

УДК: 504.064.2

DOI:10.35595/2414-9179-2021-1-27-195-204

В.Р. Битюкова¹, Н.А. Мозгунов²

ОЦЕНКА ИНТЕНСИВНОСТИ ТРАНСПОРТНЫХ ПОТОКОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕОИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМ

АННОТАЦИЯ

В статье рассматриваются методы оценки интенсивности транспортных потоков при помощи геоинформационных технологий. Интенсивность транспортных потоков является одним из ключевых показателей, определяющих экологическую нагрузку от автотранспорта в городах. В России рост объёма и доли автотранспорта в загрязнении окружающей среды усиливается под влиянием увеличения количества автомобилей. Наиболее ярко это проявляется в регионах Центрального федерального округа. В региональных центрах под влиянием улучшения структуры автопарка рост загрязнения происходит значительно медленнее, а в Москве практически стабилизировался. На локальном уровне определяющим фактором автотранспортного загрязнения является изменение плотности застройки и транспортно-планировочная структура.

Сбор и расчёт показателей, позволяющих дать представление о пространственной дифференциации выбросов от автомобильного транспорта, является очень трудоёмким этапом исследования.

Наиболее распространённым методом получения информации о транспортно-экологической ситуации в городе является непосредственно полевой сбор данных. Однако такой метод является довольно затратным по времени. В условиях, когда транспортная инфраструктура развивается стремительно, скорость проведения полевых наблюдений не позволяет оперативно обновлять информацию об изменении загруженности улично-дорожной сети и как следствие оценивать текущее экологическое состояние территории. В качестве альтернативы традиционному сбору информации могут выступать современные источники геоинформационных данных. Сервисы, изначально разработанные для предоставления оперативного мониторинга за дорожной ситуацией и построения оптимальных маршрутов, могут служить источником данных и для моделей оценки интенсивности транспортной нагрузки в экологических исследованиях.

Предлагаемая методика опробована на уровне районов и административных округов Москвы. Полученные результаты сравниваются с контрольными натурными наблюдениями. Относительно невысокая погрешность измерений при использовании данных из информационных систем компенсируется возможностью более оперативного получения информации о транспортной нагрузке на участки улично-дорожной сети.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: интенсивность движения, транспортная нагрузка, геоинформационные системы, экология города, транспортное моделирование

¹ Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail*: bituykova@yandex.ru

² Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Географический факультет, Ленинские горы, д. 1, 119991, Москва, Россия; *e-mail*: mozgunoff@list.ru

Victoria R. Bitykova¹, Nikita A. Mozgunov²

ESTIMATION OF TRANSPORT FLOW INTENSITY USING GEOINFORMATION SYSTEMS

ABSTRACT

The main discussion is about methods for assessing the intensity of traffic flows using geoinformation technologies. The intensity of traffic flows is one of the key indicators that determine the emission from transport in urban areas. In Russia, the growth in the volume and share of motor transport in pollution is increasing under the influence of an increase in the number of cars. This is most obvious examples of it are regions of the Central Federal District, but in the regional centers, under the influence of the improvement in the structure of the vehicle park, the growth of pollution is much slower, and in Moscow it has practically stabilized. At the local level, the determining factor of road traffic pollution is the change in the building density and the transport-planning structure.

The collection and calculation of indicators that give an idea of the spatial differentiation of emissions from road transport is a very time-consuming stage of the study.

The most common method of obtaining information on the transport and environmental situation in the city is directly field data collection. However, this method is quite time consuming for research. In conditions when the transport infrastructure is developing rapidly, the speed of field observations does not allow promptly updating information on changes in the traffic load of the road network and, as a result, assessing the current ecological situation in the territory. As an alternative to the traditional collection of information, modern sources of geoinformation data can be used. The services, originally developed to provide operational monitoring of the traffic situation and the construction of optimal routes, can also serve as a source of data for models for assessing the intensity of traffic load in environmental studies.

The proposed technique has been tested at the level of districts and administrative districts of Moscow. The results obtained are compared with control field observations. The relatively low measurement error when using data from information systems is compensated by the possibility of more efficiently obtaining information about the traffic load on the sections of the road network.

KEYWORDS: traffic intensity, traffic load, geographic information systems, city ecology, traffic modeling

¹ Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia;
e-mail: bituykova@yandex.ru

² Lomonosov Moscow State University, Faculty of Geography, Leninskie Gory, 1, 119991, Moscow, Russia;
e-mail: mozgunoff@list.ru

ВВЕДЕНИЕ

Транспорт является ресурсоёмкой отраслью хозяйства и потребляет значительное количество ресурсов, необходимых как для его производства, так и для реализации его эксплуатационных свойств. К началу XX на автотранспорт приходилось до 40 % мирового потребления нефти. Главным источником приземного озона, фотохимического смога, углекислого газа и оксидов азота являются именно выбросы автотранспорта. По разным оценкам на выбросы автомобилей приходится до 70 % мировых выбросов загрязняющих веществ [Азаров и др., 2015].

По мере повышения социально-экономических показателей территории, роста численности населения и их потребностей, автомобилизация принимает всё более серьёзный характер. С другой стороны, экономический прогресс индустриальных государств влечёт за собой и улучшение благосостояния граждан, что косвенно способствует обновлению автопарка. Однако, обновление возрастной структуры автопарка не решает экологические вопросы, связанные с транспортом.

В настоящее время мнения экспертов сходятся на том, что бороться надо не с самим процессом автомобилизации населения, а с отсталыми формами транспортно-несостоятельной планировки. Они говорят о необходимости модернизировать планировочные и управленческие аспекты дорожной сети населённых пунктов. С этими процессами всё обстоит гораздо сложнее [Ховавко, 2012].

Во-первых, применение адекватных планировочно-архитектурных решений зачастую идёт в ущерб историко-культурной застройке и визуально-эстетическому образу города. Во-вторых, управленческие аспекты транспорта в городах включают в себя развитие и популяризацию общественного транспорта как способа снижения нагрузки на дорожную сеть и инфраструктуру [Немчинов и др., 2009].

Внедрение способов стимуляции населения отказаться от личного транспорта в пользу общественного реализуется путём заложения трендов в сознание людей. Это является сложнейшим процессом не только для решения проблемы автомобилизации, но и во всех вопросах экологии. Так, передвижной транспортный источник загрязнения отличается, главным образом, от стационарного организованного, где для снижения эмиссий достаточно изменить производственный процесс и системы очистки за счёт финансовых затрат [Ревич и др., 2018].

Оценка эффективности функционирования транспортной системы города является довольно нетривиальной задачей, а особенно это сложно сделать для такого крупного города как Москва. Но тем не менее, вполне возможно, используя доступные открытые базы данных, открытые источники картографической, экологической и социально-экономической информации, оценить экологическое воздействие автотранспорта для городских территорий.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Плотность улично-дорожной сети (УДС) является важнейшим фактором изменения экологической обстановки. Влияние плотности УДС – один из самых противоречивых факторов: с одной стороны, строительство дорог создаёт новые ареалы загрязнения, а с другой – объём выбросов от автотранспорта снижается при движении автомобилей без заторов, в которых пробеговый выброс возрастает на 30 %, а по мере развития дорожной сети соответственно уменьшается [Битюкова и др., 2011].

Для исследования транспортной загруженности УДС можно прибегнуть как минимум к двум методам. Первый является традиционным и до сих пор применяется – это натурные наблюдения и фиксация интенсивности транспортных потоков. Однако этот метод имеет ряд ограничений, в первую очередь, связанных с большой трудоёмкостью и сложностью воспроизведения результатов наблюдения [Huang et al., 2019].

Вторая методика, позволяющая рассчитать интенсивность участков дорог, не прибегая к натурным обследованиям, заключается в использовании доступной информации о нагрузке на УДС на основе обработки и сопоставления данных из различных источников [Parsaev et al., 2018]. Моделируемые значения транспортной интенсивности могут быть сопоставлены с фактическими для верификации модели. Таким образом, на основе собранных данных, мы можем прогнозировать временные ряды информации о дорожной ситуации на основе регрессионных моделей.

Согласно предлагаемой модели, интенсивность транспортного потока определяется по формуле:

$$G_K = \frac{v_{cp} \cdot t \cdot P}{2 \cdot l_{cp} + D} \cdot k_s \cdot n, \text{ ед/ч}, \quad (1)$$

где: v_{cp} – среднесуточная скорость движения транспортного потока, м/с;

t – продолжительность действия разрешающего движение сигнала светофора, сек.;

P – количество циклов действия разрешающего движение сигнала светофора за 60-минутный период времени, шт.;

n – количество полос для движения на заданном участке;

k_s – поправочный коэффициент, учитывающий расстояние данного участка дороги до центра города.

Для определения значений коэффициента k_s требуется произвести поиск центра населённого пункта. В общем виде предлагается производить поиск центра по 2 составляющим:

- наличие и концентрация зданий административного и общественно-делового значения;
- стоимость квартир на вторичном рынке за м². Источником таких данных может выступать информация, размещённая на интернет-площадках объявлений о продаже жилья.

$2 \cdot l_{cp} + D$ – динамический габарит – участок дороги в метрах, минимально необходимый для безопасного движения в транспортном потоке с заданной скоростью автомобиля (динамический габарит), длина которого включает удвоенную среднюю длину автотранспортного средства и «эффективную дистанцию» – рекомендуемую минимальную дистанцию между движущимися автомобилями в метрах, определяется как $\frac{1}{2}$ от модуля скорости движения в км/ч. То есть, если скорость движения равна 50 км/ч, эффективная дистанция составит 25 м.

Вполне ожидаемо, что в реальности при высокой транспортной загруженности дорог в час пик эта дистанция не соблюдается, а при низкой – количества движущихся машин по улице недостаточно, чтобы она использовалась. Поэтому предполагается, что данное условие максимально подходит именно к периоду, характеризующемуся интенсивностью транспортного потока близкой к среднесуточной [Leduc, 2010].

Часть переменных модели определяется исходя из стандартов эксплуатации и экспертных методов оценки. Но большая часть может быть получена из открытых источников информации. Количество полос на отдельных участках УДС можно получить из различных краудсорсинговых проектов. Наиболее известный и характеризующийся хорошим наполнением и актуальностью информации по крупным городам, в том числе Москве, является OpenStreetMap (OSM).

Одна из самых сложных характеристик – среднесуточная скорость движения транспортного потока в м/с. В практике получения этого параметра изначально использовался сервис Яндекс.Пробки, который имел шкалу соответствия баллов средней скорости движения потока. Некоторое время назад сервис изменил шкалу и теперь баллам пробок соответствует качественная характеристика дорожной ситуации от «0 – движение свободное» до «10 – город "стоит"». Такой подход не является уникальной системой измерения нагрузки, многие другие картографические сервисы также перешли на относительную шкалу.

В качестве замены этого источника информации можно использовать данные о времени в пути из пункта А в пункт Б по дорожному графу. Зная время, которое будет затрачено на дорогу и расстояние по графу, которое будет пройдено, можно рассчитать среднюю скорость. Но так как пункты А и Б могут находиться на достаточном удалении друг от друга и включать в себя участки с разной загруженностью, то можно прибегнуть к симплификации и разделить длинный граф на несколько меньших, которые позволят дифференцировать различные участки по средней скорости движения. API многих картографических сервисов позволяют получать такого рода информацию и на выходе сформировать матрицу расстояний и средней скорости движения для отдельных ребер графа.

Как пример качественных данных с незначительным ограничением по функционалу в рамках бесплатного доступа можно привести сервис Here.Distance. Данный сервис позволяет строить матрицы расстояний, выраженные как в дистанциях между точками в километрах, так и во временных затратах. Используя запрос к данному сервису посредством API, на выходе получаем базу данных (рис. 1), которую можно использовать для расчётов средней скорости на участке между двумя точками.

id_from	lat_from	long_from	id_to	lat_to	long_to	time
1	55.559878	37,4689	1	55.559878	37,4689	0:00
1	55.559878	37,4689	2	55.710214	37,8798	1:29
1	55.559878	37,4689	3	55.860645	37,4365	1:26
1	55.559878	37,4689	4	55.845816	37,362	1:23
1	55.559878	37,4689	5	55.649493	37,391	0:27
1	55.559878	37,4689	6	55.898644	37,5851	1:33
1	55.559878	37,4689	7	55.618988	37,5083	0:15
1	55.559878	37,4689	8	55.979864	37,1731	1:53
1	55.559878	37,4689	9	55.599117	37,1703	0:34
1	55.559878	37,4689	10	55.479399	36,9157	0:42
1	55.559878	37,4689	11	55.569298	37,4587	0:08
1	55.559878	37,4689	12	55.751143	37,6102	0:57
1	55.559878	37,4689	13	55.779401	37,6659	1:15
1	55.559878	37,4689	14	55.708907	37,6247	0:50
1	55.559878	37,4689	15	55.739629	37,534	0:42
1	55.559878	37,4689	16	55.776805	37,5832	1:06

Рис. 1. Фрагмент БД для построения матрицы расстояний
 Fig. 1. Database sample for distance matrix

Для мониторинга изменения экологической ситуации в ГИС можно включать базу данных графов автомобильных дорог со срезами за разные периоды. Это позволит оценить не только текущую ситуацию, но и проанализировать влияние изменения УДС на интенсивность транспортных потоков и, как следствие, оценить и дифференцировать плотность загрязняющих выбросов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Отличительная особенность последнего десятилетия – интенсивная реконструкция городских транспортных магистралей, что существенно улучшает экологическую ситуацию в ряде районов. Реконструкция МКАД привела к снижению объёма выбросов на 76,6 тыс.т/год, что адекватно снижению удельного расхода топлива от каждой машины на 0,4 л/100 км пробега, т.е. переходу в другой класс автомобилей. Самой масштабной за последнее время попыткой развития транспортной системы Москвы является строительство Третьего Транспортного кольца (ТТК). Строительство ТТК привело к снижению загрязняющих выбросов на 14,5 % к 2000 г. и изменению территориальной структуры загрязнения. Строительство нового кольца позволило на некоторое время разгрузить транспортные магистрали центральной части города, сократив площади ареалов с максимальным загрязнением на 1 % и на 18 % – с высоким загрязнением [*Blinkin et al.*, 2016].

Однако снижение интенсивности движения и уменьшение транспортных пробок в центре города и, как следствие, уменьшение объёмов загрязняющих выбросов от автотранспорта вследствие строительства ТТК, было лишь временным эффектом, т.к. оно быстро перестало справляться с главной своей функцией. Более того, появление новой транспортной магистрали в некоторой степени стало стимулом к более интенсивному использованию автотранспорта жителями столицы, что, в свою очередь, привело к дальнейшему увеличению негативного воздействия автомобилей на окружающую среду города [*Немчинов и др.*, 2009].

Современное транспортное строительство лишь консервирует упомянутую выше радиально-кольцевую структуру. Неадекватность этой схемы понималась экспертами еще в 1970-х гг., которые предлагали создание «хордового треугольника» (мощные скоростные хордовые магистрали, проложенные по периферии города, создающие «вакуум-эффект» для центра города), закрепленного в Генеральном плане Москвы 1972 г. [*Якишин*, 1979]. Но одновременно увеличение плотности УДС происходит именно в тех районах, где плотность была несколько ниже среднего уровня по городу. Результатом планирования и развития дорог в проблемных зонах центра, юго-западной зоне среднего пояса (между Садовым и Третьим транспортным кольцом), а также в северной части районов, прилегающих к МКАД, стало и снижение объёмов выбросов именно в этих районах. Таким образом, усиление равномерности УДС по территории города также стало фактором снижения объёмов выбросов и усиления равномерности их распространения по территории города.

В качестве модельной территории для применения вышеописанной методики оценки интенсивности транспортного потока была рассмотрена УДС в Юго-Восточном административном округе (ЮВАО).

По мере реализации проектов реконструкции дорожной сети в (ЮВАО) происходят сдвиги в интенсивности и скорости движения транспортных средств, что, согласно планам правительства Москвы, должно привести к сокращению количества ареалов с максимальным загрязнением. Данные отчётов о состоянии городской среды, которые готовятся аналитическими службами мэрии, свидетельствуют о максимальной концентрации жалоб населения на состояние атмосферного воздуха именно в ЮВАО. При этом количество действующих предприятий на территории округа ежегодно сокращается, и эмиссия от стационарных источников идёт на убыль. Наличие в округе специфических предприятий, таких, как нефтеперерабатывающий завод, тоже вносит вклад в восприятие населением экологической ситуации. С точки зрения восприятия населением акустической обстановки, более, чем треть обращений населения, – это жалобы на шум автотранспорта.

Основные магистрали территории округа – это Волгоградский, Рязанский проспекты и Люсиновская улица, которые соединяют окраинные районы округа с центральной частью Москвы, являясь практически безальтернативной связью ТТК и МКАД в ЮВАО. В 2016 г. завершилась реконструкция Волгоградского проспекта, которая включала строительство

тоннеля на Люблинской улице для разгрузки этой транспортной развязки. В ходе этих работ был расширен до четырёх полос Остаповский проезд, построена эстакада на пересечении с Волжским бульваром, введены в эксплуатацию несколько наземных и подземных пешеходных переходов.

Основные работы по реконструкции Рязанского проспекта завершились в 2015 г., но разворот в районе станции МЦК Нижегородская улица завершён относительно недавно. В ходе строительства расширена проезжая часть, частично построена велоинфраструктура, выделены полосы для движения общественного транспорта. Основные ограничения движения в целом в районе в последние годы были связаны с активным строительством станций Некрасовской линии метрополитена.

Показатель количества полос движения (рис. 2) комплексно влияет на интенсивность транспорта для определённых участков. Недостаточное количество полос приводит к снижению средней скорости движения автомобилей. По существующей оценке, пропускная способность транспортной инфраструктуры ЮВАО в пиковые часы использования недостаточна, что является причиной частого возникновения дорожных заторов.

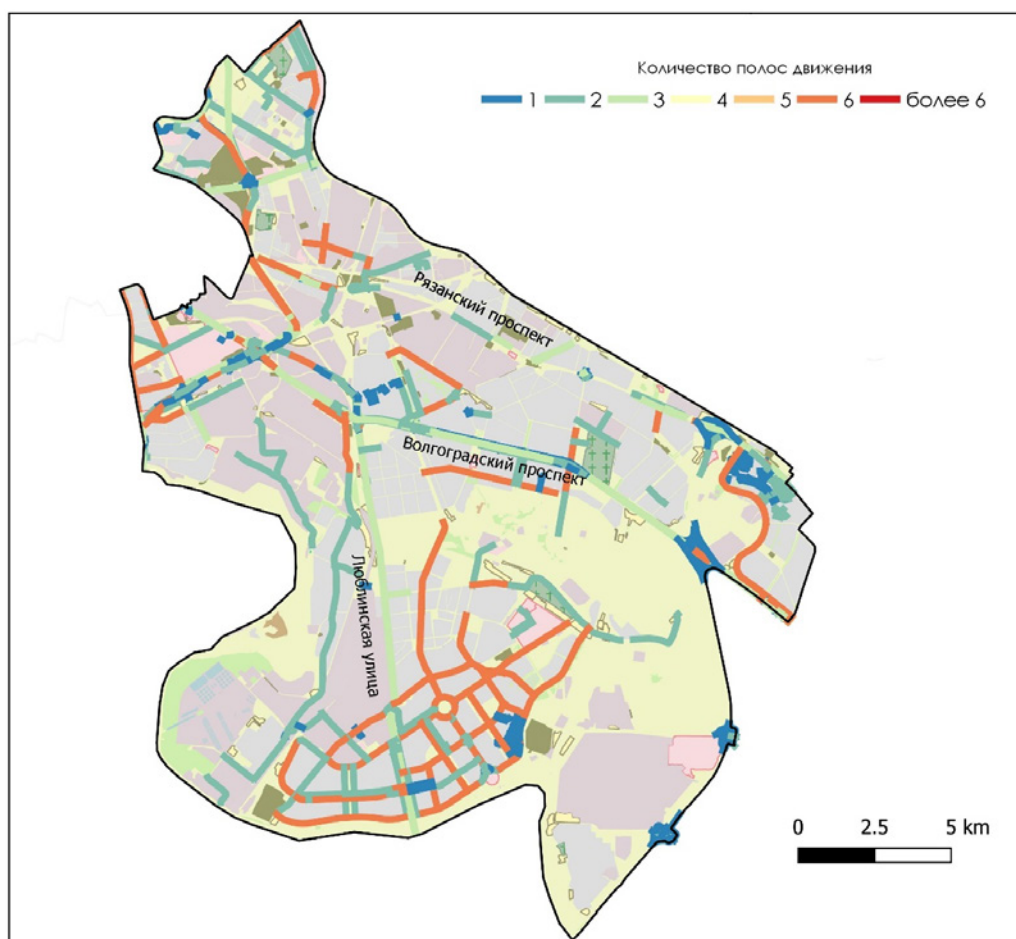


Рис. 2. Количество полос движения на дорогах ЮВАО Москвы (без Некрасовки)
Fig. 2. Lanes in the roads of Moscow South-Eastern okrug (w.o. Necrasovka)

Исходя из сравнений результатов методики использования данных картографических сервисов с результатами полевых наблюдений в городе, был выявлен её недостаток, заключающийся в некоторой зависимости точности расчётов от средней скорости движения транспортных средств. Особенно это проявляется при высоких скоростных показателях на объездных, окраинных магистралях с редким светофорным регулированием, а также слабо загруженных

двухполосных дорогах. Однако в целом, суммарное количество ТС, проходящих через все фиксированные сечения улиц, рассчитанное по этой методике, превышает аналогичный показатель лишь на 7,3 % (рис. 3).

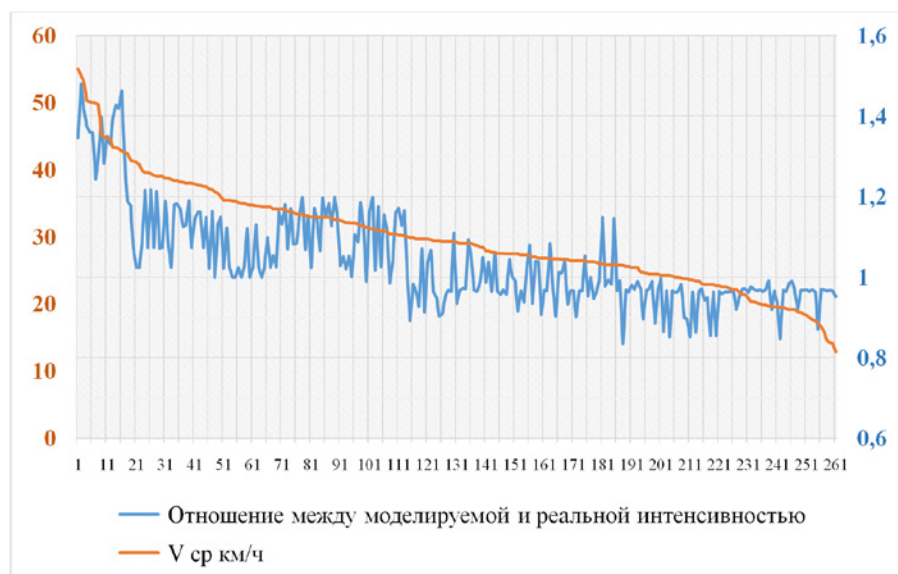


Рис. 3. Сравнение модельных данных с натурными наблюдениями
 Fig. 3. Compare of projected and field calculated values

Проведённая оценка интенсивности транспортного потока позволила рассчитать среднесуточную экологическую нагрузку в данном районе [Bitykova, Mozgunov, 2019]. Основная среднесуточная нагрузка приходится на вылетные магистрали округа и на территории, прилегающие к МКАД. Несмотря на наличие закономерного сокращения выбросов от МКАД к ТТК, объёмы выбросов различаются не слишком сильно. Расширение магистралей ближе к центральной части Москвы на участке до ТТК приводит к увеличению средней скорости движения автотранспорта и снижению продолжительности заторов. Но, тем не менее, преобразования транспортной инфраструктуры района не привели к полному решению проблемы пропускной способности дорог ЮВАО. Рязанский и Волгоградский проспекты до сих пор остаются одними из самых загруженных магистралей города в часы пик, и на дорогу от МКАД до ТТК в округе может уходить до 45–50 минут.

ВЫВОДЫ

За последние 10–15 лет, в результате многократного повышения уровня насыщения Москвы легковым и грузовым транспортом, возникла проблема с пропуском концентрированных автомобильных потоков, к освоению которых уличная сеть оказалась не подготовленной. Несостоятельность планировочной структуры приводит к образованию заторов, повышенной аварийности и уменьшению пропускной способности автомагистралей. Все эти параметры сказываются на скорости сообщения между пунктами внутри города. Чем меньше пропускная способность, тем выше удельные показатели выбросов автомобилей в атмосферу.

Нагрузка от автотранспорта на экосистемы города является комплексной и выражается в физическом и в химическом воздействии, при этом затрагивая все компоненты природной среды в пределах городских ландшафтов. Ключевым параметром при оценке воздействия автотранспорта на окружающую среду является параметр интенсивности транспортного потока. И именно этот параметр является одним из самых трудоёмких при расчётах с использованием традиционного метода полевого наблюдения.

Департамент информационных технологий города Москвы декларировал открытость и доступность данных, которые агрегирует Центр организации дорожного движения. Однако качество и доступность этой информации остаётся крайне низкой. Предоставление оперативной информации, а также архивных данных о загруженности автомобильных дорог, становится коммерческой услугой с завышенным порогом доступа, что делает эту услугу недоступной большинству исследователей.

Предложенный подход к сбору данных для оценки интенсивности транспортных потоков является одним из оптимальных выходов из ситуации неудовлетворительной доступности информации о скорости движения транспорта в городах. Достоверность результатов расчёта подтверждается путём сравнения данных, полученных классическими натурными методами исследования, с рассчитанными значениями на основе данных из геоинформационных систем. Преимущество подхода использования геоинформационных систем заключается в значительно меньшей трудоёмкости проведения измерений при сравнительно высокой точности значений расчётных переменных модели.

БЛАГОДАРНОСТИ

Работы выполнены при поддержке Российского научного фонда (проект № 19-77-30004).

ACKNOWLEDGEMENTS

The study was funded by the Russian Science Foundation (grant No. 19-77-30004).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Азаров В.К., Васильев А.В., Кутенёв В.Ф., Степанов В.В. Исследование динамики изменения выбросов вредных веществ от автомобильного транспорта в г. Москва с 2002 по 2030 годы. Известия МГТУ «МАМИ». 2015. Т. 1. № 4. С. 5–11.
2. Битюкова В.Р., Касимов Н.С., Власов Д.С. Экологические портреты городов России. Экология и промышленность России. 2011. № 4. С. 6–18.
3. Немчинов М.В., Систер В.Г., Силкин В.В., Рудакова В.В. Охрана окружающей природной среды при проектировании и строительстве автомобильных дорог. М.: Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. 277 с.
4. Ревич Б.А., Кузнецова О.В. (ред.) Человек в мегаполисе: опыт междисциплинарного исследования. М.: Ленанд, 2018. 640 с.
5. Ховавко И.Ю. Интернализация внешних эффектов автотранспорта (на примере Москвы). Вестник Московского университета. 2012. Сер. 6: Экономика. № 1. С. 74–84.
6. Якшин А.М., Говоренкова Т.М., Каган М.И. и др. Графоаналитический метод в градостроительных исследованиях и проектировании. М.: Стройиздат, 1979. 204 с.
7. Blinkin M., Koncheva E. (eds.) Transport Systems of Russian Cities. Springer, 2016. 299 p.
8. Huang W., Fan H., & Qian Y. Modeling and efficient quantified risk assessment of haze causation system in China related to vehicle emissions with uncertainty consideration. Science of The Total Environment. 2019. No. 668. P. 74–83.
9. Leduc G. How can our cars become less polluting? An assessment of the environmental improvement potential of cars. Transport Policy. 2010. No. 409. P. 17–29.
10. Bitykova V., Mozgunov N. Spatial features transformation of emission from motor vehicles in Moscow. Geography, Environment, Sustainability. 2019. V. 12. No. 4. P. 57–73.
11. Parsaev E.V., Malyugin P.N., Teterina I.A. Methodology for the calculation of emissions for non-stationary transport flow. The Russian Automobile and Highway Industry Journal. 2018. V. 15. No. 5. P. 686–697.

REFERENCES

1. *Azarov V.K., Vasiliev A.V., Kutenev V.F., Stepanov V.V.* The study of dynamics of emissions from road transport in Moscow from 2002 to 2030. *Izvestiya MGTU MAMI*. 2015. V. 1. No. 4. P. 5–11. (in Russian).
 2. *Bityukova V.R., Kasimov N.S., Vlasov D.S.* Ecological Portraits of Russian Cities. *Ecology and Industry of Russia*. 2011. No. 4. P. 6–18. (in Russian with English summary).
 3. *Bityukova V., Mozgunov N.* Spatial features transformation of emission from motor vehicles in Moscow. *Geography, Environment, Sustainability*. 2019. V. 12. No. 4. P. 57–73.
 4. *Blinkin M., Koncheva E. (eds)* *Transport Systems of Russian Cities*. Springer, 2016. 299 p.
 5. *Hovavko I.Yu.* Internalization of external effects of motor transport (on the example of Moscow). *Moscow University Bulletin*. 2012. Series 6. Economy. No. 1. P. 74–84. (in Russian with English summary).
 6. *Huang W., Fan H., & Qian Y.* Modeling and efficient quantified risk assessment of haze causation system in China related to vehicle emissions with uncertainty consideration. *Science of The Total Environment*. 2019. No. 668. P. 74–83.
 7. *Leduc G.* How can our cars become less polluting? An assessment of the environmental improvement potential of cars. *Transport Policy*. 2010. No. 409. P. 17–29.
 8. *Nemchinov M., Sister V., Silkin V., Rudakova V.* Environmental Protection during the Design and Construction of Highways. Moscow: ACB, 2009. P. 277. (in Russian with English summary).
 9. *Parsaev E.V., Malyugin P.N., Teterina I.A.* Methodology for the calculation of emissions for non-stationary transport flow. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2018. V. 15. No. 5. P. 686–697.
 10. *Revich B.A., Kuznetsova O.V. (eds)* *Man in a megacity: the experience of interdisciplinary research*. Moscow: Lenand, 2019. 640 p. (in Russian with English summary).
 11. *Yakshin A.M., Govorenkova T.M., Kagan M.I. et al.* Prospects for the development of a network of urban highways. Moscow: Strojizdat, 1975. 204 p. (in Russian).
-