

Министерство образования и науки Российской Федерации

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ АЭРОКОСМИЧЕСКОГО
МОНИТОРИНГА «АЭРОКОСМОС»**

№ госрегистрации 114101040001

УТВЕРЖДАЮ
Директор НИИ «АЭРОКОСМОС»
д-р техн. наук, академик РАН

_____ Бондур В.Г.
« » _____ 2015 г.

**ОТЧЕТ
О ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

**Разработка методов мониторинга динамики естественных и антропогенных эмиссий
газовых примесей и аэрозолей в атмосферу на основе космических данных и
результатов моделирования**

по теме:

**РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ МОНИТОРИНГА И КОМПЛЕКСНОЙ
МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

(промежуточный)

Этап 2

ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-
технологического комплекса России на 2014-2020 годы»

Соглашение о предоставлении субсидии от 08.09.2014 г. № 14.586.21.0004

Руководитель проекта,
академик РАН

_____ В.Г. Бондур

« » _____ 2015 г.

Москва 2015

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы:

академик РАН, д.т.н., профессор

В.Г. Бондур

(по всем разделам)

Исполнители темы:

Младший научный сотрудник

Е.В. Гапонова

(по всем разделам, введение, заключение)

Научный сотрудник

Е.В. Черепанова (раздел 2,3)

Заведующий отделом

М.Н. Цидилина (раздел 2)

Старший инженер

О.С. Воронова (раздел 2,3)

Старший научный сотрудник, к.т.н.

А.Б. Мурынин (раздел 1)

Инженер

М.А. Тарасова (раздел 2,3)

Ведущий научный сотрудник, д.ф.-м.н.,
профессор

А.Е. Алоян (раздел 1)

Старший научный сотрудник, к.ф.-м.н.

В.О. Арутюнян (раздел 1)

Ведущий научный сотрудник, д.х.н.,
профессор

А.Н. Ермаков (раздел 1)

Инженер

К. А. Арутюнян (раздел 2,3)

Младший научный сотрудник

Е.С. Митюшина (раздел 3)

Ведущий инженер

М.В. Гапонова (раздел 3)

Ведущий инженер

В.Л. Кладов (раздел 2)

Инженер

А.П. Тушнова (раздел 3)

РЕФЕРАТ

Отчет 147 с., 3 ч., 32 рис., 20 табл., 229 источников, 2 прил.

ЭМИССИИ, ГАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ, АЭРОЗОЛЬ, АТМОСФЕРА, ЕСТЕСТВЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ, КЛИМАТООБРАЗУЮЩИЕ ФАКТОРЫ, СПУТНИКОВЫЕ ДАННЫЕ, НАЗЕМНЫЕ ДАННЫЕ, КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, МОДЕЛИРОВАНИЕ

Объектом исследования являются эмиссии аэрозолей и газовых примесей, выделяемых под действием антропогенных и природных факторов в воздушную среду.

Целью проекта является разработка методических подходов и технологических решений для оценки объемов естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей на основе результатов космического мониторинга и математического моделирования для анализа их воздействия на состояние воздушной среды и климатические процессы на территории Северной Евразии путем объединения совместных Российско-Европейских исследований в интересах обеспечения охраны окружающей среды, повышения надежности прогнозов изменения климата и улучшения качества жизни.

В ходе выполнения 2 этапа ПНИ получены следующие **основные результаты**:

- Разработана комплексная математическая модель газовой и аэрозольной динамики атмосферы в региональном и глобальном масштабах;
- Разработаны методы космического мониторинга естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей;
- Осуществлен сбор и систематизация данных космического мониторинга для проведения исследований.

Методы и методология проведения работы

В качестве основных методов проведения работы на 2-м этапе выполнения ПНИ использовались моделирование газовой и аэрозольной динамики атмосферы, а так же разработка методов мониторинга и прогнозирования состояния атмосферы при наличии антропогенных и естественных эмиссий газовых примесей и аэрозолей.

Степень внедрения

По итогам выполнения 2-го этапа ПНИ все поставленные цели были достигнуты. Основными, с точки зрения практического применения, результатами второго этапа ПНИ представляются: разработанная комплексная математическая модель газовой и аэрозольной динамики атмосферы в региональном и глобальном масштабах; методы космического мониторинга естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей. Полученные результаты будут использоваться при проведении дальнейших работ по ПНИ.

Прогнозные предположения о развитии объекта исследования

Выполнение данных ПНИ обеспечит возможность применения самых современных подходов для оценки состояния воздушной среды, гармонизировать данные и стандартизировать программные средства, что сэкономит значительные средства по интеграции информационных ресурсов по оценке состояния окружающей среды на глобальном, региональном и локальном уровнях, а также обеспечит предпосылки к уменьшению отрицательного воздействия на окружающую среду.

Область применения

Разработанные в ходе проекта методы и технологии оценки объёмов эмиссий и распространения малых газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде с использованием космически данных и методов математического моделирования, обеспечат возможность комплексного мониторинга загрязнений атмосферы для исследования последствий влияния природных и антропогенных факторов на воздушную среду.

Выполнение данного ПНИ позволит применять самые современные подходы для оценки состояния атмосферы под влиянием природных и антропогенных факторов, гармонизировать данные и стандартизировать программные средства, что сэкономит значительные средства по интеграции информационных ресурсов необходимых для оценки состояния окружающей среды на глобальном, региональном и локальном уровнях, а также обеспечит снижение негативных воздействий на атмосферу и качество жизни. Исследования разработанных в ходе проекта методов и технологий в системе комплексного мониторинга внесёт значимый вклад в решение проблем, связанных с охраной окружающей среды и обеспечением экологической безопасности.

Значимость работы определяется возможностью уменьшения негативного воздействия на окружающую среду путем применения разрабатываемых методов мониторинга естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей с использованием космических данных и методов математического моделирования.

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	5
ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ	8
СОКРАЩЕНИЯ	12
ВВЕДЕНИЕ	15
1 Разработка комплексной математической модели газовой и аэрозольной динамики атмосферы в региональном и глобальном масштабах	17
1.1 Общие положения	17
1.2 Структура разрабатываемой комплексной модели	19
1.2.1 Гидродинамическая модель мезомасштабных атмосферных процессов	21
1.2.2 Модель переноса и диффузии газовых примесей и аэрозолей в атмосфере	28
1.2.3 Модель фотохимической трансформации газовых примесей и аэрозолей.....	32
1.2.4 Модель гомогенной бинарной и тернарной нуклеации для воспроизведения формирования частиц новой фазы из газов-предшественников. Для решения используется термодинамический подход	35
1.2.5 Модель конденсации/испарения.....	36
1.2.6 Модель коагуляции	38
1.3 Технические характеристики, входные и выходные параметры комплексной модели	41
1.4 Выводы по разделу 1	43
2 Разработка методов космического мониторинга естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей	45
2.1 Общие положения	45
2.2 Разработка метода космического мониторинга динамики эмиссий и оценка объемов выбросов NO₂ и SO₂ от антропогенных источников	47
2.2.1 Особенности эмиссий NO ₂ и SO ₂ в атмосферу от антропогенных источников. 47	
2.2.1 Суть и описание метода.....	49
2.3 Разработка метода космического мониторинга антропогенных источников горения и оценка выбросов CO₂	54
2.3.1 Особенности антропогенных источников выбросов CO ₂	54
2.3.2 Мониторинг источников горения по тепловым данным ночной съемки прибором VIIRS (спутник Suomi NPP)	55

2.3.3 Уточнение характеристик антропогенных источников горения.....	58
2.3.4 Оценка эмиссий CO ₂ от газовых факелов.....	60
2.3.5 Суть метода космического мониторинга антропогенных источников для оценки выбросов CO ₂	61
2.4 Разработка метода выявления очагов природных пожаров и расчёта объёмов эмиссий вредных газовых примесей CO₂, CO, NO₂ и аэрозолей от природных пожаров по спутниковым данным	62
2.4.1 Особенности решаемой задачи	62
2.4.2 Суть метода выявления очагов природных пожаров и расчёта объёмов эмиссий газовых примесей и аэрозолей от природных пожаров по спутниковым данным.....	62
2.4.3 Описание метода выявления очагов природных пожаров и расчёта объёмов эмиссий газовых примесей и аэрозолей от природных пожаров по спутниковым данным	63
2.5 Разработка метода космического мониторинга динамики и распространения пепловых выбросов (SO₂) в период извержения активных вулканов	69
2.5.1 Особенности космического мониторинга динамики и распространения пепловых выбросов (SO ₂) в период извержения активных вулканов.....	69
2.5.2 Суть и блок-схема реализации метода космического мониторинга динамики и распространения пепловых выбросов (SO ₂) в период извержения активных вулканов.....	69
2.5.3 Описание метода космического мониторинга динамики и распространения и распространения пепловых выбросов (SO ₂) в период извержения активных вулканов.....	71
2.6 Разработка метода комплексного мониторинга поля концентрации метана в атмосфере и природных источников его эмиссий по космическим данным	75
2.6.1 Особенности решаемой задачи	75
2.6.2 Суть метода.....	75
2.6.3 Описание метода комплексного мониторинга поля концентрации метана в атмосфере и природных источников его эмиссий по космическим данным	76
2.7 Разработка подходов к мониторингу углеродного баланса в атмосфере северных экосистем по данным дистанционного мониторинга и моделирования (подготовлено по материалам иностранного партнера)	83
2.8 Выводы по разделу 2.....	87
3 Сбор и систематизация данных космического мониторинга для проведения исследований.....	89

3.1 Общие положения	89
3.2 Методика сбора данных дистанционного зондирования Земли для космического мониторинга динамики естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей	89
3.2.1 Структура методики сбора данных дистанционного зондирования.....	89
3.3 Результаты сбора и систематизации данных космического мониторинга для проведения исследований.....	95
3.3.1 Спутниковые данные по содержанию NO ₂ , получаемые прибором OMI.....	95
3.3.2 Спутниковые данные по содержанию SO ₂ , получаемые прибором OMI.....	99
3.3.3 Спутниковые данные по содержанию CO, получаемые прибором AIRS	102
3.3.4 Спутниковые данные по содержанию CO ₂ , получаемые прибором AIRS	103
3.3.5 Спутниковые данные по содержанию CH ₄ , получаемые прибором AIRS	104
3.3.6 Спутниковые данные по содержанию аэрозолей, получаемых прибором MODIS	106
3.3.7 Спутниковые данные по характеристикам подстилающей поверхности, получаемые с помощью приборов MODIS, AVHRR, ETM+, OLI, TIRS	109
3.3.8 Возможности использования данных с российских спутников серии Метеор	116
3.3.9 Обобщение результатов сбора и систематизации данных	121
3.4 Выводы по разделу 3.....	124
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	125
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	127
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	148
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	175

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате выполнения второго этапа прикладных научных исследований по теме «Разработка методов мониторинга динамики естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей в атмосферу на основе космических данных и результатов моделирования» могут быть сделаны следующие выводы:

1. Разработана комплексная математическая модель, в состав которой входят следующие основные взаимосвязанные компоненты: модуль подготовки входной информации, использующий основные входные данные, необходимые для моделирования атмосферной циркуляции и переноса газовых примесей и аэрозолей в атмосфере; модель гидротермодинамики региональных атмосферных процессов с учетом орографических и термических неоднородностей подстилающей поверхности; модель переноса и диффузии многокомпонентных газовых примесей и аэрозолей в атмосфере; модель фотохимической трансформации; модель гомогенной бинарной нуклеации для воспроизведения процессов формирования частиц новой фазы (мельчайшие кластеры) из газов–предшественников; модель кинетических процессов конденсации/испарения; модель кинетических процессов коагуляции с использованием неравновесной функции распределения частиц по размерам. Модель обеспечивает учет динамики атмосферных процессов, переноса и трансформации многокомпонентных газовых примесей и аэрозолей, химической и фотохимической трансформации, а также кинетических процессов нуклеации, конденсации/испарения и коагуляции, происходящих в мезомасштабном пограничном слое атмосферы.

2. Разработаны методы космического мониторинга для оценки объемов эмиссий газовых примесей и аэрозолей в воздушную среду под действием природных и антропогенных факторов, основанные на использовании космических данных, получаемых с приборов OMI и AIRS, позволяющих определять содержание NO_2 , SO_2 , CO, NO_2 , CO_2 , CH_4 , данных аппаратуры MODIS для определения содержания аэрозоля, а также данных по характеристикам подстилающей поверхности, полученных с приборов MODIS, AVHRR, ETM+, OLI, TIRS. Разработанные методы позволяют решать практические задачи по выявлению источников, оценке объемов и динамики распространения загрязняющих веществ в атмосфере на пожароопасных, промышленных и густонаселенных территориях, характеризующихся наличием источников вредных газовых примесей и аэрозолей, а также оценивать влияние негативных воздействий естественных и антропогенных газовых эмиссий и аэрозолей на воздушную среду, в том числе на изменение климата в локальном, региональном и глобальном масштабах.

3. В соответствии с предложенной методикой проведен сбор и систематизация оперативных и архивных данных дистанционного зондирования по характеристикам атмосферы и подстилающей поверхности, получаемых с космических аппаратов AQUA, TERRA, AURA,

NOAA, Landsat и др. в различные временные периоды за последнее десятилетие на территорию Северной Евразии. Отработана процедура получения данных с российского спутника серии Метеор-М. Подробно проанализирована и систематизирована метафинформация по 16 типам информационных продуктов, сформированных по космическим данным на основании использования улучшенных алгоритмов восстановления значений характеристик. Общий объем собранных данных составил ~ 610,85 Гб.

4. В соответствии с Техническим заданием и Календарным планом на втором этапе проекта Иностранным партнером - Университетом Хельсинки (ATM-SCIENCE УН, Финляндия) выполнены следующие работы:

- Анализ условий формирования и свойств облаков для количественного определения основных климатических обратных связей и движущих механизмов, связанных с аэрозолями, облаками, осадками и взаимодействиями биосфера-атмосфера;

- Исследование влияния вторичного органического вещества на процесс формирования облаков.

Полученные результаты, которые представлены в аннотационном отчете Иностранного партнера (Приложение Б), будут использованы в дальнейших исследованиях.

5. На основании результатов дополнительных патентных исследований (Приложение А) подана заявка на изобретение № 2015115571 от 24.04.2015 г. по теме: «Способ определения индекса состояния атмосферы для антропогенных источников загрязнения».

7. Задачи исследований, поставленные на втором этапе ПНИ, решены полностью и соответствуют требованиям Технического задания и Календарного плана. Согласно критериям, применяемым к оценке научных исследований, результаты, полученные в ходе выполнения первого этапа ПНИ, являются полными.

8. Работа по второму этапу ПНИ «Разработка методов мониторинга динамики естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей в атмосферу на основе космических данных и результатов моделирования», выполнена на высоком научно-техническом уровне.

9. Результаты, полученные на втором этапе ПНИ, планируется использовать в дальнейших совместных Российско-Европейских исследованиях, на следующих этапах работ в интересах обеспечения охраны окружающей среды, повышения надежности прогнозов изменения климата и улучшения качества жизни.

10. Сведения о ходе выполнения проекта размещены на официальном сайте НИИ «АЭРОКСМОС» http://www.aerocosmos.info/proekty/project_4/obshchaya_kharakteristika_4.php