

## СРАВНЕНИЕ МЕТОДИК РАСЧЕТА ВЫБРОСОВ ОТ АВТОТРАНСПОРТА И ИХ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ К СТРУКТУРИРОВАНИЮ АВТОПАРКА

О.В. Максимова<sup>1,2</sup>, В.А. Гинзбург<sup>1,3</sup>, В.М. Лытов<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБОУ «Институт глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля»,

г. Москва, Россия,

<sup>2</sup>НИТУ «МИСиС»,

г. Москва, Россия,

<sup>3</sup>Институт географии РАН,

г. Москва, Россия

### АННОТАЦИЯ

**Введение.** В исследовании приведены результаты расчета выбросов парниковых газов и загрязняющих твердых веществ парком автотранспортных средств на основании трех независимых оценок набора исходных данных о разбиении автопарка по технологическим классам (количества и типы автотранспортных средств разных экологических классов, годовых пробегов и т. д.). Так как эти данные не приводятся в формах государственной статистической отчетности и генерируются исследователями самостоятельно, решена задача определения их значимости для расчета итоговых выбросов в разрезе большого массива данных для территории России.

**Материалы и методы.** В работе предложено три различных подхода к расчету выбросов парниковых газов (базовый подход, уравнивание транспортной работы и новый подход – уравнивание потребления топлива) с целью выявления различий полученных объемов выбросов в разных условиях (т.е. определения количественных характеристик точности итоговых значений). Разработан новый способ оценки влияния средних пробегов и распределения автомобилей на классы на итоговые значения выбросов, реализованный в рамках каждого предложенного подхода. Помимо этого авторами сформированы формулы чувствительности двух типов для оценки влияния распределения автомобилей на классы и средних пробегов к итоговым расчетам выбросов. Применение этих формул позволяет проводить научный анализ и интерпретацию влияния формирующих факторов в экспертной оценке на итоговые значения выбросов каждого вида.

**Результаты.** Выявлены различия разбиения автомобилей на классы в экспертных оценках и определены наиболее близкие из них. Выведено, что наиболее чувствительными к изменению пробегов и класса автомобилей, от которых зависит расход топлива, являются выбросы CO<sub>2</sub>.

**Заключение.** Научный анализ чувствительностей обоих типов показал важность сохранения принципов, лежащих в основе экспертной оценки, от года к году с целью необходимости сопоставления получаемых результатов.

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** автомобильный транспорт, структура парка, экологический класс, годовой пробег, удельный расход топлива, выбросы парниковых газов.

**БЛАГОДАРНОСТИ.** Исследования выполнены за счет средств темы НИР Росгидромета № 3.3 «Развитие методов и технологий расчетного мониторинга антропогенных выбросов и абсорбции поглотителями парниковых газов и короткоживущих климатически-активных веществ», Гранта РФФИ № 18-05-60183/19 «Процессы и последствия дальнего атмосферного переноса черного углерода и радионуклидов в Арктике» и НИР по Плану Фундаментальных научных исследований государственных академий наук № 0148-2019-0009, АААА-А19-119022190173-2 «Изменения климата и их последствия для окружающей среды и жизнедеятельности населения на территории России». Также авторы выражают свою признательность рецензентам статьи.

Поступила 09.07.20, принята к публикации 23.10.2020.

Авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.

© Максимова О.В., Гинзбург В.А., Лытов В.М.



Контент доступен под лицензией  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

**Прозрачность финансовой деятельности: авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах. Конфликт интересов отсутствует.**

Для цитирования: Максимова О.В., Гинзбург В.А., Лытов В.М. Сравнение методик расчета выбросов от автотранспорта и их чувствительности к структурированию автопарка. *Вестник СибАДИ*. 2020; 17 (5): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-5-612-622>

DOI: <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-5-612-622>

## COMPARISON OF METHODS FOR VEHICLE EMISSIONS CALCULATION AND THEIR SENSITIVITY TO FLEET STRUCTURING

**O.V. Maksimova<sup>1,2</sup>, V.A. Ginzburg<sup>1,3</sup>, V.M. Lytov<sup>1</sup>**

<sup>1</sup> Yu. A. Izrael Institute of Global climate and ecology;  
Moscow, Russia,

<sup>2</sup> Moscow Institute of Steel and Alloys,  
Moscow, Russia,

<sup>3</sup> Institute of Geography, Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russia

### ABSTRACT

**Introduction.** The study presents the results of the calculation of greenhouse gas emissions and polluting solids by vehicles fleet on the basis of three independent estimates of the set of initial data on the breakdown of the fleet by technological classes (the number and types of vehicles of different ecological classes, annual mileage, etc.). Such data is not provided in the forms of state statistical reports and is generated by the researchers. The article solves the problem of determining their significance for calculating the total emissions in the context of a large data array for the territory of Russia.

**Materials and methods.** Three different versions to the calculation of greenhouse gas emissions (basic version, equalization of transport work and new approach - equalization of fuel consumption) are proposed in order to identify differences in the obtained emissions in different conditions (i.e., to determine quantitative characteristics of the accuracy of the final values). A new method has been developed for assessing the effect of average mileage and vehicle distribution on classes on the total emissions values, implemented within each proposed version. In addition, two types of sensitivity formulas are formed by the authors to assess the impact of vehicle distribution on classes and average mileage to final emission calculations. The use of these formulas provides scientific analysis and interpretation of the influence of the factors in expert review on the final values of the emissions of each type.

**Results.** The differences in sorting cars into classes in expert evaluations were revealed and the closest ones are determined. It was found that the most sensitive to changes in mileage and class of cars, on which fuel consumption depends, are CO<sub>2</sub> emissions.

**Conclusion.** The scientific sensitivity analysis of both types showed the importance of maintaining the principles underlying expert evaluation from year to year in order to ensure that the results obtained are consistent.

**KEYWORDS:** road transport, fleet structure, environmental class, annual mileage, specific fuel consumption, greenhouse gas emissions.

**Submitted 09.07.20, revised 23.10.2020.**

**The authors have read and approved the final manuscript.**

**Financial transparency: the authors have no financial interest in the presented materials or methods. There is no conflict of interest.**

For citation: Maksimova O.V., Ginzburg V.A., Lytov V.M. Comparison of methods for vehicle emissions calculation and their sensitivity to fleet structuring. *The Russian Automobile and Highway Industry Journal*. 2020; 17 (5): <https://doi.org/10.26518/2071-7296-2020-17-5-612-622>

© Maksimova O.V., Ginzburg V.A., Lytov V.M.



Content is available under the license  
Creative Commons Attribution 4.0 License.

## ВВЕДЕНИЕ

В России результаты оценки объемов и динамики выбросов парниковых газов транспортом представляются в Национальном докладе о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом [1]. Согласно положениям Руководящих принципов национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК [2], по которым разрабатывается Национальный кадастр России, транспорт относится к сфере энергетики, определяющей около 70% суммарных выбросов парниковых газов в стране.

В последние годы суммарный выброс парниковых газов от автотранспорта стабилизировался на уровне около 160 млн т CO<sub>2</sub> экв. в год, что составляет около 11% выбросов парниковых газов от всех видов деятельности, связанных со сжиганием топлива. В этих оценках учитываются выбросы при сжигании топлива только передвижными источниками, при этом выбросы парниковых газов стационарными источниками автомобильного транспорта могут достигать до 40–50% выбросов парниковых газов передвижными источниками [3, 4].

Выбросы твердых частиц от автотранспорта входят в перечень загрязняющих веществ, которые оцениваются с применением Руководства по инвентаризации выбросов ЕМЕП<sup>1</sup> и представляются в секретариат Конвенции о трансграничном атмосферном переносе загрязняющих веществ на большие расстояния. По данным последнего кадастра, в России [5] выбросы твердых веществ диаметром менее 2,5 мкм, в состав которых входит и черный углерод, составляли в 2017 г. 281 тыс. т, из которых на долю автотранспорта приходилось 31,5 тыс. т, а в 2014 г. выбросы от автотранспорта оценивались в 39,8 тыс. т. [6].

Оценка выбросов от автотранспорта осложняется отсутствием необходимых статистических данных и различными подходами в их расчете [7, 8]. Для проведения корректных оценок необходимо иметь детализированные исходные данные и учитывать влияние формирующих факторов на результаты их расчетов.

Целью данной работы является анализ и сравнение трех экспертных оценок (МАДИ, ИГКЭ, JGCRI) расчета выбросов парниковых газов парком автотранспортных средств (АТС) с позиции влияния формирующих факторов: средних пробегов и распределения автомобилей на классы. Исследование проводилось для каждого из двух основных подходов верификации и анализа исходных данных:

- первый подход основан на сравнении независимых экспертных оценок структурирования автопарка в их первоначальном виде (данный метод в работе называется базовым);
- второй подход основан на уравнивании исходных экспертных оценок с использованием единого критерия суммарной деятельности автопарка за год (в работе было выбрано два разных критерия уравнивания входящих показателей: уравнивание транспортной работы и уравнивание потребления топлива).

В дальнейшем это исследование будет способствовать стандартизации методики расчета выбросов загрязняющих веществ от автотранспорта.

## МЕТОДЫ И МАТЕРИАЛЫ

Расчет выбросов парниковых газов (ПГ) и твердых частиц проводился с использованием программного модуля COPERT-IV v.11.3<sup>2</sup>, реализующего методику Европейского агентства по охране окружающей среды<sup>1</sup>, рекомендуемую для использования на национальном уровне для инвентаризации выбросов парниковых газов от автомобильного транспорта. Данный подход соответствует второму уровню МГЭИК [2] для CO<sub>2</sub> и третьему уровню для CH<sub>4</sub> и N<sub>2</sub>O.

Эмиссии ПГ от автомобилей в программе COPERT-IV рассчитываются с учетом среднегодовых пробегов, средней скорости движения на городских, сельских дорогах и автомагистралях, типа, массы транспортного средства, объема двигателя, вида топлива. В качестве исходных данных используются удельные (на единицу пробега или единицу потребленного топлива) выбросы ПГ, которые зависят от года выпуска АТС и наличия средств подавления выбросов загрязняющих веществ.

<sup>1</sup> EEA: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook – 2013. European Environment Agency, Copenhagen, Denmark [Internet resource] <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013> (дата обращения: 11.10.2018).

<sup>2</sup> COPERT Versions [Электронный ресурс] – URL: <http://www.emisia.com/copert/> (дата обращения: 09.11.2018).

Для исследования влияния средних пробегов и класса автомобилей на суммарные расчеты выбросов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$ ,  $\text{PM}_{2.5}$  за 2014 г. в атмосферу от автопарка России произведены расчеты для трех экспертных оценок, сравнение которых в целом при каждом подходе (в базовом варианте, в условиях уравнированной транспортной работы и уравнированного потребления топлива) исследовалось авторами ранее [9]. В работе [9] показано, что расчет выбросов с помощью метода уравнивания потребления топлива показывает наилучшую сходимость как по средним показателям, так и по разбросам внутри и между всеми рассматриваемыми в работе экспертными оценками. Экспертные оценки:

1. МАДИ: при расчете выбросов ПГ автомобильным парком специалисты ориентируются на формулу №1-БДД [10] и учитывают изменение численности АТС в парке по виду топлива и экологическому классу на основании анализа динамики их поставок и выбытия из парка [11, 12, 13, 14].

2. ИГКЭ: использован при расчете выбросов ПГ парком АТС в национальном кадастре за период с 1990 по 2018 гг. [15], также ориентирован на формулу №1-БДД и учитывает результаты экспертных оценок и анализа актуальной информации и данных периодической печати об активно используемой доле автомобильного парка<sup>3</sup> [16].

3. JGCRI, USA: специалисты в своих работах [17, 18] используют данные по виду топлива и экологическому классу АТС, приведенные аналитическим агентством «Автостат» [19], и учитывают только численность «активно используемого парка АТС», а не весь списочный состав парка.

В базовом варианте исходные данные изменялись в соответствии с авторской оценкой, приведенной в каждом из трех выбранных подходов.

Так как данные об «активном парке» у авторов разные (за исключением экспертной оцен-

ки 1, в которой весь автопарк считается активным), то в варианте уравнированной транспортной работы величины среднегодовых пробегов соответствующих категорий АТС по экспертным оценкам 2 и 3 увеличивались пропорционально доле «активно используемых» АТС каждой категории и вида используемого топлива от списочной численности парка АТС. Под транспортной работой в данной статье понимается произведение численности автопарка и годовых пробегов в соответствующих группах АТС, которая определяется по формуле

$$T_p = \sum_j (M1_j \cdot l_{M1j} + N1_j \cdot l_{N1j} + N2_j \cdot l_{N2j} + N3_j \cdot l_{N3j} + M2_j \cdot l_{M2j} + M3_j \cdot l_{M3j}) \text{ ед}^* \text{км},$$

где  $M1$  – численность легковых АТС, ед.;  $N1$  – численность легких коммерческих АТС массой до 3,5 т, ед.;  $N2$  – численность грузовых АТС массой от 3,5–12 т, ед.;  $N3$  – численность грузовых АТС массой более 12 т, ед.;  $M2$  – численность автобусов массой до 5 т, ед.;  $M3$  – численность автобусов массой более 5 т, ед.;  $j$  – вид потребляемого топлива, бензин/дизельное топливо (ДТ);  $l$  – средний годовой пробег АТС каждой группы, км.

Следующий подход снижения неопределенностей оценок выбросов – соблюдение условия равного годового расхода топлива парком автотранспортных средств. Официальными и наиболее полными данными о потреблении топлива являются данные, ежегодно представляемые Росстатом, поэтому важно, чтобы конечное потребление топлива, полученное при всех расчетах, совпадало с данными статистики. Для этого была проведена корректировка средних пробегов каждого из технологических классов АТС. В результате применения такой корректировки отклонение полученных оценок годового потребления топлива для каждого из вариантов расчета от данных Росстата не превышало 1%.

<sup>3</sup> Статистика продаж новых автомобилей в России за 2006–2014 год [Интернет ресурс] <https://auto.vercity.ru/statistics/sales/europe/2010/russia/> (Дата последнего обращения 14.06.2018).

RAMR: Corporate truck fleet in Russia, Russian Automotive Market Research. Moscow [Internet resource] <http://www.napinfo.ru/page/id/10180> (Accessed: 21.05.2016).

Отчет Russian Automotive Market Research «Парк легковых автомобилей на 1.01.2017 г.» [Интернет ресурс] <http://www.napinfo.ru/articles/avtostatistika-analiz-avtomobilnogo-rynka-o-kompanii-avtomobilnyy-rynok-2> (Дата обращения 14.06.2018).

Avtostat: Vehicle fleet in Russia in 2014. Avtostat [Internet resource] <http://avtostat-info.com/Article/130> (Accessed: 18.02.2016; 2015 in Russian).



## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТОВ ВЫБРОСОВ

Изучим влияние распределения по классам автомобилей и средней величины пробега отдельно на величину каждого из видов выбросов в рамках каждого подхода для каждой экспертной оценки. Предложен метод перерасчета величины выбросов: нивелирование в первом случае влияния средних пробегов путем деления общей величины выбросов по каждому классу на средний пробег этого класса, а во втором случае нивелирование влияния классов автомобилей делением общей величины выбросов по каждому классу на число автомобилей этого класса. По полученным данным по каждому виду выбросов проведен одномерный дисперсионный анализ в пакете *Statistica 15* [20].

1. Влияние распределения автомобилей на классы (т.е. при нивелировании средних пробегов). Для выбросов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$  и  $\text{N}_2\text{O}$  расчеты, сделанные с помощью исходных данных, в экспертной оценке JGCR1 показали заниженные результаты по сравнению с исходными данными МАДИ и ИГКЭ при всех подходах (в базовом варианте, в условиях уравнированной транспортной работы и в условиях уравнированного расхода топлива).

При изучении влияния на расчетные значения выбросов  $\text{PM}_{2.5}$  выявлено нарушение предпосылок дисперсионного анализа. Ввиду этого использовался непараметрический ранговый критерий Краскела-Уоллиса (H-критерий), который для большого объема выборки показателен и предназначен для проверки равенства медиан нескольких групп [21]. Важным результатом его применения послужило выявление существенных различий в расчетах выбросов  $\text{PM}_{2.5}$ , которые продемонстрированы на рисунке при помощи диаграмм box-and-whiskers («ящик с усами») [22].

2. Влияние средних пробегов (т.е. нивелирование распределения автомобилей на классы). При изучении в методиках влияния пробегов на расчетные значения выбросов выявлено:

- при базовом методе сравнения различия оказались статистически значимы относительно расчетов всех выбросов на уровне 5%;
- в условии равной транспортной работы статистическая значимость наблюдается для выбросов  $\text{CO}_2$ ;

– в условиях равного расхода топлива статистическая значимость методик подтверждена для всех выбросов, кроме  $\text{CH}_4$ .

Таким образом, на расчетные значения различных экспертных оценок выбросов при разных подходах сравнения оказывает наибольшее влияние в первую очередь распределение автомобилей на классы. На расчетные значения лишь некоторых видов выбросов оказывают влияние также и величины средних пробегов, рассматриваемых в экспертных оценках.

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МЕТОДИКИ ИГКЭ РАСЧЕТА ВЫБРОСОВ К ИЗМЕНЕНИЯМ ФАКТОРОВ

Ранее авторами исследовано, что при разных подходах сравнения (базовый вариант, условия уравнированной транспортной работы, равный расход топлива) три экспертные оценки показали хорошее статистическое согласование [9]. Поэтому в рамках проведенного исследования для варианта ИГКЭ рассчитаем чувствительность к формирующим факторам: к классу автомобиля и величинам пробегов в 2018 г. по отношению к базовому 2014 г. [23, 24]. В работе предложена формула для расчета индексов чувствительности разных типов.

Индекс первого типа  $I_x$  показывает, как реагирует методика расчета определенного вида выброса на изменение выбранного фактора от базового к текущему году [25]. А именно как изменяется разность соответствующего выброса между текущим и базовым годами в ответ на однопроцентное увеличение этого вида выбросов как в текущий, так и в базовый годы:

$$I_x = \left( \frac{0,01 \cdot D_x + \sum D_i - (0,01 \cdot C_x + \sum C_i)}{0,01 \cdot C_x + \sum C_i} - \frac{\sum D_i - \sum C_i}{\sum C_i} \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где  $D_x$  суммарное значение выброса вида  $x$  в текущий год,  $C_x$  суммарное значение выброса вида  $x$  в базовый год,  $\sum D_i$  – сумма всех выбросов по транспорту в текущий год,  $\sum C_i$  – сумма всех выбросов по транспорту в базовый год. В работе произведены расчеты согласно формуле (1) по каждому виду выбросов  $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{N}_2\text{O}$  и  $\text{PM}_{2.5}$  в условиях нивелирования влияния средних пробегов и в условиях нивелирования влияния классов автомобилей. В каждом случае однопроцентное увеличение рассматриваемого вида выброса отражает соответствующее изменение входящего фактора в рамках нивелирования другого.

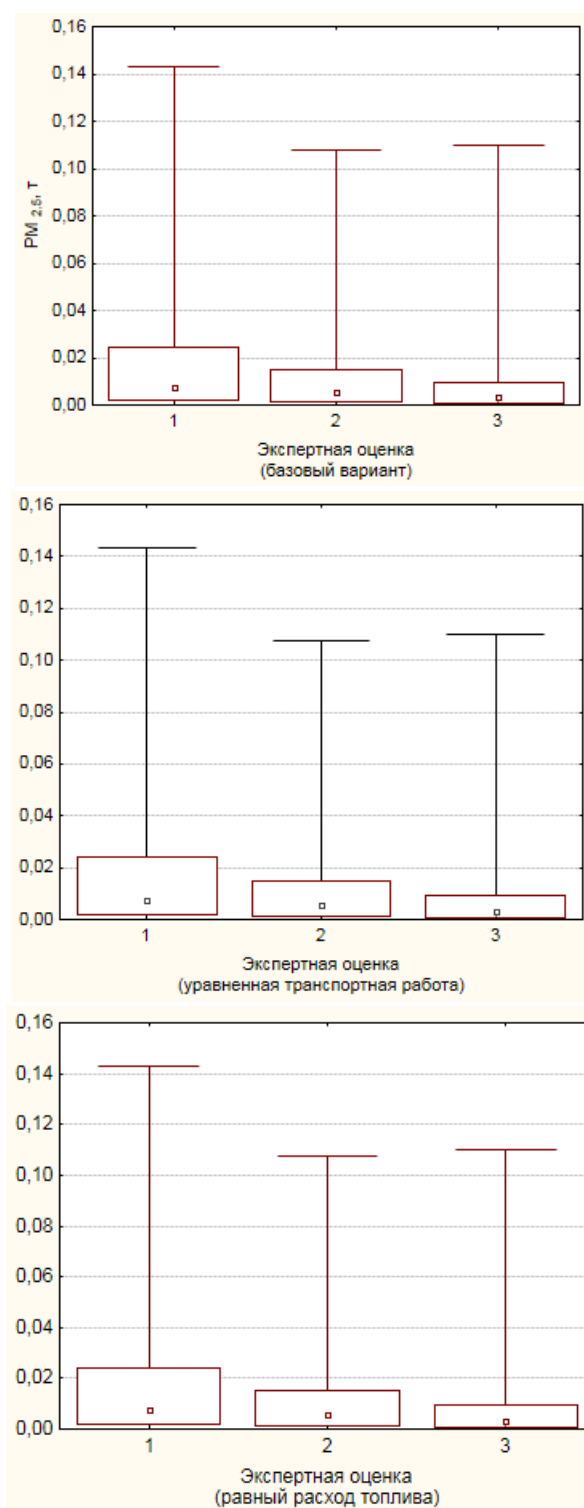


Рисунок 1 – Диаграмма box-and-whiskers для выбросов  $PM_{2.5}$  относительно каждой методики разбиения автомобилей на классы (1 – МАДИ, 2 – ИГКЭ, 3 – JGCRI): в базовом варианте, при уравненной транспортной работе, при равном расходе топлива

Figure 1 – The box-and-whiskers diagram for  $PM_{2.5}$  emissions relative to each methodology for dividing cars into classes (1 – MADI, 2 – IGCE, 3 – JGCRI): in the basic version, with equal transport work, with equal fuel consumption

Результаты расчетов представлены в таблице 1. Показатели  $I_x$  близки к нулю по всей таблице, что свидетельствует о низкой чувствительности методики к изменениям каждого из факторов по отдельности между базовым и текущим годами. Это говорит о том, что модели в 2014 и 2018 гг. имеют очень высокое качество верификации исходных данных.

Индекс второго типа  $J_x$  показывает, как реагирует методика расчета определенного вида выброса  $x$  на изменения выбранного фактора лишь в текущем году. А именно как изменяется разность соответствующего выброса  $x$  между текущим и базовым годами в ответ на

однопроцентное увеличение этого вида выброса в текущий год:

$$J_x = \left( \frac{0,01 \cdot D_x + \sum D_i - \sum C_i}{\sum C_i} - \frac{\sum D_i - \sum C_i}{\sum C_i} \right) \cdot 100\% = \frac{D_x}{\sum C_i} \quad (2)$$

где  $D_x$  суммарное значение выброса вида  $x$  в текущий год,  $C_x$  суммарное значение выброса вида  $x$  в базовый год,  $\sum D_i$  — сумма всех выбросов по транспорту в текущий год,  $\sum C_i$  — сумма всех выбросов по транспорту в базовый год [25]. Чувствительность  $J_x$  не коррелирует между базовым и текущим годом, т.е. она отражает чувствительность тенденции выбросов к случайным изменениям фактора в текущем году.

Таблица 1

Коэффициенты  $I_x$  чувствительности первого типа по двум категориям: влияние класса автомобиля и влияние средних пробегов модели ИГКЭ

Table 1

The coefficients  $I_x$  of the sensitivity of the first type in two categories: the influence of the car class and the influence of the average mileage of the IGCE model

| Вид выброса       | $I_x$<br>Влияние класса автомобиля, % | $I_x$<br>Влияние средних пробегов, % |
|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| CO <sub>2</sub>   | 0,00007                               | 0,00003                              |
| CH <sub>4</sub>   | 0,00006                               | 0,00001                              |
| N <sub>2</sub> O  | 0,00001                               | 0,00000                              |
| PM <sub>2.5</sub> | 0,00000                               | 0,00002                              |

Таблица 2

Коэффициенты  $J_x$  чувствительности второго типа по двум категориям: влияние класса автомобиля и влияние средних пробегов модели ИГКЭ

Table 2

The coefficients  $J_x$  of the sensitivity of the second type in two categories: the influence of the class of the car and the influence of the average mileage of the IGCE model

| Вид выброса       | $J_x$<br>Влияние класса автомобиля, % | $J_x$<br>Влияние средних пробегов, % |
|-------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|
| CO <sub>2</sub>   | 0,95733                               | 0,39871                              |
| CH <sub>4</sub>   | 0,00014                               | 0,00002                              |
| N <sub>2</sub> O  | 0,00002                               | 0,00001                              |
| PM <sub>2.5</sub> | 0,00010                               | 0,00008                              |

Результаты, представленные в таблице 2, свидетельствуют о том, что наиболее чувствительными являются выбросы  $\text{CO}_2$ . Это можно обосновать тем, что выбросы  $\text{CO}_2$  рассчитываются через расход топлива, который в свою очередь значительно зависит от пробега и класса автомобиля. При этом чувствительность к распределению автомобилей по классам и/или изменение их численности внутри класса по всем категориям выбросов выше, чем чувствительность к изменению средних пробегов. Происходит это в результате того, что корректировка средних пробегов основывается на данных топливно-энергетического баланса (ТЭБ) за соответствующий год. Также за последние 5–10 лет новые автомобили с современными двигателями классов евро 4 и евро 5 все активнее замещают старые автомобили классов евро 0–3, а рост среднегодовых пробегов автомобилей осуществляется с более низкой скоростью.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ И ВЫВОДЫ

При изучении влияния разбивки автомобилей на классы в условиях уравнированного расхода топлива выявлено статистически значимое отличие для выбросов  $\text{PM}_{2.5}$ . Это характеризует различия в подходе экспертных оценок разбивки автомобилей на классы, наиболее близкими из которых оказались первые две методики МАДИ и ИГКЭ. Исследование экспертной оценки ИГКЭ к изменению распределения автомобилей на классы подтвердило наибольшую чувствительность в отношении выбросов  $\text{CO}_2$ .

Приведенные в исследовании результаты на чувствительность второго типа (изменчивость по отношению к текущему году) свидетельствуют о важности сравнения экспертных оценок расчета выбросов в первую очередь по распределению автомобилей на классы. Это свидетельствует о необходимости ведения статистики по базам данных распределения автомобилей по экологическим классам от различных источников (база данных ГИБДД, автомобильные справочники, научно-технические отчеты и данные периодической печати) ввиду возможного рассогласования их результатов, прежде всего, по выбросам  $\text{CO}_2$ .

Отметим, что анализ чувствительностей как первого, так и второго типов в совокупности показал важность сохранения принципов, лежащих в основе экспертной оценки, от года к году с целью необходимости сопоставления получаемых результатов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2017 гг. Москва, 2019. С. 57–60.
2. Руководящие принципы национальных инвентаризаций парниковых газов МГЭИК, 2006 г. / под ред. С. Игглестона, Л. Буэндиа, К. Мива, Т. Нгара и К. Танабе // Программа МГЭИК по национальным кадастрам парниковых газов. 2006, Т.1-5.
3. Yu. Trofimenko, V. Komkov and V. Donchenko Problems and prospects of sustainable low carbon development of transport in Russia // International Conference on Sustainable Cities IOP Publishing. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 177 (2018) 012014. 11 p.
4. Кевеш А.Л., Сабельникова М.А., Агеева Л.И. Транспорт и связь в России 2016 // Статистический сборник. 2016. 47 с
5. ИДК, 2019. Информационный доклад о кадастре Российской Федерации. МПР, Москва. 2019.
6. Суринов А. Е., Баранов Е.Ф., Безбородова Т.С. Российский статистический ежегодник 2017 // Статистический сборник. 2017. 442 с.
7. Горяев Н.К., Бандурко С.О., Хабибуллодова Х.Х. Автомобильный транспорт: переход от нормирования расхода топлива к учету парниковых газов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Экономика и менеджмент». 2020. Т.14. №1. С. 175–179.
8. Потапченко Т.Д., Трофименко Ю.В. Верификация значений валовых выбросов парниковых газов автомобильным транспортом с помощью методов интеллектуального анализа данных // Материалы 5-ой Международной научно-практической конференции «Информационные технологии и инновации на транспорте». Орел, 2019. С. 276–283.
9. Максимова О.В, Лытов В.М., Гинзбург В.А. Сравнительный анализ методик расчета углеродного следа автотранспорта в России // Контроль качества продукции. 2020. № 7. С. 44–48.
10. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2013 гг. Москва, 2015. С. 57–60.
11. Трофименко Ю.В., Комков В.И., Григорьева Т.Ю. Прогноз численности и структуры автомобильного парка Российской Федерации по экологическому классу, типу энергоустановок и виду топлива на период до 2030 года // Экология и безопасность жизнедеятельности промышленно-транспортных комплексов. 2017.С. 20–24.
12. Трофименко Ю.В., Ефремов А.В., Фурсов С.Б. Упрощенная методика прогнозирования численности парка автотранспортных средств // Совершенствование автомобильных и тракторных двигателей. Сборник научных трудов. Москва. 1992. С. 27–32.



13. Григорьева Т.Ю., Трофименко Ю.В. Прогноз выбросов загрязняющих веществ в атмосферу автотранспортным комплексом Российской Федерации на период до 2030 года // Автотранспортное предприятие. 2009. № 3. С. 31-35.

14. Donchenko V., Kunin Y., Ruzski A., Mekhonoshin V., Barishev L., Trofimenko Y. Estimated atmospheric emission from motor transport in Moscow based on transport model of the city // Transportation Research Procedia. 2016. Pp. 2649-2658.

15. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990–2016 гг. М. 2018. С. 58–61.

16. Yan, F., Winijkul, E. Jung, S., Bond, T. C., and Streetsm D. G. Global emission projections of particulate matter (PM): I. Exhaust emission from on-road vehicles. Atmos. Environ., 2011.

17. Kholod N., Meredydd E., Kuklinski T. Russia's black carbon emissions: focus on diesel sources// Atmos. Chem. Phys. 2016. V. 16. Pp. 11267-11281.

18. Evans, M., Kholod, N., Malyshev, V., Tretyakova, S., Gusev, E., Yu, S., Barinov, A. Black Carbon Emissions from Russian Diesel Sources: Case Study of Murmansk. Atmos. Chem. Phys. Discuss., 15, 3257-3284, 2015.

19. Avtostat: Park of PC, LCV, HCV, BUS as of 01.01.2015 (Russia, Russian regions). Dataset, Avtostat. Togliatti. Russia. 2015.

20. Закс Л. Статистическое оценивание. Москва, Статистика. 1986. 360 с.

21. Тюрин Ю.Н. Непараметрические методы статистики. Москва, Знание. 1978. 64 с.

22. Тьюки, Дж. Анализ результатов наблюдений. Разведочный анализ. Москва, МИР, 1981. 694 с.

23. Трофименко Ю.В., Гинзбург В. А., Комков В. И., Лытов В. М. Влияние структуры парка автотранспортных средств по виду топлива и экологическому классу на выбросы парниковых газов // Вестник СибАДИ. Омск. 2018. Том 15. № 6. С. 898-910.

24. Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2018 гг. Москва, 2020. С. 58–61.

25. Воробьева Н.А., Дюкина Т.О. К вопросу применения индексного метода в экономике // Наука и мир. 2014. Т. 2. № 6(10). С. 70-74.

## REFERENCES

1. Nacional'nyj doklad o kadastrе antropogen-nyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitel'yami parnikovyh gazov, ne reguliruemyh Monreal'skim protokolom za 1990 – 2017 gg. [National report on the inventory of anthropogenic emissions by sources and by sinks removals of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for the 1990 – 2013 years]. Moscow, 2019, pp. 57-60.

2. Rukovodyashchie principy nacional'nyh inventarizacij parnikovyh gazov. Podgotovleny Programmoj MGEIK po nacional'nyj kadastram parnikovyh gazov. Pod red. S. Igglestona, L.Buendia, K.Miva, T.Ngara i K.Tanabe. T.1–5. IGES, Hajyama, 2006.

3. Yu Trofimenko, V Komkov and V Donchenko Problems and prospects of sustainable low carbon development of transport in Russia. *International Conference on Sustainable Cities IOP Publishing*. IOP Conf. Series: Earth and Environmental Science 177 (2018) 012014, 11 pp.

4. Kevesh A. L., Sabel'nikova M. A., Ageeva L. I. Transport i svjaz' v Rossii 2016 [Transport and communications in Russia, 2016]. Statisticheskij sbornik, 2016. 47 p.

5. IDK, 2019. *Informatsionnyj doklad o kadastrе Rossijskoj Federatsii*. MPR, Moskva, 2019.

6. Surinov A. E., Baranov E. F., Bezborodova T. S. Rossijskij statisticheskij ezhegodnik 2017, [Russian statistical yearbook]. Statisticheskij sbornik, 2017. 442 p.

7. Goryaev N.K., Bandurko S.O., Khabibullozoda Kh.Kh. Avtomobil'nyy transport: perekhod ot normirovaniya raskhoda topliva k uchetu parnikovyh gazov [Road transport: the transition from standardizing fuel consumption to accounting for greenhouse gas emissions]. Bulletin of the South Ural State University. Ser. Economics and Management, 2020; 14. 1: 175–179. (in Russian)

8. Potapchenko T.D., Trofimenko YU.V. Verifikatsiya znacheniy valovykh vybrosov parnikovyh gazov avtomobil'nyj transportom s pomoshch'yu metodov intellektual'nogo analiza dannykh [Verification of values of gross greenhouse gas emissions by automobile transport using data mining methods]. Materialy 5-oy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Informatsionnyye tekhnologii i innovatsii na transportе». Orel, 2019. 276-283. (in Russian)

9. Maksimova O.V, Lytov V.M., Ginzburg V.A. Sra- nitel'nyy analiz metodik rascheta uglerodnogo sleda avtotransporta v Rossii [Comparative analysis of methods for calculating the carbon footprint of vehicles in Russia]. *Kontrol' kachestva produktsii*. 2020;7: 44-48. (in Russian)

10. Nacional'nyj doklad o kadastrе antropogen-nyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitel'yami parnikovyh gazov, ne reguliruemyh Monreal'skim protokolom za 1990 – 2013 gg [National report on the inventory of anthropogenic emissions by sources and by sinks removals of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for the 1990 – 2013 years]. Moscow, 2015. 57-60.

11. Trofimenko YU.V., Komkov V.I., Grigor'eva T.YU. Prognoz chislennosti i struktury avtomobil'nogo parka Rossijskoj Federatsii po ekologicheskomu klas- su, tipu energoustanovok i vidu topliva na period do 2030 goda / [Forecast of the number and structure of the car park of the Russian Federation by ecological class, type of power plants and type of fuel for the period up to 2030]. *Ekologiya i bezopasnost' zhizned-*

eyatel'nosti promyshlennno-transportnyh kompleksov. 2017. 20-24. (in Russian)

12. Trofimenko YU.V., Efremov A.V., Fursov S.B. Uproshchennaya metodika pro-gnozirovaniya chislennosti parka avtotransportnyh sredstv. [Simplified methodology for predicting the size of the vehicle fleet]. *Sovershenstvovaniye avtomobil'nykh i traktornykh dvigateley*. Moscow, 1992. 27-32. (in Russian)

13. Grigor'eva T.Ju., Trofimenko Ju.V. Prognoz vybrosov zagryaznyayushchikh veshchestv v atmosferu avtotransportnym kompleksom Rossiyskoy Federatsii na period do 2030 goda [Forecast of emissions of pollutants into the atmosphere by the autotransport complex of the Russian Federation for the period up to 2030]. *Avtotransportnoe predpriyatie*, 2009; 3: 31-35. (in Russian)

14. Donchenko V., Kunin Y., Ruzski A., Mekhonoshin V., Barishev L., Trofimenko Y. Estimated atmospheric emission from motor transport in Moscow based on transport model of the city. *Transportation Research Procedia*, 2016. 2649-2658.

15. Nacional'nyj doklad o kadastre antropogen-nyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotiteljami parnikovyyh gazov, ne reguliruemyyh Monreal'skim protokolom za 1990 – 2016 gg [National report on the inventory of anthropogenic emissions by sources and removals by sinks of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for the years 1990 – 2016]. Moscow, 2018. 58-61.

16. Yan, F., Winijkul, E. Jung, S., Bond, T. C., and Streetsm D. G. Global emission projections of particulate matter (PM): I. Exhaust emission from on-road vehicles. *Atmos. Environ.*, 2011.

17. Kholod N., Meredydd E., Kuklinski T. Russia's black carbon emissions: focus on diesel sources. *Atmos. Chem. Phys.* 2016; 16: 11267-11281.

17. Kholod N., Meredydd E., Kuklinski T. Russia's black carbon emissions: focus on diesel sources// *Atmos. Chem. Phys.* 2016. V. 16. Pp. 11267-11281.

18. Evans, M., Kholod, N., Malyshev, V., Tretyakova, S., Gusev, E., Yu, S., Barinov, A. Black Carbon Emissions from Russian Diesel Sources: Case Study of Murmansk. *Atmos. Chem. Phys. Discuss.*, 15, 3257-3284, 2015.

19. Avtostat: Park of PC, LCV, HCV, BUS as of 01.01.2015 (Russia, Russian regions). Dataset, Avtostat, Togliatti, Russia, 2015.

20. Zaks L. Statisticheskoye otsenivaniye [Statistical estimation] Moscow, Statistika, 1986, 360 p.

21. Tyurin YU.N. *Neparametricheskie metody statistiki* [Nonparametric methods of statistics]. Moscow, Znaniye, 1978. 64 p.

22. T'yuki, Dzh. *Analiz rezul'tatov nablyudenij. Razvedochnyj analiz* [Analysis of observation results. Exploratory analysis]. Moscow, MIR, 1981. 694 p.

23. Trofimenko YU.V., Ginzburg V. A., Komkov V. I., Lytov V. M. Vliyaniye struktury parka avtotransportnyh sredstv po vidu topliva i ekologicheskoyu klassu na vybrosy parnikovyyh gazov [Influence of the structure of the vehicle fleet by fuel type and environmental class on greenhouse gas emissions]. *Vestnik SibADI*, 2018; 15 (6): 898-910. (in Russian)

24. Nacional'nyj doklad o kadaastre antropogen-nyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotiteljami parnikovyyh gazov, ne reguliruemyyh Monreal'skim protokolom za 1990 – 2018 gg [National report on the inventory of anthropogenic emissions by sources and by sinks removals of greenhouse gases not controlled by the Montreal Protocol for the 1990 – 2018 years]. Moscow, 2020. 58-61.

25. Vorob'yeva N.A., Dyukina T.O. K voprosu primeneniya indeksanogo metoda v ekonomike [On the issue of applying the index method in the economy]. *Nauka i mir*, 2014; 2. 6 (10): 70-74. (in Russian)

## ВКЛАД СОАВТОРОВ

Максимова О.В. – разработка концепции сравнительного анализа, проведения расчетов и сравнительного анализа.

Гинзбург В.А. – формирование научных подходов к сравнению методик, постановка исследования, оценка достоверности результатов.

Лытов В.М. – разработка подходов ИГКЭ к структурированию автопарка, проведение расчетов по программе COPERT-IV.

## AUTHORS CONTRIBUTION

Olga V. Maksimova – development of the comparative analysis concept, calculations and comparative analysis.

Veronika A. Ginzburg – formation of scientific approaches to the comparison of methods, study statement, assessment of the results reliability.

Vladislav M. Lytov – development of the IGCE approaches to structuring the fleet, making calculations according to the Copert-IV program.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Максимова Ольга Владимировна – канд. техн. наук, ORCID id – 0000-0002-0569-8650, Scopus Author ID – 57201281760, ResearcherID – AAB-8632-2020, ведущий научный сотрудник, ФГБУ «Институт Глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля», (107058, Москва, Глебовская ул., 20Б), доц. кафедры математики, ФГБУ «МИСиС», (119049, Москва, Ленинский пр-кт, 4), e-mail: o-maksimova@yandex.ru).

Гинзбург Вероника Александровна – канд. геогр. наук, ORCID id – 0000-0002-2082-5259, Scopus Author ID – 25723084200, ResearcherID – V-5071-2017, заведующая отделом, ФГБУ «Институт Глобального климата и экологии имени академика Ю.А. Израэля», (107058, Москва, Глебовская ул., 20Б), старший научный сотрудник, Институт географии РАН, (119017, Москва, Старомонетный переулок, 29), e-mail: veronika.ginzburg@gmail.com).

Лытов Владислав Михайлович – научный сотрудник, ФГБУ «Институт Глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля», ORCID id- 0000-0002-4779- 8916, Researcher ID- S-4856-2018, (107058, Москва, Глебовская ул., 20Б, e-mail: vladislav.lytoff@yandex.ru).

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

*Olga V. Maksimova – Cand. of Sci., Leading Scientific Researcher, Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, ORCID id - 0000-0002-0569-8650, Scopus Author ID – 57201281760, ResearcherID – AAB-8632-2020, (107058, Moscow, Russia, 20 B, Glebovskaya St.), Associate Professor, Mathematics Department, Moscow Institute of Steel and Alloys, (119049, Moscow, Leninsky Prospekt 4, .e-mail: o-maximova@yandex.ru).*

*Veronika A. Ginzburg – Cand. of Sci., Head of Department, Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and*

*Ecology, ORCID ID: 0000-0002-2082-5259, Scopus Author ID: 25723084200, Researcher ID: V-5071-2017, (107058, Moscow, Russia, 20 B, Glebovskaya St.), Senior Research Assistant, Institute of Geography, Russian Academy of Sciences, (119017, Moscow, Russia, 29, Staromonetny Lane, e-mail: veronika.ginzburg@gmail.com).*

*Vladislav M. Lytov – Scientific Researcher, Yu.A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology, ORCID ID: 0000-0002-4779-8916, Researcher ID: S-4856-2018 (107058, Moscow, Russia, 20 B, Glebovskaya St., e-mail: vladislav.lytoff@yandex.ru).*