

ОБЗОР ОСНОВНЫХ МЕТОДИК ОЦЕНКИ ВЫБРОСОВ ЧЕРНОГО УГЛЕРОДА ОТ АВТОМОБИЛЬНОГО ТРАНСПОРТА

*В.М. Лытов**

Институт глобального климата и экологии имени академика Ю. А. Израэля,
Россия, 107258, г. Москва, ул. Глебовская, 20Б;
*адрес для переписки: vladislav.lytoff@gmail.com

Реферат. Черный углерод пока не является объектом мониторинга в России (как по выбросам, так и по присутствию в атмосфере и выпадению на подстилающую поверхность) и не входит в число газов, подлежащих контролю в Национальном докладе о кадастре антропогенных выбросов. Поэтому в настоящее время отсутствует и единая национальная общепринятая методика расчетов выбросов черного углерода от автомобильного транспорта, что ставит перед исследователями вопросы применения международных методик. В качестве первого шага на пути решения данной проблемы в статье представлены результаты сравнения двух методик – ЕМЕП/CORINAIR (Европейская Программа Мониторинга / Руководство по инвентаризации выбросов в атмосферу) и рекомендательной методики комиссии по экологическому сотрудничеству стран Северной Америки и выполнена пилотная инвентаризация выбросов черного углерода от автомобильного транспорта на территории Российской Федерации. В работе приведены данные распределения выбросов черного углерода по типам автомобилей и топливу, выполнено сравнение качества и стандартов на топливо в России и других странах, а также обоснована необходимость проведения инвентаризации выбросов черного углерода на территории Российской Федерации и даны рекомендации по ее осуществлению.

Ключевые слова. Автомобильный транспорт, черный углерод, структура парка, методика, инвентаризация, обзор.

Введение

В последние годы усилился интерес к короткоживущим климатически активным веществам антропогенного происхождения, чье воздействие на радиационный режим и на климат значительно, но их время пребывания в атмосфере существенно короче, чем у парниковых газов (недели, месяцы или годы), поэтому сокращение объема выбросов этих веществ может сказаться на их содержании в атмосфере сравнительно быстро. Одним из таких веществ является черный углерод (ЧУ). *Черный углерод* (black carbon) – твердые частицы, в основном состоящие из чистого углерода, которые поглощают солнечную радиацию во всех длинах волн (U.S. EPA, 2012).

По модельным оценкам (Shindell, Faluvegi, 2009) среднее «время жизни» черного углерода колеблется в различных регионах и в разные сезоны от трех до восьми дней, его наибольшие концентрации наблюдаются вблизи источни-

ков выбросов. Транспорт является одним из существенных источников выбросов черного углерода. Специфика передвижных источников загрязнения (автотранспорта) проявляется в их низком расположении (на уровне дыхания детей) и присутствии на территориях, расположенных в непосредственной близости к жилым районам. Являясь компонентом взвешенных частиц диаметром не более 2,5 мкм (PM_{2.5}), черный углерод оказывает «отрицательное влияние на здоровье людей, экосистемы и атмосферную видимость». Кратковременное и долговременное воздействие взвешенных частиц PM_{2.5} приводит к возникновению респираторных и сердечно-сосудистых заболеваний, а также к преждевременной смерти (Всемирный фонд дикой природы, 2012).

Черный углерод вносит заметный вклад в антропогенные климатические изменения, в особенности в Арктике. Находясь в воздухе, ЧУ поглощает солнечную энергию и излучает инфракрасную радиацию. Оседая на светлые поверхности (снег, лед), он увеличивает поглощение солнечной радиации, что приводит к удержанию тепла в атмосфере и, в итоге, способствует ускорению таяния арктического снега и льда. В работе Winiger et al. (2017) были оценены выбросы черного углерода по модельным расчетам, которые показали, что основными его источниками в российской части Арктики являются выхлопы транспортных средств. На их долю приходится 38% всех выбросов черного углерода на российском Севере. При этом 35% выбросов ЧУ связана с работой отопительных систем (печи и пр.) жилых помещений; лесные пожары, электростанции и сжигание газа приносят 12%, 9% и 6% выбросов черного углерода соответственно. Очевидно, сокращение выбросов чёрного углерода является одной из важнейших задач в борьбе с изменением климата (особенно в Арктике), а также защиты людей от их вредного воздействия на здоровье.

Основной проблемой для определения оценки эффективности мероприятий по сокращению выбросов черного углерода от транспорта является отсутствие в настоящий момент единой общепринятой методики расчетов выбросов. Целью данной работы было определение наиболее подходящей методики расчетов выбросов черного углерода для условий российского парка автотранспортных средств, и проведение пилотной инвентаризации выбросов черного углерода на территории России от автомобильного транспорта.

Материалы и методы расчетов

Как уже отмечалось выше, черный углерод является компонентом твердых частиц диаметром 2.5 микрон и менее (PM_{2.5}). Существует несколько методик инвентаризации выбросов ПГ и загрязняющих веществ от автомобильного транспорта (в том числе российских и зарубежных), в которых рассматриваются выбросы твердых взвешенных частиц и/или сажи, но в большинстве их нет данных о содержании черного углерода в этих примесях. В данной работе рассмотрены две методики для расчета выбросов черного углерода – это методика EMEP/CORINAIR (Европейская Программа Мониторинга и Оценки Воздуха)

торинга/ Руководство по инвентаризации выбросов в атмосферу) и рекомендательная методика комиссии по экологическому сотрудничеству стран Северной Америки, а также оценена возможность их применения для дальнейшей инвентаризации выбросов черного углерода на территории РФ.

Методика ЕМЕП/CORINAIR

По методике ЕМЕП/CORINAIR (ЕЕА: ЕМЕП/ЕЕА..., 2013) инвентаризация выбросов черного углерода может проводиться на трех уровнях сложности и полноты данных. Расчет черного углерода по данной методике осуществляется в 2 этапа: 1 этап заключается в расчете выбросов твердых частиц, на 2 этапе необходимо «выделить» черный углерод из твердых частиц. В данной работе на основе представленного в методике ЕМЕП/CORINAIR алгоритма были оценены коэффициенты выброса черного углерода для различных категорий автотранспортных средств и видов топлива. Это сделано для корректного сравнения коэффициентов, рассчитанных по различным методикам.

Первый уровень. Расчет для данного уровня рассматривает потребление топлива, как показатель транспортной деятельности в сочетании со средними коэффициентами выбросов в зависимости от используемого топлива:

$$\text{Выбросы} = \sum_j \left(\sum_m [FC_{j,m} \cdot EF_{j,m}] \right), \quad (1)$$

где: Выбросы – выбросы черного углерода (тонн); $FC_{j,m}$ – потребление топлива транспортным средством категории j , использующего топливо m , тыс. тонн; $EF_{j,m}$ – коэффициент выброса черного углерода, зависящий от потребления топлива транспортным средством категории j и m -го топлива тонн черного углерода/тыс. тонн топлива.

Коэффициенты выбросов черного углерода для 1 уровня, оцененные по методике ЕМЕП/CORINAIR представлены в табл. 1.

Таблица 1. Коэффициенты выбросов черного углерода для 1 уровня методики ЕМЕП/CORINAIR, тонн ЧУ/ тыс. тонн топлива

Тип топлива	Коэффициент выбросов ЧУ
Бензин	0.0036
Дизель	0.65

Второй уровень. На основе данных по уровню активности с возможным выделением классов и подклассов установок вводятся специфичные для отдельных стран коэффициенты выбросов в зависимости от свойств топлива, технологий сжигания и нейтрализации выбросов. Так как в России нет национальных коэффициентов выбросов для черного углерода, расчет выбросов черного углерода по 2 уровню нельзя произвести.

Третий уровень. Выбросы оцениваются как сумма горячих выбросов (т.е. двигатель находится при нормальной рабочей температуре) и выбросов

работы двигателя во время переходного теплового режима при холодном запуске. Расчет по Уровню 3 проводится по уравнению (2):

$$\text{Выбросы} = \sum_{a, b, c, d} [\text{Расстояние}_{a, b, c, d} \cdot EF_{a, b, c, d}] + \sum_{a, b, c, d} C_{a, b, c, d}, \quad (2)$$

где: Выбросы – выброс твердых частиц (PM_{2.5}) (кг); $EF_{a,b,c,d}$ – коэффициент выбросов (кг/км) специфичен для 241 типов транспортных средств; Расстояние_{a,b,c,d} – пройденное расстояние при термически стабильной фазе работы двигателя для данной деятельности мобильного источника (км); C – выбросы в фазе разогрева (холодный пуск) (кг); a – вид топлива (например, дизтопливо, бензин, природный газ, LPG); b – вид транспортного средства; c – технология борьбы с выбросами (например, неконтролируемая, каталитический конвертер и т.д.); d – условия эксплуатации (например, городские или сельские дороги, климат и прочие характеристики окружающей среды).

Методика ЕМЕП/CORINAIR реализована в виде компьютерной программы COPERT-4 (COmputer Programs to Calculate Emission from Road Transport) (Emisia: COPERT, 2012), в основе которой лежат принципы «Руководства по инвентаризации выбросов загрязняющих веществ». Программа COPERT-4 с 2015 года применяется в РФ в Национальном кадастре антропогенных выбросов парниковых газов (НДК, 2020) для оценки эмиссии ПГ от парка автотранспортных средств (АТС).

В табл. 2 приводятся рассчитанные коэффициенты выбросов черного углерода. Данные, применяемые в модели COPERT-4, получены при измерениях в тоннелях, на трассах и из динамометрических исследований, и могут быть использованы для оценок выбросов черного углерода для различных категорий транспортных средств (по экологическому классу). Так как на выбросы влияют различные технологии, использующиеся в транспортных средствах (например, окислительный нейтрализатор, фильтр твердых частиц) и их техническое состояние, то состав выбросов твердых частиц может иметь высокую степень неопределенности (Ntziachristos et al., 2007).

Выбросы ЧУ от автомобилей рассчитываются по методике ЕМЕП/CORINAIR в программе COPERT-4 с учетом среднегодовых пробегов, средней скорости движения на городских, сельских дорогах и автомагистралях, типа, массы транспортного средства, объема двигателя, вида топлива. Исходными данными являются численность парка АТС разных типов, структуры парка по экологическому классу и виду топлива, а также климатические характеристики региона. Также в качестве исходных данных используются удельные (на единицу пробега) выбросы ЧУ, которые зависят от года выпуска АТС и наличия средств подавления выбросов загрязняющих веществ. Для расчетов выбросов ЧУ необходимо иметь все выше перечисленные данные и правильно их структурировать.

Таблица 2. Коэффициенты выбросов черного углерода (по методике ЕМЕР/CORINAIR, езда по городским дорогам)

Категория ТС	Стандарт Евро	Черный углерод, грамм/километр
Легковые автомобили и транспортные средства малой грузоподъемности на бензине (менее 7.5 тонн)	Euro 0	0.0009
	Euro 1	0.00075
	Euro 2	0.00075
	Euro 3	0.00015
	Euro 4	0.00015
	Euro 5	0.00015
	Euro 6	0.00015
Легковые автомобили и транспортные средства малой грузоподъемности на дизеле (менее 7.5 тонн)	Euro 0	0.08415
	Euro 1	0.0322
	Euro 2	0.0296
	Euro 3	0.0221
	Euro 4	0.02436
	Euro 5	0.0004
	Euro 6	0.0004
Дизельные транспортные средства большой грузоподъемности (20-26 тонн)	Euro 0	0.1935
	Euro 1	0.195
	Euro 2	0.08905
	Euro 3	0.1078
	Euro 4	0.02625
	Euro 5	0.033
	Euro 6	0.0006

Рекомендательная методика комиссии по экологическому сотрудничеству стран Северной Америки (North American Black Carbon Emissions Estimation Guidelines: Recommended Methods for Estimating Black Carbon Emissions)

Эта методика была разработана комиссией по экологическому сотрудничеству стран Северной Америки (The Commission for Environmental Cooperation, СЕС) и носит рекомендательный характер для оценки выбросов черного углерода на территории Канады, Мексики и Америки (СЕС, 2015). Методика СЕС была адаптирована для данных стран с целью улучшения международных сравнений и оценок для снижения выбросов черного углерода. Данная методика также предлагает восходящий принцип оценки выбросов черного углерода по 3 уровням с разделением на методы и источники данных, а также следует форматам, используемым Международной группой экспертов по изменению климата (МГЭИК) и принятым в европейском опыте (ЕМЕР/CORINAIR). Согласно СЕС транспортный сектор подразделяется на 5 категорий, одной из которых является дорожный транспорт, включающий легковые, легкие грузовые и грузовые автомобили, автобусы и мотоциклы. В число мобильных источников входят

автомобильные транспортные средства, используемые для личного и пассажирского транспорта, муниципальных услуг, перевозки товаров и коммерческих услуг. Все это говорит о более развитой и полной системе сбора информации и статистики о количестве АТС. По данной методике можно рассчитать выбросы черного углерода только по 1 уровню, представленному уравнением (3), а входящие уровни расчета 2 и 3 приводятся только в закрытых источниках информации и транспортных моделях:

$$E_{BC} = \sum_i (Q_i \cdot EF_{i,EC}), \quad (3)$$

где: E_{BC} – выбросы черного углерода по виду потребляемого топлива (бензин, газ, дизельное топливо) грамм; Q_i – количество топлива типа «i» (галлон); $EF_{i,EC}$ коэффициент выброса черного углерода для каждого вида топлива «i» (грамм/галлон).

Так как данная методика разрабатывалась для трех стран Канады, Мексики, США, то и коэффициенты выбросов будут отличаться друг от друга. Коэффициенты выбросов для черного углерода для уровня 1 были переведены в метрическую систему измерений и представлены в табл. 3. Перевод галлонов в метрическую систему измерений (грамм) для каждого вида топлива был выполнен исходя из того, что плотность бензина 750 кг/м^3 , дизеля – 840 кг/м^3 .

Таблица 3. Коэффициенты выбросов ЧУ (СЕС, 2015), адаптированные для применения в расчетах выбросов от автотранспортных средств в РФ, тонн черного углерода/тыс. тонн топлива

Вид топлива	Источник выбросов	Коэффициент выбросов
Дизель	Все дизельные автомобили (Канада и США)	0.39
Бензин	Все бензиновые автомобили (Канада и США)	0.014
Дизель	Все дизельные автомобили (Мексика)	0.83
Бензин	Все бензиновые автомобили (Мексика)	0.021

Одним из преимуществ данной методики является представление коэффициентов выбросов черного углерода для автомобилей на природном газе (но в данной работе расчеты выбросов от этих типов автомобилей не приводятся). К главному недостатку относится то, что выбросы ЧУ можно рассчитать только по 1 уровню, а значит и уровень неопределенности и погрешности итоговых расчетов будет довольно высоким.

Промежуточные результаты. Сравнение методик расчета

Для расчетов выбросов черного углерода по 1 уровню рассмотренных методик были использованы данные официальной статистики (Росстата) о

суммарном годовом потреблении топлива автотранспортом. Расчет был выполнен с помощью уравнений 1 и 3, а также коэффициентов выбросов, представленных в табл. 1 и 3. В 2018 году было потреблено 34 078 492 тонн бензина и 15 421 456 тонн дизельного топлива (НДК, 2020).

Отдельно стоит выделить расчет по 3 уровню при помощи программы COPERT-4. Данный подход позволяет представить выбросы черного углерода по разным классам автомобилей. В качестве исходных данных для анализа структуры автопарка была взята форма ежегодной статистической отчетности ГИБДД (1-БДД) за 2018 год, которая содержит информацию по количеству автотранспортных средств и прицепов к ним, стоящих на учете за предыдущий год. Данные автомобильного парка структурированы в соответствии с Национальным кадастром антропогенных выбросов парниковых газов, (НДК, 2020).

Подход для расчета выбросов черного углерода был усовершенствован благодаря использованию нового способа анализа и обработки исходных данных. Настройка исходных данных (пробегов) производилась путем сравнения потребленного топлива, полученного с помощью расчетной модели (COPERT-4), и данных Росстата. Так как данные Росстата являются официальными и наиболее показательными, важно, чтобы конечное потребление топлива, полученное при расчетах, совпадало с данными статистики. Далее, пробеги корректировались в необходимой пропорции. В результате новые данные по потребляемому топливу отличались от данных Росстата меньше, чем на 1 процент. Соответственно и выбросы принимались по данному сценарию. Итоговые результаты расчетов выбросов черного углерода, полученные с помощью методик ЕМЕП/CORINAIR и СЕС, представлены в табл. 4.

Таблица 4. Сравнение результатов расчета выброса черного углерода в России в 2018 году с помощью разных методик, тонн

Методика	Тип топлива	Выбросы ЧУ, тонн/год
ЕМЕП\CORINAIR (1 уровень)	бензин	122.7
	дизель	10059.4
ЕМЕП\CORINAIR (3 уровень) \ COPERT-4	бензин	1210
	дизель	8115
СЕС, 2015 (коэффициенты для Канады и США)	бензин	494.1
	дизель	5938.2
СЕС, 2015 (коэффициенты для Мексики)	бензин	721.4
	дизель	12770.5

Обоснование выбора методики расчета выбросов черного углерода для территории России

Физико-химический состав топлива очень сильно влияет на значение коэффициентов выбросов черного углерода, метана и других загрязняющих веществ, т.е. на расчеты их эмиссии в атмосферу. Из-за отсутствия в настоя-

ший момент национальных коэффициентов выбросов черного углерода в России, возникает необходимость использования коэффициентов выбросов других стран, применимых для наших условий. Наиболее доступным способом является сравнение стандартов топлива, действующих в нашей стране, со стандартами других стран, в которых имеются свои национальные коэффициенты.

Токсичные вещества, содержащиеся в отработавших газах дизелей, являются в основном продуктами сгорания сжигаемых в камере сгорания видов топлива, поэтому токсичность отработавших газов зависит от качества применяемого топлива. Причем в зависимости от происхождения нефти и технологии ее переработки, состав товарных видов дизельного топлива, следовательно, их физико-химические свойства будут различны. Это приводит к отличиям экологических показателей дизелей, работающих на штатных видах дизельного топлива.

На данный момент в России действует 2 стандарта на дизельное топливо (ТР ТС 013/2011; ГОСТ 32511-2013). В техническом регламенте таможенного союза дизельное топливо экологического класса Евро-5 соответствует принятому в Евросоюзе стандарту EN 590 (Евро-5 в Евросоюзе), но некоторые важные параметры российским стандартом не регламентируются (зольность, содержание воды, коксуемость 10%-го остатка). В ГОСТе 32511-2013 все параметры соответствуют Европейскому регламенту. В табл. 5 представлены основные характеристики и спецификации дизельного топлива для стран США, Мексики, Европы и России (ТР ТС 013/2011), актуальные для приведенных выше коэффициентов выбросов.

Таблица 5. Основные характеристики и спецификации дизельного топлива в разных странах

	США	Мексика	Европа	Россия
Содержание серы, ppm, не более %	Не более 15	Не более 15/500	Не более 10	Не более 10
Цетановый индекс, не менее	Не менее 40	Не менее 48	Не менее 51	Не менее 51/47
Смазывающая способность, не более (мкм)	Не регламентируется	Не регламентируется	Не более 460	Не более 460
Массовая доля полициклических ароматических углеводородов, %, не более	Не более 27%	Не более 30%	Не более 8%	Не более 8%
Зольность	Не регламентируется	Не более 0.01% веса	Не более 0.01% веса	Не регламентируется
Содержание воды	Не регламентируется	Не более 0.05% от массовой доли	Не более 200 мг/кг	Не регламентируется

Для России наиболее подходящим коэффициентом выброса является коэффициент, используемый в методике ЕМЕП/CORINAIR, так как с 1 июля 2016 года в РФ в соответствии с Техническим регламент Таможенного союза ТР ТС 013/2011 «О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту» запрещена реализация топлива класса ниже Евро-5, что соответствует качеству топлива в Европе. Использование третьего уровня методики ЕМЕП/CORINAIR (программа COPERT-4) позволяет получить результаты выбросов по категориям транспортных средств. Именно поэтому методика ЕМЕП/CORINAIR является наиболее удачной для использования в Российской Федерации.

Итоговые результаты инвентаризации

Результаты расчетов, проведенные по методике ЕМЕП/CORINAIR, показали, что выбросы ЧУ в 2018 г. на территории России составили 9 325 тонн. Одновременно по данной методике были выполнены расчеты по выбросам метана, так как он, так же как и черный углерод, классифицируется как короткоживущее климатически активное вещество, поскольку время его существования в атмосфере является относительно коротким и составляет порядка 12 лет. Выбросы метана в 2018 г. на территории России составили 20 234 тонн. Расчеты показали, что на долю выбросов ЧУ от дизельных автомобилей приходится 87% от общего количества, а самым загрязняющим классом дизельных автомобилей являются грузовики (51% от общего выброса ЧУ). Выбросы метана, наоборот, поступают преимущественно от бензинового автотранспорта (85% от общего количества), где на долю легковых автомобилей приходится 63% от общего выброса метана.

Более подробная информация по выбросам ЧУ и метана в 2018 году в зависимости от вида транспортных средств и вида топлива представлена на рис. 1 и 2.



Рисунок 1. Выбросы метана и ЧУ от автомобильного транспорта (бензин) в России (2018 г.)

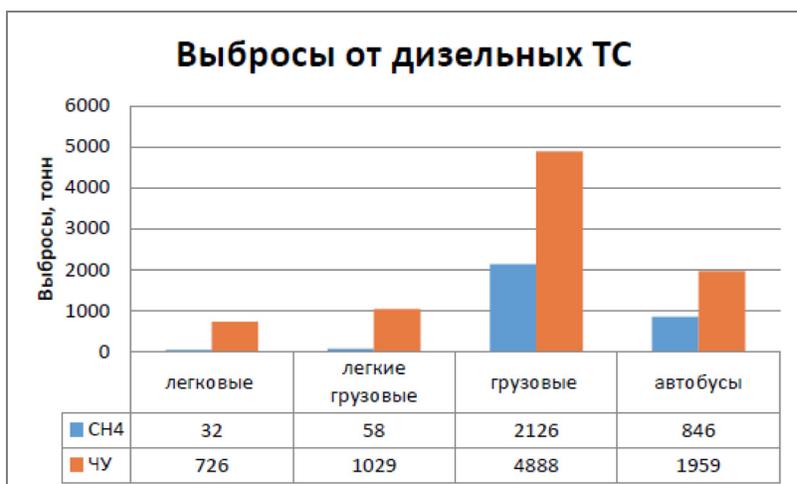


Рисунок 2. Выбросы метана и ЧУ от автомобильного транспорта (дизель) в России (2018 г.)

На рис. 3 показана динамика выбросов черного углерода и метана от автодорожного транспорта в период с 2013-2018 года.

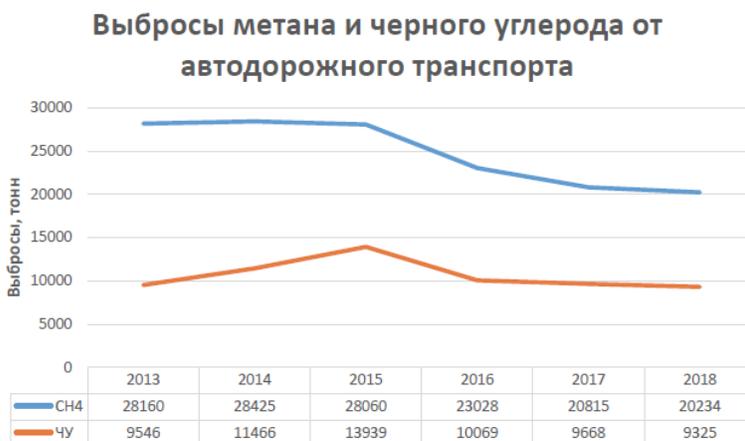


Рисунок 3. Выбросы черного углерода и метана от автодорожного транспорта в период с 2013-2018 года, тонн

В период 2013-2018 гг. сокращение выбросов метана составило 28% (рис. 3) благодаря переходу в 2015 году на жесткий экологический стандарт по нормам выбросов двигателей «Евро-5», согласно которому, продажа новых автомобилей класса ниже «Евро-5» запрещена, а также введению новых стандартов топлива (ТР ТС 013/2011 и ГОСТ 32511-2013). Дизельный транспорт является основным источником выбросов черного углерода. В последние годы рыночная доля продаж дизельных автомобилей увеличивается (Агенство Автостат, 2020), что, по-видимому, явилось причиной пика выбро-

сов черного углерода в 2015 году. В целом в 2015-2018 гг. сокращение выбросов черного углерода составило 27% благодаря повышению топливной эффективности автомобилей, приоритетному развитию общественного транспорта в крупных городах России, а также плавному переходу наземного общественного транспорта (автобусов) на природный газ.

Заключение

В настоящее время наблюдается необходимость международного сотрудничества в области охраны окружающей среды и координации общих усилий в борьбе с загрязнением воздуха. Основной проблемой является то, что значительная часть воздействия на здоровье человека и окружающую среду обусловлена трансграничным переносом загрязнителей. Эффективное снижение уровня воздействия черного углерода на городское население требует снижения выбросов твердых частиц выхлопных газов на обширных территориях.

Разработка надежных данных об источниках выбросов черного углерода особенно необходима для дальнейших расчетов его выбросов, а также для моделирования процесса переноса черного углерода на большие расстояния.

Получение более точных оценок выбросов черного углерода для транспортного сектора требует дополнительного исследования состава топлива для всех видов транспорта и выработки национального коэффициента выбросов черного углерода.

Проведенный сравнительный анализ методик оценки выбросов ЧУ от автомобильного транспорта показал, что методика ЕМЕП/CORINAIR является наиболее подходящей для проведения инвентаризаций в России, благодаря использованию наиболее приемлемых коэффициентов выбросов черного углерода. Сравнение топливных стандартов в России и странах Европы подтвердили сходимость большинства основных характеристик и спецификаций дизельного топлива, а подход по 3 уровню, реализуемый в программе COPERT-4, позволяет получить результаты выбросов по категориям транспортных средств.

По результатам исследования были рассчитаны годовые валовые выбросы черного углерода от автомобильного транспорта для 2013-2018 гг., а также добавлены расчеты по выбросам метана, классифицирующегося, как и черный углерод, как короткоживущее климатически активное вещество. В 2018 г. выбросы черного углерода от автомобильного транспорта составили 9325 тонн, метана – 20234 тонны. Согласно расчетам в период 2013-2018 гг. произошло сокращение годовых валовых выбросов метана на 28%. Снижение выбросов черного углерода наблюдается с 2015 г.: за период 2015-2018 гг. – на 27%. Достичь сокращения выбросов черного углерода и метана позволил ряд высокоэффективных мер: запрет на продажу старых автомобилей низких экологических классов, введение стандартов топлива Евро 5, повышение топливной эффективности автомобилей, расширение использования природного газа в качестве моторного топлива.

Список литературы

Агенство Автостат. 2020. – Электронный ресурс. URL: <https://autostat-ru.turbopages.org/autostat.ru/s/news/42387/> (дата обращения 23 сентября 2020 года).

Всемирный фонд дикой природы. 2012. – Электронный ресурс. URL: https://new.wwf.ru/upload/iblock/2fd/03_uglerod_vliyanie_na_klimat_i_mejduparodnaya_koalitsiya.pdf (дата обращения 23 сентября 2020 года).

ГОСТ 32511-2013 (EN 590:2009). Топливо дизельное ЕВРО. Технические условия (с Поправкой, с Изменением № 1) – Электронный ресурс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200108413> (дата обращения 23 сентября 2020 года).

Национальный доклад о кадастре антропогенных выбросов из источников и абсорбции поглотителями парниковых газов, не регулируемых Монреальским протоколом за 1990-2018 гг. в 2 томах. 2020. – Москва, с. 57-60.

ТР ТС 013/2011. Технический регламент Таможенного союза "О требованиях к автомобильному и авиационному бензину, дизельному и судовому топливу, топливу для реактивных двигателей и мазуту" (с изменениями на 19 декабря 2019 года). – Электронный ресурс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902307833> (дата обращения 23 сентября 2020 года).

Bond T.C., Doherty S.J., Fahey D.W. et al. 2013. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. – *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 118, pp. 5380-5552; doi: 10.1002/jgrd.50171.

CEC. 2015. North American Black Carbon Emissions Estimation Guidelines: Recommended Methods for Estimating Black Carbon Emissions. – Montreal, Canada: Commission for Environmental Cooperation, 89 p.

EEA: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. 2013. – European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. Available at: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013> (accessed 23 September 2020).

Emisia: COPERT. 2012. Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport, prepared for the European Environment Agency. – Available at: <http://www.emisia.com/copert/> (accessed 23 September 2020).

Ntziachristos L., Froines J.R., Cho A.K., Sioutas C. 2007. Relationship between redox activity and chemical speciation of size-fractionated particulate matter. *Part Fibre Toxicol.*, 4. – Available at: <http://dx.doi.org/10.1186/1743-8977-4-5>.

Shindell D., Faluvegi G. 2009. Climate response to regional radiative forcing during the twentieth century. – *Nature Geosci.*, vol. 2, pp. 294-300.

U.S. EPA. 2012. Report to Congress on Black Carbon. – Washington, DC, US Environmental Protection Agency. – Available at: <http://www.epa.gov/blackcarbon/> (accessed 23 September 2020).

Winiger P., Andersson A., Eckhard S. et al. 2017. Siberian Arctic black carbon sources constrained by model and observation. – Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.1613401114>.

Статья поступила в редакцию: 08.06.2020 г.

После переработки: 12.10.2020 г.

OVERVIEW OF THE MAIN METHODS FOR ESTIMATING BLACK CARBON EMISSIONS FROM ROAD TRANSPORT

V. M. Lytov

Yu. A. Izrael Institute of Global Climate and Ecology,
20B, Glebovskaya str., 107258, Moscow, Russian Federation;
* corresponding author: vladislav.lytoff@gmail.com

Abstract. Black carbon is not yet monitored in Russia (no emission calculations are performed presence in the atmosphere and fallout on the underlying surface are not investigated), black carbon is not included in the number of gases subject to control in the National Anthropogenic Emission Inventory Report. The lack of a unified national generally accepted methodology for calculating black carbon emissions from road transport raises the question of applying international methods for estimating emissions in Russia. To solve this problem, the results of comparing various methods for estimating black carbon emissions from road transport were presented, a choice was made in favor of one of them, and a pilot inventory of black carbon emissions from road transport on the territory of the Russian Federation was performed. The paper presents data on the distribution of black carbon emissions by car type and fuel, compares the quality and standards for fuel in Russia and other countries, and substantiates the need for an inventory of black carbon emissions in the Russian Federation and gives recommendations for its implementation.

Keywords. Road transport, black carbon, car fleet, methodology, inventory, review.

References

Agenstvo Avtostat [Autostat agency]. 2020. Available at: <https://autostat.ru.turbopages.org/autostat.ru/s/news/42387/> (accessed 23 September 2020).

Vsemirnyj fond dikoj prirody [World Widelife fund]. 2012. URL: https://new.wwf.ru/upload/iblock/2fd/03_uglerod_vliyanie_na_klimat_i_mejdunarodnaya_koalitsiya.pdf (accessed 23 September 2020).

GOST 32511-2013 (EN 590:2009) Toplivo dizel'noe EVRO. Tekhnicheskie usloviya (s Popravkoj, s Izmeneniem No. 1) [GOST 32511-2013 (EN 590: 2009) EURO diesel fuel. Specifications (with Amendment No. 1)], Available at: <http://docs.cntd.ru/document/1200108413> (accessed 23 September 2020).

Nacional'nyj doklad o kadastrе antropogennyh vybrosov iz istochnikov i absorbcii poglotitelyami parnikovyh gazov, ne reguliruemyh Monreal'skim protokolom za 1990-2018 gg. v 2 tomah [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 1990-2018]. 2020. Moscow, pp. 57-60.

Tekhnicheskij reglament Tamozhennogo soyuza TR TS 013/2011 "O trebovaniyah k avtomobil'nomu i aviacionnomu benzinu, dizel'nomu i sudovomu toplivu, toplivu dlya reaktivnyh dvigatelej i mazutu" (s izmeneniyami na 19 dekabrya 2019 goda) [Technical Regulations of the Customs Union TR CU 013/2011 "On Requirements for Automobile and Aviation Gasoline, Diesel and Marine Fuel, Jet Fuel and Fuel Oil" (as amended on December 19, 2019)]. Available at: <http://docs.cntd.ru/document/902307833> (accessed 23 September 2020).

Bond T.C., Doherty S.J., Fahey D.W. et al. 2013. Bounding the role of black carbon in the climate system: A scientific assessment. – *J. Geophys. Res. Atmos.*, vol. 118, pp. 5380-5552; doi: 10.1002/jgrd.50171.

CEC. 2015. North American Black Carbon Emissions Estimation Guidelines: Recommended Methods for Estimating Black Carbon Emissions. – Montreal, Canada: Commission for Environmental Cooperation, 89 p.

EEA: EMEP/EEA air pollutant emission inventory guidebook. 2013. – European Environment Agency, Copenhagen, Denmark. Available at: <http://www.eea.europa.eu/publications/emep-eea-guidebook-2013> (accessed 23 September 2020).

Emisia: COPERT. 2012. Computer Programme to Calculate Emissions from Road Transport, prepared for the European Environment Agency. – Available at: <http://www.emisia.com/copert/> (accessed 23 September 2020).

Ntziachristos L., Froines J.R., Cho A.K., Sioutas C. 2007. Relationship between redox activity and chemical speciation of size-fractionated particulate matter. *Part Fibre Toxicol.*, 4. – Available at: <http://dx.doi.org/10.1186/1743-8977-4-5>.

Shindell D., Faluvegi G. 2009. Climate response to regional radiative forcing during the twentieth century. – *Nature Geosci.*, vol. 2, pp. 294-300.

U.S. EPA. 2012. Report to Congress on Black Carbon. – Washington, DC, US Environmental Protection Agency. – Available at: <http://www.epa.gov/blackcarbon/> (accessed 23 September 2020).

Winiger P., Andersson A., Eckhard S. et al. 2017. Siberian Arctic black carbon sources constrained by model and observation. – Available at: <https://doi.org/10.1073/pnas.1613401114>.