие с ним страны, такие как Китай, КНДР и Япония с Южной Кореей – по морским границам, а также внутрисударственные регионы – Хабаровский край, Камчатский край и др. [1, с. 15–18].

Трансграничные атмосферные переносы важны для состояния окружающей среды дальневосточного региона Российской Федерации в целом, но наибольшую роль в этих переносах играет Китай, непосредственно граничащий с Приморским, Хабаровским и Забайкальским краями и Амурской областью и Еврейской автономной областью. Так как объемы выбросов промышленного производства некоторых северо-восточных провинций Китая количественно превосходят показатели выбросов Дальнего Востока России, необходим тщательный контроль за ситуацией, чтобы не допустить резких превышений показателей. Опасность могут представлять такие загрязняющие частицы, как PM 1, PM 2.5 и PM 10 [1, с. 60–62]¹.

Цель исследования – анализ состояния атмосферного воздуха п. Смычка Приморского края и его близлежащих территорий с дальнейшим построением траекторий обратного движения воздушных масс с использованием статистических данных со станции экологического мониторинга окружающей среды, а также построение макетов распространения вредных инородных веществ от источника загрязнения.

Материалы и методы исследования

Исследуемые частицы PM – это мелкодисперсные аэрозоли размером от 1 до 10 мкм, каждая размерность которого имеет свои критерии и свойства. Эти частицы фиксируются на станции экологического мониторинга (СЭМ) окружающей среды, расположенной в п. Смычка Приморского края. Данные с СЭМ направляются в Тихоокеанский институт географии Дальневосточного отделения Российской академии наук (ТИГ ДВО РАН). Показатели считываются с местности с помощью рассеянного сканирования, принцип действия которого схож с Лидаром. Лидар (LiDAR – Light Detection and Ranging)² – это метод дистанционного

зондирования местности, которая использует лазерное сканирование. Помимо частиц PM, СЭМ измеряет следующие показатели: давление воздуха, содержание диоксида азота, диоксида серы, оксида азота, оксида углерода, сероводорода, температуры воздуха, усредненной скорости ветра и влажности воздуха. Данные концентраций измеряются с периодичностью каждые 2 ч в сутки, погрешность показателей составляет около 10 %.

В Приморском крае атмосферная циркуляция зависит от муссонов, формирующих летний и зимний режимы погоды. Область пониженного давления в Охотском море и Азиатский антициклон оказывают значительное влияние на климатические условия в данном регионе. Повышенная ветровая активность – основное явление Приморского края [2–4]. Станция расположена на равнинном рельефе, рядом протекает р. Рудная, а территория представлена малоэтажными жилыми домами, дачными строениями и другими сооружениями. Преобладающим земным покровом являются бурые лесные почвы, встречаются также черноземы, серые лесные почвы и аллювиальные – в поймах рек. Основным представителем растительного мира являются хвойно-широколиственные леса, состоящие в большей степени из кедра корейского (*Pinus koraiensis*), ели аянской (*Picea jezoensis*) и ореха маньчжурского (*Juglans mandshurica*) [5–7].

В рамках исследования территории были выбраны показатели PM 2.5 и PM 10 для анализа их содержания и влияния на окружающую среду. Согласно ГН 2.1.6.3492–17 [8] среднесуточная предельно допустимая концентрация (ПДК) выбранных показателей в мг/м³ составляет: PM 2.5 – 0,035, PM 10 – 0,06. Основным способом выявления источников загрязнения данной территории являлось построение траекторий обратного переноса воздушных масс, используя сервис HYSPLIT³ Национального управления океанических и атмосферных исследований США (NOAA)⁴. Метод построения траекторий по данным этого сервиса более точно предсказывает дальнейшее движение поллютантов по выбранной траектории, учитывая высоту, на которой находятся анализируемые воздушные массы. Для п. Смычка данные показателей со станции экологиче-

¹ Выбросы CO₂ в Китае // Мир данных [Электронный ресурс]. URL: <https://ourworldindata.org/co2/country/china#what-are-the-country-s-annual-co2-emissions> (дата обращения: 27.02.2026).

² Лидары (LiDAR, Light Detection and Ranging) // TADVISER. [Электронный ресурс]. URL: [https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Лидары_\(LiDAR,_Light_Detection_and_Ranging\)#.D0.9F.D1.80.D0.B8.D0.BD.D1.86.D0.B8.D0.BF_.D1.80.D0.B0.D0.B1.D0.BE.D1.82.D1.8B_.D0.BB.D0.B8.D0.B4.D0.B0.D1.80.D0.B0](https://www.tadviser.ru/index.php/Статья:Лидары_(LiDAR,_Light_Detection_and_Ranging)#.D0.9F.D1.80.D0.B8.D0.BD.D1.86.D0.B8.D0.BF_.D1.80.D0.B0.D0.B1.D0.BE.D1.82.D1.8B_.D0.BB.D0.B8.D0.B4.D0.B0.D1.80.D0.B0) (дата обращения: 13.02.2026).

³ Air Resources Laboratory – HYSPLIT – Hybrid Single Particle Lagrangian Integrated Trajectory Model. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ready.noaa.gov/HYSPLIT.php> (дата обращения: 07.03.2026).

⁴ National Oceanic and Atmospheric Administration. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.noaa.gov/> (дата обращения: 07.03.2026).

ского мониторинга были собраны и интерпретированы в траектории впервые, что является основой для проведения подробного регионального анализа.

Результаты исследования и их обсуждение

На основе данных за 2023–2025 гг., полученных с СЭМ, был проведен анализ показателей среднего содержания исследуемых загрязнителей. В табл. 1 представлены усредненные данные частиц РМ за каждый месяц года.

Показателей, превышающих ПДК за исследуемые периоды, не наблюдалось, однако некоторые месяцы отличаются повышенными показателями по сравнению с остальными средними значениями. За 3 года зафиксированы показатели с сентября по декабрь, которые указывают на тенденцию снижения содержания частиц РМ в атмосферном воздухе. Ключевыми факторами могут являться как природные, так и антропогенные аспекты, поэтому для более точного определения источников загрязнения были построены траектории обратного переноса воздушных масс, а также траектории осаждения загрязнителей при возможных выбросах с конкретного предприятия или природного объекта.

Построение траекторий обратных переносов и анализ изменений содержания частиц РМ 2.5 и РМ 10 стали ключевыми

данными для определения причин их флуктуации на региональном и трансграничном уровнях. Были выбраны наиболее показательные месяцы, отличавшиеся по значениям концентраций: июль и ноябрь.

На рис. 1–3 изображены траектории обратного переноса воздушных масс, на которых наблюдается последовательное перемещение потоков воздушных масс с загрязнителями с абсолютно различных мест их дислокации: переносы из КНР, Монголии, а также с территории п-ва Камчатка и о. Сахалин.

В большинстве случаев переносы из Китая связаны с лесными пожарами, пыльными бурями из пустыни Гоби и выбросами с промышленных территорий [9], из КНДР – с развитым промышленным хозяйством страны, таким как химические и металлургические предприятия и ТЭС [10], так же как и в Южной Корее (большая часть выбросов идет из портовых городов), из Индонезии и Филиппин – с высокой вулканической активностью, а также массовыми выжиганиями лесных массивов в результате засух и сельскохозяйственных нужд, таких как расчистка территорий для различных культурных плантаций [11, с. 318–320], с территории п-ва Камчатка и о. Сахалин – большое влияние оказывают вулканические активности и лесные пожары, также котельные, но они имеют в основном локальный фактор распространения [12, с. 10–18].

Таблица 1

Усредненные значения содержания частиц РМ в атмосфере за 2023–2025 гг. (в мг/м³)

Месяц	Частицы РМ 2.5			Частицы РМ 10		
	2023 г.	2024 г.	2025 г.	2023 г.	2024 г.	2025 г.
Январь	–	0,0056	–	–	0,0032	–
Февраль	–	0,0051	–	–	0,0027	–
Март	–	0,0045	–	–	0,0022	–
Апрель	–	0,0067	–	–	0,0042	–
Май	–	0,0055	0,0047	–	0,0032	0,0073
Июнь	–	0,0046	0,0045	–	0,0024	0,0070
Июль	–	0,0112	0,0034	–	0,0082	0,0059
Август	–	0,0044	0,0021	–	0,0022	0,0043
Сентябрь	0,0073	0,0037	0,0016	0,0100	0,0015	0,0038
Октябрь	0,0060	0,0054	0,0022	0,0090	0,0030	0,0045
Ноябрь	0,0040	0,0073	0,0031	0,0060	0,0046	0,0058
Декабрь	0,0023	0,0044	0,0027	0,0050	0,0021	0,0032
ПДК частиц	0,035			0,06		

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования, «–» – данные отсутствуют.



Рис. 1. Траектории обратного переноса загрязняющих веществ за 168 ч до 9 сентября 2023 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

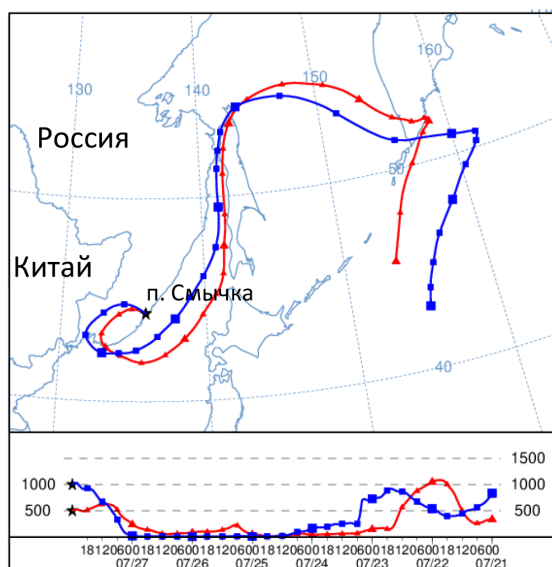


Рис. 2. Траектории обратного переноса загрязняющих веществ за 168 ч до 28 июля 2024 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

Июль характеризуется засушливостью и, как следствие, пиком пожарной активности. Так как в регионе начинается преобладание азиатских муссонных систем, то путем интенсивных конвекций воздушные массы, содержащие загрязнители, исследуемые в данной работе, поднимаются в среднюю

и в верхнюю тропосферы, распространяясь на обширные территории [4; 13].

Из-за смены атмосферной циркуляции в ноябре активизируется интенсивный западный перенос (рис. 3). В своих воздушных массах он может принести с западной части России загрязнители с металлургических и химических комбинатов Урала, с крупнейших ТЭЦ и алюминиевых заводов на юге Сибири. С территориями Монголии и Китая в Приморский край воздушными массами переносятся пыльные и песчаные бури из пустыни Гоби. Различные локальные выбросы местных ТЭЦ оказывают непосредственное влияние, так как начинается отопительный сезон [9].



Рис. 3. Траектории обратного переноса загрязняющих веществ за 120 ч до 30 ноября 2025 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

Сильное влияние на состояние атмосферного воздуха Приморского края имеет трансграничный перенос воздушных масс с территории Китая, а конкретно – с территории провинции Хэйлуцзянь [14], так как она является основной северо-восточной промышленной и сельскохозяйственной зоной Китая, где проводятся посев риса, различные пахотные работы, а также массовое сжигание топлива для выработки электричества и тепла [15; 16].

Для исследования вероятности осаждения поллютантов, пришедших вместе с воздушными массами с территории Китая, были построены траектории, предсказывающие ближайшее осаждение загрязняющих веществ на примере провинции Хэйлуцзянь, Китай.

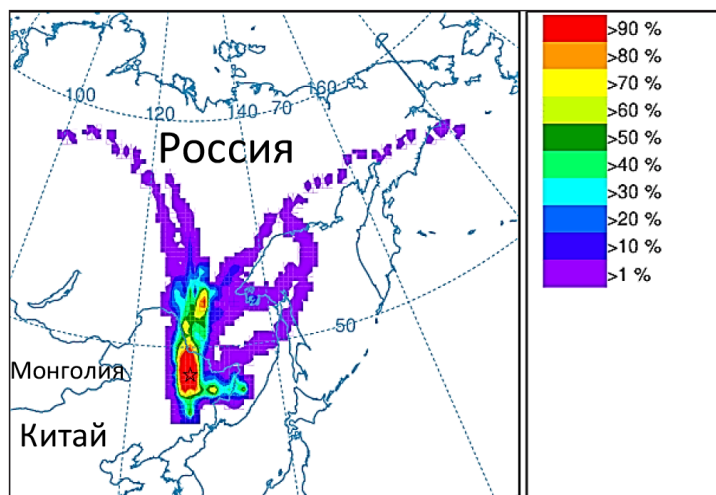


Рис. 4. Траектории осадения загрязняющих веществ из провинции Хэйлуцзян 15 августа 2025 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

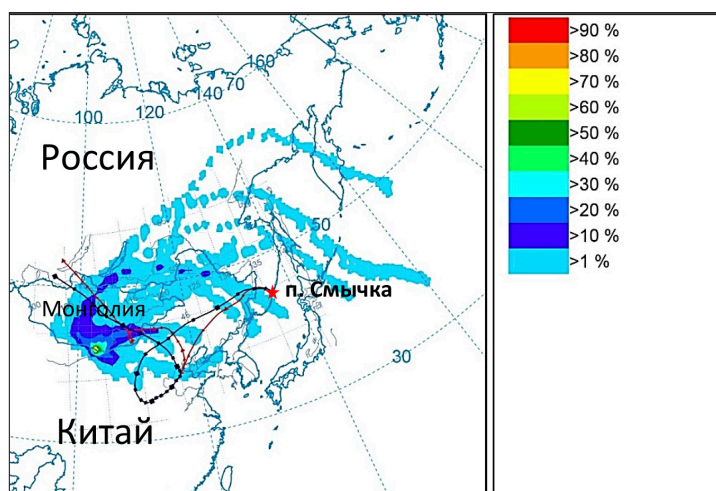


Рис. 5. Траектории обратного переноса воздушных масс и зоны осадения загрязняющих веществ за 168 ч с 9 сентября 2023 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

На рис. 4 изображена траектория осадения поллютантов 15 августа 2025 г., сервис HYSPLIT построил вероятные пути от источника к конечным точкам. Приморский край входит в зону от 70 до 1 % количественного осадения поллютантов.

Таким образом, можно построить траектории осадения загрязняющих веществ в самых интенсивно активных районах, влияющих на содержание частиц PM 2.5 и PM 10 в атмосферном воздухе.

Траектории обратного переноса воздушных масс, построенные 9 сентября 2023 г., наглядно демонстрируют вероятные перемещения загрязнителей в воздушном потоке. В зону их осадения входит и п. Смычка (рис. 5).

Таблица 2 показывает, что средние показатели не были превышены, но наблюдается активное увеличение числа поллютантов к 9 сентября. Это может быть связано с небольшими пыльными переносами из пустыни Гоби и Монголии, а также с различными выбросами с предприятий на севере Китая [9; 17].

Аналогичная ситуация наблюдается 15 апреля 2024 г. Траектории обратного переноса воздушных масс были построены с целью выявления источника превышения средних показателей. Потоки воздуха проходили через Монголию и Китай, на территориях которых находится пустыня Гоби (рис. 6). Количественный состав частиц мог увеличиться в результате пыльных наносов (табл. 3).

Таблица 2

Усредненные среднесуточные значения содержания частиц РМ в атмосфере за 7–9 сентября 2023 г. (в мг/м³)

Дата	PM 2.5	PM 10
7 сентября	0,0035	0,005
8 сентября	0,01	0,01
9 сентября	0,02	0,02
ПДК частиц	0,035	0,06

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

Таблица 3

Усредненные среднесуточные значения содержания частиц РМ в атмосфере за 12–15 апреля 2024 г. (в мг/м³)

Дата	PM 2.5	PM 10
12 апреля	0,004	0,007
13 апреля	0,005	0,01
14 апреля	0,01	0,011
15 апреля	0,007	0,01
ПДК частиц	0,035	0,06

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования.

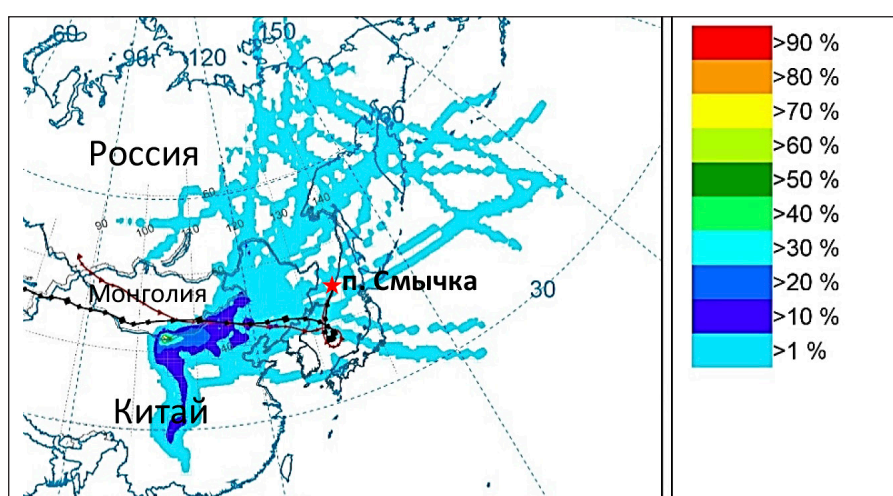


Рис. 6. Траектории обратного переноса воздушных масс и осадения загрязняющих веществ за 168 ч с 15 апреля 2024 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

В 2025 г. вулкан Шивелуч, расположенный на п-ве Камчатка, выбрасывал столбы пепла множество раз⁵.

26 ноября 2025 г. сообщалось, что на вулкане Шивелуч произошел мощный выброс пепла. Столб пепла поднялся на высоту до 5,5 км над уровнем моря⁶. Построив траектории прямого переноса воздушных масс и осадения поллютантов (рис. 7), можно отследить вероятность перемещения воздушных масс, содержащих выбросы вулкана, в зону исследования и фиксирование превышений средних показателей. На 1 декабря 2025 г. траектория достигает террито-

⁵ Бритенков А. «Роскосмос» показал со спутника извержение вулкана Шивелуч на Камчатке // Hi-tech mail. [Электронный ресурс]. URL: <https://hi-tech.mail.ru/news/127280-roskosmos-pokazal-so-sputnika-izverzhenie-vulkana-shiveluch-na-kamchatke/> (дата обращения: 22.02.2026).

⁶ Вулкан Шивелуч на Камчатке выбросил пепел на высоту 5,5 км // РИА Новости. [Электронный ресурс]. URL: <https://ria.ru/20251126/vulkan-2057576166.html> (дата обращения: 22.02.2026).

рии Приморского края, в табл. 4 можно проследить тенденцию повышения и снижения количества частиц.

Влияние на содержание частиц в воздухе в п. Smyчка могло оказать вулканическое извержение 1 февраля 2026 г., когда Шивелуч выбросил столб пепла высотой до 6 км, получив «красный» код авиационной опасности⁷. В близлежащем поселении проживает около 5 тыс. чел., которым мог быть нанесен вред не только пепельным выбросом, но и различными токсичными газами [18]. Перенос на графике демонстрирует перемещение воздушных масс в течение 7 дней (рис. 8), на 5 из которых поллютанты могли осесть в Приморском крае (табл. 5).

⁷ Вулкан Шивелуч на Камчатке выбросил пепел на высоту 6 км над уровнем моря // Известия. [Электронный ресурс]. URL: <https://iz.ru/2034992/2026-02-01/vulkan-shiveluch-na-kamchatke-vybrosil-pepel-na-vysotu-6-km-nad-urovнем-moria> (дата обращения: 22.02.2026).

Таблица 4
Усредненные среднесуточные значения содержания частиц РМ в атмосфере с 29 ноября по 3 декабря 2025 г. (в мг/м³)

Дата	PM 2.5	PM 10
29 ноября	0,003	0,005
30 ноября	0,004	0,01
1 декабря	0,003	0,01
2 декабря	0,01	0,01
3 декабря	0,01	0,01
ПДК частиц	0,035	0,06

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования, «-» – данные отсутствуют.

Данные в таблице 5 получены путем сканирования на СЭМ, находящейся в п. Смычка.

Таблица 5

Усредненные среднесуточные значения содержания частиц РМ в атмосфере 4–7 февраля 2026 г. (в мг/м³)

Дата	PM 2.5	PM 10
5 февраля	0,0025	0,0044
6 февраля	0,002	0,004
7 февраля	0,002	0,004
ПДК частиц	0,035	0,06

Примечание: составлена автором на основе полученных данных в ходе исследования, «-» – данные отсутствуют.

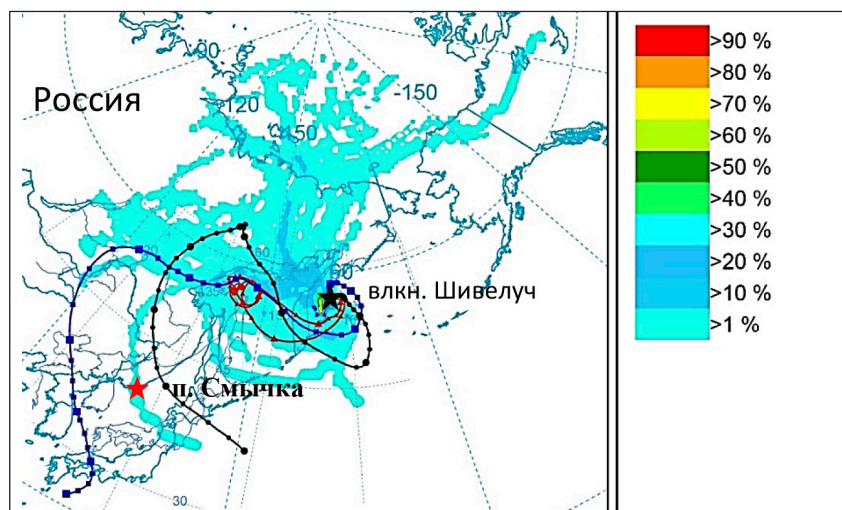


Рис. 7. Траектории прямого переноса воздушных масс и осадения загрязняющих веществ за 168 ч с 26 ноября 2025 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

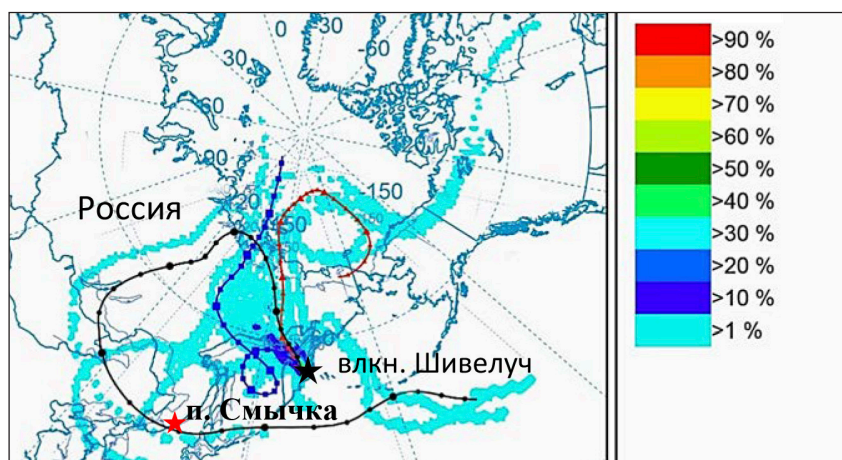


Рис. 8. Траектории прямого переноса воздушных масс и осадения загрязняющих веществ за 168 ч с 1 февраля 2026 г.
Примечание: составлен автором по результатам данного исследования

Выводы

На основе анализа данных со станции экологического мониторинга окружающей среды и построенных траекторий обратного переноса воздушных масс и осаждения загрязнителей, можно сделать несколько выводов:

1. Трансграничный перенос воздушных масс оказывает значительное влияние на содержание частиц PM 2.5 и PM 10 в атмосферном воздухе.

2. Локальные источники загрязнения имеют меньшее значение в дальнем переносе, но оказывают значительное влияние на фоновое содержание в пределах района исследования.

3. Есть четкая закономерность и зависимость воздушных переносов от времени года – пики загрязнения приходятся на месяцы интенсивной сельскохозяйственной деятельности и месяцы отопительного сезона, но существуют и исключения, связанные с непредвиденными природными факторами.

4. Трансграничный перенос оказывает влияние «импульсно», то есть переносимые воздушные массы с инородными веществами воздействуют на район кратковременно, что может негативно повлиять на здоровье населения.

5. Осаждение загрязняющих веществ от источника загрязнения распределяется неравномерно, но с большей долей вероятности поллютанты осадут в районе самого источника загрязнения, а также на близлежащих территориях.

Трансграничное перемещение воздушных масс с загрязнителями – повсеместная проблема многих приграничных территорий, которая требует постоянного контроля и принятия мер по обеспечению безопасного атмосферного воздуха в жилых районах. Тенденция с 2023 по 2025 г. демонстрирует снижение концентрации поллютантов в фоновом содержании в п. Смычка Приморского края, но необходимы дальнейшие наблюдения и фиксирование численных данных.

Список литературы

1. Кондратьев И. И. Трансграничный атмосферный перенос аэрозоля и кислотных осадков на Дальний Восток России. Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2014. 300 с. EDN: VMQROM. ISBN 978-5-8044-1476-5.
2. 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. DOI: 10.25808/08697698.2019.206.4.003.
3. Мезенцева Л. И., Федулов А. С. Климатические тенденции атмосферной циркуляции на Дальнем Востоке // Известия КГТУ. 2017. № 46. С. 175–183. URL: https://klgtu.ru/upload/izvestiya-kgtu/2017/izvestiya_kgtu_46.pdf (дата обращения: 27.04.2026). EDN: WPCCJY.

4. 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. DOI: 10.35735/26870509_2025_24_7.

5. Разжигаева Н. Г., Ганзей Л. А., Гребенникова Т. А., Мохова Л. М., Белянин П. С., Кудрявцева Е. П., Шекман Е. А., Копотева Т. А., Климин М. А. Васьюковское болото как природный архив изменений среды Сихотэ-Алинского биосферного района в позднем голоцене // Тихоокеанская география. 2025. № 3. С. 44–64. DOI: 10.35735/26870509_2025_23_4.

6. Скин Ф. В. Лихеноиндикационная оценка загрязнения приземного воздуха западной оконечности гор Пржевальского на примере ООПТ «Тигровая падь» // Тихоокеанская география. 2026. № 1. С. 83–93. DOI: 10.35735/26870509_2026_25_6.

7. Керимов А. М., Татаренко Н. В., Татаренко З. М., Курашева О. А. Особенности поступления аэрозольных частиц в снежный покров путем вымывания и сухого осаждения в условиях высокогорья // Успехи современного естествознания. 2018. № 4. С. 121–126. URL: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=36735> (дата обращения: 30.04.2026).

8. Российская Федерация. 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 января 2018 г. № 49557). URL: <http://publication.pravo.gov.ru/Document/View/0001201801090023> (дата обращения: 30.04.2026).

9. Ганзей Л. А., Разжигаева Н. Г. Состав материала пыльных бурь на юге Дальнего Востока // Литология и полезные ископаемые. 2006. № 3. С. 242–249. EDN: NQKTVZ.

10. Демина Я. В. Зоны экономического развития КНДР: перспективы функционирования в условиях санкций // Регионалистика. 2019. Т. 6. № 4. С. 64–75. DOI: 10.14530/reg.2019.4.64.

11. Michael Williams. Deforesting the Earth: From Prehistory to Global Crisis, An Abridgment. University of Chicago Press, 2010. 561 с. ISBN 0226899055.

12. Холодов А. С., Чернышев В. В., Угай С. М. Дисперсный и химический состав атмосферных выпадений в снежном покрове городов Дальнего Востока России. Владивосток: Издательство Дальневосточного федерального университета, 2021. 292 с. ISBN 978-5-7444-5005-2.

13. Мишина Н. В. Современная динамика лесных пожаров на приграничных территориях России, Китая и Монголии // Успехи современного естествознания. 2018. № 3. С. 140–147. URL: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=36716> (дата обращения: 30.04.2026). DOI: 10.17513/use.36716.

14. Luyang Zhang, Junyan Chu, Haiyang You, & Zhihua Liu. Decomposition and Scenario Analysis of Agricultural Carbon Emissions in Heilongjiang, China. 2024. P. 19. (In English). DOI: 10.7717/peerj.17856.

15. Качур А. Н., Ланкин А. С. Международные проекты ТИГ ДВО РАН // Тихоокеанская география. 2021. № 4. С. 5–21. DOI: 10.35735/26870509_2021_8_1.

16. Кондратьев И. И. Сезонная изменчивость химического состава атмосферных осадков и влажных выпадений (по данным станций EANET-Приморская) // Тихоокеанская география. 2025. № 3. С. 65–72. DOI: 10.35735/26870509_2025_23_5.

17. Холодов А. С., Голохваст К. С. Результаты исследований гранулометрического и элементного состава атмосферных выпадений на территории заповедников Дальнего Востока РФ // Тихоокеанская география. 2020. № 3. С. 38–46. DOI: 10.35735/tig.2020.64.91.004.

18. Галушин Д. А., Громов С. А., Авдеев С. М. Межгодовая динамика химического состава и кислотности атмосферных осадков на территории приморского края за период с 2011 по 2020 г. // Успехи современного естествознания. 2022. № 3. С. 42–48. URL: <https://natural-sciences.ru/article/view?id=37790> (дата обращения: 08.04.2026). DOI: 10.17513/use.37790.

Конфликт интересов: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest: The authors declare that there is no conflict of interest.

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

Financing: The work was carried out as part of the state assignment of the Pacific Institute of Geography of the Far Eastern Branch of the Russian Academy of Sciences No. 124053100009-5.