

Рахманин Ю.А.<sup>1</sup>, Леванчук А.В.<sup>2</sup>, Копытенкова О.И.<sup>3</sup>, Фролова Н.М.<sup>3</sup>, Сазонова А.М.<sup>2</sup>

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНОГО РИСКА ЗДОРОВЬЮ НАСЕЛЕНИЯ ЗА СЧЁТ ЗАГРЯЗНЯЮЩИХ ВЕЩЕСТВ, ПОСТУПАЮЩИХ В АТМОСФЕРНЫЙ ВОЗДУХ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДОРОЖНО-АВТОМОБИЛЬНОГО КОМПЛЕКСА

<sup>1</sup>Федеральное государственное бюджетное учреждение «Центр стратегического планирования и управления медико-биологическими рисками здоровью» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 119121, Москва;

<sup>2</sup>ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 190031, Санкт-Петербург;

<sup>3</sup>ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора, 191036, Санкт-Петербург

**Введение.** Согласно материалам Всемирной организации здравоохранения, загрязнители атмосферного воздуха являются одним из наиболее значимых факторов, негативно влияющих на здоровье населения. Основным источником загрязнения воздушной среды городов является автомобильный транспорт. Определение количества загрязнителей воздушной среды жилых территорий в процессе эксплуатации дорожно-автомобильного комплекса (ДАК) взвешенными веществами – важная процедура для контроля риска здоровью человека, планирования и оценки эффективности мероприятий по охране воздушной среды жилых территорий. Существующие нормативные и методические документы недостаточно регулируют мониторинг, анализ и оценку загрязнения атмосферного воздуха продуктами горения топлива и продуктами эксплуатации ДАК. Таким образом, целью настоящего исследования является определение дополнительного риска здоровью населения за счёт загрязнителей воздушной среды жилых территорий в результате эксплуатации ДАК.

**Материал и методы.** Метод определения выбросов в воздушную среду жилых территорий в процессе эксплуатации ДАК осуществлён на основе действующей в настоящее время нормативно-методической документации. Для оценки интенсивности загрязнения использовались натурные наблюдения интенсивности транспортного потока в различные временные периоды на экспериментальных территориях. Количество загрязнителей, поступающих в атмосферный воздух в процессе эксплуатации ДАК, определяли отдельно для тормозной системы, шин и покрытия дорог.

**Результаты.** Руководствуясь построенной номограммой, учитывающей зону распространения загрязнения атмосферного воздуха, можно определить риск здоровью населения при эксплуатации ДАК на территории города на основе расчёта коэффициента опасности.

**Обсуждение.** На основе проведённых расчётов представлены данные о количестве загрязнителей, поступающих в воздушную среду мегаполисов в процессе эксплуатации ДАК (протекторы шин, тормозная система, дорожное покрытие) и от автомобильного транспорта различного типа за 1 год. Приведены данные о количестве качественном составе загрязняющих атмосферный воздух веществ, образующихся на участке автомобильной дороги длиной 1 км, за различные периоды времени (час, сутки) с целью выведения пространственно-временной характеристики загрязняющих веществ. На основе полученных данных проведены ориентировочные расчёты количества загрязнителей, выделяющихся в атмосферный воздух в процессе эксплуатации ДАК от автотранспортных средств, зарегистрированных ГИБДД Санкт-Петербурга в настоящее время и прогноз на период до 2020 года.

**Заключение.** Приведённые данные по расчёту коэффициента опасности от выбросов взвешенных веществ ДАК позволяют дополнить (суммировать) риск от всех составляющих источников ДАК. На основе представленного в номограмме расстояния от дороги до жилой застройки можно определить дополнительный риск здоровью населения за счёт загрязнителей, выделяющихся в атмосферный воздух в процессе эксплуатации ДАК по математической модели рассеивания.

**Ключевые слова:** автомобильный транспорт; загрязнение атмосферного воздуха; продукты эксплуатационного износа; риск здоровью; здоровье населения; оценка риска.

**Для цитирования:** Рахманин Ю.А., Леванчук А.В., Копытенкова О.И., Фролова Н.М., Сазонова А.М. Определение дополнительного риска здоровью населения за счёт загрязняющих веществ, поступающих в атмосферный воздух при эксплуатации дорожно-автомобильного комплекса. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(12): 1171-1178. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1171-1178>

**Для корреспонденции:** Копытенкова Ольга Ивановна, доктор мед. наук, проф., гл. науч. сотр. отдела гигиены ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Роспотребнадзора. E-mail: 5726164@mail.ru

Rakhmanin Yu.A.<sup>1</sup>, Levanchuk A.V.<sup>2</sup>, Kopytenkova O.I.<sup>3</sup>, Frolova N.M.<sup>3</sup>, Sazonova A.M.<sup>2</sup>

## DETERMINATION OF ADDITIONAL HEALTH RISK DUE TO POLLUTANTS IN AMBIENT AIR DURING OPERATION OF ROAD-VEHICLES COMPLEX

<sup>1</sup>Centre for Strategic Planning, Russian Ministry of Health, Moscow, 119991, Russian Federation;

<sup>2</sup>Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, 190031, St.-Petersburg, Russian Federation;

<sup>3</sup>North-West Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation

**Introduction.** According to the materials of the World Health Organization, air pollutants are one of the most significant factors affecting the health of the population. The main urban air pollution source is road transport. The determination of air pollutants amount during the operation of the road-vehicles complex (RVC) with suspended substances is an important procedure for monitoring the risk to human health, planning, and evaluation of measures for the protection of residential areas ambient air. The existing methodical documents and regulations do not fully regulate important aspects of air pollution monitoring and assessment by-products caused by exhaust gases of the

vehicle and emissions associated with the operation of the RVC. Thus, the purpose of this study is to determine the additional population health risks due to pollutants reaching the air of residential areas during the RVC operation.

**Material and methods.** The method of emissions measurement reaching the air during the operation of the RVC is based on existing methodical documents and regulations. To assess the pollution, the data of observations of the intensity of traffic flow in different time periods in the experimental territories are used. The calculation of pollutants amount released into the air during the operational wear of the RVC is determined separately for the tire treads, brake system, and road pavement.

**Results.** Guided by the constructed nomogram, taking into account distribution zone of the air pollution, it is possible to determine population health risk during the RVC operation in the city based on the calculation of the hazard coefficient.

**Discussion.** On the basis of the calculations, data on the number of pollutants reaching the air during the RVC operation (wear of tire treads, brake system, road pavement) and from vehicles of various types for 1 year are presented. The data on the pollutants quantities generating on the road on a per 1 km car run basis, reaching the ambient air for various periods of time (hours, days) with the aim of the derivation of the spatial-temporal characteristics of the pollutants. On the basis of the obtained data, approximate calculations of the number of pollutants reaching the air during the operation of the RVC from all vehicles registered by St. Petersburg traffic police at the moment and the forecast for the period 2020 were carried out.

**Conclusions.** The given data on the hazard coefficient calculation of suspended solids emissions of RVC allow summarizing the risk from all the compartmental RVC sources. On the basis of the distance from the road to residential buildings presented in the nomogram, it is possible to determine an additional population health risk due to pollutants reaching the air during the RVC operation using a mathematical model of dispersion.

**Key words:** road transport; air pollution; wear and tear products; health risk; public health; risk assessment.

**For citation:** Rakhmanin Yu.A., Levanchuk A.V., Kopytenkova O.I., Frolova N.M., Sazonova A.M. Determination of additional health risk due to pollutants in ambient air during operation of road-vehicles complex. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2018; 97(12): 1171-1178. (In Russ.). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2018-97-12-1171-1178>

**For correspondence:** Olga I. Kopytenkova, MD, Ph.D., DSci., Prof., Chief researcher of the Department of hygiene North-West Public Health Research Center, Saint-Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: 5726164@mail.ru

#### Information about authors:

Rakhmanin Yu.A., <https://orcid.org/0000-0003-2067-8014>; Kopytenkova O.I., <http://orcid.org/0000-0003-3557-2255>; Frolova N.M., <http://orcid.org/0000-0001-6973-6479>; Sazonova A.M., <http://orcid.org/0000-0002-9388-978X>.

*Conflict of interest.* The authors declare no conflict of interest.

*Acknowledgment.* The study had no sponsorship.

Received: 05 September 2018

Accepted: 20 December 2018

## Введение

Загрязнители атмосферного воздуха, в соответствии информационными документами Всемирной организации здравоохранения (ВОЗ), по доли их неблагоприятного воздействия на здоровье населения считаются одним из наиболее значимых факторов. Основным источником загрязнения воздушной среды городов является автомобильный транспорт. В крупных городах доля загрязнителей, поступающих в воздушную среду от передвижных источников загрязнения атмосферы составляет 85–90%<sup>1</sup>. В связи с этим определение количества веществ, поступающих в атмосферный воздух непосредственно при эксплуатации ДАК в виде взвешенных веществ, необходимо для определения и оценки риска здоровью населения, обоснования и планирования мероприятий, направленных на охрану атмосферного воздуха и оценку эффективности этих мероприятий [1–4]. Действующие в настоящее время нормативные и методические документы<sup>2</sup> не позволяют в полной мере регулировать мониторинг и оценку степени загрязнения атмосферного воздуха продуктами сгорания автомобильного топлива (в части соединений тяжёлых метал-

лов) и выбросами при эксплуатации всего комплекса «Дорожное покрытие – автомобиль».

Целью настоящего исследования является определение дополнительного риска здоровью населения за счёт загрязнителей, выделяющихся в атмосферный воздух в процессе эксплуатации ДАК.

## Материал и методы

Для оценки загрязнения воздушной среды улично-дорожной сети продуктами эксплуатации ДАК используются данные наблюдений интенсивности транспортного потока в течение часа, суток, года на изучаемой территории. Календарный год наиболее показательный период для расчёта и оценки загрязнения атмосферного воздуха в процессе эксплуатационного износа ДАК. Вместе с тем среднее количество загрязнителей, поступающих в атмосферный воздух в процессе эксплуатации ДАК, рассчитывалось для каждого дня в году. Расчёт количества загрязнителей, выделяющихся в атмосферный воздух при эксплуатационном износе ДАК, определили отдельно для протекторов шин, тормозной системы и дорожного покрытия [5, 6].

## Результаты

Расчёты риска здоровью от дополнительных выбросов взвешенных веществ дорожно-автомобильного комплекса на различных территориях проводятся в соответствии с Руководством<sup>3</sup>. На рис. 1, 2, 3 приведены номограммы зависимости выбросов взвешенных веществ от интенсивно-

<sup>1</sup> Директива 2008/50/ЕС Европейского парламента и Совета Европейского Союза от 21.05.2008 г. о качестве атмосферного воздуха и чистом воздухе для Европы.

<sup>2</sup> Методика расчёта выбросов в атмосферу загрязняющих веществ автотранспортом на городских магистралях» (М., 1997 г.); «Методика определения выбросов автотранспорта для проведения сводных расчётов загрязнения атмосферы городов» (СПб, 1999 г.); «Расчётная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ автотранспортными средствами в атмосферный воздух» (М., 2008 г.); «Расчётная инструкция (методика) по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ от автотранспортных средств на территории крупнейших городов» (М., 2008 г.).

<sup>3</sup> «Руководство по оценке риска для здоровья населения при воздействии химических веществ, загрязняющих окружающую среду» 2.1.10.1920–04.

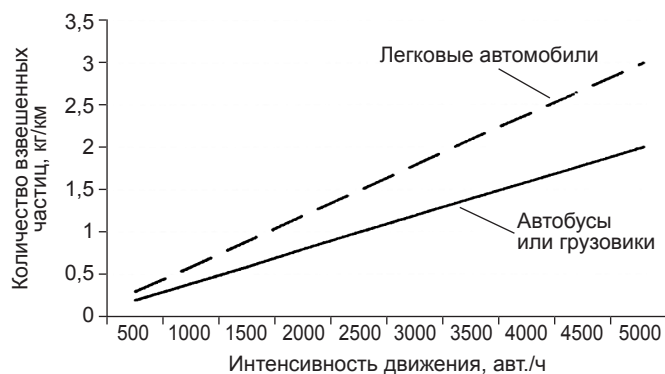


Рис. 1. Зависимость количества загрязнителя «взвешенные вещества», поступающего в атмосферный воздух на участке улично-дорожной сети длиной 1 км при различной интенсивности транспортного потока в час (кг/км-ч).

сти движения с учётом суммарного поступления вредных веществ от деградации дорожного полотна, износа шин и тормозных колодок, т. е. всего комплекса ДАК в течение 1 ч и 1 сут[7].

Для расчётов риска здоровью населения, находящегося под воздействием транспортных загрязнений ДАК, необходимо учитывать зону распространения загрязнения атмосферного воздуха [8]. На рис. 4 приведены данные, полученные опытным, а не расчётным путём.

Характеристика риска развития неканцерогенных эффектов для отдельных веществ проводится на основе расчёта коэффициента опасности по формуле (1), приведенной в Руководстве<sup>3</sup>:

$$HQ = C_{\text{ср}} / C_{\text{рф}}, \quad (1)$$

где  $HQ$  – коэффициент опасности;  $C_{\text{ср}}$  – средняя концентрация,  $\text{мг}/\text{м}^3$ ;  $C_{\text{рф}}$  – референтная концентрация,  $\text{мг}/\text{м}^3$ .

Коэффициент опасности для различных условий (острых или хронических воздействий химических веществ) рассчитывают отдельно<sup>3</sup>.

*Пример расчёта дополнительного риска при эксплуатационном износе ДАК:*

TSP (взвешенные вещества) – аэрозоль (недифференцированная по химическому составу пыль), содержащаяся в воздухе улично-дорожной сети.

1. Интенсивность движения определяют методом подсчёта.

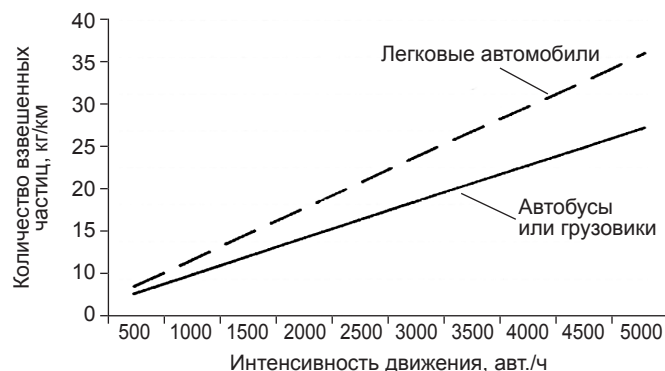


Рис. 2. Зависимость количества загрязнителя «взвешенные вещества», поступающего в атмосферный воздух на участке улично-дорожной сети длиной 1 км при различной интенсивности транспортного потока в сутки (кг/км-сут).

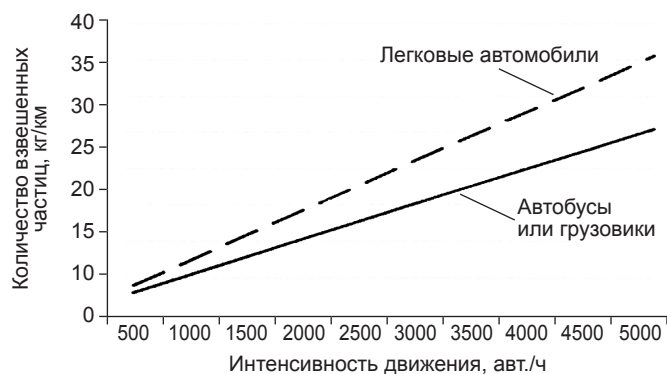


Рис. 3. Зависимость количества загрязнителя «взвешенные вещества», поступающего в атмосферный воздух на участке улично-дорожной сети длиной 1 км при различной интенсивности транспортного потока в год (кг/км-год).

2. По номограмме (см. рис. 4) на необходимом расстоянии определяют количество взвешенных веществ, выраженное в ПДКсс ( $K$ );

3. Расчёт ведется по формуле (2):

$$HQ = 0,15 \cdot K / C_{\text{рф}}, \quad (2)$$

где  $HQ$  – коэффициент опасности;  $0,15 \text{ мг}/\text{м}^3$  – ПДКсс (TSP);  $K$  – коэффициент, определяемый по номограмме 4;  $C_{\text{рф}}$  – референтная концентрация ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ).

Референтная концентрация ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) при остром воздействии составляет  $0,3 \text{ мг}/\text{м}^3$ , при хроническом –  $0,075 \text{ мг}/\text{м}^3$ ; ПДКмр –  $0,5 \text{ мг}/\text{м}^3$ , ПДКсс –  $0,15 \text{ мг}/\text{м}^3$ .

## Обсуждение

Срок максимальной эксплуатации протекторов шин (стандартных) составляет примерно 50 000–60 000 км. Общий вес шины за период эксплуатации уменьшается на 10% (UK environmental protection Agency, 1998 г.). Протекторы грузовых автомобилей рассчитаны в среднем на 100 000 км. Количество материала, поступающего в окружающую среду, зависит от вида автомобиля (легковой,

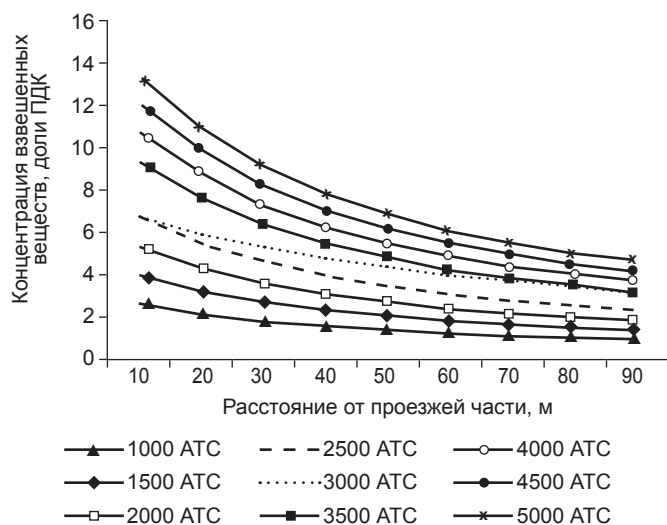


Рис. 4. Зависимость концентрации взвешенных веществ в атмосферном воздухе улично-дорожной сети на различном расстоянии от проезжей части и различной интенсивности транспортных потоков (доли ПДКсс).

Таблица 1

**Количество загрязняющих веществ (в кг/год), выделяющихся в атмосферный воздух улично-дорожной сети, при износе компонентов дорожно-автомобильного комплекса (Леванчук А.В., 2015)**

Тип автомобиля	Количество загрязняющих веществ, кг/год		
	Шины	Тормозная система	Дорожное покрытие
Легковой	4,9	0,3	3,1
Грузовой	34,1	7,6	22,6
Автобус	33,9	19,7	24,7

грузовой, пассажирский), его грузоподъёмности, режима эксплуатации. Количество истираемого материала шин может достигать 6 кг для легковых автомобилей (4 шины), до 10 кг для грузового автомобиля или автобуса.

Движение автомобилей по улично-дорожной сети населённых пунктов сопровождается частыми ускорением, торможением, поворотами и движением в «пробках». Коэффициент износа протекторов шин на улично-дорожной сети населённых пунктов в 1,5 раза больше, т. к. средняя скорость составляет 40 км/ч (наиболее неблагоприятная с точки зрения эксплуатационного износа).

Коэффициент износа протекторов шин автомобилей большой грузоподъёмности за счёт того, что их шины имеют более широкую беговую дорожку, закономерно превышает коэффициент износа шин автомобилей малой грузоподъёмности. Коэффициент износа протекторов шин грузовых автомобилей может достигать 189 мг/маш.-км, при этом у автобусов (с учётом характера их движения по улично-дорожной сети) – 192 мг/маш.-км [9]. Износ протекторов шин для автомобилей большой грузоподъёмности в 5–14 раз превышает таковой для легковых автомобилей. Количество загрязнителей, поступающих в окружающую среду, зависит от количества колёс автомобиля, климатических условий территории и характера эксплуатации транспортного средства.

Чтобы рассчитать количество загрязнителей, выделяющихся в воздушную среду улично-дорожной сети, при износе протектора шин учитывают такие технические характеристики, как максимальная и минимально допустимая высота рисунка протектора новой шины (мм)<sup>4</sup>.

В основе определения количества изношенных шин лежит среднегодовой пробег автомобилей. Для крупных городов среднегодовой пробег легковых автомобилей составляет 18,6 тыс. км, для грузовых автомобилей высокой грузоподъёмности – 40,0 тыс. км, для грузовых автомобилей средней грузоподъёмности – 50,0 тыс. км, для автобусов – 60,0 тыс. км [10, 11].

Нормативный ресурс протекторов шины определяют в соответствии с требованиями нормативного документа<sup>4</sup>. На основе требований данного документа для учёта «категории условий эксплуатации автотранспортного средства» и «условий работы автомобиля» введены поправочные коэффициенты.

Влияние на степень износа протекторов погодноклиматических условий учитывается введением дополнительных коэффициентов:  $K_t$  – для учёта влияния температуры дорожного покрытия;  $K_w$  – для учёта влияния влажности дорожного покрытия. Расчёт износа протектора шин определяется по формуле (3):

$$I_{u.n.} = K_t \cdot K_w \cdot n_k \cdot k \cdot \rho_{n.u.} \cdot V_{u.n.}, \quad (3)$$

где  $I_{u.n.}$  – количество веществ, поступающих в окружающую среду улично-дорожной сети в процессе износа протекторов шин;  $K_t$  – коэффициент, учитывающий влияние температурного режима территории;  $K_w$  – коэффициент, учитывающий влажностные характеристики территории;  $n_k$  – число колёс транспортного средства, шт.;  $k$  – коэффициент для учёта ресурса протектора шин;  $\rho_{n.u.}$  – плотность материала (г/см<sup>3</sup>);  $V_{u.n.}$  – среднегодовой объём утраты протектора шины (см<sup>3</sup>).

Климатический коэффициент  $K_t$  для определённой территории рассчитывают с учётом износа шинного материала в сезоны года при положительных и отрицательных температурах дорожного покрытия (4):

$$K_t = \sum_{i=1}^{n_1} p_i^+ \cdot K_{ii}^+ + \sum_{i=1}^{n_2} p_i^- \cdot K_{ii}^-, \quad (4)$$

где  $n_1, n_2$  – среднее количество суток в году с положительной и отрицательной температурой дорожного покрытия;  $K_{ii}^+, K_{ii}^-$  – климатический коэффициент износа шинного материала при положительных и отрицательных температурах дорожного покрытия;  $p_i^+, p_i^-$  – доля дней за год с положительными и отрицательными температурами дорожного покрытия.

Исследованиями [12–14] установлено, что для климатических условий Северо-Западного региона коэффициент  $K_t = 1,07$ .

Климатический коэффициент влажности  $K_w$  учитывает среднегодовое количество число дней с осадками, длительно увлажняющими дорожное покрытие. Климатический коэффициент  $K_w$  рассчитывали по формуле (5):

$$K_w = \sum_{i=1}^{n_1} p_i^e K_{wi}^e + \sum_{i=1}^{n_2} p_i^c K_{wi}^c, \quad (5)$$

где  $n_1, n_2$  – число дней в году с увлажнённым и сухим дорожным покрытием;  $p_i^e, p_i^c$  – доля дней в году с увлажнённым и сухим дорожным покрытием;  $K_{wi}^e = 1,25$  – для тех дней, когда интенсивность осадков составляет более 1 мм;  $K_{wi}^c = 1,0$  – используется для дней, когда интенсивность осадков составляет менее 1 мм.

Исследованиями [12–14] установлено, что для климатических условий Северо-Западного региона коэффициент  $K_w = 1,12$ .

Для учёта более высокой удельной плотности материала, используемого при изготовлении шин грузовых транспортных средств, при расчёте количества взвешенных веществ, выделяющихся в атмосферный воздух улично-дорожной сети в результате истирания протектора их шин необходимо принимать коэффициент 0,8. Кроме того, в расчётах необходимо учитывать, что удельная масса материала для легковых автомобилей составляет 1,4 г/см<sup>3</sup>, для грузовых и автобусов – 1,7 г/см<sup>3</sup> [15].

Количество загрязняющих веществ, выделяющихся в атмосферный воздух улично-дорожной сети, при износе шинного материала одного автомобиля (кг/год) представлено в табл. 1.

Вклад в количество загрязнителей атмосферного воздуха улично-дорожной сети вносят тормозные колодки, в состав которых входят фрикционные смеси, включающие стружку из цветных металлов.

Интенсивность износа тормозной системы легковых автомобилей варьируется в пределах от 8,79 до 20,04 мг/маш.-км. От одной грузовой машины на участке

<sup>4</sup> Временные нормы эксплуатационного пробега шин АТС. РД 3112199-1085-02. М. 2002.

улично-дорожной сети длиной 1 км малой грузоподъемности выделяется от 29 до 84 мг/маш.-км, от грузовых автомобилей и автобусов – 47–110 мг/маш.-км. Выявлена линейная зависимость количества загрязнителей, выделяющихся в окружающую среду от средней скорости движения автомобиля. Для скорости 40 км/ч, характерной для мегаполиса, количество фрикционного материала ориентировочно составляет 10 мг/маш.-км [16].

При расчёте количества загрязнителей, поступающих в атмосферный воздух улично-дорожной сети, при эксплуатационном износе тормозных накладок одного автомобиля в год использовали формулу (6):

$$I_{u.n.} = n_{m.n.} \cdot z_{m.n.} \cdot \rho_{ф.м.} \cdot V_{u.м.}, \quad (6)$$

где  $I_{u.n.}$  – количество материала тормозных накладок, поступающего от одного автомобиля в атмосферный воздух в год;  $n_{m.n.}$  – коэффициент, учитывающий ресурс тормозных накладок;  $z_{m.n.}$  – число тормозных накладок изнашиваемых за год;  $\rho_{ф.м.}$  – удельная плотность материала накладок, г/см<sup>3</sup>;  $V_{u.м.}$  – объём материала, изношенного за год, см<sup>3</sup>.

Как и для протекторов шин количество материала тормозной системы, поступающее в атмосферный воздух от различных транспортных средств, используют средние величины годовых пробегов автомобилей различного типа. Средние величины, количество загрязнителей, поступающих в атмосферный воздух улично-дорожной сети при износе тормозной системы одного транспортного средства, представлены также в табл. 1.

Важнейшим компонентом автомобильно-дорожного комплекса, с точки зрения влияния на качество атмосферного воздуха улично-дорожной сети, является дорожное покрытие. Колея на дорожном покрытии возникает чаще всего в результате его абразивного износа. Как и в случае протекторов шин на интенсивность износа дорожного покрытия влияние оказывают погодно-климатические условия: температура дорожного покрытия, число случаев перехода температуры через 0; увлажняющие дорожное покрытие атмосферные осадки.

Эксплуатационный износ дорожного покрытия определяют по формуле (7):

$$I_{d.n.} = K_t \cdot K_w \cdot L_k \cdot k \cdot \rho_{a.б.} \cdot S_{k.d.n.}, \quad (7)$$

где  $I_{d.n.}$  – количество загрязнителей, поступающих в атмосферный воздух улично-дорожной сети при износе дорожного покрытия;  $K_t$  – климатический температурный коэффициент;  $K_w$  – климатический влажностный коэффициент;  $L_k$  – длина колеи дорожного покрытия, км;  $k$  – коэффициент для учёта материала дорожного покрытия (чаще всего асфальто-бетон);  $\rho_{a.б.}$  – удельная плотность материала дорожного покрытия, кг/м<sup>3</sup>;  $S_{k.d.n.}$  – площадь сечения колеи, м<sup>2</sup> в год [17].

Для определенной территории коэффициенты  $K_t$  и  $K_w$  определяют с учётом износа при различных температурах дорожного покрытия. Для расчётов в климатической зоне Северо-Западного региона можно использовать коэффициенты  $K_t$  и  $K_w$ , равные 1,0.

Расчётное количество загрязняющих веществ, выделяющихся в атмосферный воздух улично-дорожной сети при износе дорожного покрытия с учётом среднего-

### Расчётные значения (в мм/год) абразивного износа покрытия из асфальтобетона дорог различной категории колёсами без шипов\*

Нормируемый показатель	Категория дороги (СП 34.13330.2012)			
	I	II	III	IV
Количество автомобилей, двигающихся по одному следу в час, авт./ч	250	200	150	70
Суточная интенсивность движения автотранспорта, авт./сут.	≥ 7000	3000–7000	1000–3000	100–1000
Величина износа толщины слоя покрытия за год, мм/год	4,0	2,5	1,5	≤ 1,0

Примечание. \* – СП 34.13330.2012. Автомобильные дороги.

дового пробега по территории города автотранспортных средств различного типа, приведено в табл. 1.

В табл. 2 представлены значения абразивного износа дорожного покрытия из наиболее часто используемого материала – асфальтобетона.

При пространственно-временной характеристике загрязняющих веществ, выделяющихся в атмосферный воздух улично-дорожной сети, важно знать количество загрязнителей, образующихся при эксплуатационном износе ДАК на протяжении 1 км длины дороги.

Расчёты позволили установить, что при пробеге автомобиля длиной 1 км в окружающую среду при изнашивании протекторов шин легковых автомобилей выделяется примерно  $0,26 \cdot 10^{-3}$  кг/км шинного материала, у грузового автомобиля – примерно  $1,7 \cdot 10^{-3}$  кг/км, у пассажирского автотранспорта (автобус, троллейбус) –  $1,1 \cdot 10^{-3}$  кг/км. При эксплуатации накладок тормозной системы –  $0,02 \cdot 10^{-3}$ ,  $0,19 \cdot 10^{-3}$ ,  $0,33 \cdot 10^{-3}$  кг/км, при эксплуатации дорожного асфальтобетонного прорытия –  $0,34 \cdot 10^{-3}$ ,  $11,32 \cdot 10^{-3}$ ,  $0,82 \cdot 10^{-3}$  кг/км соответственно [18].

При определении пространственно-временной характеристики загрязнения атмосферного воздуха улично-дорожной сети ДАК необходимо использовать данные ГИБДД о средней скорости движения автомобилей различного типа по изучаемой территории. Нашими исследованиями установлено, что по территории крупных городов ориентировочная средняя скорость легковых и грузовых автомобилей

Таблица 3

### Расчётное количество загрязнителей (в кг), выделяющихся в атмосферный воздух улично-дорожной сети, при эксплуатационном износе ДАК

Количество TSP	Тип автомобиля		
	Легковые	Грузовые	Автобусы
<i>При износе шинного материала</i>			
Час	$10,4 \cdot 10^{-3} \pm 0,9 \cdot 10^{-3}$	$68,4 \cdot 10^{-3} \pm 2,4 \cdot 10^{-3}$	$17,0 \cdot 10^{-3} \pm 1,0 \cdot 10^{-3}$
Сутки	$13,6 \cdot 10^{-3} \pm 1,0 \cdot 10^{-3}$	$187,4 \cdot 10^{-3} \pm 3,6 \cdot 10^{-3}$	$185,8 \cdot 10^{-3} \pm 4,3 \cdot 10^{-3}$
<i>При износе материала накладок тормозной системы</i>			
Час	$0,8 \cdot 10^{-3} \pm 0,04 \cdot 10^{-3}$	$7,6 \cdot 10^{-3} \pm 0,03 \cdot 10^{-3}$	$4,96 \cdot 10^{-3} \pm 0,07 \cdot 10^{-3}$
Сутки	$1,02 \cdot 10^{-3} \pm 0,07 \cdot 10^{-3}$	$20,8 \cdot 10^{-3} \pm 0,16 \cdot 10^{-3}$	$54,25 \cdot 10^{-3} \pm 1,29 \cdot 10^{-3}$
<i>При износе материала дорожного покрытия</i>			
Час	$13,6 \cdot 10^{-3} \pm 1,08 \cdot 10^{-3}$	$452,8 \cdot 10^{-3} \pm 22,9 \cdot 10^{-3}$	$123,6 \cdot 10^{-3} \pm 6,4 \cdot 10^{-3}$
Сутки	$17,3 \cdot 10^{-3} \pm 1,25 \cdot 10^{-3}$	$1240,6 \cdot 10^{-3} \pm 57,1 \cdot 10^{-3}$	$1354,4 \cdot 10^{-3} \pm 57,4 \cdot 10^{-3}$

Таблица 4

**Реальное и прогнозируемое количество автомобилей (в шт.), зарегистрированных ГИБДД Санкт-Петербурга**

Год	Группа автомобилей			
	Легковые	Грузовые	Автобусы	Всего
2015	1 857,0	142,8	30,91	2 030,8
2020	2 224,0	159,4	36,6	2 420,0

Таблица 5

**Количество загрязнителей, поступающих в атмосферный воздух улично-дорожной сети при эксплуатации дорожно-автомобильного транспорта**

Тип автомобиля	Количество загрязнителей от всех автомобилей, т/год	
	2015 год	2020 год
<i>Износ шинного материала:</i>		
Легковой	9,1	10,9
Грузовой	4,8	5,4
Автобус	1,0	1,2
Итого	14,9	17,5
<i>Износ материала накладок тормозной системы:</i>		
Легковой	0,54	0,64
Грузовой	1,09	1,21
Автобус	0,60	0,72
Итого	2,23	2,57
<i>Износ материала дорожного покрытия:</i>		
Легковой	5,79	6,93
Грузовой	3,21	3,60
Автобус	0,76	0,90
Итого	9,76	11,43
Всего...	26,9	31,6

составляет 40 км/ч, рейсовых городских автобусов – 15 км/ч. Расчётное количество загрязнителей, выделяющихся в атмосферный воздух улично-дорожной сети, при эксплуатационном износе ДАК представлено в табл. 3.

Результаты расчётов количества загрязнителей, поступающих в атмосферный воздух улично-дорожной сети при эксплуатации ДАК, проведены для примера на территории г. Санкт-Петербурга. Расчёты проведены в качестве прогноза на 2020 г. (табл. 4, 5) [19, 20–25].

Исходными данными для расчёта приняты следующие параметры. Средняя скорость легкового автомобиля на территории города 40 км/час; средняя скорость грузового автомобиля на территории города 18 км/ч; среднегодовой пробег легковых  $L_k = 18\ 600$  км; среднегодовой пробег грузовых автомобилей  $L_k = 40\ 000$  км; среднегодовой пробег автобусов  $L_k = 60\ 000$  км, реальное и прогнозируемое количество автотранспортных средств представлено в табл. 4.

Пример расчёта в дальнейшем можно использовать для расчёта рассеивания и определения различных видов риска здоровью населения при эксплуатации ДАК на территории города в целом.

**Заключение**

Таким образом, для определения дополнительного риска здоровью населения от эксплуатационного износа дорожно-автомобильного комплекса можно использовать две схемы – базовую и сокращённую (рис. 5).

Базовая схема включает определение количества и морфологического состава транспортных потоков; расчёт количества загрязнителей, выделяющихся в воздушную среду улично-дорожной сети с использованием формул (3), (4), (5); расчёт суммарного количества загрязнителей; определение величины выбросов в г/с на основе среднего скоростного режима по участку дороги; расчёт рассеивания загрязнителей и определение концентрации на различном расстоянии от дороги; расчёт показателя риска здоровью населения в соответствии с формулами (1) и (2). Сокращённая схема осуществляется на основе использования номограмм 1, 2, 3 или 4.

Приведённые данные по расчёту коэффициента опасности от выбросов взвешенных веществ ДАК позволяют дополнить (суммировать) риск от всех компонентов, составляющих ДАК.

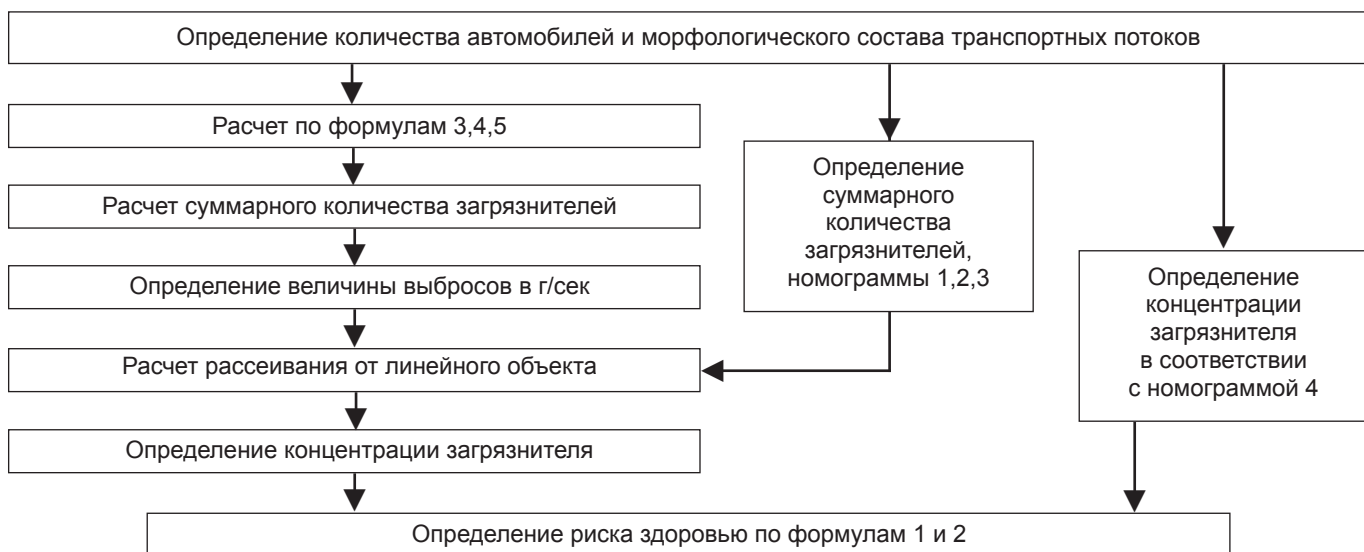


Рис. 5. Схема определения дополнительного риска здоровью населения, связанного с эксплуатационным износом ДАК.

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.  
**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## Литература

- Леванчук А.В. Обоснование разработки информационно-аналитической технологии системы социально-гигиенического мониторинга. *Безопасность жизнедеятельности*. 2009; 11: 24–29.
- Копытенкова О.И., Леванчук А.В., Мингулова И.Р., Турсунов З.Ш. Обоснование направлений социально-гигиенического мониторинга. В кн.: Рахманин Ю.А., ред. *Приоритеты профилактического здравоохранения в устойчивом развитии общества: состояние и пути решения проблем: материалы Пленума Научного совета по экологии и гигиене окружающей среды Российской Федерации*. М.; 2013: 184–187.
- Леванчук А.В., Копытенкова О.И. Гигиеническая характеристика риска здоровью населения, проживающего на территории мегаполисов вдоль автомобильных дорог. В кн.: Рахманин Ю.А., ред. *Материалы Пленума Научного Совета РФ по экологии человека и гигиене окружающей среды (17–18 декабря 2015 г.)*. М.; 2015: 236–237.
- Рахманин Ю.А., Леванчук А.В. Современные направления совершенствования методологии социально-гигиенического мониторинга загрязнений, связанных с эксплуатацией дорожно-автомобильного комплекса. В кн.: *Материалы XI Международного симпозиума «Экология человека и медика – биологическая без-опасность населения*. Кипр, г. Айя-Нага; 2016: 1–3.
- Леванчук А.В., Мингулова И.Р., Копытенкова О.И. Методические подходы к количественной оценке взвешенных веществ, поступающих в окружающую среду при эксплуатации транспортно-дорожного комплекса. *Научные исследования и их практическое применение. Современное состояние и пути развития 2012: сборник научных трудов SWorld*. Одесса; 2012; Т. 1, № 3: 66–74.
- Леванчук А.В., Копытенкова О.И. Методические аспекты гигиенической оценки атмосферного воздуха в районах с развитой инфраструктурой. *Атмосфера*. 2010; 4: 19–21.
- Рахманин Ю.А., Леванчук А.В. Гигиеническая оценка атмосферного воздуха в районах с различной степенью развития дорожно-автомобильного комплекса. *Гигиена и санитария*. 2016; 11: 1117–1121.
- Берлянд М.Е., Генихович Е.Л., Оникул Р.И. Моделирование загрязнения атмосферы выбросами из низких и холодных источников. *Метеорология и гидрология*. 1990; 5: 5–16.
- Stalaker D., Turner J., Parekh D., Whittle B., Norton R. Indoor simulation of tyre wear: some case studies. *Tyre Science and Technology*. 1996; 24: 94–118.
- Волкодаева М.В., Полуэктова М.М. Оценка качества атмосферного воздуха при реализации европейских требований на ограничение выбросов автотранспорта (на примере отдельных автомагистралей г. Санкт-Петербург). *Информационный бюллетень: Вопросы охраны атмосферы от загрязнения*. 2005; 1 (31): 121–132.
- Волкодаева М.В. Зона влияния выбросов городского транспорта. *Экология урбанизированных территорий*. 2008; 4: 30–33.
- Битюкова В.Р. *Социально-экологические проблемы развития городов России*. М: Либроком; 2009.
- Птюшкин А.Н. Геоэкологические исследования химического загрязнения земельного отвода под строительство кольцевой автомобильной дороги вокруг г. Санкт-Петербург. *Экология урбанизированных территорий*. 2007; 3: 69–74.
- Копытенкова О.И., Леванчук А.В., Мингулова И.Р. Гигиеническая характеристика химического загрязнения окружающей среды в процессе эксплуатации транспортно-дорожного комплекса. *Профилактическая и клиническая медицина*. 2012; 3 (44): 87–92.
- Леванчук А.В., Копытенкова О.И., Мингулова И.Р. Геоэкозащитные мероприятия для сохранения санитарно-эпидемиологического благополучия населения при строительстве транспортно-дорожного комплекса урбанизированных территорий. *Современные направления теоретических и прикладных исследований 2013: сборник научных трудов SWorld*. Одесса; 2013; Т. 4 (1): 92–102.
- Леванчук А.В. Гигиеническая характеристика загрязнения окружающей среды продуктами эксплуатационного износа тормозной системы автомобилей. *Успехи современной науки: международный научно-исследовательский журнал*. 2016; 2, Т. 3: 82–85.
- Носов В.П., Джалилов М.Ф. Исследование износостойкости асфальтобетона. В кн.: *Научно-технические проблемы дорожной отрасли стран СНГ: сборник научных трудов*. М.: Межправительственный совет дорожников; 2000: 131–139.
- Рахманин Ю.А., Леванчук А.В. Качественная и количественная характеристика загрязнения окружающей среды продуктами эксплуатационного износа компонентов дорожно-автомобильного комплекса. *Успехи современной науки: международный научно-исследовательский журнал*. 2016; 1 (4): 158–162.
- Леванчук А.В. Гигиеническое прогнозирование загрязнения окружающей среды урбанизированной территории продуктами эксплуатационного износа дорожно-автомобильного комплекса. *Профилактическая и клиническая медицина*. 2015; 1(54): 15–21.
- Леванчук А.В., Копытенкова О.И., Башкетова Н.С. Количественная характеристика уровня загрязнения окружающей среды автомобильно-дорожным комплексом. В кн.: Рахманин Ю.А., ред. *Приоритеты профилактического здравоохранения в устойчивом развитии общества: состояние и пути решения проблем: материалы Пленума Научного совета по экологии и гигиене окружающей среды Российской Федерации*. М.; 2013: 209–211.
- Леванчук А.В. *Гигиеническое обоснование воздействия дорожно-автомобильного комплекса на атмосферный воздух жилой территории. Автореферат дис. ... доктора медицинских наук Сев.-Зап. гос. мед. ун-т им. И.И. Мечникова*. Санкт-Петербург, 2017.
- Леванчук А.В. Гигиеническая характеристика воздушной среды в зоне влияния дорожно-автомобильного комплекса. *Медицина и образование в Сибири*. 2015;(1): 5.
- Леванчук А.В. Загрязнение окружающей среды продуктами эксплуатационного износа автомобильных шин. *Технологии технической безопасности*. 2014; 56 (4): 32.
- Рахманин Ю.А., Леванчук А.В. Гигиеническая оценка атмосферного воздуха в районах с различной степенью развития дорожно-автомобильного комплекса. *Гигиена и санитария*. 2016; 95 (12):1117–1121.
- Горшкова И.А., Макарова О.Ю. Анализ загрязнения атмосферного воздуха выбросами автотранспортных средств в условиях сложившейся градостроительной ситуации в центральной части Санкт-Петербурга. *Интернет-журнал Науковедение*. 2014; 23 (4): 8.

## References

- Levanchuk A.V. Rationale for the development of information-analytical system technology, socio-hygienic monitoring. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2009; 11: 24–29. (in Russian)
- Kopytenkova O.I., Levanchuk A.V., Mingulova I.R., Tursunov Z.Sh. Directions justification of social and hygienic monitoring. In.: Rakhmanin Yu.A., ed. *Priorities of preventive health care in sustainable development of society: state and ways of solving problems: materials of the Plenum of the Scientific Council on ecology and environmental hygiene of the Russian Federation. [Prioritety profilakticheskogo zdavoohraneniya v ustojchivom razvitiy obshchestva: sostoyaniye i puti resheniya problem: materialy Plenuma Nauchnogo soveta po ehkologii i gigiyene okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii]*. M.; 2013: 184–187. (in Russian)
- Levanchuk A.V., Kopytenkova O.I. Hygienic characteristics of health risk of the population living on the territory of megacities along highways. In.: Rakhmanin Yu.A., ed. *Materials of the Plenum of the Scientific Council of the Russian Federation on human ecology and environmental hygiene (17-18 December 2015). [Materialy Plenuma Nauchnogo Soveta RF po ehkologii cheloveka i gigiyene okruzhayushchej sredy (17–18 dekabrja 2015.)]*. M.; 2015: 236–237. (in Russian)
- Rakhmanin Yu.A., Levanchuk A.V. Modern directions of improving the methodology of socio-hygienic monitoring of pollution associated with the operation of the road-car complex. In: *Proceedings of the*

- XI international Symposium «Human ecology and medicine-biological safety - danger of population». [Materialy XI Mezhdunarodnogo simpoziuma «Ehkologiya cheloveka i medika – biologicheskaya bezopasnost' naseleniya»]. Cyprus, Ayia-Naga; 2016: 1–3. (in Russian)*
5. Levanchuk A.V., Mingulova I.R., Kopytenkova O.I. Methodological approaches to the quantitative assessment of suspended substances entering the environment during the operation of the transport and road complex. *Nauchnye issledovaniya i ih prakticheskoe primeneniye. Sovremennoe sostoyaniye i puti razvitiya 2012: sbornik nauchnykh trudov SWorld..* Odessa; 2012; 1 (3): 66–74. (in Russian)
  6. Levanchuk A.V., Kopytenkova O.I. Methodological aspects of hygienic assessment of atmospheric air in areas with developed infrastructure. *Atmosfera.* 2010; 4: 19–21. (in Russian)
  7. Rakhmanin Yu.A., Levanchuk A.V. Hygienic assessment of atmospheric air in the areas with different degrees of the development of the road-traffic complex. *Gigiena i sanitariya.* 2016; 11: 1117-1121. (in Russian)
  8. Berlyand M.E., Genihovich E.L., Onikul R.I. Modelling of atmospheric pollution by emissions from low and cold sources. *Meteorologiya i gidrologiya.* 1990; 5: 5-16. (in Russian)
  9. Stalnaker D., Turner J., Parekh D., Whittle B., Norton R. Indoor simulation of tyre wear: some case studies. *Tyre Science and Technology.* 1996; 24: 94-118.
  10. Volkodaeva M.V., Poluehktova M.M. Assessment of air quality in the implementation of European requirements for limiting emissions of vehicles (for example, individual highways in St. Petersburg). *Informacionnyy byulleten': Voprosy ohrany atmosfery ot zagryazneniya.* 2005; 31 (1): 121-132. (in Russian)
  11. Volkodaeva M.V. Zone of influence of urban transport emissions. *Ehkologiya urbanizirovannykh territorij.* 2008; 4: 30-33. (in Russian)
  12. Bitukova V.R. Social and environmental problems of Russian cities development. [Social'no-ehkologicheskie problemy razvitiya gorodov Rossii]. M: Librokom; 2009. (in Russian)
  13. Ptyushkin A.N. Geoecological studies of chemical pollution of land allotment for the construction of the ring road around St. Petersburg. *Ehkologiya urbanizirovannykh territorij.* 2007; 3: 69-74. (in Russian)
  14. Kopytenkova O.I., Levanchuk A.V., Mingulova I.R. Hygienic characteristics of chemical pollution in the operation of transport-road complex. *Profilakticheskaya i klinicheskaya medicina.* 2012; 44 (3): 87-92. (in Russian)
  15. Levanchuk A.V., Kopytenkova O.I., Mingulova I.R., Geo-environmental measures to preserve the sanitary and epidemiological welfare of the population in the construction of transport and road complex of urban areas *Nauchnye issledovaniya i ih prakticheskoe primeneniye. Sovremennoe sostoyaniye i puti razvitiya 2013: sbornik nauchnykh trudov SWorld..* Odessa; 2013; 4: 92–102. (in Russian)
  16. Levanchuk A.V. Hygienic characteristics of environmental pollution products of operational wear of the brake system of cars. *Uspekhi sovremennoy nauki: mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal.* 2016; 3 (2): 82–85. (in Russian)
  17. Nosov V.P., Dzhaliylov M.F. Study of wear resistance of asphalt concrete. In: *Scientific and technical problems of the road industry of the CIS countries: collection of scientific works. [Nauchno-tekhnicheskie problemy dorozhnoy otrasli stran SNG: sbornik nauchnykh trudov].* M.: Mezhpripravitel'stvennyy sovet dorozhnikov; 2000: 131-139. (in Russian)
  18. Rakhmanin Yu.A., Levanchuk A.V. Qualitative and quantitative characteristics of environmental pollution by wear and tear products of road-car complex components. *Uspekhi sovremennoy nauki: mezhdunarodnyy nauchno-issledovatel'skiy zhurnal.* 2016; 1 (4) 158-162. (in Russian)
  19. Levanchuk A.V. Hygienic forecasting of the urban area at exploitation of the road-car complex. *Profilakticheskay i klinicheskaya medicina.* 2015; 54 (1): 15–21. (in Russian)
  20. Levanchuk, A.V., Kopytenkova O.I., Bashketova N.S. Quantitative characteristics of the level of environmental pollution of the road complex. In: Rakhmanin Yu.A., ed. *Priorities of preventive health care in sustainable development of society: state and ways of solving problems: materials of the Plenum of the Scientific Council on ecology and environmental hygiene of the Russian Federation. [Prioritety profilakticheskogo zdravoohraneniya v ustojchivom razvitii obshchestva: sostoyaniye i puti resheniya problem: materialy Plenuma Nauchnogo soveta po ehkologii i gigiene okruzhayushchej sredy Rossijskoj Federacii].* M.; 2013: 209-211. (in Russian)
  21. Levanchuk A.V. Gigienicheskoe obosnovaniye vozdeystviya dorozhno-avtomobil'nogo kompleksa na atmosferyy vozdukh zhiloy territorii. Avtoreferat dis. ... doktora medicinskih nauk. Sev.-Zap. gos. med. un-t im. I.I. Mechnikova. Sankt-Peterburg, 2017
  22. Levanchuk A.V. Gigienicheskaya harakteristika vozdushnoy sredy v zone vliyaniya dorozhno-avtomobil'nogo kompleksa. *Medicina i obrazovaniye v Sibiri.* 2015; (1): 5.
  23. Levanchuk A.V. Zagryazneniye okruzhayushchej sredy produktami ehkspluatatsionnogo iznosa avtomobil'nykh shin. *Tekhnologii tekhnosfernoj bezopasnosti.* 2014. 56 (4): 32.
  24. Rakhmanin YU.A., Levanchuk A.V. Gigienicheskaya ocenka atmosferynogo vozduha v rajonah s razlichnoy stepen'yu razvitiya dorozhno-avtomobil'nogo kompleksa. *Gigiena i sanitariya.* 2016; 95 (12): 1117-21.
  25. Gorshkova I.A., Makarova O.YU. Analiz zagryazneniya atmosferynogo vozduha vybrosami avtotransportnykh sredstv v usloviyah slozhivsheysya gradostroitel'noy situacii v central'noj chasti Sankt-Peterburga. *Internet-zhurnal Naukovedeniye.* 2014; 23 (4): 8.