

Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 256—266.
Hydrometeorology and Ecology. 2022; (67): 256—266.

ГЕОЭКОЛОГИЯ

Научная статья
УДК 502.3:504.5:351.777.6:351.814.1
doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-256-266

Об обосновании подхода к расчету выбросов парниковых газов от международного аэропорта гражданской авиации

***А.А. Павловский, Г.Н. Петерсон, В.И. Шамшурин,
И.В. Крапивин, К.В. Михайлов***

НИПЦ Генплана Санкт-Петербурга, Санкт-Петербург, Россия, pal@yandex.ru

Аннотация. Данная статья посвящена обоснованию выбора методики расчета выбросов парниковых газов в аэропортах, так как на долю авиационного транспорта приходится около 2,4 % от общих выбросов парниковых газов. По прогнозу к 2050 г. эта цифра может утроиться. С этой целью использован рекомендованный ИКАО программный комплекс AEDT. Показано, что от аэропорта «Пулково» с интенсивностью полетов в 170 тыс. взлетно-посадочных операций в год (примерно 18—19 млн пассажиров/год) суммарный выброс CO₂ составляет 275 тыс. т/год. По этапам полета выброс парниковых газов разделяется следующим образом: 72 % приводится на взлет, 28 % на посадку.

Ключевые слова: парниковые газы, выброс, международный аэропорт, взлетно-посадочная операция.

Для цитирования: Павловский А.А., Петерсон Г.Н., Шамшурин В.И., Крапивин И.В., Михайлов К.В. Об обосновании подхода к расчету выбросов парниковых газов от международного аэропорта гражданской авиации // Гидрометеорология и экология. 2022. № 67. С. 256—266. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-256-266.

GEOECOLOGY

Original article

On the justification for the approach to calculating greenhouse gas emissions from the International Civil Aviation Airport

***A.A. Pavlovskii, G.N. Peterson, V.I. Shamshurin,
I.V. Krapivin, K.V. Mikhailov***

State Research and Project Center of St. Petersburg Master Plan, St. Petersburg, Russia

Summary. According to modern climatology, the main cause of global warming is anthropogenic greenhouse gas emissions and an increase in their concentrations in the atmospheric air. Aviation transport emits approximately 2.4 % of total global greenhouse gas emissions.

© А.А. Павловский, Г.Н. Петерсон, В.И. Шамшурин, И.В. Крапивин, К.В. Михайлов, 2022

The current strategic development plans of Russia are aimed at reducing the energy intensity of the Russian economy, the transition of the economy to sustainable and balanced development, and achieving «carbon neutrality». The main goals of the Russian economy are to reduce greenhouse gas emissions by 2030 to 70 % compared to 1990 levels.

In this regard, it is important to conduct an inventory of greenhouse gas emissions from aviation transport and develop a set of measures to maximize their reduction. For this, among other things, it is necessary to build a detailed model of air traffic in the areas of the largest international airports in Russia.

This article is aimed at solving the problem of justifying the choice of methods for calculating greenhouse gas emissions from airports. The article provides a comparative analysis of the current Russian guidelines, IPCC methodology, as well as the AEDT software package. As a result, it has been shown that the most detailed methodology for calculating greenhouse gas emissions is the AEDT software package.

As a result of the calculations, it has been shown that from the Russian airport with a flight rate of 170 thousand takeoff and landing operations per year (approximately 18—19 million passengers/year), the total CO₂ emission is 275 thousand tons/year. According to the stages of the flight, the emission of greenhouse gases was divided as follows: 72 % is given for takeoff, 28 % for landing.

Keywords: greenhouse gases, emissions, international airport, take-off and landing operation.

For citation: Pavlovskii A.A., Peterson G.N., Shamshurin V.I., Krapivin I.V., Mikhailov K.V. On the justification for the approach to calculating greenhouse gas emissions from the International Civil Aviation Airport. *Gidrometeorologiya i Ekologiy = Journal of Hydrometeorology and Ecology*. 2022; (67): 256—266. [In Russian]. doi: 10.33933/2713-3001-2022-67-256-266.

Введение

Современные изменения климата и их последствия являются глобальной проблемой человечества и угрозой его устойчивому развитию на текущее и последующие столетия. Согласно существующей научной теории, основной причиной и индикатором происходящих климатических изменений является увеличение концентрации термодинамически активных примесей в атмосферном воздухе, прежде всего, углекислого газа (CO₂), метана (CH₄), закиси азота (N₂O). В последние годы средние концентрации в атмосфере составляют: 410 млн⁻¹ для CO₂, 1866 ppb для CH₄ и 332 ppb для N₂O. При этом в рядах многолетних наблюдений отмечаются устойчивые линейные тренды — например, в декабре 2021 г. глобальная среднемесячная концентрация CO₂ составила 417 млн⁻¹. Таким образом, в настоящее время концентрация углекислого газа в атмосферном воздухе превысила свои доиндустриальные значения (период около 1750 г.) в 1,5 раза [1].

Согласно Рамочной конвенции ООН об изменении климата, последствия глобального потепления могут повлиять на наземные и морские экосистемы, мировую экономику и человечество в целом. В связи с этим на международном, национальном и местном уровне принята система нормативных актов, предусматривающих учет выбросов парниковых газов на основе расчетов и результатов наблюдений, а также разработку мероприятий по стабилизации их концентраций в атмосфере. Международным сообществом ставится задача по сдерживанию изменения климата повышением средней глобальной приземной температуры воздуха на уровне 1,5 °C по сравнению с ее значениями в доиндустриальный период [2].

Достижение данной цели возможно при устойчивом сценарии социально-экономического развития человеческой цивилизации «SSP1», предполагающем сокращение неравенства между странами, снижения ресурсо- и энергоемкости мировой экономики. В соответствии с данным сценарием рост концентрации

парниковых газов в атмосфере должен стабилизироваться в 2030 г. и начать снижаться после 2050 г. Это предполагает, что уже в 2020-е годы должна наметиться устойчивая тенденция к сокращению суммарных выбросов парниковых газов [1].

Согласно Парижскому соглашению от 12 декабря 2015 г., заключенному в развитие Рамочной конвенции ООН об изменении климата, и Указу Президента РФ от 04.11.2020 № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов», Россия в целях обеспечения развития глобального потепления по сценарию «SSP1», должна к 2030 г. снизить выбросы парниковых газов до 70 % относительно уровня 1990 г.

Соответственно, достижение заявленных целей требует перехода российской экономики к устойчивому и сбалансированному социально-экономическому развитию, проведению инвентаризации источников выбросов парниковых газов, разработки технологических и технических мероприятий по их сокращению.

Одним из значимых источников выбросов парниковых газов в атмосферу, ответственным за 2,4 % от глобальной эмиссии, являются взлетно-посадочные операции, осуществляемые гражданским, государственным и экспериментальным авиационным транспортом. При этом с учетом развития мировой гражданской авиации наблюдается устойчивая тенденция к увеличению выбросов парниковых газов от нее [3].

В связи с вышеперечисленными обстоятельствами задача по расчету эмиссий парниковых газов от воздушных судов, осуществляющих взлет и посадку в крупном международном аэропорту, представляется актуальной и имеет научно-практическую значимость для формирования отчетов и ведения кадастра, реестра антропогенных выбросов [4, 5].

Цель данного исследования состоит в том, чтобы на примере крупного российского аэропорта с использованием детальной информации о маршрутах и количестве взлетно-посадочных операций произвести оценку годового количества выбросов парниковых газов.

Методика исследования

Эмиссия парниковых газов при эксплуатации воздушных судов (ВС) связана со сжиганием топлива, при этом, с точки зрения парниковых газов, приблизительно 72 % приходится на CO_2 , 27,6 % на H_2O и менее чем 0,5 % на NO_x , CO , SO_x и сажу [6] (см. рис. 1). В связи с незначительностью выбросов оксидов азота при оценке эмиссии парниковых газов от авиации целесообразно учитывать только CO_2 , что подтверждено Приложением № 1 Методических указаний и руководств по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации.

В настоящее время в России имеется возможность использовать следующие утвержденные методики, которые могут быть применены для решения поставленной задачи:

1) методические указания и руководства по количественному определению объема выбросов парниковых газов организациями, осуществляющими хозяйственную и иную деятельность в Российской Федерации, утвержденные приказом Минприроды России от 30.06.2015 № 300;

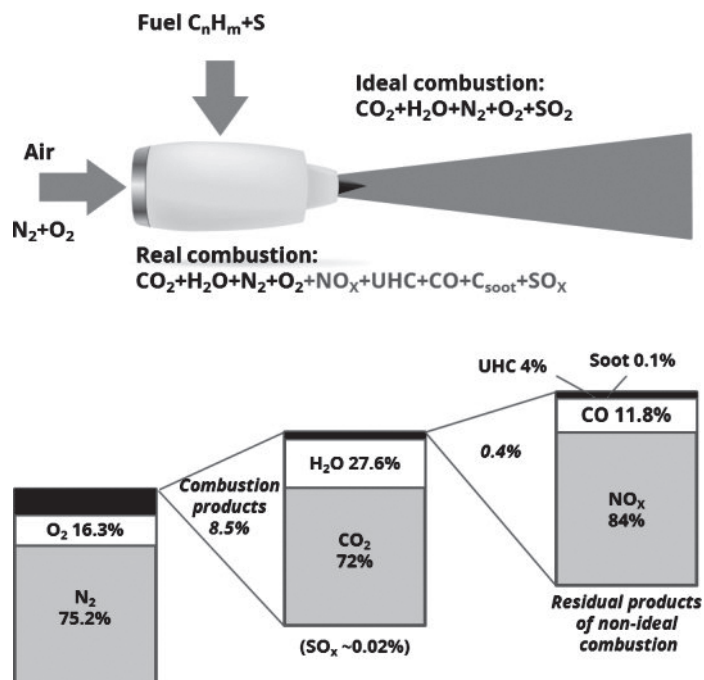


Рис. 1. Схема сгорания авиационного топлива [6]

Fig. 1. Aircraft fuel combustion [6]

2) программный комплекс Межправительственной группы экспертов по изменению климата (МГЭИК) для составления национальных кадастров парниковых газов (<https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/software/index.html>);

3) программный комплекс AEDT (Авиационный инструмент проектирования окружающей среды) для моделирования воздействия авиационного транспорта на окружающую среду, рекомендованный к использованию Международной организацией гражданской авиации (ИКАО) (<https://aedt.faa.gov/>).

В данной статье выполнен сравнительный анализ вышеперечисленных методов и их возможностей для расчета выбросов парниковых газов в крупном международном аэропорту для различных целей: при оценке удельных эмиссий CO_2 при перевозке пассажиров и при инвентаризации на уровне хозяйствующего субъекта [7].

Методические указания, утвержденные приказом Минприроды России, предполагают оценку эмиссий на основании сведений о расходе топлива, используемого для осуществления авиационных перевозок за выбранный период. Расход топлива может определяться по данным поставщика топлива или по данным измерений, выполненных непосредственно на воздушном судне.

Категория источников выбросов парниковых газов «Авиационный транспорт» российских Методических указаний включает выбросы CO_2 , возникающие

в результате потребления авиационного топлива только самолетами при внутренних перелетах. В связи со спецификой области применения российской методики для организаций, осуществляющих хозяйственную и иную деятельность на территории Российской Федерации, она не предполагает учет выбросов от международных авиарейсов, полетов государственной и экспериментальной авиации.

Методика МГЭИК так же, как и российская, базируется на данных о потреблении топлива, однако предоставляет и возможность расчета потраченного топлива при условии, что известны параметры взлетно-посадочных операций. Такой подход позволяет получать более объективные оценки эмиссии парниковых газов без получения сведений от оператора аэродрома или авиакомпаний [5].

В целях обеспечения единого подхода для различных расчетов негативного воздействия на качество атмосферного воздуха ИКАО введено понятие стандартного взлетно-посадочного цикла. Данный цикл включает в себя все операции воздушного судна с момента запуска двигателей до набора им высоты 915 м, а также с этапа захода на посадку с высоты 915 м до остановки двигателя на аэродроме. Стандартный взлетно-посадочный цикл обобщает информацию о продолжительности указанных этапов, а также о характерных значениях тяги двигателей на них [4] (см. табл. 1 и рис. 2).

Таблица 1

Параметры взлетно-посадочного цикла ИКАО [4]
ICAO take-off and landing cycle parameters [4]

Эксплуатационный этап	Длительность этапа (мин)		Режим тяги (процент от номинальной тяги)
Заход на посадку		4,0	30
Руление и режим земного газа	26	7,0 (прилет)	7
		19,0 (вылет)	
Взлет		0,7	100
Набор высоты		2,2	85



Рис. 2. Схема движения воздушного судна во время стандартного взлетно-посадочного цикла [4].

Fig. 2. Diagram of aircraft movement during the standard take-off and landing cycle [4].

Следует отметить, что в целом коэффициенты выбросов CO_2 при сжигании топлива относительно нечувствительны к технологии работы авиационного двигателя. При расчетах количество выбрасываемого CO_2 зависит, прежде всего, от количества сожженного топлива и его типа. В подавляющем большинстве случаев это авиационный керосин. Авиационный бензин может использоваться отдельными типами воздушных судов с поршневыми двигателями, например, вертолетом Robinson R22 или самолетом Ан-2, но доля таких летательных аппаратов в крупных аэропортах стремится к нулю, а в целом в России составляет 1—2 %. Все три методики предлагают одинаковые коэффициенты эмиссии CO_2 . Для авиационного керосина $K_{\text{э}} = 3,155$ ($K_{\text{э}}$, тонн CO_2 на тонну керосина).

Согласно этому подходу, предлагается использовать табличные данные по среднему расходу топлива, затрачиваемому на взлет и посадку (движение воздушного судна ниже 915 м над уровнем аэропорта) и при движении между аэродромами. Предлагаемые стандартные значения расхода топлива позволяют учесть особенности основных типов воздушных судов: дальнемагистральных, среднемагистральных, региональных реактивных и турбовинтовых.

С использованием сведений о количестве взлетно-посадочных операций (ВПО) и средней дальности полета для каждого из типов воздушных судов, можно получить оценку эмиссии. Очевидным плюсом такого метода является возможность отдельно получить эмиссии для международных, национальных перелетов, а также, по необходимости, выделять и другие категории.

Подобный подход, основанный на расчете выброса парниковых газов при перелетах пассажиров между аэропортами России и мира по данным о расходе авиационного топлива и дальности перелета, широко используется авиакомпаниями и поисковыми интернет-системами при ориентировочных (https://www.aeroflot.ru/ru-ru/about/calculator_co2).

Однако такой упрощенный подход не вполне применим, когда речь идет об инвентаризации выбросов парниковых газов на уровне субъекта хозяйственной деятельности или в целом по территории региона.

Расчетная методика, примененная в программном комплексе AEDT, является наиболее детальной из рассматриваемых в данной статье, но при этом и наиболее сложной, так как значительно более требовательна к качеству исходных данных. Данная программа разработана для расчета выбросов загрязняющих веществ от всех типов воздушных судов гражданской, государственной и экспериментальной авиации, эксплуатируемых в различных аэропортах и аэродромах мира. Важно отметить, что в AEDT имеется возможность производить расчеты выбросов парниковых газов от вертолетов.

Такие расчеты базируются на наиболее полной доступной базе данных технических и аэродинамических характеристик большого количества воздушных судов. При расчете используется динамическая модель, воспроизводящая все этапы взлетно-посадочного цикла с учетом конкретных параметров аэродрома и отдельных типов воздушных судов.

Важной характеристикой аэропорта, влияющей на расход топлива при взлете и заходе на посадку воздушных судов, является высота его расположения над

уровнем моря. Пониженное давление и разреженный воздух создают меньшую подъемную силу для летательных аппаратов, что приводит к увеличению расхода топлива авиационными двигателями как на взлете, так и при заходе на посадку.

В связи с вышеперечисленными обстоятельствами, в данной статье для расчета выбросов парниковых газов от международного аэропорта выбрана методика AEDT. В расчете учтены только выбросы на высотах до 915 м (3000 футов), что соответствует стандартному взлетно-посадочному циклу ИКАО.

В работе использованы следующие основные этапы полета: снижение воздушного судна от 915 м до земной поверхности, прокат по взлетно-посадочной полосе, применение реверса для торможения, движение по рулежным дорожкам до места стоянки и до места взлета, разбег по взлетно-посадочной полосе, набор высоты до 915 м.

В статье рассматривается равнинный аэропорт, в котором годовой пассажиропоток равен примерно 18—19 млн человек, что соответствует таким международным аэропортам, как «Пулково» или «Внуково».

Сведения о количестве взлетно-посадочных операций получены с официального сайта аэропорта «Пулково» https://pulkovoairport.ru/about/about_pulkovo/performance/. В расчете приняты значения об интенсивности воздушного движения по состоянию на 2019 г., до принятия мер по противодействию распространению новой коронавирусной инфекции (COVID-19). Физические параметры взлетно-посадочной полосы, а также стандартные маршруты взлета и посадки воздушных судов на аэродроме взяты по данным Филиала «Центр Аэронавигационной Информации» ФГУП «Госкорпорация по ОрВД»: http://www.caiga.ru/ANI_Official/Aip/html/rus.htm/.

Анализ исходных данных показал, что 90 % всех годовых взлетно-посадочных операций приходится на 8 типов воздушных судов (производства европейского консорциума «Airbus S.A.S», американской корпорации «Boeing», канадской авиастроительной компании «Bombardier Aerospace», бразильской компании «Embraer») и одно российское «Корпорации «Иркут».

В расчете принято 168 572 взлетно-посадочных операций в год или, с учетом округления до целых, 462 в средние сутки. Перечень основных типов и/или семейств воздушных судов, характерных для среднего статистического летного дня и использованных при расчете выбросов парниковых газов, приведен в табл. 2.

Таблица 2

Перечень основных типов и/или семейств воздушных судов в средний за 2019 г. летный день

List of main aircraft types and/or families on an average flight day in 2019 year

№	Тип воздушного судна	Взлеты	Посадки
1	Airbus A318/319/320	123	123
2	Boeing 737-800	29	29
3	Boeing 737-500	27	27
4	Embraer 190/170 / Sukhoi Superjet 100-95	13	13
5	Airbus A330-200/300	13	13

Окончание табл. 2

№	Тип воздушного судна	Взлеты	Посадки
6	Bombardier CRJ-200	11	11
7	Airbus A321-100	8	8
8	Bombardier DHC-8/ATR72	7	7
	Итого:	231	231

Вклад иных воздушных судов, особенно отечественного производства, в общее количество взлетно-посадочных операций незначителен.

Результаты исследований

Из выполненных расчетов следует, что суммарный выброс парниковых газов в районе аэродрома от взлетно-посадочных операций международного аэропорта с годовым пассажиропотоком в 18—19 млн человек, то есть примерно до набора воздушным судном высоты 915 м, составляет около 275 тыс. т CO₂/год. Выброс парниковых газов разделится следующим образом по этапам полета: 72 % приводится на взлет, 28 % на посадку, что обусловлено, прежде всего, существенным различием в величине тяги авиационных двигателей во время этих операций (см. таблицы 1, 3).

В рассматриваемом случае, который типичен для большинства российских международных аэропортов, более 50 % суммарных выбросов CO₂ приходится на семейство узкофюзеляжных самолетов Airbus A320. Вторым по значимости типом самолетов, выбрасывающим примерно 25 % эмиссии парниковых газов, является Boeing 737. На остальные воздушные суда приходится оставшиеся 25 %.

В результате работы показано, что основным источником выбросов парниковых газов в авиационном транспорте является семейство узкофюзеляжных самолетов для авиалиний малой и средней протяженности, а при разработке мероприятий по снижению негативного воздействия авиационного транспорта на здоровье и среду обитания человека основное внимание следует сосредоточить на этапе полета — взлет.

Таблица 3

Результат расчета эмиссии CO₂ от взлетно-посадочных операций (ВПО) (до высоты 915 м) в международном аэропорту с пассажиропотоком в 18—19 млн чел./год

The result of calculating the emission of CO₂ from take-off and landing operations (up to an altitude of 915 m) at an international airport with a passenger traffic of 18—19 million people/year

Тип воздушного судна	Этап	Расход топлива (кг)	Путь ниже 915 м, км	Время движения, мин	Выброс CO ₂ , кг/ВПО	ВПО в день	CO ₂ в день, тонн	тонн CO ₂ /год
Airbus A318/319/320	Полет	284	40	14,4	897	123	110,4	40280
Boeing 737-800	Полет	311	47	15,6	982	29	28,5	10399
Boeing 737-500	Полет	255	36	14,1	803	27	21,7	7915
Embraer 190/170/Sukhoi Superjet 100-95	Полет	168	36	14,1	530	13	6,9	2514

Тип воздушного судна	Этап	Расход топлива (кг)	Путь ниже 915 м, км	Время движения, мин	Выброс CO ₂ , кг/ВПО	ВПО в день	CO ₂ в день, тонн	тонн CO ₂ /год
Airbus A330-200/300	Полет	596	44	15,1	1881	13	24,5	8925
Bombardier CRJ-200	Полет	211	36	13,8	665	11	7,3	2670
Airbus A321-100	Полет	317	42	14,4	999	8	8,0	2917
Bombardier DHC-8/ATR72	Полет	59	36	16,1	187	7	1,3	479
Airbus A318/319/320	Взлет	738	27	19,3	2327	123	286,2	104471
Boeing 737-800	Взлет	759	28	19,4	2396	29	69,5	25361
Boeing 737-500	Взлет	723	30	19,8	2280	27	61,6	22466
Embraer 190/170/Sukhoi Superjet 100-95	Взлет	466	24	18,8	1469	13	19,1	6971
Airbus A330-200/300	Взлет	1710	31	19,8	5396	13	70,1	25604
Bombardier CRJ-200	Взлет	371	30	19,6	1169	11	12,9	4694
Airbus A321-100	Взлет	861	29	19,5	2715	8	21,7	7928
Bombardier DHC-8/ATR72	Взлет	174	41	23,4	550	7	3,8	1404

Выводы

Применение наиболее детальной и апробированной методики — программного комплекса AEDT (авиационного инструмента проектирования окружающей среды), рекомендованного к использованию Международной организацией гражданской авиации, позволило оценить годовое количество выбросов парниковых газов от крупнейшего международного аэропорта России.

Использование данных о стандартных маршрутах взлета и посадки воздушных судов, представленных в аэронавигационных паспортах аэродромов, а также подробных сведений о составе воздушного движения, позволяет получать обоснованные результаты в части оценок выбросов парниковых газов от взлетов и посадок воздушных судов гражданской, государственной и экспериментальной авиации, осуществляющих полеты в районах аэродромов.

В работе установлено, что основными источниками выбросов парниковых газов от авиационного транспорта в России являются семейства узкофюзеляжных самолетов Airbus A320 и Boeing 737.

В условиях выполнения государственной программы по импортозамещению для достижения целевых показателей по сокращению выбросов парниковых газов от российской экономики до 2050 г., в части декарбонизации авиационного транспорта, основное внимание следует уделять существующим российским ближнемагистральным самолетам Sukhoi Superjet 100 и перспективным среднемагистральным самолетам MC-21, а также авиационным двигателям PowerJet SaM146 (СМ 146) и семейству двигателей ПД (Перспективный Двигатель).

Для снижения негативного воздействия на качество атмосферного воздуха основное внимание следует уделять этапу полета «взлет», так как на него приходится более 70 % выброса парниковых газов в районе аэродрома.

Программный комплекс АЕДТ может использоваться аэропортами, аэродромами при подготовке ими, как хозяйствующими субъектами, отчетов об инвентаризации выбросах парниковых газов.

References

1. IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, A. Pirani, S.L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.
2. IPCC, 2018: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5 °C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H.-O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, S. Connors, J.B.R. Matthews, Y. Chen, X. Zhou, M.I. Gomis, E. Lonnoy, T. Maycock, M. Tignor, T. Waterfield (eds.)]. In Press.
3. Graver B., Zhang K., Rutherford D. CO2 Emissions from commercial aviation, 2018. International Council on Clean Transportation (ICCT). Working Paper. 2019-16.
4. Doc 9889 Airport Air Quality Manual. Second Edition. 2020.
5. IPCC, 2006: Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories. Volume 2. Energy.
6. Wuebbles D.J., Gupta M.L., Ko M.K.W. Evaluating the Impacts of Aviation on Climate Change. Eos Transactions American Geophysical Union. 2007. doi: 10.1029/2007EO140001.
7. Agrawal H., Sawant A.A., Jansen K., Miller J.W., Cocker III D.R. Characterization of chemical and particulate emissions from aircraft engines. Atmospheric Environment. 2008, 42, 18: 4380—4392.

Информация об авторах

Павловский Артем Александрович, д-р геогр. наук, начальник отдела, Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», pal@yandex.ru.

Петерсон Глеб Николаевич, руководитель группы инженеров, Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», glebpeterson@gmail.com.

Шамшуринов Вадим Илларионович, руководитель группы инженеров, Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», gc.shamshurin@gmail.com.

Крапивин Игорь Николаевич, канд. геогр. наук, главный специалист, Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», dega45@mail.ru.

Михайлов Кирилл Владимирович, заместитель начальника отдела, Санкт-Петербургское государственное казенное учреждение «Научно-исследовательский и проектный центр Генерального плана Санкт-Петербурга», kmgeomorfol@mail.ru.

Information about authors

Pavlovskii Artem Alexandrovich, Doctor of Sciences (Geogr.), Head of department, State Research and Design Center of Saint-Petersburg's Master Plan.

Peterson Gleb Nikolaevich, Head of engineers' group, State Research and Design Center of Saint-Petersburg's Master Plan.

Shamshurin Vadim Illarionovich, Head of engineers' group, State Research and Design Center of Saint-Petersburg's Master Plan.

Krapivin Igor Nikolaevich, PhD (Geogr. Sci.), Chief specialist, State Research and Design Center of Saint-Petersburg's Master Plan.

Mikhailov Kirill Vladimirovich, Assistant department head, State Research and Design Center of Saint-Petersburg's Master Plan.

Конфликт интересов: конфликт интересов отсутствует.

Статья поступила 17.04.2022.

Принята в печать 12.05.2022.

The article was received on 17.04.2022.

The article was accepted on 12.05.2022.