

Вестник Евразийской науки / The Eurasian Scientific Journal <https://esj.today>

2026, Том 18, № 4 / 2026, Vol. 18, Iss. 4 <https://esj.today/issue-4-2026.html>

URL статьи: <https://esj.today/PDF/24NZVN426.pdf>

DOI: 10.15862/24NZVN426 (<https://doi.org/10.15862/24NZVN426>)

1.6.21. Геоэкология (технические науки)

Ссылка для цитирования этой статьи:

Карманов, М. Б. Локальный и системный экологический эффект транспортных мероприятий и инструменты приоритизации / М. Б. Карманов // Вестник евразийской науки. — 2026. — Т. 18. — № 4. — URL: <https://esj.today/PDF/24NZVN426.pdf>. DOI: 10.15862/24NZVN426.

For citation:

Karmanov M.B. Local and systemic environmental impact of transport measures and prioritization tools. *The Eurasian Scientific Journal*. 2026;18(4): 24NZVN426. Available at: <https://esj.today/PDF/24NZVN426.pdf>. DOI: 10.15862/24NZVN426. (In Russ., abstract in Eng.).

УДК 504.06:656.13

Карманов Михаил Борисович

Челябинск, Россия

Индивидуальный предприниматель

E-mail: karmanovmb@gmail.com

Локальный и системный экологический эффект транспортных мероприятий и инструменты приоритизации

Аннотация. В статье представлено разграничение локального и системного экологического эффекта транспортных мероприятий в контексте оценки выбросов автотранспорта на улично-дорожной сети города. Актуальность исследования связана с тем, что распространённая практика оценки мер по суммарному снижению выбросов скрывает различие между изменениями внутри отдельной категории транспорта и итогом для городской сети в целом. Цель статьи состоит в разработке понятийного и прикладного аппарата, который позволяет отделить локальный эффект от системного и применять это различие при выборе транспортных решений. Автором введена двухуровневая схема экологической оценки, построена шкала приоритизации мероприятий и сформирован алгоритм их отбора по критериям валовых выбросов, влияния на контрольные точки, пространственного охвата и воздействия на транспорт низких экологических классов. В работе рассмотрены результаты поучасткового учёта выбросов, выполнено сопоставление пяти типов транспортных мероприятий и приведены три типовых городских примера, которые иллюстрируют практическое применение предложенной схемы. Основные выводы показывают, что высокий эффект внутри целевой категории транспорта оставляет городской итог зависимым от доли этой категории в потоке и от её положения в сети. Наибольший системный эффект связан с мерами, которые меняют структуру потоков и выводят загрязняющий транзит за пределы жилой застройки. Статья будет полезна исследователям транспорта, специалистам по городскому планированию, экологам и органам управления городской мобильностью.

Ключевые слова: локальный экологический эффект; системный экологический эффект; автотранспорт; выбросы загрязняющих веществ; приоритизация мероприятий; улично-дорожная сеть; экологический класс; городская мобильность

Введение

Оценка транспортных мероприятий часто строится вокруг суммарного снижения выбросов автотранспорта. Такой подход оставляет в тени разницу между эффектом внутри отдельной категории транспорта и итогом на уровне всей городской сети. Отдельная мера способна снизить выбросы автобусов, грузовых автомобилей или транзитного потока, однако городской результат определяется долей этих групп в общем потоке и их положением в улично-дорожной сети. Проблема приобретает практическое значение при выборе приоритетных решений в условиях ограниченного бюджета, когда орган управления городской мобильностью сопоставляет несколько конкурирующих мероприятий и нуждается в прозрачном критерии сравнения.

Исследования по транспортной устойчивости и по моделированию дорожных выбросов показывают, что итог меры связан с составом автопарка, режимом движения, плотностью сети и пространственным охватом вмешательства [1–3]. Комплексные системно-динамические модели подтверждают, что одиночные меры дают ограниченный результат, тогда как сочетания политик по развитию общественного транспорта, энергетическим технологиям и управлению спросом обеспечивают более заметное снижение выбросов [4]. Для мер ограничения доступа загрязняющих транспортных средств это имеет прямое значение для качества воздуха в напряжённых зонах города [5; 6]. Систематические обзоры зон с ограничением въезда показывают, что эффект таких зон проявляется через изменение состава автопарка и зависит от конфигурации зоны [7; 8].

Несмотря на обширный массив работ, в прикладной практике сохраняется методическая неоднозначность: оценка мероприятия по одному показателю суммарного снижения смешивает два качественно разных результата. Первый фиксирует изменение эмиссионных характеристик целевой категории транспорта. Второй отражает перестройку потоков в масштабе всей сети. Отсутствие явного разделения этих уровней приводит к завышенным ожиданиям от мер, дающих крупный выигрыш внутри узкой категории при малом вкладе в городской баланс. Исходя из этого, цель статьи состоит в разграничении локального и системного экологического эффекта транспортных мероприятий и в разработке прикладных инструментов их приоритизации. Для достижения цели поставлены задачи: ввести понятийную схему двух уровней оценки; построить шкалу приоритизации; сформировать алгоритм отбора мероприятий; проверить применимость схемы на типовых городских примерах.

1. Методы исследования

Расчётная база опирается на результаты поучасткового учёта выбросов автотранспорта на улично-дорожной сети, использованные при разработке методического подхода к оценке эффективности транспортных мероприятий [9]. В базовом сценарии задаются интенсивность движения, состав потока, средняя скорость, виды топлива и распределение транспортных средств по экологическим классам. В проектном сценарии меняются параметры, на которые воздействует конкретное мероприятие, при этом остальные условия фиксируются. Сопоставление базового и проектного сценариев на каждом участке дополняется агрегированием результатов по всей сети, что позволяет проследить переход от частного изменения к городскому итогу.

Выбор показателей опирается на обзор инструментов оценки дорожных выбросов с учётом пространственного масштаба и стратегий снижения [10; 11]. Учитываются валовые выбросы на уровне города, изменение вклада транспорта в контрольных точках наблюдения, пространственный охват эффекта и доля транспорта низких экологических классов в потоке. Чувствительность результата к режиму движения, составу потока и пространственной детализации расчётов отмечается в работах по быстрым методам расчёта эмиссии для городской сети [12] и в исследованиях уличного уровня энергопотребления и выбросов [13].

Локальный экологический эффект понимается как снижение выбросов для отдельной категории транспортных средств или для затронутого участка сети. Системный экологический эффект понимается как изменение суммарных выбросов автотранспорта после агрегирования результатов по всей совокупности участков. Такое определение задаёт два уровня анализа и формирует основу для последующей шкалы приоритизации. Разделение уровней согласуется с выводами систематических обзоров, где итог меры ставится в зависимость от уровня анализа и набора выбранных показателей [14; 15].

2. Результаты и обсуждение

Результаты расчёта по замене автобусов показывают, что локальный эффект зависит от исходного экологического класса техники, что отражено в таблице 1.

Таблица 1

Снижение выбросов загрязняющих веществ при обновлении автобусного парка

Тип замены	Снижение выбросов
Замена автобусов Евро-1 на Евро-5	75,77 %
Замена автобусов Евро-3 на Евро-5	43,86 %

Разработано автором на основе данных поучасткового учёта выбросов [9]

Эти данные отражают высокий локальный эффект. Городской итог зависит от доли автобусов в суммарном транспортном потоке. Если основную массу выбросов формируют легковые автомобили и транзитный транспорт, то даже крупное снижение выбросов внутри автобусной категории даёт малое изменение городского баланса. Сходный вывод следует из исследований состава автопарка: старые транспортные средства низких экологических классов вносят непропорционально большой вклад в загрязнение, поэтому их вытеснение даёт более устойчивый системный результат [16, 17]. Сравнительная характеристика типов мероприятий представлена в таблице 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика эффективности различных типов транспортных мероприятий

Тип транспортного мероприятия	Локальный эффект	Системный эффект	Основной механизм снижения выбросов
Обновление автобусного парка	высокий	низкий	снижение удельных выбросов
Развитие электрического транспорта	средний	низкий	замещение части транспортных потоков
Оптимизация транспортной схемы	низкий	низкий	перераспределение потоков
Ограничение транспорта низких экологических классов	высокий	средний	исключение наиболее загрязняющих транспортных средств
Строительство обходных автомобильных дорог	высокий	высокий	вывод транзитного транспорта

Разработано автором

Таблица показывает два типа воздействия. Первый связан с изменением эмиссионных характеристик целевой категории транспорта. Второй связан с перестройкой потоков в масштабе сети. В первом случае преобладает локальный результат. Во втором случае возрастает системный результат. Меры, ориентированные на структуру потоков, согласуются с международными оценками, по которым основной потенциал снижения городских выбросов связан с сокращением активности загрязняющих потоков и переключением спроса на устойчивые виды мобильности [18]. Исходя из этого, предложена шкала приоритизации транспортных мероприятий, показанная в таблице 3.

Таблица 3

Шкала приоритизации транспортных мероприятий

Критерий	Что оценивается	Низкий приоритет	Средний приоритет	Высокий приоритет
Снижение валовых выбросов	Насколько мера уменьшает суммарные выбросы автотранспорта в городе	Менее 1 %	1–10 %	Более 10 %
Влияние на контрольные точки	Насколько уменьшается вклад транспорта в загрязнение в точках наблюдения	Изменения почти не выражены	Снижение в отдельных точках	Снижение в большинстве значимых точек
Пространственный охват	Какая часть городской сети получает экологический эффект	Отдельные участки	Несколько районов или коридоров	Значительная часть сети
Воздействие на транспорт низких классов	Затрагивает ли мера наиболее загрязняющие транспортные средства	Почти не затрагивает	Частично ограничивает или замещает	Сокращает долю такого транспорта
Тип эффекта	Каков масштаб результата	Только локальный	Локальный с частичным системным	Выраженный системный

Разработано автором

Шкала даёт единый способ сравнения мер по выбросам, качеству воздуха и охвату сети. На её основе предложен алгоритм отбора приоритетных транспортных мероприятий, включающий четыре этапа.

На первом этапе собираются исходные данные и выделяются участки сети, дающие наибольший вклад в выбросы и в загрязнение воздуха в контрольных точках. На втором этапе определяется тип экологической проблемы. Если нагрузку создаёт транзитный поток, рассматриваются обходные дороги, ограничения для грузового транспорта и перераспределение движения. Если вклад связан с высокой долей транспорта низких экологических классов, рассматриваются обновление парка и ограничения на доступ таких машин в чувствительные зоны. На третьем этапе для каждого варианта сопоставляются базовый и проектный сценарии, оцениваются валовые выбросы на уровне города и изменение транспортного вклада в контрольных точках. На четвёртом этапе меры ранжируются с выделением первоочередных, среднесрочных и вспомогательных решений.

Практическое значение разграничения локального и системного эффекта видно на трёх типовых примерах. В городе А основной вклад в загрязнение связан с автобусами старых экологических классов в центральной части сети. В такой ситуации обновление автобусного парка даёт крупный локальный выигрыш и улучшение в контрольных точках, при этом системный итог определяется долей автобусного сообщения в общей массе движения. В городе Б основная нагрузка формируется потоком старых легковых автомобилей в центральных районах. В такой ситуации ограничения для транспорта низких экологических классов получают более высокий приоритет по сравнению с обновлением автобусного парка. Исследования зон ограничения доступа загрязняющих транспортных средств подтверждают зависимость результата от конфигурации зоны и состава автопарка [10; 19; 20]. В городе В две перегруженные магистрали пропускают поток транзитных грузовых автомобилей. В такой ситуации строительство обходной дороги и вывод транзитного потока за пределы жилой застройки получают наивысший приоритет.

Различие между локальным и системным эффектом согласуется с данными научной литературы. Итог меры зависит от уровня анализа и от выбранных показателей [14]. Для дорожных выбросов высока чувствительность результата к режиму движения, составу потока

и пространственной детализации расчётов [12; 13]. Сетевые методы оптимизации движения подтверждают, что перестройка маршрутов и управление потоками снижают суммарную эмиссию сильнее, чем точечные меры внутри одной категории [21; 22]. Тем самым предложенная двухуровневая схема находит опору в независимых исследованиях и переводит сравнение мероприятий в плоскость городского баланса.

Заключение

Разграничение локального и системного экологического эффекта позволяет точнее определить реальный масштаб результата транспортных мероприятий и снять методическую неоднозначность, которая возникает при оценке мер лишь по суммарному снижению выбросов. Локальный эффект фиксирует изменение выбросов в пределах отдельной категории транспорта или затронутого участка сети. Системный эффект раскрывает изменение суммарных выбросов после агрегирования результатов по всей улично-дорожной сети. Такое различие выводит оценку из плоскости частного улучшения на уровень городского баланса, где итог определяется долей целевой группы в потоке, структурой автопарка, режимом движения и пространственным охватом вмешательства.

Проведённые сопоставления показывают, что высокий локальный результат оставляет городской итог зависимым от веса целевой категории в потоке. Обновление автобусного парка даёт крупное снижение выбросов внутри автобусной категории, причём масштаб выигрыша зависит от исходного экологического класса техники, что подтверждается данными по замене автобусов Евро-1 и Евро-3 на Евро-5. Системный эффект таких мер определяется долей автобусного сообщения в общей массе движения. Сходная логика выявляется при сравнении разных типов мероприятий: воздействия, ориентированные на эмиссионные характеристики целевой категории транспорта, тяготеют к локальному результату, тогда как воздействия, меняющие конфигурацию потоков в масштабе сети, формируют более высокий системный эффект. По этой причине ограничения для транспорта низких экологических классов и строительство обходных автомобильных дорог занимают особое место в системе экологической приоритизации, поскольку связывают снижение выбросов с перераспределением или исключением наиболее загрязняющих потоков.

Предложенная шкала приоритизации и алгоритм отбора мероприятий формируют прикладную рамку для выбора решений по критериям валовых выбросов, влияния на контрольные точки, пространственного охвата, воздействия на транспорт низких экологических классов и типа экологического эффекта. Такая схема делает возможным переход от универсальных рецептов к выбору меры под конкретную структуру городской проблемы. Если загрязнение связано с автобусами старых экологических классов в центральной части сети, приоритет получает обновление парка. Если нагрузку создают старые легковые автомобили в центральных районах, больший вес приобретают ограничения доступа для транспорта низких экологических классов. Если ключевым источником выступает транзитный грузовой поток на перегруженных магистралях, на первый план выходит строительство обходных дорог. Тем самым исследование показывает, что экологическую эффективность транспортной политики следует оценивать через сопряжение категории транспорта, конфигурации сети и масштаба итогового эффекта.

ЛИТЕРАТУРА

1. Yu, C. A systematic review of urban road traffic CO2 emission models / C. Yu, X. Yang, J. Mu, S. Liu. — Текст: электронный // Carbon Footprints. — 2025. — Vol. 4, No. 3. — Art. 17. — DOI 10.20517/cf.2025.12.

2. Hu, S. Evaluating the impact of zone 30 policies on citywide road traffic emissions and efficiency: a big data-driven approach / S. Hu, G. Orsi, P. Santi, A. Wang, U. Fugiglando, C. Ratti. — Текст: электронный // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. — 2025. — Vol. 202. — Art. 104705. — DOI 10.1016/j.tra.2025.104705.
3. Xie, D. Nonlinear impact analysis of urban road traffic carbon emissions based on the integration of gasoline and electric vehicles / D. Xie, X. Shi, K. Li, J. Li, G. Li. — Текст: электронный // *Buildings*. — 2025. — Vol. 15, No. 3. — Art. 488. — DOI 10.3390/buildings15030488.
4. Liu, R. Study on urban passenger transport carbon reduction pathways based on system dynamics / R. Liu, N. Liu. — Текст: электронный // *Scientific Reports*. — 2025. — Vol. 15. — Art. 37471. — DOI 10.1038/s41598-025-21386-8.
5. Piccoli, A. Modelling the air quality impacts of a zero emission zone scenario in the city of Milan / A. Piccoli, V. Agresti, M. Bedogni, G. Lonati, G. Pirovano. — Текст: электронный // *Atmospheric Environment: X*. — 2025. — Vol. 25. — Art. 100318. — DOI 10.1016/j.aea.2025.100318.
6. Doval-Miñarro, M. Assessing the impact of a low-emission zone on air quality using machine learning algorithms in a business-as-usual scenario / M. Doval-Miñarro, M.C. Bueso, P.A. Guillén-Alcaraz. — Текст: электронный // *Sustainability*. — 2025. — Vol. 17, No. 8. — Art. 3582. — DOI 10.3390/su17083582.
7. Broster, S. A systematic review of the pollution and health impacts of low emission zones / S. Broster, K. Terzano. — Текст: электронный // *Case Studies on Transport Policy*. — 2025. — Vol. 19. — Art. 101340. — DOI 10.1016/j.cstp.2024.101340.
8. Nishitaten, S. Effects of low emission zones on air quality, new vehicle registrations, and birthweights: evidence from Japan / S. Nishitaten, P.J. Burke. — Текст: электронный // *Environmental and Resource Economics*. — 2024. — Vol. 87. — P. 1955–1992. — DOI 10.1007/s10640-024-00875-w.
9. Романов, Е. Ю. Методические подходы к анализу городской транспортной системы: систематизация и классификация / Е. Ю. Романов. — Текст: электронный // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. — 2026. — № 1. — URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/metodicheskie-podhody-k-analizu-gorodskoy-transportnoy-sistemy-sistematizatsiya-i-klassifikatsiya> (дата обращения: 07.06.2026).
10. Borowska-Stefańska, M. Evaluating low-emission-zone impacts on the urban road transport system in a large city / M. Borowska-Stefańska, M.A. Dulebenets, A. Sahebgharani, S. Wiśniewski, M. Kozieł. — Текст: электронный // *Transportation Research Part D: Transport and Environment*. — 2024. — Vol. 137. — Art. 104503. — DOI 10.1016/j.trd.2024.104503.
11. Jang, S. Tools for estimating traffic emissions considering spatial scales and mitigation strategies: a systematic review / S. Jang, J. Park, G. Yu, J. Hwang. — Текст: электронный // *International Journal of Sustainable Transportation*. — 2025. — Vol. 19, No. 5. — P. 431–445. — DOI 10.1080/15568318.2025.2502558.
12. Brzozowski, K. A method for rapid computation of transport-related emission for an urban network / K. Brzozowski, A. Rygula. — Текст: электронный // *Sustainability*. — 2025. — Vol. 17, No. 24. — Art. 11087. — DOI 10.3390/su172411087.
13. Campino, M. Modeling street-level energy and emissions: the role of vehicle traffic / M. Campino, L. Sousa, P. Baptista, G.O. Duarte. — Текст: электронный // *World Electric Vehicle Journal*. — 2026. — Vol. 17, No. 2. — Art. 84. — DOI 10.3390/wevj17020084.

14. Zhong, H. Models for predicting vehicle emissions: a comprehensive review / H. Zhong, K. Chen, C. Liu, M. Zhu, R. Ke. — Текст: электронный // Science of the Total Environment. — 2024. — Vol. 923. — Art. 171324. — DOI 10.1016/j.scitotenv.2024.171324.
15. Mądział, M. Future cities carbon emission models: hybrid vehicle emission modelling for low-emission zones / M. Mądział. — Текст: электронный // Energies. — 2023. — Vol. 16, No. 19. — Art. 6928. — DOI 10.3390/en16196928.
16. Ellison, R.B. Five years of London's low emission zone: effects on vehicle fleet composition and air quality / R.B. Ellison, S.P. Greaves, D.A. Hensher. — Текст: электронный // Transportation Research Part D: Transport and Environment. — 2013. — Vol. 23. — P. 25–33. — DOI 10.1016/j.trd.2013.03.010.
17. Ferreira, F. Air quality improvements following implementation of Lisbon's low emission zone / F. Ferreira, F. Gomes, H. Tente, A.C. Carvalho, P. Pereira, J. Monjardino. — Текст: электронный // Atmospheric Environment. — 2015. — Vol. 122. — P. 373–381. — DOI 10.1016/j.atmosenv.2015.09.064.
18. Berrill, P. Comparing urban form influences on travel distance, car ownership, and mode choice / P. Berrill, F. Nachtigall, A. Javaid, N. Milojevic-Dupont, F. Wagner, F. Creutzig. — Текст: электронный // Transportation Research Part D: Transport and Environment. — 2024. — Vol. 128. — Art. 104087. — DOI 10.1016/j.trd.2024.104087.
19. Ceccato, R. Low emission zone and mobility behavior: ex-ante evaluation of vehicle pollutant emissions / R. Ceccato, R. Rossi, M. Gastaldi. — Текст: электронный // Transportation Research Part A: Policy and Practice. — 2024. — Vol. 185. — Art. 104101. — DOI 10.1016/j.tra.2024.104101.
20. Delgado-Lindeman, M. Characteristics and effects of low emission zones in Europe: a systematic literature review / M. Delgado-Lindeman, R. Cordera, J.L. Moura, A. Rodriguez. — Текст: электронный // European Transport Research Review. — 2025. — Vol. 17. — Art. 54. — DOI 10.1186/s12544-025-00749-2.
21. Huang, K. A novel method for reducing vehicle emissions utilizing IoT-based IS-APCPSO algorithm / K. Huang, J. Zhu. — Текст: электронный // Applied Artificial Intelligence. — 2024. — Vol. 38, No. 1. — Art. 2344144. — DOI 10.1080/08839514.2024.2344144.
22. Mądział, M. Predictive methods for CO2 emissions and energy use in vehicles at intersections / M. Mądział. — Текст: электронный // Scientific Reports. — 2025. — Vol. 15. — Art. 6463. — DOI 10.1038/s41598-025-91300-9.

Karmanov Mikhail Borisovich

Chelyabinsk, Russia
E-mail: karmanovmb@gmail.com

Local and systemic environmental impact of transport measures and prioritization tools

Abstract. The article examines the distinction between the local and system-wide environmental effects of transport measures when assessing motor-vehicle emissions on an urban road network. The relevance of the study is determined by the fact that common assessment practices based on aggregate emission reductions often hide the difference between improvements within a specific transport category and the actual outcome for the citywide network. The purpose of the article is to develop a conceptual and applied framework that separates these two effects and supports the selection of more effective transport solutions. The author proposes a two-level environmental assessment scheme, develops a prioritization scale for measures, and formulates a selection algorithm based on gross emissions, effects at control points, spatial coverage, and the influence on vehicles with low emission standards. The study uses segment-level emission accounting, compares five types of transport measures, and presents three typical urban examples demonstrating the practical use of the proposed approach. The main conclusions show that a strong effect within a target transport category does not automatically ensure a significant citywide result, since the final outcome depends on that category's share in traffic flow and its position in the road network. The greatest system-wide effect is achieved by measures that change traffic-flow structure and remove highly polluting transit traffic from residential areas.

Keywords: local environmental effect; systemic environmental effect; motor transport; pollutant emissions; prioritization of measures; road network; environmental class; urban mobility