

DOI: 10.22363/2313-2310-2026-34-3-407-420

EDN: FLXONB

УДК 504.054/.064.2

Научная статья / Research article

Моделирование распространения угольной пыли при функционировании АО «Порт Ванино» до и после установки ветро-пылезащитного экрана

А.И. Лукьянов[✉], Е.В. Дахова^{id}, Л.П. Майорова^{id}

Тихоокеанский государственный университет имени М.П. Даниловского, Хабаровск,
Российская Федерация
✉008362@togudv.ru

Аннотация. Актуальность работы определяется необходимостью обеспечения экологической безопасности при перевалке угля на неспециализированном терминале АО «Порт Ванино». Уровень загрязнения атмосферного воздуха пылью угольной в жилой зоне поселка и над акваторией бухты Ванина определялся на основе моделирования рассеивания выбросов в атмосфере в программе УПРЗА «Эколог-4.6». Учен 91 источник выбросов пыли угольной. Рассмотрено 10 вариантов организации работ. Расчеты рассеивания показали, что проведенные АО «Порт Ванино» воздухоохраные мероприятия недостаточно эффективны. По наиболее неблагоприятному варианту организации работ приземные концентрации над акваторией бухты составят от 0,579 до 2,37 мг/м³, в жилой застройке — от 0,049 до 0,115 мг/м³ (от 0,16 до 0,38 долей ПДК), максимальный вклад дает пыление складов. Применение экрана высотой 20 м по всему периметру складов позволяет снизить приземные концентрации в 10 раз и обеспечить соблюдение нормативных требований и снижение высасывания пыли на акваторию бухты. Потенциальный риск развития неспецифических токсических эффектов при хронической интоксикации в контрольных точках в жилой застройке снижается от категории «опасный» до «приемлемый», что подтверждает эффективность предложенного мероприятия.

Ключевые слова: пыление при перегрузке угля, моделирование рассеивания выбросов, технологии пылеподавления

Вклад авторов. Лукьянов А.И. — формальный анализ, проведение исследования, визуализация, написание, рецензирование и редактирование рукописи. Дахова Е.В. — верификация данных, подготовка и написание черновика рукописи. Майорова Л.П. — концептуализация, руководство исследованием. Все авторы участвовали в подведении итогов и подготовке заключения. Все авторы ознакомлены с окончательной версией статьи и одобрили ее.

Заявление о конфликте интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

© Лукьянов А.И., Дахова Е.В., Майорова Л.П., 2026



This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

Заявление об использовании технологий искусственного интеллекта. При создании настоящей статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовались.

Заявление о доступности данных. Все данные, полученные в ходе этого исследования, включены в опубликованную статью.

История статьи: поступила в редакцию 09.06.2025; доработана после рецензирования 01.04.2026; принята к публикации 16.04.2026.

Для цитирования: Лукьянов А.И., Дахова Е.В., Майорова Л.П. Моделирование распространения угольной пыли при функционировании АО «Порт Ванино» до и после установки ветро-пылезащитного экрана // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2026. Т. 34. № 3. С. 407–420. <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-3-407-420> EDN: FLXONB

Simulation of the coal dust spread during the operation at JSC Vanino Port before and after the installation of a wind and dust screen

Alexey I. Lukyanov^{}^{}, Ekaterina V. Dakhova^{}, Liydmila P. Mayorova^{}

Pacific National University named after M.P. Danilovskiy, Khabarovsk, Russian Federation
✉008362@togudv.ru

Abstract. The relevance of the work is determined by the need to ensure environmental safety during coal transshipment at the non-specialized terminal of JSC Vanino Port. The level of atmospheric air pollution with coal dust in the residential area of the settlement and above the water area of Vanina Bay was determined based on modeling the dispersion of emissions in the atmosphere in the program of the Environmental Protection Agency “Ecologist-4.6.” 91 sources of coal dust emissions were taken into account. 10 options for the organization of work have been considered. Dispersion calculations have shown that the air protection measures carried out by Port Vanino JSC are not effective enough. Dispersion calculations have shown that the air protection measures carried out by JSC Port Vanino are insufficiently effective. According to the most unfavorable variant of the organization of work, the ground concentrations over the bay water area will be from 0.579 to 2.37 mg/m³, in residential areas — from 0.049 to 0.115 mg/m³ (from 0.16 to 0.38 shares of the MPC), the maximum contribution is given by dusting of warehouses. The use of a 20-meter-high screen around the entire perimeter of the warehouses makes it possible to reduce surface concentrations by 10 times, ensure compliance with regulatory requirements, and reduce dust deposition in the bay area. The potential risk of developing non-specific toxic effects in chronic intoxication at control points in residential buildings is reduced from the category of “dangerous” to “acceptable”, which confirms the effectiveness of the proposed measure.

Keywords: dusting during coal transshipment, emission dispersion modeling, dust suppression technologies

Authors’ contribution. A.I. Lukyanov — formal analysis, conducting research, visualization, writing — reviewing and editing the manuscript. E.V. Dakhova — data verification, writing — preparing a draft of the manuscript. L.P. Mayorova — conceptualization, research management. All authors participated in summarizing and preparing the conclusion. All authors have read and approved the final version of the manuscript.

Conflicts of interest. The authors declare that there is no conflict of interest.

Statement on the use of artificial intelligence technologies. No generative artificial intelligence technologies were used in the creation of this article.

Data availability. All data obtained during this study are included in the published article.

Article history: received 09.06.2025; revised 01.04.2026; accepted 16.04.2026.

For citation: Lukyanov AI, Dakhova EV, Mayorova LP. Simulation of the coal dust spread during the operation at JSC Vanino Port before and after the installation of a wind and dust screen. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2026;34(3):407–420. (In Russ.). <http://doi.org/10.22363/2313-2310-2026-34-3-407-420> EDN: FLXONB

Введение

Важной задачей в области защиты окружающей среды является оценка влияния крупных угольных терминалов на экологическое состояние близлежащих городов в целом и на состав атмосферных взвесей в частности [1–4]. Перечислим основные источники пыления при перевалке угля в морских портах [3].

– Открытые склады угля, обеспечивающие круглосуточный и круглогодичный существенный вклад в пыление. Однако применение закрытых складов на сегодняшний день вопрос дискуссионный.

– Узлы пересыпки и дробильно-сортировочные установки (ДСУ). Перегрузка из вагонов на склад может выполняться грейферами или вагонопрокидывателями. Перемещение материала по периметру склада осуществляется конвейером или спецтехникой, ДСУ работают главным образом в зимний период и являются мощным источником пылевыделения.

– Перегрузка со склада в трюм судна. Осуществляется конвейерным транспортом; с помощью пневмоустановок; с использованием грейферных кранов и перегружателей (наиболее распространен и обеспечивает максимальное пыление [4]). В результате в радиусе 10 м от места разгрузки грейфера концентрация пыли в воздухе в 7–50 раз превышает ПДК [5].

– Спецтехника и транспорт. Пыление имеет место при работе спецтехники (мобильные дробильные установки, экскаваторы, бульдозеры, погрузчики и т.д.) и движении автотранспорта по дорогам.

Внимание исследователей сосредоточено на угольной пыли как опасной форме техногенного загрязнения [6; 7]. Пыление на угольных терминалах происходит за счет ветровой эрозии и механического воздействия. На специализированных терминалах пылеобразование ниже по сравнению с грейферной технологией перевалки, так как процессы перегрузки в большинстве случаев происходят в закрытых технологических узлах, что препятствует распространению пыли и повышает эффективность мероприятий по пылеподавлению и пылеулавливанию.

При оценке состояния запыленности атмосферы, разработке способов и средств борьбы с пылью, выборе и внедрении обеспыливающих мероприятий необходимо учитывать применяемую технологию работ, технологическую операцию и конструктивные особенности используемых машин,

свойства материала и образующейся при этом пыли, климатические и метеорологические условия района, в котором расположен объект, времена года и другие факторы [7]. Базовым, основополагающим принципом при ведении работ с углем в морских терминалах должен стать переход на наилучшие доступные технологии (НДТ) путем реализации комплекса мероприятий организационного и технического характера, направленных, в первую очередь, на минимизацию воздействия на атмосферный воздух¹.

Большинство специалистов сходятся во мнении, что не существует единого решения всех сложных проблем борьбы с пылью и универсального, полностью безопасного и продуктивного метода обеспыливания [8; 9]. В каждом конкретном случае эти вопросы решаются индивидуально. При выработке метода пылеподавления необходимо проанализировать следующие вопросы: что является основным источником образования пыли и где он находится, за счет какого процесса образуется наибольшее количество пыли, попадающей в воздух, и где располагаются наиболее чувствительные к воздействию воздушной пыли зоны [1–7].

Одним из вариантов снижения распространения пыли при операциях с углем на угольных причалах и терминалах является возведение ветро-пылезащитных экранов, контролирующих и изменяющих направление потоков ветра, уменьшающих их скорость, силу и размер вихревых потоков [10; 11].

Цель исследования — обоснование необходимости природоохранных мероприятий на терминале АО «Порт Ванино» по снижению приземных концентраций угольной пыли до нормативных значений и уменьшение осадения пыли на акваторию бухты с подтверждением эффективности математическим моделированием и расчетами потенциального риска для здоровья населения.

С целью получения данных по распространению угольной пыли в п. Ванино и на прилегающей территории при функционировании АО «Порт Ванино» было выполнено компьютерное моделирование.

Материалы и методы исследования

АО «Порт Ванино» расположен на северо-западном материковом берегу Татарского пролива в естественной глубоководной бухте Ванина. Перевалка угля осуществляется на неспециализированных причалах № 5, 6, 7, 10, 15, 16, 17. Общая площадь угольных складов — 73 500 м². Вместимость — 280 000 м³. Выгрузка из полувагона — классическая грейферная с помощью порталного крана либо стрелового погрузчика. После формирования штабеля угля, прошедшего через дробильно-сортировочные установки и магнитный сепаратор,

¹ ИТС 46-2019. Сокращение выбросов загрязняющих веществ, сбросов загрязняющих веществ при хранении и складировании товаров (грузов). Москва : Бюро НДТ, 2019, с поправкой от 17 марта 2020 г. // Росстандарт. URL: <https://www.rst.gov.ru/portal/gost/home/activity/NDT/actualizationdirectory2019> (дата обращения: 02.04.2025).

погрузка на судно осуществляется порталным краном. При эксплуатации неспециализированного терминала отмечался высокий уровень загрязнения атмосферного воздуха угольной пылью в поселках Токи и Ванино. Первый митинг, на котором ванинцы высказали свои претензии к руководству морского порта, прошел в мае 2013 г. Проблема вышла на уровень Росприроднадзора, Государственной Думы РФ и Президента РФ. По предписанию Росприроднадзора на терминале был реализован ряд мероприятий по снижению пыления² [1; 12–14].

В соответствии с СанПиН 1.2.3685-21³ пыль каменного угля нормируется по коду 3749. ПДК_{мр} составляет 0,3 мг/м³, ПДК_{сс} — 0,1 мг/м³, класс опасности — 3.

Моделирование распространения угольной пыли в жилой зоне п. Ванино и на прилегающей территории проведено в 2024 г. с использованием УПРЗА «Эколог-4.6» с учетом расположения терминалов погрузки угля и выполняемых на них операций. Рассмотрено 10 вариантов организации работ с различными вариантами сочетания одновременно осуществляемых производственных операций. Учтен 91 источник выбросов пыли угольной в атмосферный воздух (13 штабелей угля на трех складах плюс сопутствующие операции) (рис. 1).

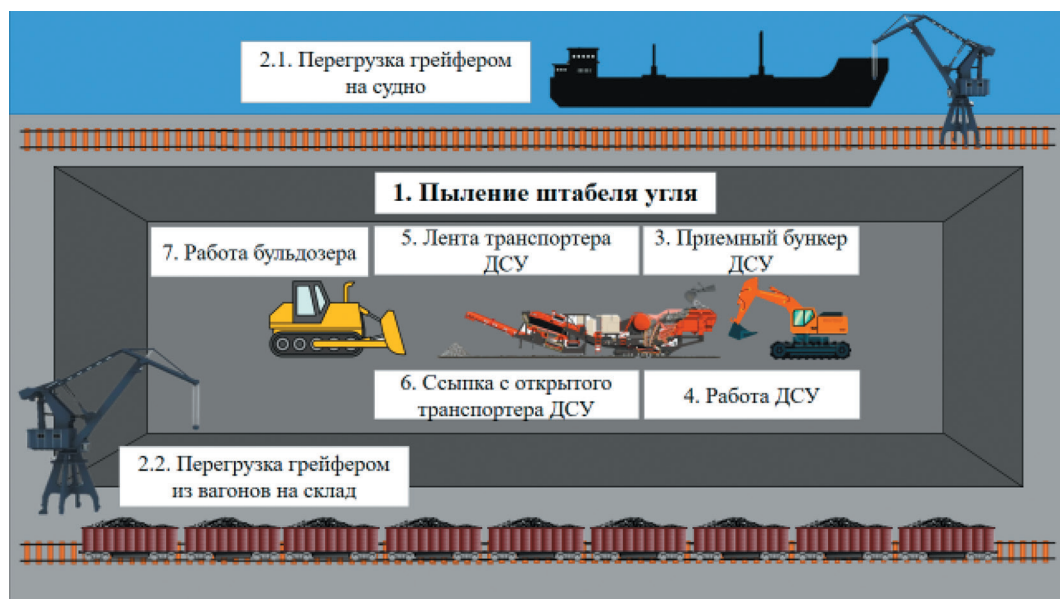


Рис. 1. Схема организации работ с группами учетных источников

Источник: составлено А.И. Лукьяновым.

² Киреева А. Путин: открытая перевалка угля создает большие экологические проблемы // Всероссийский экологический портал. 17.08.2017. URL: <https://ecoportal.su/news/view/93741.html?ysclid=mrс5wdyo66195998755> (дата обращения: 02.04.2025).

³ СанПиН 01.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Зарегистрировано в Минюсте России 29 января 2021 г. № 62296. URL: https://nagut6.gosuslugi.ru/netcat_files/174/2801/SP123685_21.pdf?ysclid=mrс60z2ne6228570556 (дата обращения: 02.04.2025).

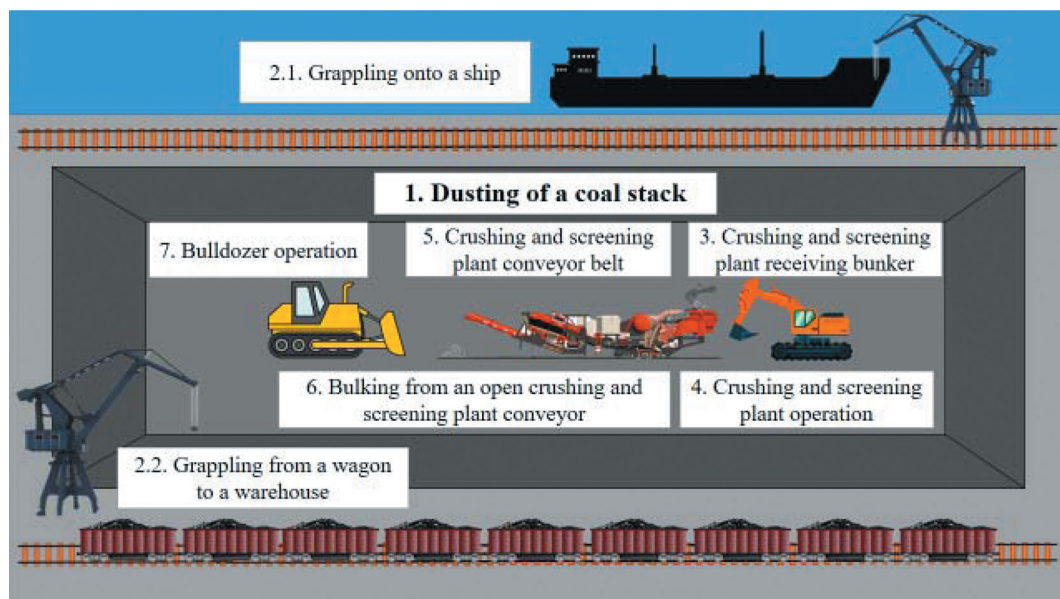


Figure 1. The scheme of organization of work with groups of the considered sources

Source: compiled by A.I. Lukyanov.

Для расчета принято, что на каждом штабеле угля одновременно источниками выделения являются склад (пыление), перегрузка грейфером (вагон-склад или склад-судно), ДСУ со средствами пылеподавления, ссыпание угля в приемный бункер ДСУ, работа ленточного конвейера, ссыпка угля с открытого транспортера сортировочной машины, пыление при работе бульдозера. Учитывалось, что территория АО «Порт Ванино» функционально разделена на два производственно-перегрузочных участка ППУ-1 и ППУ-2, расположенных на противоположных сторонах бухты Ванина⁴ [1].

Ситуационная карта-схема размещения источников выбросов и контрольных точек приведена на рис. 2, метеопараметры, определяющие условия рассеивания, — в таблице.

Для оценки воздействия угольной пыли на здоровье населения был рассчитан потенциальный риск развития неспецифических токсических эффектов при хронической интоксикации в точках, принадлежавших жилой застройке (точки 1–4, 7 на рис. 2).

Расчеты выбросов пыли угольной выполнены по методикам⁵.

⁴ Акционерное общество «Ванинский морской торговый порт» : офиц. сайт. URL: <https://www.vaninoport.ru/> (дата обращения: 02.04.2025).

⁵ Методика расчета вредных выбросов (сбросов) для комплекса оборудования открытых горных работ (на основе удельных показателей) / Нац. науч. центр горного произ-ва институт горного дела им. А.А. Скочинского. Люберцы : ННЦ ГП ИГИ, 1999. 68 с.; Отраслевая методика расчета количества отходящих, уловленных и выбрасываемых в атмосферу вредных веществ предприятиями по добыче угля / ФГУП МНИИЭКО ТЭК. Пермь, 2003. 115 с.; Методическое пособие по расчету выбросов от неорганизованных источников в промышленности строительных материалов / ЗАО «НИПИОТСТРОМ». Новороссийск, 2001. 27 с.; Временные методические указания по рас-



Рис. 2. Ситуационная карта-схема расположения источников выбросов и контрольных точек

Источник: составлено А.И. Лукьяновым, карта взята с сервиса Яндекс Карты
https://yandex.ru/maps/geo/rabochiy_posyolok_vanino/53067763/?ll=140.277040%2C49.088971&z=13.39
 (дата обращения: 02.04.2025)

Figure 2. Situational map-diagram of the location of emission sources and control points

Source: compiled by A.I. Lukyanov, the map is adapted from Yandex.Maps
https://yandex.ru/maps/geo/rabochiy_posyolok_vanino/53067763/?ll=140.277040%2C49.088971&z=13.39
 (accessed: 02.04.2025)

Метеорологические характеристики и коэффициенты, определяющие условия рассеивания загрязняющих веществ в атмосфере [1]

Метеорологические параметры, ед. изм.	Значения
Коэффициент, зависящий от стратификации атмосферы для районов ДВ, А	200
Коэффициент рельефа местности	1,10
Средняя максимальная температура воздуха наиболее жаркого месяца, °С	22,5
Средняя минимальная температура воздуха наиболее холодного месяца, °С	–15,9
Скорость ветра, повторяемость превышения которой 5 %, U*, м/с	8,2

Источник: составлено А.И. Лукьяновым.

Meteorological characteristics and coefficients determining the conditions for the dispersion of pollutants in the atmosphere [1]

Meteorological parameters, units	Values
The coefficient, depending on the stratification of the atmosphere for the regions of the Far East, A	200
The terrain coefficient	1.10
The average maximum air temperature of the hottest month, °C	22.5
The average minimum air temperature of the coldest month, °C	–15.9
Wind speed with a frequency exceeding 5%, U*, m/s	8.2

Source: compiled by A.I. Lukyanov.

чету выбросов загрязняющих веществ (пыли) в атмосферу при складировании и перегрузке сыпучих материалов на предприятиях речного флота. Белгород : БТИСМ, 1992. 35 с.; Методическое пособие по расчету, нормированию и контролю выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух (Дополненное и переработанное). Санкт-Петербург : ОАО «НИИ Атмосфера», 2012. 224 с.

В соответствии с Методическими рекомендациями⁶ потенциальный риск рассчитывается по формуле

$$P = 1 - \exp[-0,174 \cdot (\frac{C_{ij}}{\text{ПДК}_{\text{cc}} \cdot K_3})^n \cdot t],$$

где P — вероятность развития неспецифических токсических эффектов при хронической интоксикации в заданных условиях (от 0 до 1); C_{ij} — концентрация примеси, мг/м³; K_3 — коэффициент запаса, определяемый в зависимости от класса опасности примеси: 1-й класс — 7,5; 2-й класс — 6,0; 3-й класс — 4,5; 4-й класс — 3,0; ПДК_{cc} — среднесуточная ПДК, мг/м³; n — коэффициент, определяемый в зависимости от класса опасности примеси: 1-й класс — 2,4; 2-й класс — 1,31; 3-й класс — 1,0; 4-й класс — 0,86; t — отношение длительности воздействия загрязнения в годах к средней продолжительности жизни человека (70 лет).

Результаты и обсуждение

Результаты моделирования в виде картосхем приземных концентраций пыли угольной по наиболее неблагоприятному варианту представлены на рис. 3. На территории бухты Ванина приземные концентрации изменяются в пределах от 0,579 до 2,37 мг/м³ (что соответствует 1,93–7,9 доли ПДК). Максимальный вклад в загрязнение вносят склады и ДСУ. На территории поселка в контрольных точках приземные концентрации пыли угольной изменяются в интервале от 0,488 до 1,145 мг/м³ (от 1,63 до 3,82 долей ПДК).

При моделировании с учетом предлагаемых мер учитывался 91 источник с применением экрана высотой 20 м по всему периметру складов, с оставлением технических проездов. Скорость ветра варьировалась от 0 до 8,2 м/с (рис. 4). Эффективность экрана в соответствии с ИТС-46 выбрана 90 %.

На территории бухты Ванина с учетом внедрения мероприятий приземные концентрации изменяются в пределах от 0,057 до 0,237 мг/м³ (от 0,19 до 0,79 доли ПДК). В контрольных точках жилой застройки — от 0,049 до 0,115 мг/м³ (от 0,16 до 0,38 долей ПДК) (рис. 5). Данные коррелируют с предыдущими исследованиями пылевой нагрузки в данных точках [1; 15].

Значения потенциального риска в точках, принадлежащих жилой застройке, до установки экрана находятся в диапазоне 0,17–0,37, что соответствует категории «опасный», после установки экранов — 0,02–0,05 («приемлемый»), что подтверждает эффективность предложенного мероприятия.

⁶ Комплексная гигиеническая оценка степени напряженности медико-экологической ситуации различных территорий, обусловленной загрязнением токсикантами среды обитания населения : методические рекомендации (утв. Минздравом России 30.07.1997 № 2510/5716-97-32) // МЕГАНОРМ : система нормативных документов. URL: https://meganorm.ru/mega_doc/norm/metodicheskie-rekomendacii/1/kompleksnaya_gigienicheskaya_otsenka_stepeni_napryazhennosti.html?ysclid=mrc71zjf88450656701 (дата обращения: 02.04.2025).

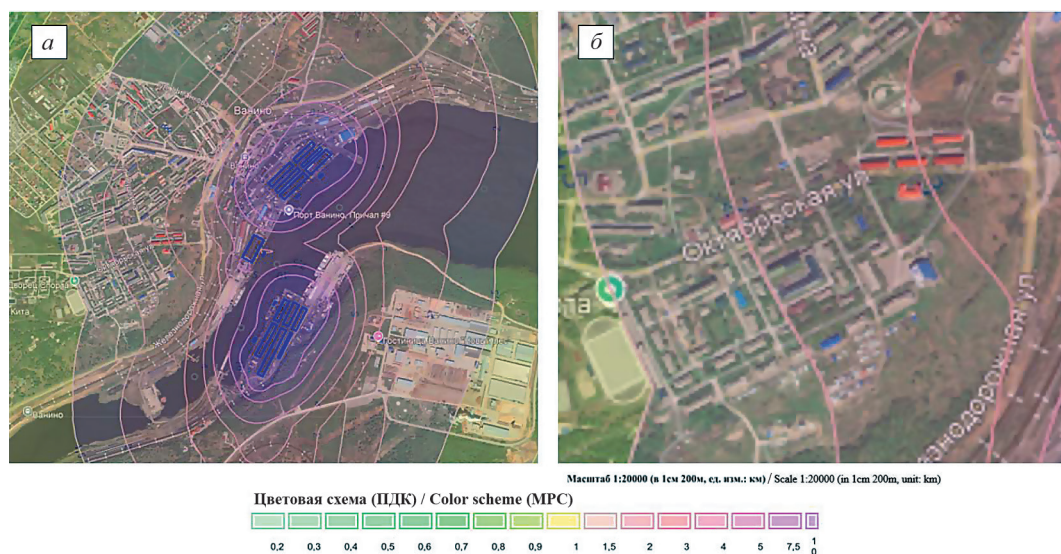


Рис. 3. Картограммы приземных концентраций угольной пыли:

а — территория бухты Ванина; б — территория поселка Ванино

Источник: составлено А.И. Лукьяновым с помощью программы УПРЗА Эколог 4, фирмы «Интеграл», карта взята с сервиса Яндекс Карты. URL: https://yandex.ru/maps/geo/rabochiy_posyolok_vanino/53067763/?ll=140.277040%2C49.088971&z=13.39 (дата обращения: 02.04.2025).

Figure 3. Cartographic diagrams of surface concentrations of coal dust:

а — the territory of Vanina Bay; б — the territory of the village of Vanino

Source: compiled by A.I. Lukyanov using the UPRZA Ecologist 4 program from Integral, the map is adapted from Yandex.Maps. Available from: https://yandex.ru/maps/geo/rabochiy_posyolok_vanino/53067763/?ll=140.277040%2C49.088971&z=13.39 (accessed: 02.04.2025).

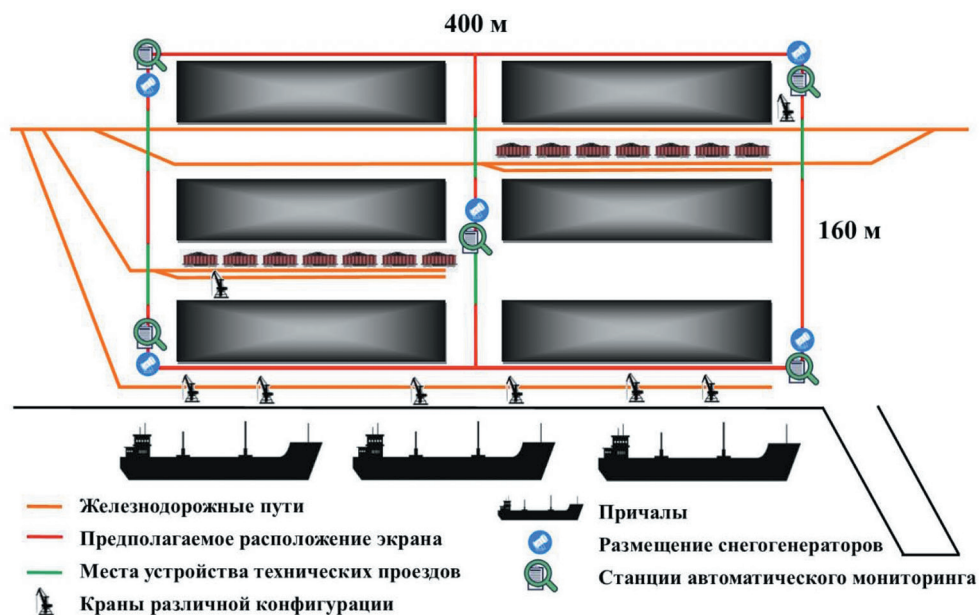


Рис. 4. Схема локализации предлагаемых мероприятий

Источник: составлено А.И. Лукьяновым.

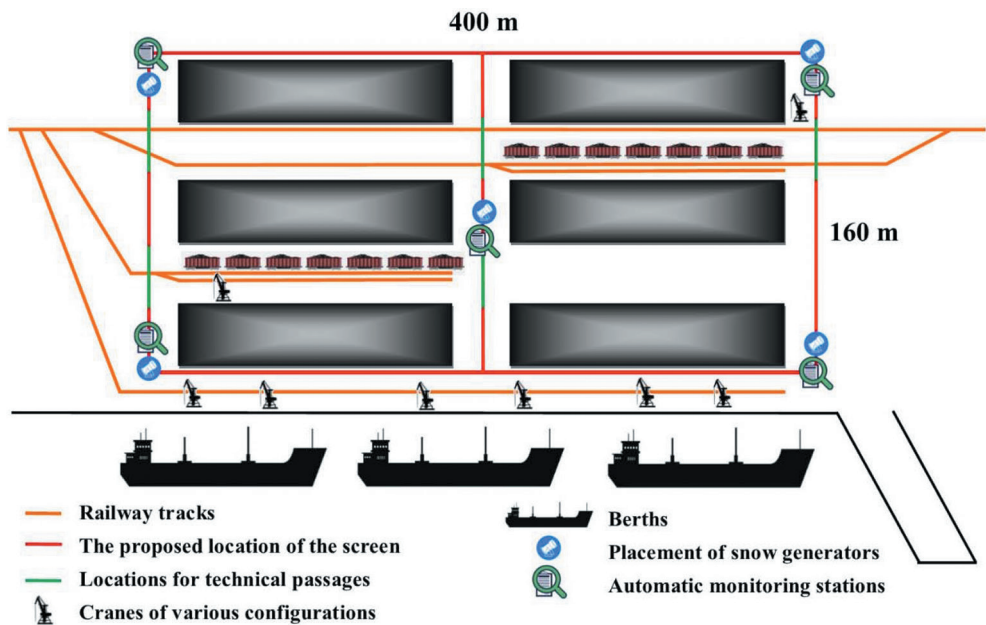


Figure 4. The localization scheme of the proposed activities

Source: compiled by A. I. Lukyanov.

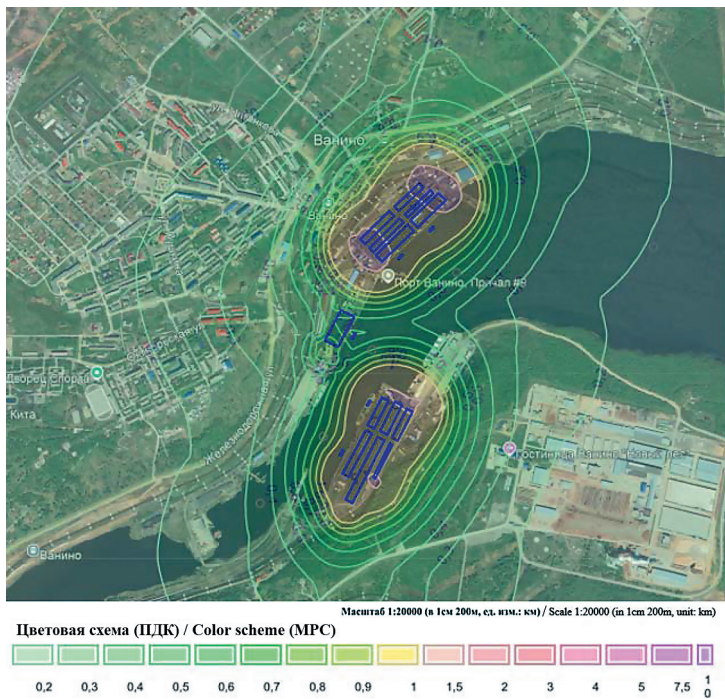


Рис. 5. Картограмма приземных концентраций угольной пыли после установки ветро-пылезащитного экрана

Источник: составлено А.И. Лукьяновым с помощью программы УПРЗА Эколог 4, фирмы «Интеграл», карта взята с сервиса Яндекс Карты. URL: https://yandex.ru/maps/geo/rabochiy_posyolok_vanino/53067763/?ll=140.277040%2C49.088971&z=13.39 (дата обращения: 02.04.2025).

Figure 5. Cartographic diagram of surface concentrations of coal dust after the installation of a wind-dust screen

Source: compiled by A.I. Lukyanov using the UPRZA Ecologist 4 program from Integral, the map is adapted from Yandex.Maps. Available from: https://yandex.ru/maps/geo/rabochiy_posyolok_vanino/53067763/?ll=140.277040%2C49.088971&z=13.39 (accessed: 02.04.2025).

Заключение

Реализованные АО «Порт Ванино» мероприятия по пылеподавлению недостаточно эффективны. Установка экрана по всему периметру складов будет способствовать уменьшению приземных концентраций над акваторией бухты, и, соответственно, осаднения пыли на водную поверхность, а также снижению воздействия пыли на население п. Ванино и работников порта (потенциальный риск воздействия на здоровье населения снижается с «опасного» до «приемлемого»).

Список литературы

- [1] Майорова Л.П., Лукьянов А.И., Дахова Е.В. Моделирование распространения взвеси угольной пыли при хранении и погрузочно-разгрузочных работах в портах (на примере порта Ванино) // Инновации и инвестиции. 2021. № 7. С. 89–94. EDN: URYDGE
- [2] Голохваст К.С., Чайка В.В., Никифоров П.А., Блиновская Я.Ю., Филонова Е.А., Семенухин В.А. Влияние крупного угольного терминала на состав атмосферных взвесей населенного пункта // Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2015. № 56. С. 73–77. EDN: TUVCAR
- [3] Христофоров А.А., Кузнецов Д.А., Артюшин И.А. Способы и средства борьбы с пылью и контроля концентрации пыли в атмосфере угольных терминалов морских портов с использованием последних достижений в области автоматизации и пылеподавления // Вестник научного центра по безопасности работ в угольной промышленности. 2017. № 3. С. 57–67. EDN: ZGPIUF
- [4] Отделкин Н.С., Адамов Е.И. Оценка потерь сыпучих грузов при обработке транспортными средствами грейферными кранами // Вестник государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2011. № 3. С. 146–149. EDN: OIVVJL
- [5] Адамов Е.И., Отделкин Н.С., Сикарев С.Н. Устройства, снижающие потери сыпучих грузов при перегрузке грейферными кранами // Вестник Государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2014. № 6 (28). С. 129–133. EDN: TDOCKB
- [6] Голохваст К.С., Куприянов А.Н., Манаков Ю.А., Никифоров П.А., Чайка В.В., Гульков А.Н. атмосферные взвеси Караканского угольного разреза Кузбасса: гранулометрический анализ // Экология человека. 2014. Т. 21. № 10. С. 19–24. <https://doi.org/10.17816/humeco17192>
- [7] Крылов Д.А. Угольная и газовая промышленность России: воздействие на природу и человека // Энергия: экономика, техника и экология. 2003. № 9. С. 16–22. EDN: OORHLV
- [8] Огай С.А., Огай А.С., Непейвода В.Г. Экологические проблемы перевалки сыпучих грузов в морских портах // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. 2006. № 6 (6). С. 76–80. EDN: KYFMDP
- [9] Васина Д., Рапопорт И., Тесленко И. Решение экологических проблем открытых угольных терминалов Владивостока // International Journal of Professional Science. 2021. № 6. С. 27–36. EDN: LCGRFS
- [10] Костюничев Д.Н., Отделкин Н.С. Оценка работоспособности сетчатых экранов по снижению пылевых выбросов сыпучих грузов с открытых складов портов // Вестник

- государственного университета морского и речного флота им. адмирала С.О. Макарова. 2024. Т. 16. № 1. С. 55–63. <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2024-16-1-55-63> EDN: KKAQND
- [11] *Московская И.В., Лазарева Л.П.* Анализ эффективности применения ветро-пылезащитных экранов на открытых складах угольных терминалов // Евразийский Союз Ученых. 2015. № 6-2 (15). С. 140–144. EDN: WXFOUZ
- [12] *Сергеев А.С.* Проблемы развития морских портов ДВФО в новом статусе «Свободного порта Владивосток» // Азиатско-Тихоокеанский регион: экономика, политика, право. 2017. Т. 19. № 1. С. 72–81. <https://doi.org/10.24866/1813-3274/2017-1/72-81> EDN: YQNK TZ
- [13] *Смирнов Ю.Д., Иванов А.В.* Разработка инновационного пылеподавляющего устройства для условий северных регионов // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2010. № 6. С. 187–190. EDN: NDLRMX
- [14] *Холодов А.С., Кириченко К.Ю., Захаренко А.М., Вахнюк И.А., Волкова В.Н., Голохваст К.С.* Анализ атмосферной взвеси рабочего поселка Ванино (Хабаровский край) // Вестник Дальневосточного отделения Российской академии наук. 2023. № 4 (230). С. 145–160 https://doi.org/10.37102/0869-7698_2023_230_04_10 EDN: VVWRQV
- [15] *Лукьянов А.И., Дахова Е.В., Майорова Л.П.* Оценка загрязнения снежного покрова тяжелыми металлами как один из методов мониторинга атмосферного воздуха на примере населенных пунктов Дальнего Востока // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. 2022. Т. 30. № 3. С. 407–416. <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-407-416> EDN: WSSOSW

References

- [1] Mayorova LP, Lukyanov AI, Dakhova EV. Modeling the spread of coal dust suspension during storage and loading/unloading operations in ports (for example, the port of Vanino). *Innovation & Investment*. 2021;(7):89–94. (In Russ.) EDN: URYDGE
- [2] Golokhvast KS, Chaika VV, Nikiforov PA, Blinovskaya YaYu, Filonova EA, Semenikhin VA. Influence of the large coal terminal on composition of atmospheric suspensions of the settlement. *Bulletin Physiology and Pathology of Respiration*. 2015;(56):73–77 (In Russ.) EDN: TUVCAR
- [3] Khristoforov AA, Kuznetsov DA, Artyushin IA. Methods and means of dust control and control of dust concentration in the atmosphere of the coal terminals of marine ports with the use of the latest achievements in automation and dust supply. *Bulletin of Research Center for Safety in Coal Industry (Industrial Safety)*. 2017;(3):57–67 (In Russ.) EDN: ZGPUIF
- [4] Otdelkin NS, Adamov EI. Assessment of bulk cargo losses during handling of vehicles with grab cranes. *Bulletin of Admiral S.O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping*. 2011;3(11):146a–149 (In Russ.) EDN: OIVVJL
- [5] Adamov EI, Otdelkin NS, Sikarev SN. Devices reducing bulk cargo losses during reloading with grab cranes. *Vestnik Gosudarstvennogo Universiteta Morskogo I Rechnogo Flota Imeni Admirala S.O. Makarova*. 2014;(6):129–133. (In Russ.) EDN: TDOCKB
- [6] Krylov DA, Putintseva VE. Fuel and energy complex and ecology. *Energy: Economics, Technology, Ecology*. 1995;2:48–53. (In Russ.)

- [6] Golokhvast KS, Kupriyanov AN, Manakov JA, Nikiforov PA, Chaika VV, Gulkov AN. Atmospheric suspenses of the Karakansky coal section of Kuzbass: particle size analysis. *Ekologiya cheloveka (Human Ecology)*. 2014;21(10):19–24. <https://doi.org/10.17816/humeco17192>
- [7] Krylov DA. Coal and gas industry of Russia: impact on nature and humans. *Energiia: Ekonomika, Tekhnika, Ekologiya*. 2003;9:16–22. (In Russ.) EDN: OORHLV
- [8] Ogay SA, Ogay AS, Nepeyvoda VG. Environmental problems of bulk cargo transshipment in seaports. *Transport of the Russian Federation. Journal of Science, Practice, Economy*. 2006;6(6):76–80. (In Russ.) EDN: KYFMDP
- [9] Vasina D, Rapoport I, Teslenko I. Solving environmental problems of open coal terminals in Vladivostok. *International Journal of Professional Science*. 2021;(6). 27–36. EDN: LCGRFS
- [10] Kostyunichev DN, Otdelkin NS. Assessment of the meshed screens operability to reduce dust emissions of bulk cargo from the ports open warehouses. *Bulletin of Admiral S.O. Makarov State University of Maritime and Inland Shipping*. 2024;16(1):55–63. (In Russ.). <https://doi.org/10.21821/2309-5180-2024-16-1-55-63> EDN: KKAQND
- [11] Moskovaya IV, Lazareva LP. Analysis of the effectiveness of wind and dust protection screens at open storage areas of coal terminals. *Eurasian Union of Scientists*. 2015;6–2:140–144. (In Russ.) EDN: WXFOUZ
- [12] Sergeev AS. Development of FEFD seaports in the new status of “the Free Port of Vladivostok”. *Pacific Rim: Economics, Politics, Law*. 2017;19(1):72–81. (In Russ.) <https://doi.org/10.24866/1813-3274/2017-1/72-81> EDN: YQNKTZ
- [13] Smirnov YuD, Ivanov AV. Development of an innovative dust suppression device for conditions of northern regions. *Mining Informational and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)*. 2010;(6):187–190. (In Russ.) EDN: NDLRMX
- [14] Kholodov AS, Kirichenko KYu, Zakharenko AM, Vakhniuk IA, Volkova VN, Golokhvast KS. The analysis of particulate matter in Vanino settlement (Khabarovsk territory, Russia). *Vestnik of the Far East Branch of the Russian Academy of Sciences*. 2023;(4):145–160. (In Russ.) https://doi.org/10.37102/0869-7698_2023_230_04_10 EDN: VVWRQV
- [15] Lukyanov AI, Dakhova EV, Mayorova LP. Assessment of snow cover pollution by heavy metals as one of the methods of atmospheric air monitoring on the example of settlements in the Far East. *RUDN Journal of Ecology and Life Safety*. 2022;30(3):407–416. (In Russ.) <https://doi.org/10.22363/2313-2310-2022-30-3-407-416> EDN: WSSOSW

Сведения об авторах:

Лукьянов Алексей Игоревич, старший преподаватель высшей школы Управления природными ресурсами, Тихоокеанский государственный университет имени М.П. Даниловского, Российская Федерация, 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. ORCID: 0000-0002-6936-6807; eLIBRARY SPIN-код: 6952-7589. E-mail: 008362@togudv.ru

Дахова Екатерина Валерьевна, кандидат технических наук, доцент высшей школы Управления природными ресурсами, Тихоокеанский государственный университет имени М.П. Даниловского, Российская Федерация, 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. ORCID: 0000-0003-0179-8563; eLIBRARY SPIN-код: 6871-2827. E-mail: 010770@togudv.ru

Майорова Людмила Петровна, доктор химических наук, доцент, профессор высшей школы Управления природными ресурсами, Тихоокеанский государственный университет имени М.П. Даниловского, Российская Федерация, 680035, г. Хабаровск, ул. Тихоокеанская, д. 136. ORCID: 0000-0002-6326-982X; eLIBRARY SPIN-код: 5904-3031. E-mail: 000318@togudv.ru

Bio notes:

Alexey I. Lukyanov, Senior Lecturer at the Higher School of Natural Resources Management, Pacific National University named after M.P. Danilovskiy, 136 Pacific St, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6936-6807; eLIBRARY SPIN-code: 6952-7589. E-mail: 008362@togudv.ru

Ekaterina V. Dakhova, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Higher School of Natural Resources Management, Pacific National University named after M.P. Danilovskiy, 136 Pacific St, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0003-0179-8563; eLIBRARY SPIN-code: 6871-2827. E-mail: 010770@togudv.ru

Liydmila P. Mayorova, Doctor of Chemical Sciences, Associate Professor, Professor, Higher School of Natural Resources Management, Pacific National University named after M.P. Danilovskiy, 136 Pacific St, Khabarovsk, 680035, Russian Federation. ORCID: 0000-0002-6326-982X; eLIBRARY SPIN-code: 5904-3031. E-mail: 000318@togudv.ru