








DOI 10.51885/1561-4212_2025_4_333
MPNТИ 73.31.11

ОСНОВЫ СОЗДАНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА ПРИ СОДЕРЖАНИИ ГОРОДСКИХ ДОРОГ И УЛИЦ

ҚАЛАЛЫҚ ЖОЛДАР ЖӘНЕ КӨШЕЛЕРДІ ҰСТАУДА ЭКОЛОГИЯЛЫҚ МОНИТОРИНГТІ ЖАСАУ НЕГІЗДЕРІ

BASICS OF CREATING ECOLOGICAL MONITORING IN THE MAINTENANCE OF CITY ROADS AND STREETS

А.К. Нурахова ¹, А.К. Киялбаев ¹, А.М. Қуанышбай ^{2*},
О.Д. Сейтказинов ², Д.Т. Сартаев ²

¹Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан

²Международная образовательная корпорация, г. Алматы, Казахстан

*Автор-корреспондент: Қуанышбай Айдана Мұхитқызы, e-mail: aidana_jan.96@mail.ru

Ключевые слова:

экологический
мониторинг, улично-
дорожная сеть,
противогололёдные
материалы,
химические реагенты,
обочины городских
дорог

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается создание системы экологического мониторинга для оценки воздействия городской улично-дорожной сети (УДС) на окружающую среду. Особое внимание уделено экологическим последствиям, связанным с транспортной инфраструктурой, включая загрязнение атмосферы, воды и почвы, а также повышение уровня шума. Рассматриваются основные источники загрязнений, такие как выбросы от автотранспорта, дорожных машин и использование противогололедных материалов. Описаны методы экологического мониторинга, направленные на изучение качества воздуха, воды, состояния почвы, а также биологического разнообразия вблизи городских дорог. Модель системы мониторинга включает несколько уровней: объектный, локальный, территориальный и региональный, что позволяет эффективно отслеживать экологическую ситуацию. Также приведены примеры методов, применяемых в Казахстане, такие как использование геоинформационных систем (ГИС) и моделирование экологических процессов. В статье подчеркивается важность разработки и внедрения системы экологического мониторинга для контроля загрязнений и минимизации их воздействия на природную среду. В работе анализируются экологические последствия транспортной деятельности: эмиссия углекислого газа, оксидов азота и угарного газа, а также попадание в водные экосистемы тяжёлых металлов и нефтепродуктов. Авторами приводится описание ключевых факторов, влияющих на экологическое состояние городских улиц и дорог, таких как состояние дорожного покрытия, загрязнение прилегающей территории, а также роль своевременной уборки дорог от песчано-соляных смесей. Создание эффективной системы мониторинга поможет не только выявлять экологические угрозы, но и разрабатывать стратегии для их устранения, что будет способствовать улучшению качества жизни городских жителей и охране экосистем.



Түйін сөздер:

экологиялық мониторинг, көше-жол торабы, көктайғақтық материалдар, химиялық реагенттер, қала жолдарының жиегі.

ТҮЙІНДЕМЕ

Мақалада қалалық көше-жол желісінің (ҚЖЖ) қоршаған ортаға әсерін бағалау үшін экологиялық мониторинг жүйесін құру мәселелері қарастырылады. Транспорттық инфрақұрылымның экологиялық салдарына ерекше көңіл бөлінген, оның ішінде атмосфера, су мен топырақтың ластануы, сондай-ақ шу деңгейінің жоғарылауы. Ластанудың негізгі көздері ретінде автокөліктердің, жол техникасының шығарындылары және тұзды-құмды қоспалардың қолданылуы қарастырылған. Экологиялық мониторинг әдістері, ауа, су сапасын, топырақ жағдайын және қалалық жолдар маңындағы биологиялық әртүрлілікті зерттеуге бағытталған әдістер сипатталған. Мониторинг жүйесінің моделі бірнеше деңгейден тұрады: объектілік, жергілікті, аумақтық және аймақтық, бұл экологиялық жағдайды тиімді бақылауға мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Қазақстанда қолданылатын экологиялық мониторинг әдістері, мысалы, геоақпараттық жүйелер (ГАЗ) мен экологиялық процестерді модельдеу келтірілген. Мақалада ластанудың алдын алу және экологиялық ахуалды жақсарту үшін экологиялық мониторинг жүйесін құрудың маңызы айтылады. Транспорттық ағымдардың ластануына әсер ететін факторлар, оның ішінде көмірқышқыл газы, азот оксидтері, көміртегі оксиді сияқты шығарындылар және ауыр металдар мен мұнай өнімдерімен су көздерінің ластануы қарастырылған. Қалалық көшелер мен жолдардың экологиялық жағдайына әсер ететін негізгі факторлар ретінде жол жабындысының жағдайы, жол маңындағы аумақтардың ластануы, сондай-ақ жолдарды қоқыстан тазалау мәселелері талданады. Эфективті мониторинг жүйесін құру экологиялық қауіптерді уақытылы анықтап, оларды жоюға арналған стратегияларды жасауға мүмкіндік береді, бұл қала тұрғындарының өмір сапасын жақсартуға және экожүйелерді қорғауға ықпал етеді.

Keywords:

environmental monitoring, street and road network, anti-icing materials, chemical reagents, the flank part of urban roads.

ABSTRACT

The article discusses the creation of an ecological monitoring system to assess the impact of the urban street and road network (USRN) on the environment. Special attention is given to the environmental consequences associated with transport infrastructure, including air, water, and soil pollution, as well as increased noise levels. The main sources of pollution, such as emissions from vehicles, road machinery, and the use of anti-icing materials, are considered. Ecological monitoring methods aimed at studying air quality, water, soil conditions, and biological diversity near urban roads are described. The monitoring system model includes several levels: object, local, territorial, and regional, which allows for effective tracking of the environmental situation. Examples of ecological monitoring methods used in Kazakhstan, such as the use of geographic information systems (GIS) and environmental process modeling, are provided. The article emphasizes the importance of developing and implementing an ecological monitoring system for pollution control and minimizing its impact on the natural environment. The consequences of pollution from transport flows, including emissions of carbon dioxide, nitrogen oxides, carbon monoxide, as well as the pollution of water bodies with heavy metals and petroleum products, are discussed. Key factors affecting the ecological condition of urban streets and roads, such as the condition of road surfaces, pollution of roadside areas, and the role of timely road cleaning from sand-salt mixtures, are examined. The creation of an effective monitoring system will help identify environmental threats



promptly and develop strategies to address them, which will improve the quality of life for urban residents and protect ecosystems.

ВВЕДЕНИЕ

Улично-дорожная сеть (УДС) является неотъемлемой частью городской инфраструктуры, которая обеспечивает жизнедеятельность города и транспортное сообщение. Однако вместе с положительными аспектами (удобство передвижения, повышение качества жизни горожан) дорожная инфраструктура оказывает значительное влияние на окружающую среду, что приводит к загрязнению атмосферного воздуха, водных ресурсов, почвы и повышению уровня шума (Бобровский, 2020). В условиях интенсивного транспортного потока и регулярного содержания городских дорог возникает необходимость разработки системы экологического мониторинга, позволяющей эффективно отслеживать состояние окружающей среды и минимизировать негативное воздействие транспортной инфраструктуры (Kim & Park, 2019). Подобная интеграция экологического контроля при эксплуатации дорог рассматривается и в зарубежных исследованиях (Müller & Schmidt, 2018).

Цель исследования. Целью настоящей работы является формирование научно обоснованных основ создания системы экологического мониторинга при содержании городских дорог и улиц на основе анализа экологических эффектов дорожной инфраструктуры.

Задачи исследования. Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

Выделить ключевые экологические эффекты функционирования городской улично-дорожной сети (загрязнение воздуха, воды, шум и др.) и проанализировать причинно-следственные связи между источниками этих загрязнений и их воздействием на окружающую среду.

Уточнить методологию и модель экологического мониторинга УДС: описать используемые инструменты, этапы мониторинга и распределение контроля по уровням (объектный, локальный, территориальный, региональный).

Систематизировать материалы по организации мониторинга в виде таблицы, отображающей уровни экологического мониторинга, контролируемые параметры и основные средства контроля.

Предложить варианты визуализации результатов мониторинга (схематичные рисунки, диаграммы) для наглядного представления экологических воздействий при отсутствии обширных эмпирических данных.

Сформулировать выводы и рекомендации по созданию эффективной системы экологического мониторинга при содержании городских дорог и улиц на основе проведенного анализа.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки воздействия городской улично-дорожной сети на окружающую среду и обоснования эффективного экологического мониторинга используются различные методы. В их число входят наблюдения за загрязнением атмосферы (замеры выбросов от транспортных средств), мониторинг качества воды и почвы, а также анализ состояния дорожных покрытий и прилегающих территорий (Смирнов & Иванова, 2021). Важным элементом является контроль содержания токсичных веществ в используемых эксплуатационных и противогололедных материалах.

Экологический мониторинг УДС является составной частью общегосударственной системы наблюдения и контроля за уровнем загрязнения атмосферы, почвы и водных

объектов (Госкомгидромет). Система экологического контроля при содержании городских дорог должна включать следующие основные направления:

- 1) контроль содержания токсичных веществ в выхлопных газах автомобилей и дорожно-коммунальной техники;
- 2) контроль выбросов в атмосферу от предприятий дорожного и коммунального хозяйства;
- 3) мониторинг состояния атмосферного воздуха на прилегающих к дорогам территориях с помощью сети стационарных и мобильных постов наблюдения;
- 4) контроль содержания опасных компонентов в составе эксплуатационных и противогололёдных материалов (Тихонов & Орлова, 2019; Wang & Zhang, 2021).

Для реализации этих задач применяются различные инструменты экологического мониторинга: стационарные автоматизированные станции контроля воздуха, передвижные экологические лаборатории, приборы для измерения шума (шумомеры), газоанализаторы выхлопных газов, системы отбора проб воды и грунта, а также информационные технологии. Мониторинг проводится поэтапно, включая планирование (определение показателей и точек контроля), непосредственный сбор данных в полевых условиях, анализ полученных данных в лабораториях и информационных центрах, и передачу обобщённой информации соответствующим органам для принятия мер.

Модель предлагаемой системы мониторинга включает несколько взаимосвязанных уровней контроля: объектный, локальный, территориальный и региональный (рис. 1).

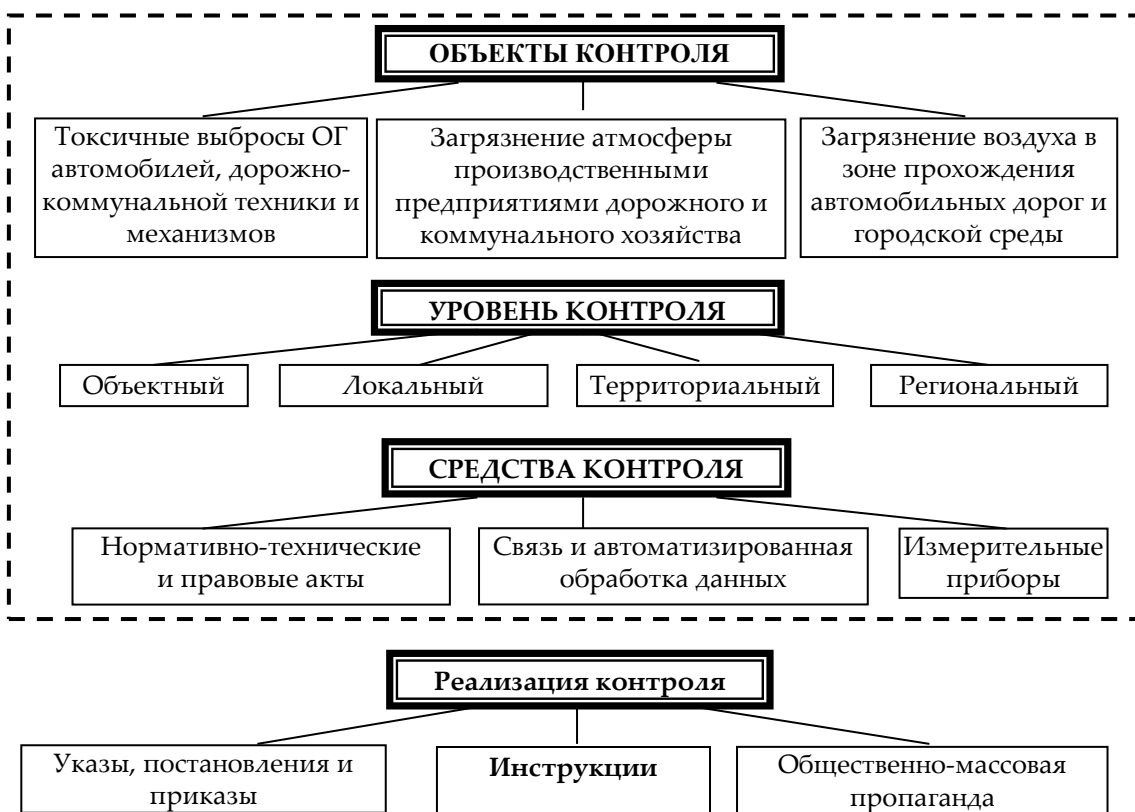


Рисунок 1. Модель осуществления экологического контроля в системе улично-дорожной сети и ее реализация

Примечание – составлено автором на основе. (Козлов & Григорьев, 2022)

Объектный уровень предполагает контроль экологических параметров на отдельных объектах – например, на предприятиях дорожного хозяйства или конкретных участках



дорог, где оборудуются пункты наблюдений и выполняются замеры непосредственно у источников выбросов. Локальный уровень представляет собой городскую систему мониторинга: сеть стационарных станций, специальных полигонов и мобильных лабораторий, охватывающую всю улично-дорожную сеть города. Территориальный уровень (например, областной) предполагает привлечение научно-исследовательских организаций и вузов для решения экологических задач данной территории; часть функций мониторинга может быть передана региональным природоохранным центрам (Liu & Chen, 2018; Johnson & Peterson, 2022). Региональный уровень формируется через создание крупных экологических центров, координирующих мониторинг в масштабах всего региона или страны и интегрирующих данные с местного уровня. На каждом уровне контролируются определённые параметры окружающей среды и используются соответствующие средства контроля (табл. 1).

Таблица 1. Уровни экологического мониторинга городской УДС, основные объекты и параметры контроля, средства мониторинга

Уровень мониторинга	Объекты и контролируемые параметры	Основные средства контроля
Объектный	Конкретный объект (предприятие, дорожный участок): состав и объемы выхлопных газов; локальное качество воздуха; шум от техники; сточные воды и загрязнение почв на территории объекта; содержание токсичных веществ в используемых материалах	Локальные нормативные акты и инструкции; внутренний экологический контроль на предприятии; переносные приборы для измерений (газоанализаторы, шумомеры, тестеры воды); лабораторный анализ проб
Локальный	Город в целом: состояние атмосферного воздуха по районам; уровни уличного шума; качество поверхностных водоёмов и почв в черте города; состояние придорожных зелёных насаждений	Городская система мониторинга: сеть стационарных постов наблюдения, передвижные экологические лаборатории; городские экологические службы и коммунальные службы; автоматизированные системы сбора данных (ГИС-мониторинг)
Территориальный	Регион (область, городская агломерация): обобщённые экологические показатели по территории; распределение загрязняющих веществ в атмосфере и гидросфере региона; фоновые уровни шума и загрязнений за пределами крупных городов	Региональные природоохранные органы; специализированные лаборатории контроля; участие научно-исследовательских институтов и вузов; межведомственные программы обмена данными; частичное делегирование функций региональным экоцентрам
Региональный	Крупный регион или страна: интегральные показатели состояния окружающей среды; долгосрочные тенденции изменения качества воздуха, воды, почв; климатические эффекты (парниковые газы)	Национальные (центральные) экологические центры мониторинга; единая государственная информационная система экологического мониторинга; спутниковое наблюдение и модели прогнозирования; государственный надзор и аналитические отчёты

Примечание – составлено автором



Цель функционирования многоуровневой системы мониторинга – обеспечение экологической безопасности при содержании дорог путем предупреждения и выявления нарушений природоохранных требований. Разработанная система предусматривает два вида контроля: информационный и предупредительный. Информационный контроль заключается в сборе и обобщении необходимых экологических сведений и своевременной передаче их предприятиям дорожно-коммунального хозяйства и природоохранным органам для принятия превентивных мер. Предупредительный контроль нацелен на предотвращение вредных последствий, которые могут возникнуть вследствие несоблюдения экологических нормативов и невыполнения необходимых мероприятий по охране окружающей среды (Павлова, 2020). Важным принципом является обеспечение широкого доступа государственных структур и общественности к собираемой экологической информации.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Загрязнение атмосферного воздуха

Автомобильный транспорт и дорожная техника являются основными источниками загрязнения воздуха в городах. При работе двигателей внутреннего сгорания в атмосферу выбрасываются углекислый газ (CO_2), оксиды азота (NO_x), угарный газ (CO) и твердые частицы, образующие городской смог и негативно влияющие на здоровье населения. Эти выбросы ухудшают качество воздуха и вносят вклад в изменение климатических условий (Костенко & Носов, 2015). В особенности в густонаселённых районах загрязняющие вещества от транспортных потоков выделяются непосредственно в зоне дыхания людей, создавая очаги повышенной концентрации загрязнений. Кроме выхлопных газов, существенным фактором является пыль от дорожного покрытия и шин. При неудовлетворительном состоянии асфальта и несвоевременном ремонте дороги уровень запылённости воздуха вдоль магистралей резко возрастает – зафиксированы превышения предельно допустимых концентраций по пыли в десятки раз (Михайлов & Дьячков, 2019). Состояние самого дорожного покрытия также влияет на экологическую обстановку: разрушенное или загрязнённое полотно усиливает пылеобразование и может приводить к увеличению удельных выбросов автомобилей вследствие неравномерного движения (Козлов & Григорьев, 2022). Таким образом, причинно-следственная связь прослеживается напрямую: интенсивное движение по городским улицам и неудовлетворительное содержание дорог приводят к загрязнению атмосферы, что требует постоянного контроля. Для мониторинга качества воздуха в крупных городах применяются автоматизированные станции, дополняемые мобильными лабораториями, позволяющими измерять концентрации CO_2 , NO_x , CO , $\text{PM}_{2.5}$ и других примесей в разных точках городской сети (Kim & Park, 2019). Полученные данные об уровне загрязнения атмосферного воздуха используются для оценки риска для здоровья населения и выработки мер по снижению выбросов.

Загрязнение водных ресурсов и почвы

Городские дороги оказывают воздействие и на гидросферу с литосферой. Атмосферные осадки и дорожный сток смывают с проезжей части накопившиеся загрязняющие вещества, которые затем попадают в почву придорожной полосы и близлежащие водоёмы. В составе стока с дорог часто обнаруживаются нефтепродукты (горюче-смазочные материалы), тяжёлые металлы (свинец, цинк, кадмий и др. из выхлопов и износа шин), остатки противогололёдных реагентов, микропластик от стирания шин и другие вредные компоненты. Эти загрязнители накапливаются в придорожном грунте и могут мигрировать в грунтовые воды, а также напрямую поступать в городские реки, озёра и ливневую канализацию (Zhang & Li, 2020). В результате ухудшается качество воды и наносится ущерб водным экосистемам: повышается минерализация воды, отмечается



токсическое воздействие на гидробионтов, происходит эвтрофикация водоёмов при избытке химических веществ. Загрязнение почв тяжёлыми металлами вблизи интенсивных транспортных магистралей приводит к деградации городских почвенных экосистем и может представлять опасность через цепи питания (накопление токсичных элементов в растительности). Кроме того, дорожная инфраструктура влияет на состояние биоты: магистрали и транспортные потоки могут выступать барьером для миграции животных и способствовать сокращению биоразнообразия в городской среде. Расширение дорожной сети зачастую сопровождается вырубкой зелёных насаждений и фрагментацией местообитаний, что негативно сказывается на флоре и фауне (Альтшулер & Мельников, 2010). Таким образом, обеспечение экологической безопасности водных и земельных ресурсов в условиях городской УДС требует мониторинга качества сточных вод, состояния придорожных почв и оценки воздействия на биоту. В рамках локального мониторинга проводятся регулярные исследования воды в ливневой системе и природных водоёмах, отбор проб почвы вдоль трасс для контроля содержания тяжёлых металлов и нефтепродуктов (Smirnov & Иванова, 2021). Полученная информация используется городскими экологическими службами для планирования очистки ливневых стоков, сооружения фильтрующих устройств (например, биопрудов, фильтрующих канав) и рекультивации загрязнённых грунтов.

Шумовое воздействие

Интенсивное движение транспортных средств в городской черте приводит к постоянному шумовому фону, превышающему комфортные для человека уровни. Дорожный шум (от двигателей, шин, тормозов, гудков) отрицательно влияет на здоровье людей: вызывает стресс, нарушение сна, снижение работоспособности и способствует развитию сердечно-сосудистых заболеваний при длительном воздействии. Вблизи магистралей уровни шума нередко превышают санитарные нормы, особенно в дневные часы пик. Кроме того, при проведении дорожных работ и ремонтов шумовая нагрузка кратковременно возрастает еще больше. Например, при погрузочно-разгрузочных и иных технологических операциях во время содержания дорог уровень шума может увеличиваться на 2–4 дБА по сравнению с обычным трафиком (Михайлов & Дьячков, 2019). Это ухудшает акустическую обстановку в прилегающих жилых районах. Для контроля и снижения шумового загрязнения применяют мониторинг с использованием шумомеров: в крупных городах устанавливаются акустические датчики, фиксирующие уровень звука в децибелах вблизи дорожных артерий. Полученные данные позволяют идентифицировать наиболее проблемные участки и время суток с пиковым шумом. На основании мониторинга разрабатываются меры шумозащиты: установка шумозащитных экранов вдоль магистралей, применение тихого асфальта, ограничение движения грузового транспорта в ночные часы и др. Таким образом, шумовое воздействие от УДС является значимой экологической проблемой, требующей постоянного мониторинга и управленческих решений для защиты здоровья городских жителей.

Влияние противогололёдных материалов

В зимний период для обеспечения безопасности дорожного движения широко используются противогололёдные материалы (ПГМ) – песчано-солевые смеси и химические реагенты для предотвращения образования гололедицы. Хотя применение ПГМ снижает аварийность, оно сопровождается негативными экологическими эффектами. На рис. 2 показано, что после обработки улиц противогололёдными материалами значительная часть песчано-солевой смеси остается на поверхности тротуаров (рис. 2, а) и прилотовой части дороги (рис. 2, б). Если эти остатки не убирать своевременно, через несколько дней песок, смешанный с реагентами, смывается дождём или тающим снегом и засоряет ливневую канализацию и водоотводные лотки. В

результате подобных некачественных технологических процессов происходит заиливание трубопроводов ливневой канализации и дренажных систем (Zhang & Li, 2020), что снижает их пропускную способность и может приводить к локальным подтоплениям. Химические реагенты (преимущественно хлорид натрия и другие соли) повышают минерализацию талых вод и вызывают засоление почв вдоль дорог. Высокая концентрация хлорид-ионов негативно влияет на городскую растительность: наблюдается усыхание деревьев и газонов у обочин дорог вследствие нарушения водного баланса в почве (Andreev & Гусев, 2021). Кроме того, соли и реагенты ускоряют коррозию металлических элементов дорожной инфраструктуры (мостов, ограждений) и днища автомобилей. Для минимизации вреда от ПГМ необходимо совершенствовать практики их применения: использовать современные реагенты с пониженной токсичностью, строго дозировать количество высыпки в зависимости от погоды, а также оперативно убирать с дорог отработанные песчано-солевые смеси. Мониторинг содержания реагентов в снегу, почве и стоках позволяет оценивать степень воздействия ПГМ на окружающую среду и эффективность уборочных мероприятий.



а)



б)

Рисунок 2. Остатки противогололедных материалов на поверхности тротуара (а) и прилотовой части городских дорог (б)

Примечание – составлено автором (Нурахова, 2024)

Таким образом, экологические последствия функционирования транспортно-дорожного комплекса в городе носят комплексный характер и затрагивают различные компоненты окружающей среды. Для их эффективного контроля и смягчения требуются системный подход и применение разнообразных методов мониторинга (Boulter & Larkin, 2013). На рисунке 3 схематически представлены основные факторы, влияющие на состояние придорожной среды городских улиц, сгруппированные по характеру воздействия: акустические (шум, вибрация), тепловые (теплоотдача от транспорта, солнечная радиация), физические (пыль, сажа, твёрдые отходы) и химические (выхлопные газы, выбросы от отопительных котельных, противогололёдные реагенты, промышленные выбросы и пр.) факторы. Данная визуализация обобщает источники загрязнений и подчеркивает необходимость учёта всех групп факторов при разработке мероприятий по охране окружающей среды в условиях городской УДС.

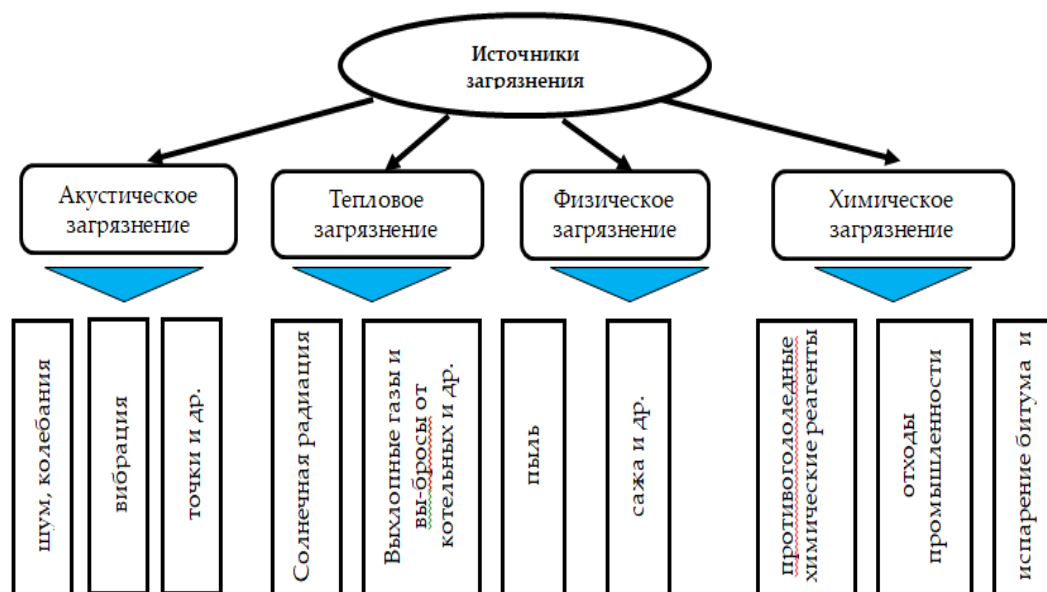


Рисунок 3. Факторы, воздействующие на загрязнения придорожной полосы автомобильных дорог и городских улиц

Примечание – составлено автором на основе (Павлова, 2020)

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый анализ подтверждает, что технологические процессы при ремонте и содержании городских дорог существенно влияют на уровень загрязнения окружающей среды. В период интенсивных дорожных работ шумовое воздействие на прилегающие территории может временно возрастать на 2–4 дБА, а запылённость воздуха при несвоевременном ремонте покрытий превышает предельно допустимые концентрации в десятки раз (Михайлов & Дьячков, 2019). Эти факты свидетельствуют о том, что недостаточное внимание к экологическим аспектам содержания дорог прямо отражается на качестве окружающей среды города, особенно в пределах плотной жилой застройки.

Создание и внедрение системы экологического мониторинга при содержании городских дорог и улиц является ключевой мерой для минимизации негативного воздействия транспортной инфраструктуры на окружающую среду. Такая система должна обеспечивать постоянный контроль выбросов в атмосферу, состояния почв и водоёмов, а также качества самих дорожных покрытий. Эффективность мониторинга достигается при тесном взаимодействии всех уровней контроля – от объектного (на месте эксплуатации техники) до регионального (общегосударственного). Это позволит своевременно выявлять экологические угрозы и принимать меры для их устранения. В конечном итоге, разработка полноценной системы мониторинга окружающей среды в дорожном хозяйстве улучшит экологическую обстановку в городе и будет способствовать повышению качества жизни его жителей.

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ: Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ФИНАНСИРОВАНИЕ: Исследование выполнено за счет средств авторов

БЛАГОДАРНОСТИ: Исследование выполнено за счет средств авторов

УВЕДОМЛЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО

ИНТЕЛЛЕКТА: В процессе подготовки данной научной статьи авторы использовали инструмент генеративного искусственного интеллекта – ChatGPT (модель GPT-4) на платформе OpenAI – для помощи в редактировании текста, формулировке научных



описаний и уточнении структуры разделов. Все предложенные ИИ материалы были проверены и одобрены авторами перед включением в финальную версию рукописи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Бобровский, В.И. (2020). Экологические аспекты содержания городских дорог и улиц. Журнал экологии города, 15(2), 45-60. // Bobrovskij, V. I. (2020). Ekologicheskie aspekty sodержaniya gorodskikh dorog i ulits [Environmental aspects of maintenance of urban roads and streets]. Zhurnal ekologii goroda, 15(2), 45-60. (In Russ.)
- Kim, J. H., & Park, D. S. (2019). Environmental monitoring of urban roads: Challenges and solutions. Urban Environmental Science, 8(3), 123-135. (In Eng.)
- Смирнов, А.А., & Иванова, О.В. (2021). Методы экологического мониторинга при эксплуатации городских транспортных объектов. Транспорт и экология, 10(4), 77-88. // Smirnov, A.A., & Ivanova, O.V. (2021). Metody ekologicheskogo monitoringa pri ekspluatatsii gorodskikh transportnykh ob'ektov [Methods of environmental monitoring in the operation of urban transport facilities]. Transport i ekologiya, 10(4), 77-88. (In Russ.)
- Müller, T., & Schmidt, L. (2018). Road maintenance and environmental monitoring in urban areas: A comprehensive approach. Transportation Research Part D: Transport and Environment, 63, 208-220. (In Eng.)
- Козлов, П.П., & Григорьев, С.А. (2022). Влияние состояния дорожного покрытия на экологическую ситуацию в городе. Городская экология, 20(1), 12-25. // Kozlov, P. P., & Grigor'ev, S. A. (2022). Vliyanie sostoyaniya dorozhnogo pokrytiya na ekologicheskuyu situatsiyu v gorode [Impact of road surface condition on the environmental situation in the city]. Gorodskaya ekologiya, 20(1), 12-25. (In Russ.)
- Zhang, L., & Li, S. (2020). Environmental impacts of urban roads: Monitoring and mitigation strategies. Environmental Pollution, 265, 114847. (In Eng.)
- Тихонов, В.В., & Орлова, Е.М. (2019). Современные подходы к экологическому мониторингу дорожных объектов. Научный вестник транспорта, 16(5), 134-145. // Tikhonov, V. V., & Orlova, E. M. (2019). Sovremennye podkhody k ekologicheskomu monitoringu dorozhnykh ob'ektov [Modern approaches to environmental monitoring of road facilities]. Nauchnyi vestnik transporta, 16(5), 134-145. (In Russ.)
- Wang, X., & Zhang, Y. (2021). Eco-friendly road maintenance: Innovative technologies for sustainable urban transport. Environmental Technology & Innovation, 21, 101298. (In Eng.)
- Павлова, Н. В. (2020). Оценка экологического воздействия транспортных объектов на городской климат. Экология городов, 13(3), 67-79. // Pavlova, N. V. (2020). Otsenka ekologicheskogo vozdeistviya transportnykh ob'ektov na gorodskoi klimat [Assessment of environmental impact of transport facilities on the urban climate]. Ekologiya gorodov, 13(3), 67-79. (In Russ.)
- Liu, Z., & Chen, J. (2018). Road network management and environmental monitoring in urban areas: A review. Sustainable Cities and Society, 42, 352-360. (In Eng.)
- Johnson, R., & Peterson, P. (2022). Integration of environmental monitoring into urban road management. Journal of Urban Planning and Development, 148(2), 04022014. (In Eng.)
- Михайлов, И. В., & Дьячков, С. П. (2019). Экологические показатели и их влияние на качество городской среды. Городское развитие и экология, 18(6), 87-97. // Mikhailov, I. V., & D'yachkov, S. P. (2019). Ekologicheskie pokazateli i ikh vliyanie na kachestvo gorodskoi sredy [Environmental indicators and their impact on the quality of the urban environment]. Gorodskoe razvitie i ekologiya, 18(6), 87-97. (In Russ.)
- Андреев, М. Ю., & Гусев, К. А. (2021). Устойчивое содержание городских дорог и улиц: Экологический подход. Транспортные технологии и экология, 22(2), 121-135//



- Andreev, M. Yu., & Gusev, K. A. (2021). Ustoichivoe sodержanie gorodskikh dorog i ulits: Ekologicheskii podkhod [Sustainable maintenance of urban roads and streets: An ecological approach]. *Transportnye tekhnologii i ekologiya*, 22(2), 121–135. (In Russ.)
- Альтшулер, А. В., & Мельников, М. П. (2010). Экология и устойчивое развитие городов. Наука. // Altshuler, A. V., & Mel'nikov, M. P. (2010). *Ekologiya i ustoichivoe razvitie gorodov* [Ecology and sustainable development of cities]. Nauka. (In Russ.)
- Костенко, В. И., & Носов, С. В. (2015). Экологический мониторинг транспортных систем. Экологическая пресса. // Kostenko, V. I., & Nosov, S. V. (2015). *Ekologicheskii monitoring transportnykh sistem* [Environmental monitoring of transport systems]. *Ekologicheskaya pressa*. (In Russ.)
- Boulter, P. G., & Larkin, A. (2013). *Transport and Environment: Assessing the Impact of Transport on the Environment*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-8306-2> (In Eng.)
- ChatGPT. (2025). Уточнение и редактирование научного текста статьи [Большая языковая модель]. OpenAI. <https://chat.openai.com> // ChatGPT. (2025). Utochnenie i redaktirovanie nauchnogo teksta stat'i [Clarification and editing of scientific text of the article]. OpenAI. <https://chat.openai.com> (In Russ./AI-generated).

Информация об авторах
Авторлар туралы мәліметтер
Information about authors



Нұрақова Ақмарал Куанышбайқызы – техникалық ғылымдар магистрі, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ., Қазақстан

Нурахова Акмарал Куанышбаевна – магистр технических наук, Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы, Казахстан

Nurakhova Akmaral – master of technical sciences, Kazakh Automobile and Road Institute named after L. B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan

e-mail: ay_ar77@mail.ru ,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-0680-6290>,



Әбді Қиялбаев – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л.Б. Гончаров атындағы Қазақ автомобиль-жол институты, Алматы қ., Қазақстан

Киялбаев Абди Киялбаевич – доктор технических наук, профессор, Казахский автомобильно-дорожный институт имени Л.Б. Гончарова, г. Алматы

Kiyalbayev Abdi – doctor of technical Sciences, Professor, Kazakh Automobile and Road Institute named after L.B. Goncharov, Almaty, Kazakhstan

e-mail: abdi-ki@mail.ru ,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3068-3856>



Қуанышбай Айдана Мұхитқызы – техникалық ғылымдар магистрі, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

Қуанышбай Айдана Мухитовна – магистр технических наук, Международная образовательная корпорация, г. Алматы, Казахстан

Kuanishbai Aidana – master of technical sciences, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

e-mail: aidana_jan.96@mail.ru ,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-5349-7896>



Сейтказинов Оразалы Дауткалиевич – қауымдастырылған профессор, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

Сейтказинов Оразалы Дауткалиевич – ассоциированный профессор, Международная образовательная корпорация, г. Алматы, Казахстан

Orazaly Seitkazinov – associate professor, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

e-mail: oseitkazinov@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-4122-9448>



Сартаев Дәулет Тұрысович – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы қ., Қазақстан

Сартаев Даулет Турысович – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Международная образовательная корпорация, г. Алматы, Казахстан

Daulet Sartayev – candidate of technical sciences associate professor, International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan

e-mail: sartayev_d@mail.ru ,

ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-0669-2655>