

УДК 551.510+504.75

## ВЛИЯНИЕ АВИАЦИИ НА ОКРУЖАЮЩУЮ СРЕДУ И МЕРЫ ПО ОСЛАБЛЕНИЮ НЕГАТИВНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

*А.Р. Иванова*

*Гидрометеорологический научно-исследовательский центр  
Российской Федерации, г. Москва  
ivanova@tcom.ru*

Статья представляет собой краткий обзор влияния авиации на окружающую среду. Описывается акустическое и химическое загрязнение атмосферы воздушным транспортом. Обсуждаются некоторые аспекты качества воздуха в аэропортах, возможное влияние авиационных эмиссий на радиационный баланс и парниковый эффект. Рассматриваются возможности сокращения авиационных эмиссий и меры, принимаемые международной организацией гражданской авиации для этой цели.

*Ключевые слова:* авиационные эмиссии, авиационный шум, парниковые газы, сокращение негативного воздействия.

### Введение

Одним из самых активных источников загрязнения атмосферы является транспорт. Хотя сегодня авиация существенно (примерно в 15 раз) уступает автомобильному транспорту по количеству выбрасываемых в воздух загрязняющих веществ, она ежедневно влияет на экологию верхней тропосферы и нижней стратосферы. В отличие от других видов транспорта авиация покрывает огромные расстояния, воздействуя на качество воздуха в локальном, региональном и глобальном отношении. При этом воздействие авиации на атмосферу можно разделить на акустическое и химическое.

В 1972 году в Стокгольме на Конференции Организации Объединенных Наций по проблемам окружающей среды позиция Международной организации гражданской авиации (ИКАО) была изложена следующим образом: «Выполняя свою роль, ИКАО осознает вредное воздействие на окружающую среду, которое может быть связано с эксплуатацией воздушных судов, а также свои обязанности и обязанность государств-членов ИКАО достичь максимальной совместимости между безопасным и планомерным развитием гражданской авиации и качеством окружающей человека среды» [5]. Следуя этой позиции, в 1983 году был создан САЕР (Committee on Aviation Environmental Protection) – технический комитет Совета ИКАО по защите окружающей среды от

воздействия авиации. Комитет помогает Совету формулировать политику и принимать новые регламентирующие документы ИКАО – «Стандарты и Рекомендованная Практика» (SARPs), связанные с авиационным шумом, эмиссиями авиационных двигателей и более общим влиянием авиации на окружающую среду. В основном эти документы оформлены в виде Приложения 16 «Охрана окружающей среды» [4, 5] к Конвенции о международной гражданской авиации.

### **Акустическое загрязнение атмосферы**

Авиационный шум – самый важный фактор негативного отношения к авиации населения на территориях, соседствующих с аэропортом. Под его воздействие попадает сравнительно большое число людей, проживающих в окрестностях, а также работники аэропорта и пассажиры. Авиационный шум отрицательно воздействует на здоровье людей (чаще всего это ухудшение слуха, стрессовые состояния, проблемы, связанные с концентрацией внимания). Политика ИКАО по проблеме авиационного шума предусматривает развитие мер по смягчению акустического загрязнения: внедрение технологий сокращения шума, наземное планирование (например, запреты на полеты в ночное время), ужесточение стандартов по шуму для существующего парка самолетов и разработку стандартов для новых моделей воздушных судов (ВС). В свое время, из-за внедрения жестких стандартов по авиационному шуму, Россия потеряла возможность эксплуатировать самолеты отечественного производства для осуществления международных перелетов, что нанесло колоссальный удар по отечественному самолетостроению. В настоящее время разрабатываются принципиально новые конструкции ВС и концепции двигателей [10], производители стремятся к тому, чтобы их продукция отвечала самым высоким требованиям экологических стандартов.

Стандарты и рекомендованная практика по авиационному шуму изложены в первом томе Приложения 16 [4]. Здесь сформулированы допустимые уровни шума и методика их измерения для ВС различных категорий (учитывается год выпуска, количество двигателей и их тип, значения максимальной сертифицированной взлетной массы ВС).

Для развития технологий снижения шума Группа независимых экспертов, созданная САЕР, сформулировала среднесрочные (до 2020 года) и долгосрочные (до 2030 года) технологические цели. Они представляют собой стандарты, которые в 2030 году будут обязательными для четырех категорий воздушных судов (табл. 1). Цели показаны в виде значений снижения уровней шума относительно предельных параметров номинальной и максимальной взлетной массы [8]. Уровень шума измеряется в единицах EPNдб – эффективно воспринимаемый уровень шумов в децибелах. Учитывая, что в 2014 году [4] эти уровни,

в зависимости от типа ВС, составляли 89–106 ЕPNдб, становится очевидным, насколько радикально ИКАО собирается бороться с акустическим загрязнением атмосферы.

### Качество воздуха в аэропортах

Интерес к загрязнению воздуха в аэропортах начал возрастать с начала 1970-х годов, когда резко активизировались коммерческие перевозки с использованием турбовинтовых самолетов. Химическое загрязнение воздуха в аэропортах представлено такими авиационными эмиссиями как оксиды углерода (СО, СО<sub>2</sub>), азота (NO<sub>x</sub>), серы (SO<sub>x</sub>), углеводородами (НС) и взвешенными частицами, образующимися в результате работы двигателей и сжигания авиационного топлива (рис. 1).

**Таблица 1.** Предполагаемые долгосрочные перспективы снижения авиационного шума к 2030 г. [8]

Категория воздушного судна	Долгосрочные цели, ЕPNдб
Региональные реактивные ВС 40 т (номинальный) 50 т (максимальный)	21,5±4 17±4
Двухдвигательные ВС малой/средней дальности Турбовентиляторные: 78 т (номинальный) 98 т (максимальный)	30±4 26,5±4
С биротативными турбовентиляторными двигателями 78 т (номинальный) 98 т (максимальный)	13,5+2/-6 10,5+2/-6
Двухдвигательные магистральные ВС 230 т (номинальный) 290 т (максимальный)	28±4 24,5±4
Четырехдвигательные магистральные ВС 440 т (номинальный) 550 т (максимальный)	27±4 20,5±4

Источники эмиссий, связанные с авиацией, способны распространяться и приводить к ухудшению качества воздуха в близлежащих населенных пунктах. Эти эмиссии представляют потенциальный риск общественному здоровью и окружающей среде, поскольку могут вызывать увеличение концентрации приземного озона, приводить к выпадению кислотных дождей [2]. Национальные и международные программы мониторинга качества воздуха постоянно требуют от уполномоченных авиационных и правительственных организаций проводить контроль качества воздуха вблизи аэропортов. Особое внимание также уделяется влиянию авиации на окружающую среду, связанному

с качеством воды, уборкой отходов, потреблением энергии, и воздействием на локальную экологию вблизи аэропортов (особенно актуально предотвращение утечек топлива).

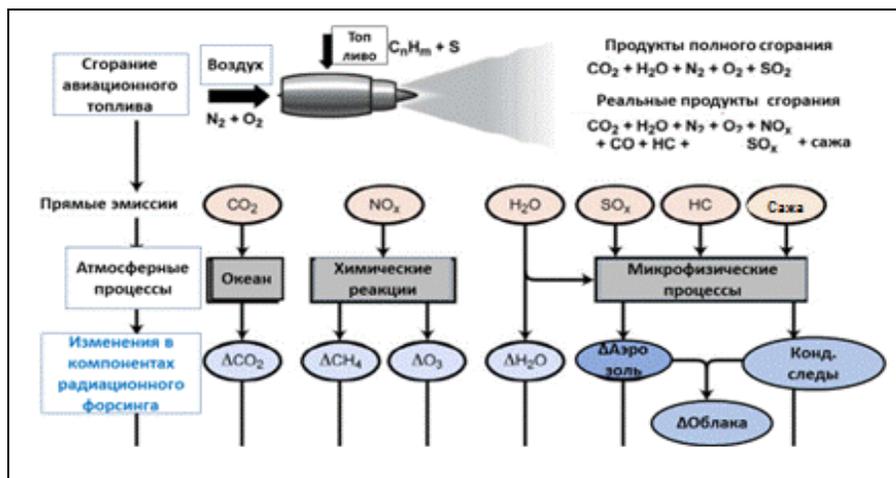


Рис. 1. Влияние авиационных эмиссий на окружающую среду [13].

За последние несколько десятилетий были достигнуты значительные успехи в вопросе сокращения эмиссий в связи с повышением экологичности авиационных топлив (частичная замена керосина на сжиженный природный газ или биотопливо) и техническими усовершенствованиями авиационных двигателей (увеличением их тяговой эффективности, подразумевающим уменьшение потребление топлива). Однако этот прогресс может нивелироваться в будущем ростом активности воздушных перевозок.

Для оценки качества воздуха в аэропорту еще в 2007 году был разработан «Инструктивный материал по сборам за авиационную эмиссию, связанную с местным качеством воздуха», который подразумевал введение пошлин, взимаемых государством, конкретно предназначенных и применяемых для предотвращения или уменьшения экологического воздействия на местное качество воздуха, оказываемого при эксплуатации гражданских воздушных судов [2]. Методология оценки эмиссий авиационных двигателей была изложена в разработанном впоследствии Документе 9889 «Руководство по качеству воздуха в аэропортах» [11]. В нем были сформулированы методы оценки эмиссий авиационных двигателей в аэропорту, основанные на учете трех параметров. Первый параметр – время в минутах, которое ВС действительно тратит на установление одного из режимов взлетно-посадочного цикла (ВПЦ): при работе двигателя на режиме малого газа, при заходе на посадку, при наборе высоты и взлете. Второй параметр – индекс

эмиссии EI (масса вещества, выделяющегося при сгорании единицы массы топлива) и третий – расход топлива. В [5] оговорено, что в целях сертификации двигателей воздушных судов осуществляется нормирование следующих видов эмиссии: дыма, несгоревших углеводородов (HC), окиси углерода (CO), окислов азота (NO<sub>x</sub>).

Созданный ИКАО банк данных об эмиссиях двигателей (EEDB – ICAO Engine Emission Bank) содержит информацию о значениях EI для сертифицированных двигателей (в граммах загрязнителя на килограмм топлива для NO<sub>x</sub>, CO и HC), а также о расходе особых видов топлива (в килограммах в секунду) для разных режимов работы разных типов двигателей. Кроме того, здесь указывается число дымности – безразмерный параметр, исчисляемый по 10-бальной шкале и характеризующий эмиссию дыма как «непрозрачность» выхлопной струи. Показатели выброса для двигателя PW4074D, которым оснащены, например, аэробусы A330, представлены в табл. 2.

**Таблица 2.** Показатели выброса для двигателя PW4074D из банка данных об эмиссиях ИКАО [13]

Эксплуатационный режим	Мощность двигателя, %	Время, мин	Расход топлива, кг/с	Индекс эмиссии топлива, г/кг			Число дымности
				HC	CO	NO <sub>x</sub>	
Взлет	100	0,7	3,042	0,02	0,3	42,46	4,22
Набор высоты	85	2,2	2,471	0,02	0,35	32,71	2,36
Снижение	30	4,0	0,869	0,04	0,96	11,35	0,65
Малый газ	7	26,0	0,305	3,12	26,34	3,8	0,33
Топливо (кг) и эмиссии (г) для ВПЦ			1138	1502	12885	20269	-

### Эмиссии авиационных двигателей

Сжигание основной части авиационного топлива происходит не в приземном слое вблизи аэропортов, а в более высоких слоях атмосферы. Специалисты полагают, что ежегодно возрастающая эмиссия углекислого газа, воды и метана двигателями коммерческих самолетов изменяет химический и радиационный баланс атмосферы [14, 16, 17], что наряду с эмиссией сажевых сульфатных аэрозолей может влиять на климат (рис. 1). Особое значение имеют такие компоненты, как двуокись углерода и оксиды азота. Оксиды азота принимают участие в химии озона (его увеличение может приводить к нагреванию верхней тропосферы) и увеличению количества гидроксильных радикалов (ОН), основного атмосферного окислителя. Увеличение ОН приводит к сокращению времени жизни метана CH<sub>4</sub>, результатом чего может стать охлаждение, параллельно – на масштабах десятилетий – сокращение тропосферного озона [14]. Оксиды серы и сажа приводят к образованию аэрозолей. Аэрозоли и их предшественники (сажа и сульфаты)

увеличивают облачность в форме линейных контрейлов (конденсационных следов) и перистых облаков. В зависимости от состояния окружающей атмосферы эти следы могут существовать иногда несколько минут, а иногда – часы, растекаясь в ширину на несколько километров и напоминая перистые или высококучевые облака.

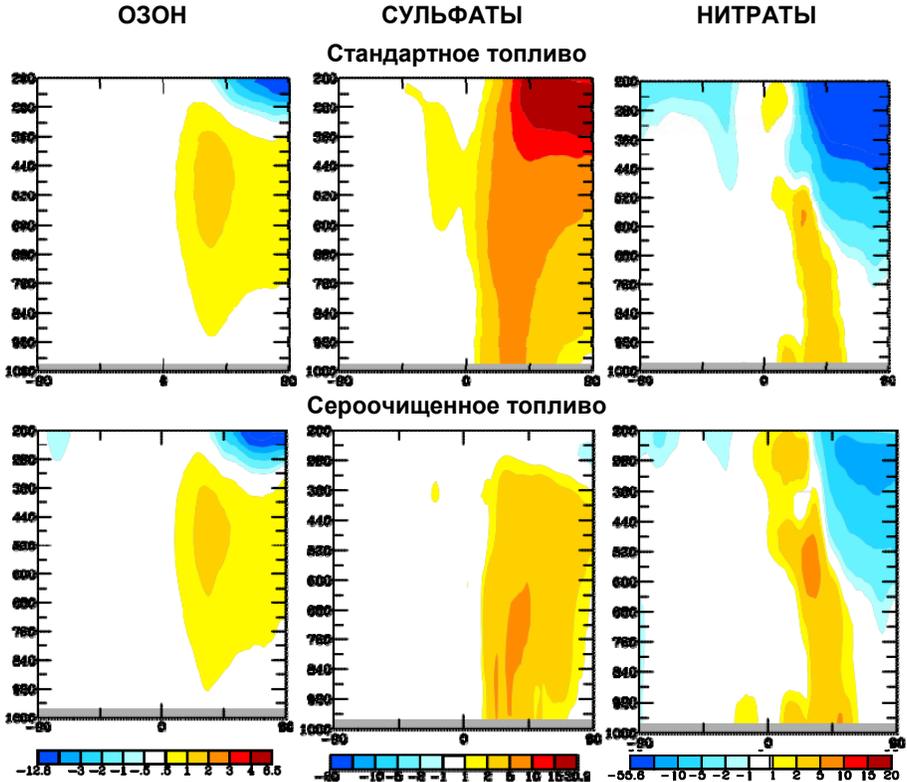
Весьма значительное воздействие на радиационный баланс следует ожидать в результате выбросов частиц сажи – твердотельных продуктов неполного сгорания топлива, которые играют роль ядер конденсации [9]. В верхней тропосфере сажевые аэрозоли имеют размер 0,1–0,5 мкм и состоят из агломератов первичных частиц с диаметром 20–40 нм. Их средняя концентрация изменяется в пределах от 0,004 до 0,5 см<sup>-3</sup>. Ранее при оценках климатических последствий эмиссии сажевых аэрозолей основное внимание уделялось изменению состава атмосферы, обусловленного протеканием гетерогенных химических реакций на поверхности сажевых частиц. Однако заметного влияния эмиссии этих частиц на газовый состав атмосферы до сих пор не обнаружено [6, 7]. В настоящее время считается, что влияние эмиссии сажевых частиц на климат обусловлено главным образом формированием долгоживущих конденсационных следов (прямой эффект) и инициированием образования перистых облаков (вторичный эффект) [6].

Радиационный эффект от таких облаков оценить крайне трудно – не определен с уверенностью даже знак этого влияния. Модельные оценки глобального влияния авиационной сажи на радиационный баланс (эффект крупномасштабных перистых облаков, в образовании которых частицы сажи играли роль ядер конденсации), выполненные с применением химико-транспортных моделей при различных предположениях и параметризациях, обнаружили различия от -110 до +260 мВт/м<sup>2</sup> [19].

Действительно, отсутствие детального описания процессов в моделях и полноты данных наблюдений ограничивает доверие к количественной оценке вклада радиационного форсинга. По расчетам [14], общий радиационный форсинг за счет авиационных эмиссий (исключая индуцируемые перистые облака) в 2005 года составлял ~55 мВт/м<sup>2</sup>, с учетом перистых облаков ~78 мВт/м<sup>2</sup>. Упрощенные прогностические оценки радиационного вынуждения климата под влиянием авиации, приведенные в той же работе, показывают, что к 2050 г. эти цифры возрастут примерно в 3 раза.

Особое внимание среди продуктов сжигания авиационного топлива занимают парниковые газы, чьи эмиссии могут вносить вклад в процесс глобального потепления. Для их уменьшения у авиакомпаний имеется по существу всего две возможности. Первая – увеличение роста топливной эффективности (то есть удельного расхода топлива). Вторая – использование альтернативных топлив: синтетического горючего из каменного угля, природного газа или биомассы. Природное топливо не содержит серу и ароматические углеводороды, что

значительно сокращает эмиссии летучих аэрозолей и облачных ядер конденсации, ослабляя таким образом влияние на радиационный баланс. Кроме того, модельные эксперименты показали, что применение топлива, очищенного от серы, приводит к значительному экологическому «оздоровлению» тропосферы с точки зрения концентраций озона, сульфатов и нитратов (рис. 2).



**Рис. 2.** Влияние авиационных эмиссий на среднегодовые и среднезональные концентрации (в %) озона, сульфатов и нитратов для стандартного и сероочищенного топлива [19]. Вертикальная ось – давление в гПа, горизонтальная – широта в градусах.

Следует отметить, что отношение экспертов к биотопливу (производимому из кукурузы, сои, рапса, пальмового масла, водорослей и т. д.) далеко не однозначно в условиях, когда урожай часто гибнет из-за засух или несвоевременных дождей. Специалисты предупреждают, что полный переход на биотопливо грозит постепенным уничтожением тропических лесов и подорожанием продуктов питания [3]. Кроме того, при его применении в долгосрочной перспективе не доказан эффект снижения выбросов  $\text{CO}_2$ . Тем не менее биотопливо для нужд авиации уже производится в США, Великобритании, Германии, Франции,

Финляндии (<https://www.aviaport.ru/news/2012/07/27/238185.html>). К 2020 году Китай, наладивший производство топлива из пальмового масла, также намерен довести долю биотоплива до одной трети от всего используемого авиацией горючего ([http://www.bioethanol.ru/bioethanol/news/kitajj\\_nachinaet\\_ispolzovat\\_bioplivno\\_v\\_grazhdanskojj\\_aviatsii/](http://www.bioethanol.ru/bioethanol/news/kitajj_nachinaet_ispolzovat_bioplivno_v_grazhdanskojj_aviatsii/)). В последние годы в ряде стран, ратующих за экологию, происходит активная замена традиционного авиационного керосина на криогенное топливо (водород, сжиженный природный газ). При его использовании самолет становится экономичнее (расход топлива уменьшается), выбросы CO<sub>2</sub> в атмосферу снижаются [1].

Авиационные эмиссии диоксида углерода составляют, по различным оценкам, от 2 до 2,5 % от общего количества антропогенных выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу. При сжигании 1 кг авиационного керосина выделяется 3,16 кг CO<sub>2</sub>. Предполагается, что к 2040 году при оптимистичном прогнозе, связанном с улучшением технологий топливной эффективности, количество авиационных эмиссий CO<sub>2</sub> может достигнуть почти полутора тысяч мегатонн в год [17].

В 2016 г. CAEP рекомендовал два новых стандарта: по эмиссиям диоксида углерода и нелетучих взвешенных частиц. Рекомендованный стандарт по CO<sub>2</sub> предложен для стимулирования более эффективных технологий сжигания топлива при производстве самолетов и аналогичен существующим стандартам по эмиссиям и авиационному шуму [4, 5]. Стандарты будут применяться к моделям нового типа дозвуковых и турбовинтовых самолетов, которые будут вводиться в эксплуатацию с 2020 г., а к уже эксплуатируемым – с 2023 г. Если эксплуатируемые модели, не отвечающие пока требованиям по стандартам CO<sub>2</sub>, не смогут быть модифицированы должным образом до 2028 г., то после этого срока они не смогут использоваться. Регулирование эмиссий будет производиться с помощью предложенной Глобальной системы рыночных мер. Превышение квот эмиссии (за базовый уровень предполагается принять эмиссии 2019–2020 гг.) будет облагаться значительным штрафом, который пойдет на восстановление окружающей среды и компенсационные меры. Такой подход к квотированию эмиссий не нов, он применялся в странах Евросоюза с начала 2000-х годов [18]. Например, в апреле 2014 г. Германия выставила штрафов за превышение эмиссионных квот на 2,7 млн евро 61 авиакомпании из России и др. стран, 44 из которых базировались вне европейской территории [12].

Новые стандарты по эмиссиям CO<sub>2</sub> будут изложены в полностью новом – третьем томе к Приложению 16 «Охрана окружающей среды» в течение 2017 г. Рекомендованные стандарты для нелетучих взвешенных частиц (non-volatile particulate matter – nvPM) будут применяться к двигателям, изготовленным с 1 января 2020 года. Полное описание процедуры сертификации для измерения nvPM, а также

ограничения для их массовых концентраций будут включены в виде отдельной главы во второй том Приложения 16 «Эмиссия авиационных двигателей».

В 2016 году на 39-й Ассамблее Совета ИКАО Российская Федерация представила свою позицию по данному вопросу в рабочем документе «Механизм чистого развития для международной гражданской авиации как альтернатива системы рыночных мер компенсации и сокращения выбросов углерода для международной гражданской авиации (CORSIA)». Она заключается в том, что гражданская авиация играет роль одного из главных двигателей экономического развития государств-членов ИКАО, оставаясь при этом одним из самых экологически чистых видов транспорта. В этой связи ситуация, когда под лозунгом борьбы с изменениями климата предпринимаются попытки возложить на сектор гражданской авиации дополнительное финансовое бремя путем внедрения механизма Глобальных рыночных мер, неприемлема. Отвлечение финансов из отрасли, предусмотренное этими Глобальными рыночными мерами, окажет негативное влияние на темпы развития гражданской авиации и безопасность полетов. При этом никаких улучшений в объеме эмиссии парниковых газов не наступит, а по некоторым расчетам эмиссия даже увеличится. Это негативно скажется, в первую очередь, на государствах с развивающейся экономикой и авиационной отраслью (<http://www.favt.ru/novosti-novosti/?id=3024>).

### **Заключение**

Несмотря на то, что авиация, в сравнении с другими, является относительно «чистым» видом транспорта, ее влияние на климат и экологию может со временем стать ощутимым из-за постоянно увеличивающегося воздушного трафика, приводящего к росту загрязнения в верхних слоях тропосферы. Хотя в настоящее время оценки такого влияния являются весьма неопределенными, Международная организация гражданской авиации принимает меры для сокращения негативного воздействия авиации на окружающую среду. Для этого разрабатываются новые стандарты, ужесточающие требования к эксплуатируемым самолетам по авиационному шуму и эмиссиям, а также расширяется список авиационных эмиссий, по которым проводится сертификация двигателей воздушных судов. В качестве основного инструмента регулирования негативного воздействия авиации на атмосферу Комитет ИКАО по защите окружающей среды предлагает механизм Глобальных рыночных мер. Хотя эту идею поддерживают не все члены ИКАО, необходимость внедрения новых технологий в авиационной отрасли, способствующих снижению экологической нагрузки воздушного транспорта на окружающую среду, очевидна.

*Поступила в редакцию 17.07.2017 г.*

## Список использованных источников

1. Андреев В. А., Солобовов В. Топливо для летательных аппаратов XXI века // Наука и жизнь. 2001. № 3. С. 23-25.
2. Инструктивный материал по сборам за авиационную эмиссию, связанную с местным качеством воздуха. Док. 9884. – ИКАО, 1 издание, 2007.
3. Никифоров О. Голод как альтернатива биотопливу. [http://www.ng.ru/ng\\_energiya/2012-09-11/15\\_hunger.html](http://www.ng.ru/ng_energiya/2012-09-11/15_hunger.html)
4. Охрана окружающей среды. Том 1. Авиационный шум: Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО, Издание 3, июль 2008 г.
5. Охрана окружающей среды. Том 2. Эмиссия авиационных двигателей: Приложение 16 к Конвенции о международной гражданской авиации. ИКАО, Издание 5, июль 2014 г.
6. Поповичева О.Б., Старик А.М. Авиационные сажевые аэрозоли: физико-химические свойства и последствия эмиссии в атмосферу // Известия РАН. ФАО. 2007. Т. 43, № 2. С. 147-164.
7. Поповичева О.Б., Персианцева Н.М., Зубарева Н.А., Шония Н.К., Старик А.М., Савельев А.М. Сажевые аэрозоли в верхней тропосфере: свойства и последствия эмиссии авиации. НИИЯФ МГУ, 2005, 83 с.
8. События в гражданской авиации и окружающая среда: Рабочий документ 38-й сессии Ассамблеи ИКАО – [www.icao.int](http://www.icao.int).
9. Старик А.М., Фаворский А.Н. Авиация и атмосферные процессы // Актуальные проблемы авиационных и аэрокосмических систем. 2015. Т. 20, № 1 (40). С. 1-20.
10. Халецкий Ю.Д. ИКАО: новый стандарт на шум самолетов гражданской авиации // Двигатели. 2014. № 2 (92). С. 8-11.
11. Airport Air Quality Manual. Doc9889. ICAO, First edition, 2011.
12. EU states tread warily on naming and shaming aircraft operators that have failed to comply with EU ETS rules. <http://www.greenaironline.com/news.php?viewStory=2021>
13. ICAO Aircraft engine emission Databank. November 2016. <https://www.easa.europa.eu/document-library/icao-aircraft-engine-emissions-databank>
14. Lee D., Fahey D.W., Forster P.M. et al. Aviation and global climate change in 21<sup>st</sup> century // *Atm. Environ.* 2009. Vol. 43. P. 3520-3537.
15. Liu X., Penner J.E., Wang M. Influence of antropogenic and black carbon on upper tropospheric clouds in the NCAR CAM3 model coupled to the IMPACT global aerosol model // *J. Geophys. Res.* 2009. Vol. 114. D03204. doi:10.1029/2009JD010492.
16. Olsen S.C., Brasseur G.P., Wuebbles D.J., Barret S.R.H. et al. Comparison of model estimates of the effects of aviation emissions on atmospheric ozone and methane // *Geophys. Res. Lett.* 2013. Vol. 40. P. 6004-6009. doi:10.1002/2013GL057660.
17. On Board. A sustainable future. Environmental Report. – ICAO, 2016.
18. The EU Emission Trading System (EU ETS). – European Union, 2016.
19. Unger N. Global climate impact of civil aviation for standard and desulfurized jet fuel // *Geophys. Res. Lett.* 2011. Vol. 38. L20803. doi:10.1029/2011GL049289.

## SUMMARIES

**Aviation impact on environment and the measures for mitigation of negative effect** / Ivanova A.R. // Proceedings of the Hydrometcentre of Russia. 2017. Vol. 365. P. 5-14.

There is a brief overview concerned to aviation impact on environment. Acoustic and chemical contaminations of the atmosphere are described. Some aspects of air quality in airports, possible impact of aviation emissions on radiation balance and greenhouse effect are discussed. The measures taken by ICAO for aviation emission reduction are considered.

*Keywords:* aviation emissions, aviation noise, greenhouse gases, reducing of negative impact.