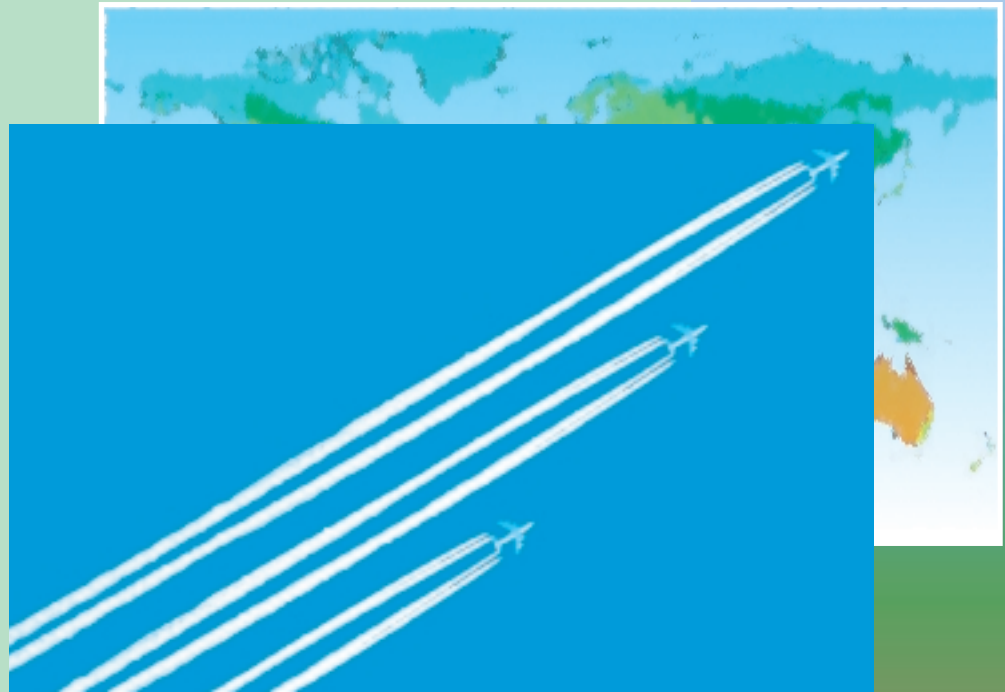




МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ ГРУППА ЭКСПЕРТОВ  
ПО ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА



СПЕЦИАЛЬНЫЙ ДОКЛАД МГЭИК  
АВИАЦИЯ  
И ГЛОБАЛЬНАЯ АТМОСФЕРА

Резюме для лиц,  
определяющих политику





МЕЖПРАВИТЕЛЬСТВЕННАЯ ГРУППА ЭКСПЕРТОВ  
ПО ИЗМЕНЕНИЮ КЛИМАТА



Резюме для лиц, определяющих политику

# Авиация и глобальная атмосфера

Редактирование:

**Джойс Э. Пеннер**

*Мичиганский университет*

**Дэвид Г. Листер**

*Агентство оборонных исследований  
и оценок*

**Дэвид Дж. Григгс**

*Метеорологическая служба  
Соединенного Королевства*

**Дэвид Дж. Доккен**

*Университетская корпорация  
атмосферных исследований*

**Мэк Мак-Фарланд**

*Компания «Дю Понт  
Флуоропродуктс»*

Специальный доклад рабочих групп I и III МГЭИК

*Подготовлен в сотрудничестве с*

Группой по научной оценке Монреальского протокола по веществам,  
разрушающим озоновый слой

*Опубликовано Межправительственной группой по изменению климата*

© 1999, Межправительственная группа экспертов по изменению климата

ISBN: 92-9169-411-8

Перевод для МГЭИК выполнен ИКАО

# Содержание

---

Вступление .....	v
Предисловие .....	vii
1. Введение .....	3
2. Каким образом воздушные суда воздействуют на климат и озон? .....	3
3. Каковы прогнозы относительно увеличения объема авиационной эмиссии в будущем? .....	6
4. Каковы текущие и будущие последствия полетов дозвуковой авиации на радиационное воздействие и ультрафиолетовое излучение? .....	6
4.1 Двуокись углерода .....	6
4.2 Озон .....	7
4.3 Метан .....	7
4.4 Водяной пар .....	7
4.5 Инверсионные следы .....	8
4.6 Перистые облака .....	8
4.7 Сульфатные и сажевые аэрозоли .....	8
4.8 Каково общее воздействие дозвуковых воздушных судов на климат? .....	9
4.9 Каково общее воздействие дозвуковых воздушных судов на ультрафиолетовое излучение? .....	9
5. Каковы текущие и будущие последствия полетов сверхзвуковой авиации на радиационное воздействие и ультрафиолетовое излучение? .....	10
6. Каковы возможности уменьшения объема эмиссии и ее последствий? .....	11
6.1 Возможности, обусловленные совершенствованием конструкций воздушных судов и двигателей .....	11
6.2 Возможности, связанные с топливом .....	12
6.3 Эксплуатационные возможности .....	12
6.4 Нормативные, экономические и другие возможности .....	13
7. Вопросы на будущее .....	13
Перечень материалов, выпущенных МГЭИК .....	15



# Вступление

---

Межправительственная группа экспертов по изменению климата (МГЭИК) была совместно учреждена Всемирной Метеорологической Организацией (ВМО) и Программой Организации Объединенных Наций по окружающей среде (ЮНЕП) в 1988 г. для: i) проведения оценки имеющейся информации в отношении теории воздействия и экономических последствий изменения климата и вариантов смягчения этих последствий и/или адаптации к ним и ii) подготовки по запросу научных/технических/социально-экономических рекомендаций участникам Конференции Сторон (КС) Рамочной конвенции Организации Объединенных Наций об изменении климата (РКИК ООН). За истекший период МГЭИК подготовила ряд докладов о результатах оценки, специальных докладов, технических документов, методик и других документов, ставших стандартным справочным материалом, который широко используется политиками, учеными и другими специалистами.

Настоящий специальный доклад подготовлен по просьбе Международной организации гражданской авиации (ИКАО) и Сторон Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой. В докладе содержится оценка степени осознания соответствующих процессов, происходящих в атмосфере, авиационной технологии и социально-экономических последствий, связанных с реализацией мероприятий, направленных на снятие остроты этой проблемы; оценка выполнена применительно к парку дозвуковых и сверхзвуковых воздушных судов. В докладе рассмотрены последствия деятельности авиации в прошлом и ее возможное воздействие в будущем на разрушение стратосферного озона и изменение климата в глобальном масштабе; вместе с тем локальные экологические последствия воздействия авиации не рассматривались. В докладе обобщены различные выводы, что позволило определить и классифицировать варианты уменьшения воздействия в перспективе.

**Г. О. П. Обаси**

Генеральный секретарь  
Всемирная Метеорологическая Организация

Как и прежде, решающую роль в успешной работе МГЭИК над подготовкой настоящего доклада сыграли энтузиазм и тесное сотрудничество специалистов многих стран, работающих в различных, но взаимосвязанных областях. Нам хотелось бы выразить признательность всем авторам-составителям, ведущим авторам, соавторам, редакторам и рецензентам. Эти специалисты посвятили много времени и вложили много сил в подготовку доклада, и мы исключительно благодарны за их приверженность деятельности МГЭИК.

Мы также хотели бы искренне поблагодарить:

- Роберта Уотсона, председателя МГЭИК и сопредседателя группы по научной оценке Монреальского протокола;
- Джона Хаутона, Дина Ихуэйя, Берта Метца и Оганлада Дэвидсона — сопредседателей рабочих групп I и III МГЭИК;
- Даниэля Албриттона, сопредседателя группы по научной оценке Монреальского протокола;
- Дэвида Листера и Джойса Пеннера, координаторов настоящего специального доклада;
- Даниэля Албриттона, Джона Крейстона, Оганлада Дэвидсона, Дэвида Григгса, Нейла Харриса, Джона Хаутона, Мэка Мак-Фарланда, Берта Метца, Нельсона Сабогала, Н. Сандарарамана, Роберта Уотсона и Ховарда Весоки — членов руководящего научного комитета настоящего специального доклада;
- Дэвида Григгса, Дэвида Доккена и всех сотрудников групп технической поддержки рабочих групп I и II, включая: Мэка Мак-Фарланда, Ричарда Мосса, Анну Мурил, Сэнди Маккрэкен, Марию Ногер, Лауру Ван Ви Мак-Грори, Нейла Лири, Пола ван дер Линдена, Фло Ормонда и Нейла Харриса, оказавших дополнительное содействие;
- Н. Сандарарамана, секретаря МГЭИК и его сотрудников — Руди Буржуа, Сесилию Таники и Шанталь Эттори.

**К. Тёпфер**

Исполнительный директор  
Программа Организации Объединенных Наций по окружающей среде и  
Генеральный директор  
Бюро Организации Объединенных Наций в Найроби





# Предисловие

---

Международная организация гражданской авиации (ИКАО) обратилась с просьбой оценить последствия авиационной эмиссии «парниковых» газов, и в этой связи МГЭИК в ходе своей двенадцатой сессии (Мехико, 11—13 сентября 1996 г.) приняла решение о подготовке специального доклада «Авиация и глобальная атмосфера» в сотрудничестве с группой по научной оценке Монреальского протокола. Первоначально эту задачу было поручено совместно выполнить рабочим группам I и II МГЭИК, однако в связи с изменением круга обязанностей рабочих групп (тринадцатая сессия МГЭИК, Мальдивы, 22 и 25—28 сентября 1997 г.) ее поручили рабочим группам I и III МГЭИК, причем административное обслуживание должны были по-прежнему оказывать группы технической поддержки рабочих групп I и II.

Несмотря на то что первый полет с двигателями был выполнен менее 100 лет назад, сегодня авиация представляет собой динамично развивающуюся отрасль, ставшую неотъемлемой и важной частью современного общества. В этой связи вполне уместным представляется рассмотреть вопрос о текущих и возможных будущих последствиях воздействия авиационной эмиссии на атмосферу. Уникальной особенностью настоящего доклада является то, что в его подготовке участвовали технические специалисты авиационной отрасли, включая специалистов авиакомпаний, производителей планеров и двигателей воздушных судов, а также специалисты, занимающиеся изучением атмосферы. Такое участие сыграло решающую роль в подготовке наиболее полной на данный момент оценки воздействия авиации на глобальную атмосферу. Несмотря на то что настоящий специальный доклад является первым докладом МГЭИК, посвященным конкретной отрасли, другие сектора также заслуживают изучения.

В докладе рассматриваются все газы и частицы, выбрасываемые воздушными судами в верхние слои атмосферы, и роль, которую они играют в изменении химических свойств атмосферы и образовании конденсационных (инверсионных) следов и перистых облаков. В докладе рассматриваются следующие вопросы: а) каким образом могут изменяться радиационные свойства атмосферы, в результате чего может произойти изменение климата; и б) каким образом может измениться озоновый слой, в результате чего изменится ультрафиолетовое излучение, достигающее поверхности земли. В докладе также рассматривается вопрос о возможных последствиях развития авиационной техники, изменения характера деятельности воздушного транспорта и организационных, нормативных и экономических рамок на эмиссию в будущем. В нем не рассматривается вопрос о влиянии эмиссии двигателей на местное качество воздуха у поверхности.

Настоящий специальный доклад призван дать точную, объективную, связанную с проводимой в этой области политикой информацию, которая предназначена для авиационной отрасли, экспертов и органов, определяющих политику. В докладе

содержится оценка современного уровня знаний, определяются области, в которых наши знания неадекватны, и области, в которых срочно требуется продолжить выполнение работ. В нем отсутствуют рекомендации, касающиеся политики и предпочтительных мер политического характера, что соответствует практике МГЭИК.

В подготовке настоящего доклада принимали участие 107 ведущих авторов из 18 государств. Проекты доклада рассылались для рассмотрения специалистами, а затем — для рассмотрения правительствами и экспертами. Более 100 соавторов участвовали в подготовке проекта текста и представляли информацию ведущим авторам, а более 150 рецензентов сделали в ходе рассмотрения ценные рекомендации по улучшению доклада. Все полученные замечания были тщательно проанализированы и учтены в пересмотренном документе, который был представлен на рассмотрение совместной сессии рабочих групп I и III МГЭИК, проходившей в Сан-Хосе, Коста-Рика, 12—14 апреля 1999 г. В ходе этой сессии было по частям утверждено резюме для лиц, определяющих политику, и принят лежащий в его основе доклад.

Нам хотелось бы выразить искреннюю признательность координаторам доклада Дэвиду Листеру и Джойсу Пеннеру, всем авторам-составителям, ведущим авторам и рецензентам, опыт, усердие и терпение которых позволили успешно завершить подготовку настоящего доклада, а также многим другим участникам и рецензентам за их ценный вклад, глубокую преданность делу. Мы благодарим руководящий комитет за хорошо продуманные рекомендации и указания, сделанные в ходе подготовки настоящего доклада. Мы благодарны:

- ИКАО за проведение первого совещания, на котором были определены масштабы доклада, совещания, посвященного подготовке окончательного проекта, а также за перевод резюме для лиц, определяющих политику, на арабский, испанский, китайский, французский и русский языки (ИКАО также по просьбе оказывала техническую помощь).
- Правительству Тринидада и Тобаго за проведение первого редакционного совещания.
- Международной ассоциации воздушного транспорта (ИАТА) за проведение второго редакционного совещания.
- Правительству Коста-Рики за проведение совместной сессии рабочих групп I и III МГЭИК (12—14 апреля 1999 г.), на которой было построчно утверждено резюме для лиц, определяющих политику, одобрены лежащие в его основе результаты оценки.

В частности, мы признательны Джону Крейстону (ИКАО), Стиву Поллонэ (правительство Тринидада и Тобаго), Леони Добби (ИАТА) и Максиму Кемпосу (правительство Коста-Рики) за их активную деятельность по подготовке этих совещаний.

Мы также благодарим Анну Муррил, члена группы технической поддержки Рабочей группы I, и Сэнди Маккрэкен, члена группы технической поддержки Рабочей группы II, за их неустанную поддержку в ходе подготовки доклада и великолепное чувство юмора. Большую помощь также оказали другие члены групп технической поддержки рабочих групп I и II, включая Ричарда Мосса, Мэка Мак-Фарланда, Марию Ногуер, Лауру Ван Ви Мак-Грори, Нейла Лири, Пола ван дер Линдена и Фло Ормонда. Сотрудники секретариата МГЭИК — Руди Буржуа, Сесилия Таники и Шанталь Эттори — обеспечивали связь со всеми правительствами и организовывали поездки экспертов из развивающихся стран и стран с переходной экономикой.

**Роберт Уотсон**, председатель МГЭИК

**Джон Хаутон**, сопредседатель Рабочей группы I МГЭИК

**Дин Ихуэй**, сопредседатель Рабочей группы I МГЭИК

**Берт Метц**, сопредседатель Рабочей группы III МГЭИК

**Оганлад Дэвидсон**, сопредседатель Рабочей группы III МГЭИК

**Н. Сандарараман**, секретарь МГЭИК

**Дэвид Григс**, группа технической поддержки Рабочей группы I МГЭИК

**Дэвид Доккен**, группа технической поддержки Рабочей группы II МГЭИК

---

# Резюме для лиц, определяющих политику

## Авиация и глобальная атмосфера

---

### **Специальный доклад рабочих групп I и III Межправительственной группы экспертов по изменению климата**

*В настоящем резюме, утвержденном по частям в ходе совместной сессии рабочих групп I и III МГЭИК (Сан-Хосе, Коста-Рика, 12—14 апреля 1999 г.), содержится официально согласованное заявление МГЭИК относительно уровня современного понимания воздействия авиации на глобальную атмосферу.*

Основано на проекте, подготовленном:

*Дэвидом Г. Листером, Джойсом Э. Пеннером, Дэвидом Дж. Григгсом, Джоном Т. Хаутоном, Даниэлем Л. Албриттоном, Джоном Бегином, Жераром Бекебрее, Джоном Крейстоном, Оганладом Дэвидсоном, Ричардом Дж. Дервентом, Дэвидом Дж. Доккеном, Джулией Эллис, Дэвидом У. Фахи, Джоном Э. Фредериком, Рэндаллом Фрайдлом, Нейлом Харрисом, Стефаном К. Хендерсоном, Джоном Ф. Хенниганом, Иваром Изэксоном, Чарльзом Х. Джекменом, Джери Льюисом, Мэком Мак-Фарландом, Бертом Метцем, Джоном Монтгомери, Ричардом У. Ньеджвиком, Микаэлом Прейтером, Кейтом Р. Райаном, Нельсоном Сабогалом, Робертом Сосеном, Ульрихом Шуманом, Хьюго Дж. Сомервилем, Н. Сандарараманом, Диним Ихуэйем, Упали К. Викрамой, Ховардом Л. Весоки.*



## 1. Введение

Настоящий доклад, в котором дается оценка воздействия воздушных судов на климат и атмосферный озон, является первым докладом МГЭИК, составленным для конкретной отрасли. Этот доклад подготовлен МГЭИК в сотрудничестве с группой по научной оценке Монреальского протокола по веществам, разрушающим озоновый слой, по просьбе Международной организации гражданской авиации (ИКАО)<sup>1</sup>, обусловленной необходимостью изучения потенциального воздействия различных видов авиационной эмиссии. Они относятся к основным видам антропогенной эмиссии, выброс которой происходит непосредственно в верхних слоях тропосферы и нижних слоях стратосферы.

В рамках общего развития мировой экономики для авиационной отрасли характерны быстрые темпы роста. С 1960 г. темпы роста объема пассажирских перевозок (выражаемого в коммерческих пассажиро-километрах<sup>2</sup>) составляют примерно 9 % в год, что в 2,4 раза превышает средние темпы роста валового внутреннего продукта (GDP). За аналогичный период также возрос объем грузовых перевозок, около 80 % которых выполняется пассажирскими самолетами. В 1997 г., несмотря на дальнейшее развитие отрасли, темпы роста объема пассажирских перевозок замедлились и составили примерно 5 %. Повышение спроса на воздушные перевозки привело к увеличению общего объема авиационной эмиссии, темпы которого превысили темпы уменьшения удельной эмиссии<sup>3</sup>, обеспечиваемого за счет постоянного совершенствования техники и эксплуатационных процедур. Согласно прогнозам в течение оцениваемого в рамках настоящего доклада периода объем пассажирских перевозок будет возрастать темпами, превышающими GDP, если спрос на них не будет ограничиваться.

В настоящем докладе рассматриваются текущие последствия воздействия авиации и ряд прогнозов беспрепятственного ее развития, включая полеты пассажирских, грузовых и военных самолетов, а также возможные последствия использования парка коммерческих сверхзвуковых воздушных судов второго поколения. Кроме того, в докладе приводится информация о современных воздушных судах, эксплуатационных процедурах и возможностях уменьшения степени воздействия авиации на глобальную атмосферу в будущем. В докладе не рассматриваются локальные экологические последствия эмиссии авиационных двигателей или какие-либо косвенные экологические последствия деятельности авиации, такие, как потребление энергоносителей наземными транспортными средствами в аэропортах.

## 2. Каким образом воздушные суда воздействуют на климат и озон?

Воздушные суда выбрасывают газы и частицы непосредственно в верхние слои тропосферы и нижние слои стратосферы, где они оказывают воздействие на состав атмосферы. Эти газы и частицы изменяют концентрацию атмосферных «парниковых» газов, включая двуокись углерода (CO<sub>2</sub>), озон (O<sub>3</sub>), и метан (CH<sub>4</sub>); инициируют образование конденсационных (инверсионных) следов и могут способствовать

развитию перистой облачности; все эти факторы оказывают влияние на изменение климата (см. вставку на стр. 4).

Основными компонентами авиационной эмиссии являются: «парниковые» газы, такие, как двуокись углерода и водяной пар (H<sub>2</sub>O). К числу других основных составляющих эмиссии относятся: окись азота (NO) и двуокись азота (NO<sub>2</sub>) (в целом обозначаются как NO<sub>x</sub>), окиси серы (SO<sub>x</sub>) и сажа. Общий объем сжигаемого авиационного топлива, а также общий объем авиационной эмиссии двуокиси углерода, NO<sub>x</sub> и водяного пара, хорошо известен в отличие от других, важных для настоящей оценки параметров.

Климатические последствия воздействия выбрасываемых и образующихся в результате деятельности авиации газов и частиц количественно определить труднее, чем последствия эмиссии; однако их можно сопоставить между собой и сравнить с климатическими последствиями деятельности других секторов экономики на основе концепции радиационного воздействия.<sup>4</sup> Поскольку двуокись углерода сохраняется в атмосфере длительное время (примерно 100 лет), хорошо смешиваясь при этом с другими газами, не представляется возможным разграничить последствия авиационной эмиссии CO<sub>2</sub> и эмиссии аналогичного количества двуокиси углерода, выбрасываемой любым другим источником. Другие газы (например: NO<sub>x</sub>, SO<sub>x</sub>, водяной пар) и частицы сохраняются в атмосфере не так долго и в основном сосредотачиваются вдоль маршрутов полетов, главным образом в северных широтах. В отличие от выбросов, смешение которых происходит в глобальном масштабе (например двуокись углерода и метан), некоторые компоненты (например озон и инверсионные следы) такой эмиссии могут вызвать радиационное воздействие регионального масштаба в районах, где проходят маршруты полетов.

В среднем изменение климата в глобальном масштабе довольно точно характеризуется глобальным средним радиационным воздействием, например при оценке влияния авиации на повышение глобальной средней температуры или уровня моря. Однако, поскольку выброс некоторых основных авиационных составляющих радиационного воздействия главным образом осуществляется в северных средних широтах, региональные

<sup>1</sup> ИКАО является специализированным учреждением Организации Объединенных Наций, на которое возложена ответственность за разработку стандартов, рекомендуемой практики и инструктивного материала по различным аспектам деятельности международной гражданской авиации, включая охрану окружающей среды.

<sup>2</sup> Коммерческий пассажиро-километр является единицей измерения выполненных коммерческой авиацией перевозок; один коммерческий пассажиро-километр соответствует перевозке одного коммерческого пассажира на расстояние в один километр.

<sup>3</sup> Удельная эмиссия представляет собой объем эмиссии на единицу выполненных перевозок, например за коммерческий пассажиро-километр.

<sup>4</sup> Радиационное воздействие является средством оценки влияния механизма потенциального изменения климата. Этот показатель выражает нарушение или изменение энергетического баланса системы «земля-атмосфера» в ваттах на квадратный метр (Вт·м<sup>-2</sup>). Положительные значения радиационного воздействия означают потепление, а отрицательные значения — охлаждение.

### Научные данные об изменении климата

Ниже приводится ряд основных выводов, изложенных в подготовленном Рабочей группой I резюме для лиц, определяющих политику, приводимом в опубликованном в 1995 г. Втором докладе МГЭИК об оценках:

- Повышение концентрации «парниковых» газов с момента окончания доиндустриального периода (т. е. примерно с 1750 г.) привело к положительному радиационному воздействию на климат, в результате чего наметилась тенденция к нагреванию поверхности земли и другим климатическим изменениям.
- Концентрация «парниковых» газов в атмосфере, таких, как двуокись углерода, метан, а также двуокись азота ( $N_2O$ ), значительно увеличилась, причем увеличение составило соответственно примерно 30, 145 и 15 % (данные по состоянию на 1992 г.). В основном эти тенденции обусловлены антропогенной деятельностью, главным образом сжиганием ископаемого топлива, изменением землепользования и сельским хозяйством.
- Многие «парниковые» газы сохраняются в атмосфере в течение длительного времени (применительно к двуокиси углерода и окиси азота этот период составляет от нескольких десятилетий до нескольких веков). В этой связи сохранение объема эмиссии двуокиси углерода примерно на достигнутом уровне (1994 г.) приведет к почти постоянным темпам увеличения ее концентрации в атмосфере по крайней мере в течение двух столетий и к концу XXI века ее концентрация составит примерно 500 частей на миллион по объему (ppmv) (что примерно в 2 раза превышает доиндустриальную концентрацию, составлявшую 280 ppmv).
- По знаку радиационное воздействие тропосферных аэрозолей, образуемых в результате сгорания ископаемых топлив и биомассы, а также из других источников, является отрицательным, и несмотря на то, что в основном их присутствие характерно для конкретных регионов и субконтинентальных районов, последствия для климатических систем могут проявиться в масштабах континента или полушария. В отличие от «парниковых» газов, сохраняющихся в атмосфере длительное время, антропогенные аэрозоли недолговечны, и в этой связи их радиационное воздействие находится в прямой зависимости от увеличения или уменьшения объема эмиссии.
- В настоящее время наши возможности количественного определения степени антропогенного влияния на глобальный климат на основе имеющихся данных климатических наблюдений носят ограниченный характер, поскольку ожидаемый результат по-прежнему в значительной степени зависит от разнообразных природных явлений, а определенность в отношении ключевых факторов отсутствует. К их числу относятся масштабы и характер долгосрочных изменений в природе и постепенно формируемая схема воздействия, обусловленного изменением концентраций «парниковых» газов и аэрозолей и трансформированием ландшафта. Тем не менее итоговые данные однозначно подтверждают влияние антропогенной деятельности на глобальный климат.
- МГЭИК разработала ряд сценариев (IS92a-f) применительно к эмиссии «парниковых» газов и аэрозолей, учитывающих такие факторы, как рост численности населения, темпы экономического роста, землепользование, развитие техники, наличие энергоносителей и использование различных видов топлива на период 1990—2100 гг. Более глубокое понимание глобального углеродного цикла и химии атмосферы позволит использовать имеющиеся данные об эмиссии для прогнозирования концентрации «парниковых» газов и аэрозолей в атмосфере и изменения степени естественного радиационного воздействия. Затем для составления перспективных прогнозов относительно климата можно будет использовать климатические модели.
- Согласно оценкам, выполненным в рамках сценариев IS92, по сравнению с 1990 г. к 2100 г. средняя глобальная температура воздуха на поверхности увеличится от 1 до 3,5 °C. Во всех случаях средние темпы потепления будут, по всей вероятности, превышать темпы, наблюдавшиеся за последние 10 000 лет. Региональные изменения температуры могут существенно отличаться от средних глобальных изменений, а на фактические изменения в диапазоне от одного года до 10 лет будут оказывать значительное влияние естественные переменные. Предполагается, что общее потепление приведет к увеличению количества очень жарких дней и уменьшению количества очень холодных дней.
- Предполагается, что в результате теплого расширения океанов и таяния ледников и ледниковых куполов, средний уровень моря повысится. Согласно оценкам, выполненным в рамках сценариев IS92, по сравнению с 1990 г. к 2100 г. уровень моря может повыситься на 15—95 см.
- Следствием более высоких температур станет ужесточение гидрологического цикла, что повлечет за собой возможность возникновения более сильных засух и/или паводков в одних местах и менее сильных засух и/или паводков в других местах. Ряд моделей свидетельствует об увеличении интенсивности осадков, что может привести к исключительно сильным ливневым дождям.

климатические изменения могут отличаться от изменений, обусловленных глобальным средним радиационным воздействием. Воздействие воздушных судов на региональный климат может быть существенным, однако в настоящем докладе его оценка не проводилась.

Озон является «парниковым» газом. Он также защищает поверхность земли от вредного ультрафиолетового излучения (UV) и относится к категории широко распространенных загрязнителей воздуха. Окислы азота  $NO_x$ , выбрасываемые воздушными судами, принимают участие в химии озона. Дозвуковые воздушные

**Таблица 1.** Сводная информация о рассматриваемых в настоящем докладе сценариях использования глобального парка воздушных судов в будущем

Название сценария	Среднее увеличение объемов перевозок в год (1990—2050 гг.) <sup>1</sup>	Средние ежегодные темпы увеличения потребления топлива (1990—2050 гг.) <sup>2</sup>	Средние ежегодные темпы экономического роста	Средние ежегодные темпы прироста населения	Соотношение объемов перевозок (2050/1990 гг.)	Соотношение объемов потребления топлива (2050/1990 гг.)	Примечания
Fa1	3,1 %	1,7 %	2,9 % 1990—2025 гг. 2,3 % 1990—2100 гг.	1,4 % 1990—2025 гг. 0,7 % 1990—2100 гг.	6,4	2,7	Исходный сценарий, разработанный Группой ИКАО по прогнозированию и экономическому обеспечению (FESG); среднесрочные темпы экономического роста взяты из доклада МГЭИК (1992 г.); используется технология, обеспечивающая повышение топливной эффективности и сокращение объема выбросов NO <sub>x</sub>
Fa1H	3,1 %	2,0 %	2,9 % 1990—2025 гг. 2,3 % 1990—2100 гг.	1,4 % 1990—2025 гг. 0,7 % 1990—2100 гг.	6,4	3,3	Объем перевозок и технология соответствуют сценарию Fa1, причем на смену части дозвукового парка приходит парк сверхзвуковых воздушных судов
Fa2	3,1 %	1,7 %	2,9 % 1990—2025 гг. 2,3 % 1990—2100 гг.	1,4 % 1990—2025 гг. 0,7 % 1990—2100 гг.	6,4	2,7	Сценарий перевозок Fa1; технология в большей степени ориентирована на уменьшение объема эмиссии NO <sub>x</sub> и в несколько меньшей степени — на повышение топливной эффективности
Fc1	2,2 %	0,8 %	2,0 % 1990—2025 гг. 1,2 % 1990—2100 гг.	1,1 % 1990—2025 гг. 0,2 % 1990—2100 гг.	3,6	1,6	Сценарий FESG, предусматривающий незначительные темпы роста; технология аналогична предусмотренной для сценария Fa1
Fe1	3,9 %	2,5 %	3,5 % 1990—2025 гг. 3,0 % 1990—2100 гг.	1,4 % 1990—2025 гг. 0,7 % 1990—2100 гг.	10,1	4,4	Сценарий FESG, предусматривающий высокие темпы роста; технология аналогична предусмотренной для сценария Fa1
Eab	4,0 %	3,2 %			10,7	6,6	Сценарий роста объема перевозок основан на IS92a, разработанном Фондом экологической защиты (EDF); предполагается наличие технологии, обеспечивающей очень низкие уровни эмиссии NO <sub>x</sub>
Edh	4,7 %	3,8 %			15,5	9,4	Сценарий EDF, предусматривающий высокие темпы роста объема перевозок; предполагается наличие технологии, обеспечивающей очень низкие уровни эмиссии NO <sub>x</sub>

<sup>1</sup> Объем перевозок выражается в коммерческих пассажиро-километрах.

<sup>2</sup> Все типы воздушных судов (пассажирские, грузовые и военные).

суда выполняют полеты в верхних слоях тропосферы и нижних слоях стратосферы (на высотах примерно 9—13 км), а крейсерские высоты сверхзвуковых воздушных судов проходят на несколько километров выше (примерно 17—20 км) в стратосфере. Предполагается, что с увеличением концентрации NO<sub>x</sub> концентрация озона в верхних слоях тропосферы и нижних слоях стратосферы увеличится, а концентрация метана уменьшится. На больших высотах повышение концентрации NO<sub>x</sub> приведет к уменьшению слоя стратосферного озона. Время пребывания в атмосфере предшественника озона (NO<sub>x</sub>) в этих регионах увеличивается с высотой, что обуславливает зависимость влияния воздушных судов

на озон от высоты, на которой выбрасывается NO<sub>x</sub>, причем выбросы в тропосфере оказывают влияние в региональном масштабе, а выбросы в стратосфере — в глобальном масштабе. Водяной пар, SO<sub>x</sub> (из которых образуются сульфатные частицы) и сажа<sup>5</sup> играют непосредственную и косвенную роли в изменении климата и химии озона.

<sup>5</sup> Характерными примерами аэрозолей являются взвешенные в воздухе частицы сульфатов и сажи. Аэрозоли представляют собой переносимые по воздуху микроскопические частицы.

### 3. Каковы прогнозы относительно увеличения объема авиационной эмиссии в будущем?

Согласно прогнозам в период между 1990 — 2015 гг. глобальный объем пассажирских воздушных перевозок, выражаемый в коммерческих пассажиро-километрах, будет возрастать на 5 % в год, а общий объем потребления авиационного топлива, включая пассажирские, грузовые и военные полеты<sup>6</sup>, в течение того же периода, будет возрастать на 3 % в год; в основном разница обусловлена повышением эффективности воздушных судов. Для прогнозов на более длительный период характерна большая степень неопределенности, и в этой связи в настоящем докладе рассматривается ряд неограниченных сценариев будущей эмиссии применительно к беспрепятственному развитию авиации (см. таблицу 1 и рисунок 1). В основе всех этих сценариев лежит допущение о том, что в будущем тенденция к совершенствованию техники с целью уменьшения эмиссии на коммерческий пассажиро-километр сохранится и что к 2050 г. будет обеспечена возможность оптимального использования имеющегося воздушного пространства (т. е. будет обеспечена идеальная организация воздушного движения). Если эти тенденции не будут реализованы, объемы потребляемого топлива и эмиссии будут выше. Вторым допущением является то, что в будущем парк воздушных судов, количество аэропортов и объем соответствующей инфраструктуры будут по-прежнему увеличиваться, а рост спроса на воздушные перевозки не ограничится. При отсутствии необходимой инфраструктуры объем перевозок в масштабах, предусмотренных этими сценариями, не увеличится.

МГЭИК (1992 г.)<sup>7</sup> разработала ряд сценариев, IS92a-f, применительно к эмиссии «парниковых» газов и эмиссии, способствующей образованию аэрозолей, приняв допущение в отношении увеличения численности населения, темпов экономического роста, землепользования, развития техники, наличия энергоносителей и использования различных видов топлива на период 1990—2100 гг. Сценарий IS92a представляет собой среднесрочный сценарий эмиссии. Сценарии будущей эмиссии не являются прогнозами будущего. Для них характерна неопределенность, обусловленная различными допущениями относительно будущего, и в этой связи степень этой неопределенности непосредственно зависит от продолжительности прогнозируемого периода. При разработке сценариев в отношении авиационной эмиссии использовались принятые в рамках IS92 допущения относительно темпов экономического роста и увеличения численности населения (см. таблицу 1 и рисунок 1). В последующих разделах для иллюстрации

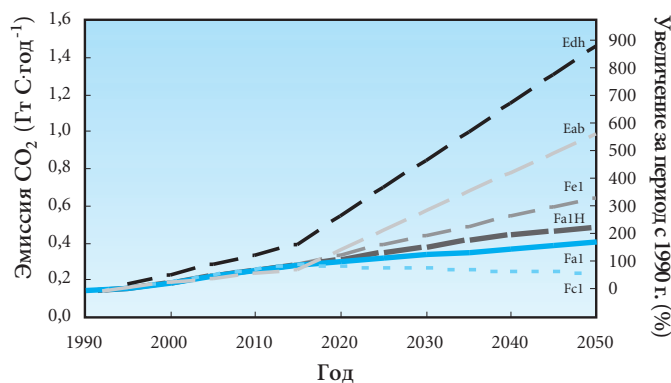
возможного воздействия воздушных судов использован сценарий Fa1, получивший название исходного сценария IS92a. В основе других сценариев авиационной эмиссии лежит ряд экономических и демографических прогнозов, предусмотренных IS92a-e. Эти сценарии отражают диапазон возможных вариантов увеличения объемов авиационных перевозок и служат основой для проведения анализов чувствительности применительно к моделированию климата. Однако наименее вероятным представляется сценарий Edh, предусматривающий высокие темпы роста, а параметры, заложенные в сценарии Fc1, предусматривающем незначительные темпы роста, скорее всего будут превышены, что обусловлено текущим состоянием отрасли и планируемым развитием событий.

### 4. Каковы текущие и будущие последствия полетов дозвуковой авиации на радиационное воздействие и ультрафиолетовое излучение?

Сводная информация о радиационном воздействии эмиссии авиационных двигателей приводится на рисунках 2 и 3. Как видно на рисунке 2, неопределенность относительно ряда упомянутых последствий носит существенный характер.

#### 4.1 Двуокись углерода

В 1992 г. объем авиационной эмиссии двуокиси углерода составлял примерно 0,14 Гт С-год<sup>-1</sup>. В 1992 г. это соответствовало примерно 2 % общей антропогенной эмиссии двуокиси углерода



**Рисунок 1.** Общий объем авиационной эмиссии двуокиси углерода, определенный в рамках шести различных сценариев потребления авиационного топлива. Значения эмиссии выражены в гига тоннах углерода (Гт С) в год (или в миллиардах ( $10^9$ ) тонн углерода). Для перевода гига тонн углерода (С) в гига тонны двуокиси углерода ( $\text{CO}_2$ ) необходимо использовать множитель 3,67. Правая ось координат служит для определения процентной доли увеличения объема эмиссии в период 1990 — 2050 гг. В 1992 г. объем авиационной эмиссии двуокиси углерода составлял 2, 4 % полного объема эмиссии двуокиси углерода, образуемой в результате сжигания ископаемого топлива, или 2 % полной антропогенной эмиссии двуокиси углерода. (Примечание. Кривая для сценария Fa2 не нанесена, поскольку на данном рисунке она практически наложилась бы на кривую для сценария Fa1)

<sup>6</sup> Разбивка статистических данных о потреблении авиационного топлива гражданской (пассажирские и грузовые перевозки) и военной авиацией свидетельствует о том, что в 1976 г. соотношение соответственно составляло 64 и 36 %, а в 1992 г. — 82 и 18 %. По прогнозам к 2015 г. это соотношение изменится и соответственно составит 93 и 7 %, а к 2050 г. — 97 и 3 %.

<sup>7</sup> МГЭИК, 1992 г.: *Изменение климата, 1992 г.: Дополнительный доклад к научной оценке МГЭИК* (Дж. Т. Хаутон, Б. А. Калландер и С. К. Варни, (редакторы)). Кембридж Университи Пресс, Кембридж, Соединенное Королевство, 200 с.



или примерно 13 % эмиссии двуокиси углерода, создаваемой всеми транспортными источниками. Согласно ряду рассмотренных в настоящем докладе сценариев, объем авиационной эмиссии двуокиси углерода будет постоянно возрастать и к 2050 г. достигнет значения 0,23—1,45 Гт С·год<sup>-1</sup>. По исходному сценарию (Fa1) к 2050 г. объем этой эмиссии увеличится в три раза до 0,40 Гт С·год<sup>-1</sup> или будет составлять 3 % от прогнозируемой общей антропогенной эмиссии двуокиси углерода по отношению к среднесрочному сценарию эмиссии МГЭИК (IS92a). Для различных сценариев по сравнению с 1992 г. объем эмиссии двуокиси углерода к 2050 г. может увеличиться от 1,6 до 10 раз.

Достигнутая на данный момент концентрация двуокиси углерода и обусловленное ею радиационное воздействие являются следствием эмиссии примерно за последние 100 лет. В 1992 г. концентрация двуокиси углерода в атмосфере, относимая на счет авиации, составляла 1 ppmv, или чуть больше одного процента полного увеличения объема антропогенной эмиссии. Эта величина меньше процентной доли эмиссии (2 %), поскольку такие выбросы осуществляются лишь последние 50 лет. Для диапазона сценариев, представленных на рисунке 1, на протяжении последующих 50 лет концентрация двуокиси углерода в атмосфере, образуемой в результате полетов воздушных судов, увеличится до 5—13 ppmv. Для исходного сценария (Fa1) это составляет 4 % всего объема антропогенной эмиссии, прогнозируемой в рамках среднесрочного сценария МГЭИК (IS92a).

#### 4.2 Озон

По оценкам, в 1992 г. эмиссия NO<sub>x</sub> дозвуковых воздушных судов привела к увеличению концентрации озона на крейсерских высотах полетов в северных средних широтах примерно на 6 % по сравнению с атмосферой, не подверженной воздействию эмиссии воздушных судов. По прогнозам, в рамках исходного сценария (Fa1) к 2050 г. этот показатель увеличится примерно до 13 %. Влияние на концентрацию озона в других регионах мира носит значительно меньшие масштабы. В среднем, упомянутое повышение концентрации будет способствовать нагреву поверхности земли.

Авиационная эмиссия NO<sub>x</sub> более эффективно способствует образованию озона в верхних слоях тропосферы, чем эквивалентный объем эмиссии на поверхности. Повышение содержания озона в верхних слоях тропосферы также более активно способствует увеличению степени радиационного воздействия, чем увеличение его содержания на более низких высотах. По прогнозам, такое повышение концентрации привело в 1993 г. к увеличению полного озонового столба в северных средних широтах примерно на 0,4 %, а к 2050 г. эта величина составит 1,2 %. Однако авиационная эмиссия серы и воды в стратосфере способствует разложению озона, что частично компенсирует инициируемое NO<sub>x</sub> увеличение концентрации озона. Количественно степень этого влияния пока не определена. Поэтому необходимо провести дополнительную оценку воздействия эмиссии дозвуковых воздушных судов на стратосферный озон. По расчетам, наибольшее увеличение концентрации озона, обусловленное авиационной эмиссией, будет иметь место вблизи тропопаузы, где степень природной изменчивости высока.

Такие изменения однозначно не подтверждаются результатами имеющихся на данный момент наблюдений.

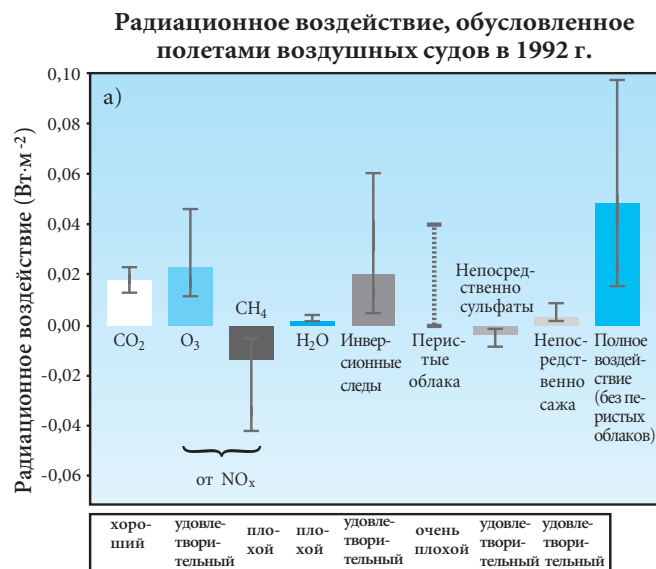
#### 4.3 Метан

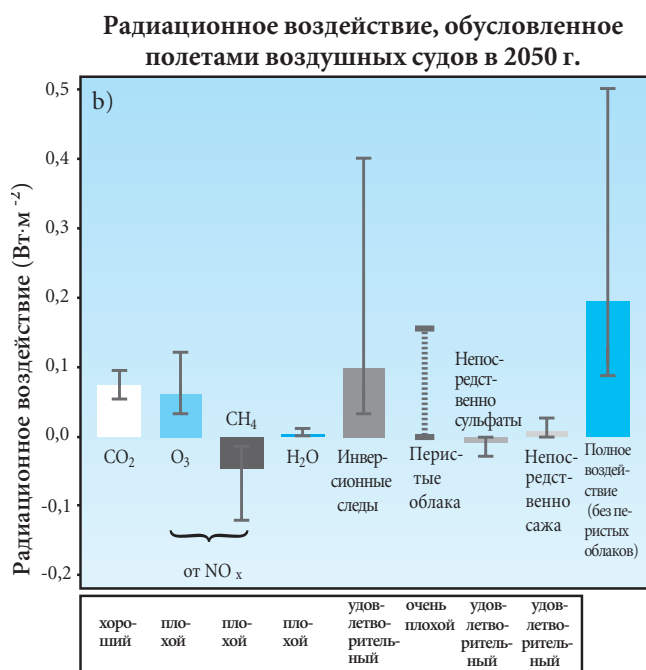
Как предполагается, помимо повышения концентрации тропосферного озона, авиационная эмиссия NO<sub>x</sub> приводит к понижению концентрации метана, который также является «парниковым» газом. Уменьшение содержания метана способствует охлаждению поверхности земли. По оценкам, в 1992 г. концентрация метана была примерно на 2 % меньше по сравнению с атмосферой без воздушных судов. По своим масштабам инициируемое воздушными судами снижение концентрации метана значительно отстает от наблюдаемого в целом в 2,5 раза увеличения с момента доиндустриальной эры. Неопределенность с точки зрения источников и поглотителей метана препятствует проведению проверки влияния авиации на концентрацию метана на основе атмосферных наблюдений. Согласно исходному сценарию (Fa1) к 2050 г. содержание метана в атмосфере без воздушных судов было бы на 5 % меньше.

Изменение концентрации тропосферного озона в основном происходит в северном полушарии, в то время как изменение содержания метана носит глобальный характер и, несмотря на то, что среднее глобальное радиационное воздействие аналогично по величине и противоположно по знаку, широтная структура воздействия различна, в результате чего на региональном уровне эти виды радиационного воздействия не компенсируют друг друга.

#### 4.4 Водяной пар

Большая часть водяных паров выбрасывается дозвуковыми воздушными судами в тропосферу, откуда они быстро, в течение 1—2 недель, выделяются в виде осадков. Меньшая часть водяных паров выбрасывается в нижние слои стратосферы, где они могут накапливаться в больших концентрациях. Поскольку водяной пар является «парниковым» газом, такое увеличение его концентрации способствует нагреву поверхности земли, хотя применительно к





**Рисунок 2.** Оценка глобального и ежегодного среднего радиационного воздействия ( $\text{Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ ) (см. примечание 4), обусловленного эмиссией дозвуковых воздушных судов в 1992 г. (2a) и в 2050 г. по сценарию Fa1 (2b). Масштаб графика на рисунке 2b примерно в 4 раза больше масштаба графика на рисунке 2a. Высота столбиков гистограмм соответствует наилучшей оценке воздействия, а прямые линии, сопровождающие каждый столбик, характеризуют область неопределенности в 2/3, вычисленную на основе имеющихся в настоящее время наиболее полных знаний и методов. (Область неопределенности в 2/3 соответствует 67% вероятности того, что истинное значение будет находиться в пределах этой области). Объем имеющейся информации о перистых облаках недостаточен для определения наилучшей оценки или области неопределенности; пунктирной линией показана область возможных наилучших оценок. Оценка полного воздействия не учитывает влияния изменений перистой облачности. Степень неопределенности в отношении полного радиационного воздействия (без дополнительных перистых облаков) равна квадратному корню из суммы квадратов верхних и нижних значений отдельных составляющих. Оценки под графиком «хороший», «удовлетворительный», «плохой», «очень плохой» соответствуют относительному уровню научного понимания влияния каждого компонента. В ее основе лежат имеющиеся фактические данные, позволившие сделать наилучшую оценку и вычислить степень ее неопределенности, уровень согласованности данных, опубликованных в научной литературе, и масштаб проведенного анализа. Эта оценка не зависит от оценки области неопределенности, характеризуемой линиями, сопровождающими каждый столбик гистограммы. Такой метод представления отличается от доверительного уровня, представленного на аналогичных графиках в докладе «Изменение климата, 1995 г.: Научные аспекты проблемы изменения климата», и является более значимым

дозвуковым воздушным судам это воздействие не столь значительно, как воздействие других видов авиационной эмиссии, таких, как двуокись углерода и  $\text{NO}_x$ .

#### 4.5 Инверсионные следы

По оценкам, в 1992 г. линейнообразные инверсионные следы воздушных судов в среднем в течение года охватывали примерно 0,1 % поверхности земли, причем региональные показатели имеют большее значение. Инверсионные следы, аналогично тонкой облачности на больших высотах, способствуют нагреву земной поверхности. По прогнозам, в рамках исходного сценария (Fa1) к 2050 г. площадь, охватываемая инверсионными следами, увеличится до 0,5 %, причем темпы прироста будут превышать темпы увеличения потребления авиационного топлива. Более высокие темпы увеличения площади, охватываемой инверсионными следами, обусловлены тем, что объем воздушного движения главным образом будет увеличиваться в верхних слоях тропосферы, где в основном образуются инверсионные следы; другой причиной может также стать повышение топливной эффективности воздушных судов. Образованию инверсионных следов способствуют водяные пары, выбрасываемые авиационными двигателями, а их оптические свойства зависят от состава выбрасываемых или образуемых в авиационном дыме частиц и от внешних атмосферных условий. Радиационное воздействие инверсионных следов зависит от их оптических свойств и площади глобального охвата, причем оба эти фактора носят неопределенный характер. Со спутников инверсионные следы наблюдаются как линейнообразные облака над районами с наиболее интенсивным воздушным движением, которые в 1996—1997 гг. в среднем охватывали примерно 0,5 % площади над Центральной Европой.

#### 4.6 Перистые облака

Результаты наблюдений свидетельствуют о том, что после образования устойчивых инверсионных следов начинает развиваться обширная перистая облачность. В рамках отдельных исследований определено, что увеличение площади перистых облаков (помимо облаков, определенных в качестве линейнообразных инверсионных следов) непосредственно связано с эмиссией воздушных судов. Перистыми облаками покрыто примерно 30 % поверхности земли. В среднем увеличение площади перистых облаков способствует нагреву поверхности земли. Согласно оценке, выполненной в конце 90-х годов, площадь инициируемых воздушными судами перистых облаков составляет 0 — 0,2 % поверхности земли. Применительно к сценарию Fa1 к 2050 г. эта величина может увеличиться в четыре раза (от 0 до 0,8 %); однако механизмы, связанные с увеличением площади перистых облаков, пока хорошо не изучены, что обуславливает необходимость в проведении дополнительных исследований.

#### 4.7 Сульфатные и сажевые аэрозоли

По сравнению с поверхностными источниками в 1992 г. концентрация аэрозолей, образуемых в результате полетов воздушных

судов, была относительно небольшой. Несмотря на то, что накопление аэрозолей в атмосфере непосредственно зависит от объема потребления авиационного топлива, по прогнозам, в 2050 г. концентрация образуемых в результате полетов воздушных судов аэрозолей на единицу массы будет по-прежнему небольшой по сравнению с поверхностными источниками. Увеличение объема сажи способствует потеплению, а увеличение объема сульфатов — охлаждению земной поверхности. Непосредственное радиационное воздействие сульфатных и сажевых аэрозолей, образуемых в результате полетов воздушных судов, относительно небольшое по сравнению с воздействием других видов авиационной эмиссии. Поскольку аэрозоли оказывают влияние на формирование облаков, накопление аэрозолей, образуемых в результате полетов воздушных судов, может оказать влияние на повышение в интенсивности образования облаков и на изменение их радиационных свойств.

#### 4.8 Каково общее воздействие дозвуковых воздушных судов на климат?

Климатические последствия различных видов антропогенной эмиссии можно сопоставить, используя для этого концепцию радиационного воздействия. Согласно наилучшей оценке радиационное воздействие в 1992 г., обусловленное полетами воздушных судов, составило  $0,05 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , или примерно 3,5 % полного радиационного воздействия, обусловленного всеми видами антропогенной деятельности. Для исходного сценария (Fa1) радиационное воздействие воздушных судов в 2050 г. будет составлять  $0,19 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , или 5 % радиационного воздействия, предусмотренного среднесрочным сценарием IS92a (это значение в 3,8 раза превышает значение 1992 г.) Согласно различным сценариям, рассмотренным в настоящем докладе, предполагается, что воздействие возрастет до  $0,13\text{—}0,56 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  в 2050 г., что в 1,5 раза меньше и в 3 раза больше значения, предусмотренного сценарием Fa1, или в 2,6—11 раз превышает значение 1992 г. Эти оценки воздействия учитывают последствия изменения концентрации двуокиси углерода, озона, метана, водяного пара, линейнообразных инверсионных следов и аэрозолей, но не учитывают возможных изменений, связанных с перистыми облаками.

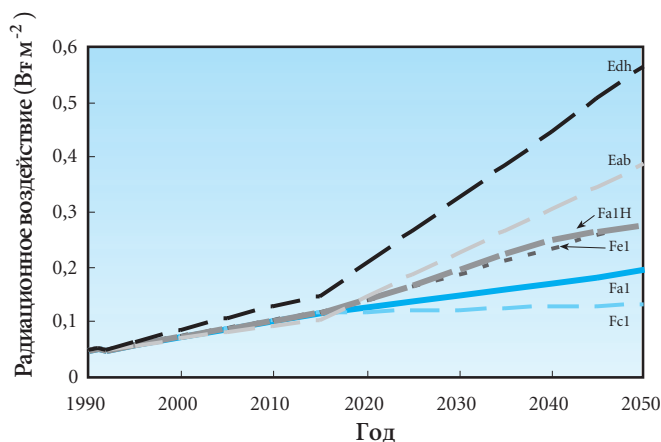
Глобальные усредненные значения радиационного воздействия, обусловленного различными составляющими, в 1992 г. и в 2050 г. в рамках исходного сценария (Fa1) показаны на рисунке 2. Рисунок 2 также иллюстрирует наилучшую оценку воздействия применительно к каждой составляющей и область неопределенности в  $2/3^8$ . Эти области неопределенности получены на основе экспертной научной оценки с возможным использованием целевых статистических моделей. Область неопределенности радиационного воздействия, о которой говорится в настоящем докладе, в целом учитывает неопределенность при расчете изменения в атмосфере концентрации «парниковых» газов и аэрозолей и при расчете радиационного воздействия. В отношении перистых облаков приводится лишь диапазон наилучших оценок; эти данные не учитывались при расчете полного радиационного воздействия.

<sup>8</sup> Область неопределенности в  $2/3$  означает 67 % вероятности того, что истинное значение будет находиться в пределах этой области.

В отношении каждого компонента выполнена оценка степени научного понимания. Эта оценка не идентична доверительному уровню, информация о котором приводилась в предыдущих документах МГЭИК. Она не зависит от области неопределенности и представляет собой относительную оценку степени научного понимания влияния каждого компонента. В ее основе лежат имеющиеся фактические данные, позволившие сделать наилучшую оценку и вычислить степень ее неопределенности, уровень согласованности данных, опубликованных в научной литературе, и масштаб проведенного анализа. Данные о полном радиационном воздействии в рамках каждого из шести сценариев развития авиации в течение периода 1990—2050 гг. представлены на рисунке 3.

В 1992 г. полное радиационное воздействие, обусловленное деятельностью авиации (без воздействия от дополнительных перистых облаков), находилось в диапазоне  $0,01\text{—}0,1 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ , причем наибольшая неопределенность связана с воздействием, оказываемым инверсионными следами и метаном. В этой связи полное радиационное воздействие может быть примерно в 2 раза больше или в 5 раз меньше, чем воздействие, определенное в рамках наилучшей оценки. При любом сценарии область неопределенности, характеризующая радиационное воздействие, в 2050 г. будет несколько выше, чем в 1992 г., однако в наибольшей степени изменение прогнозируемого радиационного воздействия обусловлено диапазоном сценариев.

За период с 1992 г. по 2050 г. общее радиационное воздействие, вызываемое полетами воздушных судов (за исключением изменений, связанных с перистыми облаками), в рамках всех сценариев настоящего доклада в 2—4 раза превышает воздействие, оказываемое лишь авиационной эмиссией двуокиси углерода. Суммарное радиационное воздействие всех видов антропогенной деятельности в целом в 1,5 раза превышает воздействие, оказываемое только двуокисью углерода.



**Рисунок 3.** Оценка глобального ежегодного усредненного радиационного воздействия (без перистых облаков), обусловленного авиационной эмиссией в рамках каждого из шести сценариев развития авиации в период 1990—2050 гг. (Кривая для сценария Fa2 не нанесена, поскольку на данном рисунке различить ее было невозможно)

Эмиссия  $\text{NO}_x$  вызывает изменение концентрации метана и озона, причем, по оценкам, влияние, оказываемое на радиационное воздействие, по величине аналогично, но противоположно по знаку. Однако, как отмечалось выше, по сравнению с воздействием метана, географическое распределение воздействия озона, вызываемое полетами воздушных судов, носит в большей степени региональный характер.

Влияние воздушных судов на климат накладывается на влияние, оказываемое другими видами антропогенной эмиссии «парниковых» газов и частиц и фоновой естественной изменчивостью. В 1992 г. радиационное воздействие, обусловленное деятельностью авиации, примерно составляло 3,5 % полного радиационного воздействия. Не представляется возможным выделить влияние авиации на глобальное изменение климата (или какой-либо другой отрасли с аналогичным радиационным воздействием) из всех других видов антропогенной деятельности. Влияние воздушных судов на глобальное изменение климата примерно пропорционально их влиянию на радиационное воздействие.

#### 4.9 Каково общее воздействие дозвуковых воздушных судов на ультрафиолетовое излучение?

Озон, большая часть которого находится в стратосфере, обеспечивает защиту от солнечного ультрафиолетового (UV) излучения. По оценкам, в 1992 г. мощность эритемальной дозы, характеризующей способность излучения UV вызывать солнечный ожог, под воздействием авиации в районе  $45^\circ\text{C}$ . ш. в июле уменьшилась примерно на 0,5 %. Для сравнения: за период с 1970 г. по 1992 г. в районе  $45^\circ\text{C}$ . ш. в июле<sup>9</sup> вычисленное увеличение мощности эритемальной зоны, обусловленное наблюдаемым разрушением озонового слоя, составило примерно 4 %. Как представляется, чистый эффект воздействия дозвуковых воздушных судов заключается в увеличении озонового столба и уменьшении излучения UV, что главным образом обусловлено авиационной эмиссией  $\text{NO}_x$ . Значительно меньшие изменения излучения UV связаны с образуемыми в результате полетов воздушных судов инверсионными следами, аэрозолями и индуцированной облачностью. По расчетам, в южном полушарии влияние эмиссии воздушных судов на мощность эритемальной дозы примерно в 4 раза меньше, чем в северном полушарии.

Для исходного сценария (Fa1) изменение мощности эритемальной дозы в районе  $45^\circ\text{C}$ . ш. в июле в 2050 г., по сравнению с моделируемой атмосферой без воздушных судов, составляет -1,3 % (от -0,7 до -2,6 % с областью неопределенности в 2/3). Для сравнения: в период с 1970 г. по 2050 г. в районе  $45^\circ\text{C}$ . ш. в июле вычисленное изменение мощности эритемальной зоны, обусловленное изменением концентрации следов различных видов, не связанных с

полетами воздушных судов, составляет примерно -3 %; такое уменьшение является чистым результатом двух противоположных эффектов: 1) неполного восстановления стратосферного озона до уровня 1970 г. в связи с длительным присутствием в атмосфере галогеносодержащих соединений; и 2) увеличения прогнозируемой поверхностной эмиссии недолговечных загрязнителей, что приводит к образованию озона в тропосфере.

#### 5. Каковы текущие и будущие последствия полетов сверхзвуковой авиации на радиационное воздействие и ультрафиолетовое излучение?

В будущем не исключена возможность создания нового парка сверхзвуковых, высокоскоростных гражданских воздушных судов (HSCT) второго поколения, хотя в отношении того, что такой парк будет создан, имеется значительная неопределенность. Предполагается, что крейсерские эшелоны полета этих сверхзвуковых воздушных судов будут проходить на высоте около 19 км, что примерно на 8 км выше эшелонов полета дозвуковых воздушных судов, причем выбрасывать двуокись углерода, водяной пар,  $\text{NO}_x$  и сажу они будут в стратосферу.  $\text{NO}_x$ , водяной пар и  $\text{SO}_x$ , выбрасываемые сверхзвуковыми воздушными судами, оказывают влияние на изменение концентрации стратосферного озона. По оценкам, радиационное воздействие гражданских сверхзвуковых воздушных судов примерно в 5 раз превышает воздействие, которое оказывают заменяемые ими дозвуковые воздушные суда в рамках сценария Fa1H. Расчетное радиационное воздействие сверхзвуковых воздушных судов зависит от той роли, которую играют пары воды и озон в рамках моделей. Используя существующие модели, трудно смоделировать эти последствия, что обуславливает высокую степень неопределенности.

В рамках сценария Fa1H делается допущение о том, что в 2015 г. будет эксплуатироваться дополнительный парк гражданских сверхзвуковых воздушных судов, который к 2040 г. возрастет до максимального количества в 1 000 воздушных судов. Для справки: на конец 1997 г. в состав парка гражданских дозвуковых воздушных судов входило примерно 12 000 воздушных судов. Согласно этому сценарию предполагается, что воздушные суда будут выполнять крейсерские полеты со скоростью 2,4М, а при использовании новых технологий уровень эмиссии, как предполагается, составит 5 к  $\text{NO}_2$  на кг топлива (ниже, чем уровень эмиссии современных гражданских сверхзвуковых воздушных судов, который составляет примерно 22 к  $\text{NO}_2$  на кг топлива). Предполагается, что эти сверхзвуковые воздушные суда заменят часть дозвукового парка (11 %, с точки зрения эмиссии в рамках сценария Fa1). По сравнению с дозвуковыми воздушными судами сверхзвуковые самолеты потребляют в два раза больше топлива на пассажиро-километр. По прогнозам, к 2050 г. эксплуатация смешанного парка (сценарий Fa1H) по сравнению со сценарием Fa1 (см. рисунок 4) приведет к дополнительному увеличению радиационного воздействия на  $0,08 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$  (42 %) —  $0,19 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ . Большая часть этого дополнительного воздействия обусловлена аккумуляцией водяных паров в стратосфере.

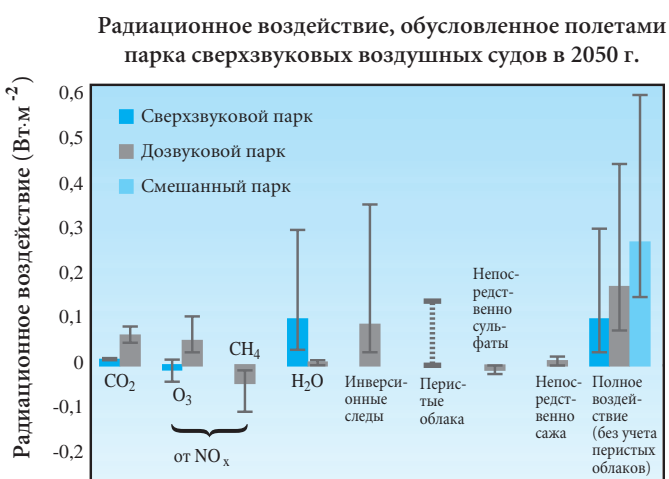
Внедрение в эксплуатацию гражданского сверхзвукового парка воздушных судов в целях создания смешанного парка (Fa1H)

<sup>9</sup> Это значение основано на результатах спутниковых наблюдений и расчетах с использованием моделей.

См. ВМО, 1999 г.: Научная оценка разрушения озона, 1998 г. Доклад №. 44, «Проект глобального изучения и мониторинга озонового слоя», Всемирная Метеорологическая Организация, Женева, Швейцария, с. 732.

также приведет к уменьшению концентрации стратосферного озона и увеличению мощности эритемальной дозы. По расчетам, максимальный эффект будет иметь место в районе 45°с. ш., где в июле изменение озонового столба в 2050 г., обусловленное эксплуатацией смешанного парка дозвуковых и сверхзвуковых воздушных судов по сравнению с атмосферой без воздушных судов составит — 0,4 %. Само по себе влияние сверхзвукового компонента на озоновый столб составит -1,3 %, а влияние дозвукового компонента оценивается в +0,9 %.

Эксплуатация смешанного парка приведет к изменению мощности эритемальной дозы в районе 45°с. ш. в июле на +0,3 % по сравнению с атмосферой 2050 г. без воздушных судов. Область неопределенности в 2/3 применительно к смешанному парку составляет от -1,7 % до +3,3 %. Эти величины сопоставимы с



**Рисунок 4.** Оценка глобального и ежегодного среднего радиационного воздействия смешанного парка дозвуковых и сверхзвуковых воздушных судов (в Вт·м<sup>-2</sup>), обусловленного изменением концентрации «парниковых» газов, аэрозолей и инверсионных следов в 2050 г. в рамках сценария Fa1H. Этим сценарием предполагается замена сверхзвуковыми воздушными судами части дозвукового парка (11%, с точки зрения эмиссии в рамках сценария Fa1). Высота столбиков гистограмм соответствует наилучшей оценке воздействия, а прямые линии, сопровождающие каждый столбик, характеризуют область неопределенности в 2/3, вычисленную на основе имеющихся в настоящее время наиболее полных знаний и методов. (Область неопределенности в 2/3 соответствует 67% вероятности того, что истинное значение будет находиться в этой области). Объем имеющейся информации о перистых облаках недостаточен для определения наилучшей оценки или области неопределенности; пунктирной линией показана область возможных наилучших оценок. Оценка полного воздействия не учитывает влияния изменений перистых облаков. Степень неопределенности в отношении полного радиационного воздействия (без дополнительных перистых облаков) равна квадратному корню из суммы квадратов верхних и нижних значений отдельных составляющих. Уровень научного понимания сверхзвуковых компонентов оценивается следующим образом: двуокись углерода — «хороший», озон — «плохой» и водяной пар — «плохой»

прогнозируемым изменением в -1,3 % для сценария Fa1. Выполнение полетов на больших высотах в большей степени оказывает влияние на уменьшение озонового столба, а на меньших высотах — в меньшей степени или может даже привести к увеличению озонового столба, если полеты выполняются в самых нижних слоях стратосферы. Кроме того, выбросы сверхзвуковых воздушных судов в стратосфере северного полушария могут переноситься в южное полушарие, где они вызывают разрушение озона.

## 6. Каковы возможности уменьшения объема эмиссии и ее последствий?

Имеется ряд вариантов уменьшения воздействия авиационной эмиссии, включая совершенствование конструкций воздушных судов и двигателей, использование альтернативных видов топлива, совершенствование эксплуатационных процедур, а также принятие нормативных и экономических мер. Эти варианты могут быть реализованы либо отдельно, либо совместно государственным и/или частным сектором. В сценариях авиационной эмиссии, используемых для расчета климатических изменений, уже учтены значительные успехи, достигнутые в области создания планеров воздушных судов и двигателей и совершенствования организации воздушного движения. Другие меры эксплуатационного характера, позволяющие в принципе уменьшить объем эмиссии, и альтернативные виды топлива в рамках этих сценариев не рассматривались. Дальнейшее совершенствование техники позволит обеспечить дополнительную экономию топлива и уменьшение объема эмиссии. Предполагается, что на практике ряд этих усовершенствований будет сделан по коммерческим причинам. Сроки реализации и масштаб нормативных экономических и других вариантов могут оказать влияние на введение новшеств и затронуть спрос на воздушные перевозки. Варианты корректирующих мер в отношении паров воды и облачности в полной мере не рассматривались.

При проведении оценки, связанной с закупкой новых воздушных судов или рассмотрением вопроса о потенциальных технических или эксплуатационных изменениях, наиболее важное значение для авиационной отрасли имеют обеспечение безопасности полетов, эксплуатационные параметры, экологические характеристики и расходы. Как правило, ожидаемый срок службы воздушного судна составляет 25—35 лет. Эти факторы необходимо учитывать при оценке темпов совершенствования техники и степени, в которой реализация вариантов политики, связанной с технологией, может способствовать уменьшению авиационной эмиссии.

### 6.1 Возможности, обусловленные совершенствованием конструкций воздушных судов и двигателей

Введение технологических новшеств уже позволило в значительной степени уменьшить объем большинства видов эмиссии на пассажиро-километр. Однако имеется возможность дальнейшего улучшения положения дел в этой области. Любое технологическое изменение предусматривает выбор компромиссного соотношения между различными экологическими последствиями.

Из расчета на пассажиро-километр топливная эффективность производимых в настоящее время воздушных судов примерно на 70 % выше, чем воздушных судов, производившихся 40 лет назад. В основном это достижение обусловлено совершенствованием двигателей, а остальная часть — совершенствованием конструкций планеров воздушных судов. По прогнозам, к 2015 г. топливная эффективность повысится на 20 %, а к 2050 г. — на 40—50 % по отношению к воздушным судам, производимым в настоящее время. В рамках разработанных для настоящего доклада сценариев применительно к 2050 г. при проведении оценки объемов потребления топлива и эмиссии уже учтено это повышение топливной эффективности. Повышение коэффициента полезного действия двигателей приводит к уменьшению удельного расхода топлива и уменьшению объема большинства видов эмиссии; однако при этом может увеличиться площадь инверсионных следов, а без совершенствования конструкций камер сгорания может также увеличиться объем эмиссии  $\text{NO}_x$ .

Проектирование будущих двигателей и планеров воздушных судов предусматривает задействование сложного процесса принятия решений и взаимный учет различных факторов (например, эмиссия двуокиси углерода, эмиссия  $\text{NO}_x$  на уровне земли, эмиссия  $\text{NO}_x$  на высоте, эмиссия водяного пара, инверсионные следы/ перистые облака и шум). В настоящем докладе не дается адекватной характеристики или количественной оценки этих аспектов.

Сейчас в международном масштабе реализуется обширная программа научных исследований в области двигателей, цель которой заключается в уменьшении объема эмиссии  $\text{NO}_x$  примерно к 2010 г. при выполнении цикла «посадка-взлет» до 70 % относительно используемых в настоящее время стандартов, при одновременном уменьшении расхода топлива двигателей на 8—10 % по сравнению с двигателями самых последних выпусков. Будет также достигнуто уменьшение объема эмиссии  $\text{NO}_x$  на крейсерских высотах, хотя необязательно в пропорции, аналогичной циклу «посадка-взлет». Следует иметь в виду, что принятие допущения о возможности достижения этих целей влечет за собой более длительный период внедрения этих технических новшеств на значительном количестве вновь производимых воздушных судов; как правило, этот период составляет 10 лет. В настоящее время также реализуется ряд научно-исследовательских программ, в рамках которых рассматривается эмиссия  $\text{NO}_x$  сверхзвуковых воздушных судов.

## 6.2 Возможности, связанные с топливом

*Как представляется, в течение последующих нескольких десятилетий не появится каких-либо практических альтернатив топливу на основе керосина для коммерческих реактивных воздушных судов. Уменьшение содержания серы в керосине приведет к уменьшению объема эмиссии  $\text{SO}_x$  и образуемых сульфатных частиц.*

Реактивным воздушным судам необходимо топливо с высокой энергетической плотностью, особенно для полетов большой протяженности. В долгосрочной перспективе возможны

другие виды топлива, такие, как водородные, однако для их использования потребуются воздушные суда новых конструкций, а также новая инфраструктура поставок энергоносителей. Использование водородного топлива приведет к исключению образуемой воздушными судами эмиссии двуокиси углерода, однако при этом увеличится объем эмиссии водяного пара. В целом экологические последствия и экологическая устойчивость производства и использования водорода или каких-либо других альтернативных видов топлива не определялись.

Процесс образования сульфатных частиц из авиационной эмиссии, который зависит от характеристик двигателя и дыма, становится менее интенсивным по мере уменьшения содержания серы в топливе. Имеются технологии, позволяющие удалить практически всю серу из топлива, однако ее удаление приводит к снижению смазывающей способности топлива.

## 6.3 Эксплуатационные возможности

*Совершенствование организации воздушного движения (АТМ) и других эксплуатационных процедур может привести к уменьшению объемов потребляемого авиационного топлива в диапазоне 8—18 %. В основном такое сокращение (от 6 до 12 %) обеспечивается совершенствованием АТМ, которое, как предполагается, будет в полной мере завершено в течение следующих 20 лет. Следствием этого будет сокращение объема всех видов авиационной эмиссии. Во всех рассматриваемых в настоящем докладе сценариях авиационной эмиссии уже учтено ее сокращение, обусловленное совершенствованием АТМ. Темпы задействования усовершенствованной АТМ будут зависеть от принятия на международном уровне важных организационных договоренностей.*

Системы организации воздушного движения используются для наведения, эшелонирования, координации и управления движением воздушных судов. Существующим национальным и международным системам организации воздушного движения присущи ограничения, следствием которых, например, являются полеты в зоне ожидания (воздушные суда выполняют полет по фиксированной схеме в ожидании разрешения на посадку), неэффективная прокладка маршрутов и не в полной мере оптимальные профили полета. Эти ограничения приводят к излишнему сжиганию топлива и, как следствие этого, увеличению объема эмиссии.

Применительно к действующему парку воздушных судов и выполняемым в настоящее время полетам устранение вышеупомянутых ограничений систем организации воздушного движения может привести к уменьшению объема сжигаемого топлива в диапазоне 6—12 %. Предполагается, что совершенствование систем, необходимое для такого уменьшения объема сжигаемого топлива, будет в полной мере осуществлено в течение последующих 20 лет, при условии своевременного достижения организационных и нормативных договоренностей. В рамках разработанных для настоящего доклада сценариев при оценке объема потребляемого топлива сделано допущение о своевременной модернизации АТМ.

К числу других эксплуатационных мер, направленных на уменьшение объема сжигаемого топлива на пассажиро-километр, относятся: увеличение коэффициентов загрузки (перевозка на конкретном воздушном судне большего количества пассажиров или груза), облегчение воздушных судов, оптимизация скорости воздушных судов, ограничение использования вспомогательных силовых установок (например для обогрева и вентиляции) и сокращение времени руления. Принятие мер эксплуатационного характера может привести к уменьшению объема сжигаемого топлива и эмиссии в диапазоне 2 — 6 %.

Повышение эксплуатационной эффективности может привести к увеличению объема воздушного движения, хотя каких-либо конкретных исследований, подтверждающих наличие такой закономерности, не проводилось.

#### 6.4 *Нормативные, экономические и другие возможности*

*Несмотря на то, что совершенствование конструкций воздушных судов и двигателей и повышение эффективности систем воздушного движения обеспечат возможность получения экологических выгод, они не смогут компенсировать последствий увеличения объема эмиссии в результате прогнозируемого расширения масштабов деятельности авиации. Политические возможности дальнейшего уменьшения объема эмиссии, заключающиеся во введении более жестких стандартов на эмиссию двигателей воздушных судов, отмене субсидий и стимулов, имеющих отрицательные экологические последствия, применении вариантов, ориентированных на рынок, таких, как введение пошлин, связанных с охраной окружающей среды (сборов и налогов), и обмен квотами на эмиссию, принятии добровольных мер, реализации программ научных исследований и замене авиации железнодорожным и автомобильным транспортом. Реализация большей части этих вариантов приведет к увеличению расходов и тарифов авиакомпаний. Некоторые из этих подходов в полной мере не изучались или не апробировались в авиации, что обуславливает неопределенность относительно последствий их применения.*

Сертификация двигателей по эмиссии является средством уменьшения удельной эмиссии. В настоящее время авиационные полномочные органы используют этот подход для регулирования эмиссии окиси углерода, углеводородов, NO<sub>x</sub> и дыма. Международная организация гражданской авиации приступила к деятельности по оценке необходимости в стандартах на эмиссию воздушных судов на крейсерских высотах в дополнение к существующим стандартам на эмиссию NO<sub>x</sub> при посадке и взлете и на другие виды эмиссии.

Варианты, ориентированные на рынок, такие, как пошлины, связанные с охраной окружающей среды (сборы и налоги), и обмен квотами на эмиссию, могут стимулировать введение технических новшеств и повысить эффективность, а также понизить спрос на воздушные перевозки. Полномасштабное изучение многих из этих подходов или апробация в рамках авиации не проводились, что обуславливает неопределенность относительно последствий их использования.

Пошлины, связанные с охраной окружающей среды (сборы и налоги), могли бы стать средством сдерживания темпов роста объемов авиационной эмиссии за счет дальнейшего стимулирования разработки и использования более эффективных воздушных судов, а также сдерживания темпов роста спроса на авиаперевозки. Результаты исследований свидетельствуют о том, что для обеспечения экологической эффективности вопрос о пошлинах необходимо рассматривать на международном уровне.

Еще одним возможным подходом к уменьшению последствий авиационной эмиссии является обмен квотами на эмиссию (подход, ориентированный на рынок), который позволяет участникам совместно свести к минимуму расходы на уменьшение эмиссии. В авиации принцип обмена квотами на эмиссию пока не апробировался, хотя такой подход использовался в отношении двуокиси серы (SO<sub>2</sub>) в Соединенных Штатах Америки, и его можно также применять к веществам, разрушающим озоновый слой, в рамках Монреальского протокола. Этот подход предусмотрен одним из положений Киотского протокола, относящихся к странам приложения В.

В настоящее время также изучается вопрос о добровольных мерах, направленных на уменьшение объема эмиссии в авиационной отрасли. Такие меры используются в других отраслях для уменьшения эмиссии «парниковых» газов или более широкого применения абсорбентов.

В числе возможных мер можно было также рассмотреть вопрос об отмене субсидий или стимулов, применение которых приводит к отрицательным экологическим последствиям, а также о реализации научно-исследовательских программ.

Замена железнодорожным и автомобильным транспортом могла бы привести к уменьшению объема эмиссии двуокиси углерода на пассажиро-километр. Масштабы такой замены ограничены маршрутами небольшой протяженности с высокой плотностью движения, по которым можно было бы открыть автомобильные или железнодорожные перевозки. Оценки свидетельствуют о том, что в Европе до 10 % пассажиров можно было бы перевозить не самолетами, а высокоскоростными поездами. Для изучения вопроса о потенциальной замене необходимо провести дополнительный анализ, включая определение компромиссных соотношений между широким диапазоном экологических последствий (например: воздействием шума, местным качеством воздуха и атмосферными последствиями глобального характера).

## 7. *Вопросы на будущее*

*Настоящий доклад посвящен оценке потенциальных климатических изменений и концентрации озона под воздействием воздушных судов до 2050 г. в рамках различных сценариев. В нем отмечается, что механизм влияния некоторых видов авиационной эмиссии хорошо осознан. В докладе также говорится о том, что механизм влияния других видов эмиссии изучен недостаточно хорошо, что с научной точки зрения обусловлено многими неопределенностями. Постоянно совершенствуется*

классификация потенциальных последствий антропогенной деятельности, включая влияние авиации на глобальную атмосферу. В докладе также уделено внимание технологическим новшествам, совершенствованию инфраструктуры, нормативным или ориентированным на рынок мерам, предусматривающим уменьшение объема авиационной эмиссии. Необходимо продолжать эту деятельность, с тем чтобы глубже понять научные и другие аспекты этой проблемы, дополнительно изучить варианты уменьшения эмиссии, подготовить более полную информацию для директивных органов и повысить степень осознания социальных и экономических проблем, обусловленных удовлетворением спроса на воздушные перевозки.

Имеется ряд мало изученных процессов, что ограничивает наши возможности прогнозировать последствия воздействия авиации на климат и озон, а именно:

- влияние инверсионных следов и аэрозолей на перистые облака;
- роль  $\text{NO}_x$  в изменении концентрации озона и метана;
- способность аэрозолей изменять химические процессы;
- перемещение атмосферных газов и частиц в верхних слоях тропосферы/нижних слоях стратосферы;
- реакция климата на воздействие регионального характера и стратосферные возмущения.

Кроме того, необходимо более подробно рассмотреть такие социально-экономические и технологические проблемы, как:

- классификация спроса на коммерческие воздушные перевозки, включая ограничения, присущие инфраструктуре аэропортов и воздушных трасс, и соответствующие технологические изменения;
- методы оценки внешних расходов и экологических выгод, обусловленных реализацией нормативных вариантов и вариантов, ориентированных на рынок;
- оценка макроэкономических последствий уменьшения объема эмиссии в авиационной отрасли, обусловленного возможным принятием корректирующих мер;
- технологические возможности и эксплуатационная практика уменьшения объема эмиссии, приводящей к образованию инверсионных следов и увеличению облачности;
- понимание экономических и экологических последствий выполнения условий сценариев потенциальной стабилизации (применительно к концентрации в атмосфере «парниковых» газов), включая меры, направленные на уменьшение авиационной эмиссии, а также оценку относительных экологических последствий деятельности различных видов транспорта.



# ПЕРЕЧЕНЬ МАТЕРИАЛОВ, ВЫПУЩЕННЫХ МГЭИК

## I. ПЕРВЫЙ ДОКЛАД МГЭИК ПО ОЦЕНКЕ, 1990 г.

- a) **ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА** — **Научная оценка МГЭИК**. Доклад Рабочей группы МГЭИК по научной оценке, 1990 г. (на английском, испанском, китайском, русском и французском языках).
- b) **ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА** — **Оценка воздействий**. Доклад Рабочей группы МГЭИК по оценке воздействий, 1990 г. (на английском, испанском, китайском, русском и французском языках).
- c) **ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА** — **Стратегии реагирования**. Доклад Рабочей группы МГЭИК по стратегиям реагирования, 1990 г. (на английском, испанском, китайском, русском и французском языках).
- d) **Общий обзор и резюме для лиц, определяющих политику, 1990 г. Emissions Scenarios** (prepared by the IPCC Response Strategies Working Group), 1990. (Сценарии выбросов — подготовлено Рабочей группой МГЭИК по стратегиям реагирования, 1990 г.).  
**Assessment of the Vulnerability of Coastal Areas to Sea Level Rise — A Common Methodology**, 1991. (Оценка уязвимости прибрежных зон к подъему уровня моря — общая методология, 1991 г.).

## II. ДОПОЛНЕНИЕ 1992 г. К ДОКЛАДУ МГЭИК

- a) **ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, 1992 г.** — **Дополнительный доклад к научной оценке МГЭИК**. Доклад Рабочей группы МГЭИК по научной оценке, 1992 г.
- b) **ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, 1992 г.** — **Дополнительный доклад к оценке воздействий (МГЭИК)**. Доклад Рабочей группы МГЭИК по оценке воздействий, 1992 г.

**ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА: Оценки МГЭИК 1990 и 1992 гг.** Общее резюме и резюме для лиц, определяющих политику, Первого доклада МГЭИК по оценке, а также дополнение 1992 г. (на английском, испанском, китайском, русском и французском языках).

**Global Climate Change and the Rising Challenge of the Sea.** Coastal Zone Management Subgroup of the IPCC Response Strategies Working Group, 1992. (Глобальное изменение климата и проблемы подъема уровня моря. Подгруппа по управлению прибрежными зонами Рабочей группы МГЭИК по стратегиям реагирования, 1992 г.).

**Report of the IPCC Country Study Workshop**, 1992. (Отчет научно-практического семинара МГЭИК по страновым исследованиям, 1992 г.).

**Preliminary Guidelines for Assessing Impacts of Climate Change**, 1992. (Предварительное руководство по оценке воздействий изменения климата, 1992 г.).

## III. СПЕЦИАЛЬНЫЙ ОТЧЕТ МГЭИК, 1994 г.

**ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, 1994 г.** — **Радиационное воздействие изменения климата и оценка сценариев выбросов МГЭИК IS92**.

## IV. ВТОРОЙ ДОКЛАД МГЭИК ОБ ОЦЕНКАХ, 1995 г.

- a) **ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, 1995 г.** — **Научные аспекты проблемы изменения климата** (включая резюме для лиц, определяющих политику). Доклад Рабочей группы I МГЭИК, 1995 г.
- b) **ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, 1995 г.** — **Научно-технические анализы воздействий изменения климата, адаптаций к нему и смягчения его последствий** (включая резюме для лиц, определяющих политику). Доклад Рабочей группы II МГЭИК, 1995 г.
- c) **ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА, 1995 г.** — **Социально-экономические аспекты изменения климата** (включая резюме для лиц, определяющих политику). Доклад Рабочей группы III МГЭИК, 1995 г.

- d) **Синтез научно-технической информации, содержащейся во Втором докладе МГЭИК об оценках, по вопросу об интерпретации статьи 2 Рамочной конвенции ООН об изменении климата, 1995 г.**

(Просим иметь в виду, что Синтез МГЭИК и три резюме для лиц, определяющих политику, опубликованы в едином томе и имеются на английском, арабском, испанском, китайском, русском и французском языках).

## V. МЕТОДОЛОГИЯ МГЭИК

- a) **Руководство МГЭИК по национальным справочникам парниковых газов** (3 тома), 1994 г. (на английском, испанском, русском и французском языках).
- b) **Техническое руководство МГЭИК по оценке воздействий изменения климата и адаптации**, 1994 г. (на английском, арабском, испанском, китайском, русском и французском языках).
- c) **Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories** (3 volumes), 1996. (Пересмотренное в 1996 году Руководство МГЭИК по национальным справочникам парниковых газов (3 тома), 1996 г.).

## VI. ТЕХНИЧЕСКИЕ ДОКУМЕНТЫ МГЭИК

**TECHNOLOGIES, POLICIES AND MEASURES FOR MITIGATING CLIMATE CHANGE — IPCC TECHNICAL PAPER 1, 1996.** (Технологии, политика и меры, направленные на смягчение последствий изменения климата — Технический документ 1 МГЭИК, 1996 г.) (на английском, испанском и французском языках).

**AN INTRODUCTION TO SIMPLE CLIMATE MODELS USED IN THE IPCC SECOND ASSESSMENT REPORT — IPCC Technical Paper 2, 1997.** (Введение к простым климатическим моделям, использованным во Втором докладе МГЭИК об оценках — Технический документ 2 МГЭИК, 1997 г.) (на английском, испанском и французском языках).

**STABILIZATION OF ATMOSPHERIC GREENHOUSE GASES: PHYSICAL, BIOLOGICAL AND SOCIO-ECONOMIC IMPLICATIONS — IPCC Technical Paper 3, 1997.** (Стабилизация атмосферных парниковых газов: физические, биологические и социально-экономические последствия — Технический документ 3 МГЭИК, 1997 г.) (на английском, испанском и французском языках).

**IMPLICATIONS OF PROPOSED CO<sub>2</sub> EMISSIONS LIMITATIONS — IPCC Technical Paper 4, 1997** (Последствия предложенных ограничений эмиссии CO<sub>2</sub> — Технический документ 4 МГЭИК, 1997 г.) (на английском, испанском и французском языках).

## VII. СПЕЦИАЛЬНЫЙ ДОКЛАД МГЭИК, 1997 г.

**Последствия изменения климата для регионов: оценка уязвимости** (включая резюме для лиц, определяющих политику) (на английском, арабском, испанском, китайском, русском и французском языках).  
Специальный доклад Рабочей группы II МГЭИК, 1997 г.

## VIII. СПЕЦИАЛЬНЫЙ ДОКЛАД МГЭИК, 1999 г.

**АВИАЦИЯ И ГЛОБАЛЬНАЯ АТМОСФЕРА** (включая резюме для лиц, определяющих политику) (на английском, арабском, испанском, китайском, русском и французском языках).  
Специальный доклад рабочих групп I и III, 1999 г.