

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

№ госрегистрации 114101040001

УТВЕРЖДАЮ
Директор НИИ «АЭРОКОСМОС»
академик РАН, д.т.н.,
профессор

_____ Бондур В.Г.

« » _____ 2016 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:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

(промежуточный)

Этап 4

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, д.т.н.,
профессор

_____ В.Г. Бондур

« » _____ 2016 г.

Москва 2016

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 1,3)

Старший инженер

О.С. Воронова

(раздел 1)

Старший научный сотрудник, к.т.н.

А.Б. Мурынин

(раздел 1,2)

Младший научный сотрудник

А.Н. Трекин

(раздел 1,2)

Младший научный сотрудник

И.А. Тынянкина

(раздел 1)

Инженер

М.А.Тарасова

(раздел 1,3)

Инженер

К. А. Арутюнян

(раздел 1,3)

Младший научный сотрудник

Е.С. Митюшина

(раздел 1,3)

Инженер

А.П. Тушнова

(раздел 2)

Инженер

И.Т. Тарханова

(раздел 1)

Нормоконтролер

О.А. Кузьмина

РЕФЕРАТ

Отчет 267 с., 3 ч., 113 рис., 11 табл., 178 источников, 2 прил.

ЭМИССИИ, ГАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ, АЭРОЗОЛЬ, АТМОСФЕРА, ЕСТЕСТВЕННЫЕ И АНТРОПОГЕННЫЕ ИСТОЧНИКИ, КЛИМАТООБРАЗУЮЩИЕ ФАКТОРЫ, СПУТНИКОВЫЕ ДАННЫЕ, НАЗЕМНЫЕ ДАННЫЕ, ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ, КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, АЭРОКОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, 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 4-го этапа прикладных научных исследований получены следующие основные результаты:

- проведены экспериментальные исследования прототипа комплекса программных и технических решений, реализующих разработанные методы космического мониторинга и математического моделирования;
- проведена корректировка разработанной комплексной математической модели газовой и аэрозольной динамики атмосферы;
- выполнено уточнение разработанных методов космического мониторинга естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей.

Иностраным партнером - Университетом Хельсинки (ATM-SCIENCE УН, Финляндия) проведена интеграция полученных результатов для моделирования систем Земли в региональном и глобальном масштабе.

Метод и методология основаны на анализе внутрисезонной и долгосрочной изменчивости величин атмосферных выбросов загрязнений от природных пожаров и климатически значимых антропогенных источников в северной Евразии (включая Российскую Федерацию) на основе численных транспортно-химических и гидродинамических моделей состава атмосферы с использованием спутниковых данных об эмиссиях химически активных газов и аэрозолей, поступающих в атмосферу в результате

загрязнения климатически значимыми природными и антропогенными источниками.

Степень внедрения. По итогам выполнения 4-го этапа ПНИ все поставленные цели были достигнуты. Основными, с точки зрения практического применения, результатами четвертого этапа прикладных научных исследований представляются результаты экспериментальных исследований прототипа комплекса программных и технических решений, реализующих разработанные методы космического мониторинга и математического моделирования. Полученные результаты будут использоваться при проведении дальнейших работ по проекту.

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, а также объединения совместных Российско-Европейских исследований.

СОДЕРЖАНИЕ

ОПРЕДЕЛЕНИЯ.....	9
ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	15
ВВЕДЕНИЕ.....	17
1 Экспериментальные исследования прототипа комплекса программных и технических решений, реализующих разработанные методы космического мониторинга и математического моделирования	19
1.1 Общие положения.....	19
1.2 Проверка работы модуля автоматизированного сбора и предварительной обработки исходных данных (Модуль Д).....	20
1.2.1 Сбор и предварительная обработка данных MODIS	20
1.2.2 Сбор и предварительная обработка данных AIRS	25
1.2.3 Сбор и предварительная обработка данных OMI.....	29
1.2.4 Сбор и предварительная обработка данных AVHRR/VIIRS/MCY-MP.....	34
1.3 Проверка работы модуля тематической обработки данных о состоянии воздушной среды, получаемых прибором MODIS (КА TERRA, AQUA) (Модуль М).....	39
1.3.1 Проведение экспериментальных исследований по оценке объёмов эмиссий различных газовых примесей (CO, CO ₂ , NO ₂ , и др.) и аэрозолей в результате природных пожаров	40
1.3.2 Результаты экспериментальных исследований	43
1.4 Проверка работы модуля тематической обработки данных о состоянии воздушной среды, получаемых прибором OMI (КА AURA) (Модуль О).....	49
1.4.1 Проведение эксперимента по построению карт распределения газовых примесей NO ₂ и SO ₂ , а также их концентраций в заданный период времени.....	50
1.4.2 Проведение эксперимента по выявлению и идентификации точечных промышленных источников крупных выбросов с применением базы данных крупных антропогенных источников загрязнения атмосферы.....	56
1.5 Проверка работы модуля тематической обработки данных о состоянии воздушной среды, получаемых прибором AVHRR/VIIRS/MCY-MP (КА NOAA, SNPP, Метеор-М) (Модуль Р).....	59
1.5.1 Цели проверки.....	59

1.5.2 Проведение эксперимента по идентификации природных и антропогенных источников эмиссий на примере оценок эмиссий диоксида углерода от различных источников горения по данным VIIRS с использованием Модуля Р.....	60
1.5.3 Результаты эксперимента по получению дистанционно измеренных параметров для оценки эмиссий диоксида углерода от газовых факелов по данным VIIRS.....	71
1.6 Проверка работы модуля тематической обработки данных о состоянии воздушной среды, получаемых прибором AIRS (КА AQUA) (Модуль А)	80
1.6.1 Проведение эксперимента по мониторингу концентраций SO ₂ от извержений вулканов	80
1.6.2 Проведение эксперимента по определению концентрации SO ₂ на высоте 5 км по данным OMI	82
1.6.3 Проведение эксперимента по мониторингу содержания метана (CH ₄) в атмосфере	85
1.7 Проверка работы модуля математического моделирования (Модуль ММ).....	88
1.7.1 Уточнение методики проведения численных экспериментов по построению метеорологических полей и полей концентраций загрязняющих соединений в атмосфере ...	88
1.7.2 Проведение эксперимента по построению метеорологических полей с использованием комплексной модели.....	90
1.7.3 Проведение эксперимента по построению полей концентраций всех газовых веществ в атмосфере и концентраций аэрозольных частиц в атмосфере в зависимости от спектра размеров.	93
1.8 Заключение по Разделу 1	142
2 Корректировка разработанной комплексной математической модели газовой и аэрозольной динамики	144
2.1 Уточнение гидродинамической модели мезомасштабных атмосферных процессов.....	146
2.1.1 Состав, назначение и область применения	146
2.1.2 Термо-гидродинамическая модель атмосферы RAMS	148
2.1.3 Модель переноса HURAST	150
2.1.4 Описание логической структуры комплексной модели	155
2.2 Уточнение модели газовой и аэрозольной динамики в атмосфере	161
2.2.1 Общие сведения о глобальной трехмерной транспортно-химической модели атмосферы	161

2.2.2 Расчетная сетка модели.....	162
2.2.3 Метеорологические поля	163
2.2.4 Модельные эмиссии	164
2.2.5 Химический блок модели	174
2.2.6 Аэрозольный блок модели.....	180
2.3 Заключение по Разделу 2	183
3 Уточнение разработанных методов космического мониторинга естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей.....	185
3.1 Уточнение метода выявления очагов природных пожаров и расчёта объёмов эмиссий по спутниковым данным	185
3.3 Уточнение метода мониторинга поля концентрации метана (CH ₄) в атмосфере по космическим данным	188
3.1 Уточнение метода космического мониторинга антропогенных источников горения по данным аппаратуры VIIRS спутника SuomiNPP	190
3.4 Уточнение методов космического мониторинга динамики антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей в атмосфере с использованием результатов исследований иностранного партнера.....	193
3.5 Заключение по Разделу 3	197
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	198
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	200
ПРИЛОЖЕНИЕ 1	216
ПРИЛОЖЕНИЕ 2	218

ВВЕДЕНИЕ

Загрязнение атмосферы – это сложный многообразный процесс, в котором участвует большое разнообразие различных источников загрязнения, наносящие колоссальный урон окружающей среде, среди них большую долю занимают не только антропогенные (промышленные предприятия, теплоэнергетический комплекс, добыча полезных ископаемых и др.), но и естественные источники (природные пожары, извержения вулканов и др.) [1-36].

Наблюдаемые в последние десятилетия изменения состава атмосферного воздуха показывают, что объемы эмиссий большого числа вредных газовых примесей и аэрозолей естественного и антропогенного происхождения интенсивно возрастают, что негативно отражается на экологической обстановке [17,18,26-30,37,38].

В связи с этим необходимо использование эффективных методов, технологий и средств оперативного мониторинга, прежде всего космического [1-24,26,37-64], для чего необходима разработка методов обработки информации [65-84], а также использование в комплексе с космическими методами методов математического моделирования [85-90], обеспечивающих возможности анализа и прогноза развития и оценки последствий, связанных с природными процессами и антропогенной деятельностью, приводящих к эмиссиям вредных веществ в воздушную среду [11,14,17-19,26,30,37,38,89].

Актуальность исследований, в рамках настоящих прикладных научных исследований, обусловлена следующими факторами:

- серьезным экологическим ущербом, наносимым природными и антропогенными эмиссиями малых газовых компонент и аэрозолей в атмосферу;
- необходимостью предоставления оперативной космической информации для оценки влияния природных и антропогенных факторов на состав атмосферы и разработки рекомендаций по снижению их последствий;
- высокой эффективностью современных космических методов и технологий, а также методов математического моделирования для определения распространения малых газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде;
- необходимостью создания новых и усовершенствования существующих методов и технологий комплексного оперативного мониторинга состава атмосферы на основе космических данных и результатов математического моделирования;
- важностью международного сотрудничества для интеграции усилий Российской Федерации и стран Европейского Союза в области мониторинга загрязнений атмосферы.

Научная новизна ПНИ заключается в разработке новых и усовершенствовании существующих методов и технологий космического мониторинга, а также математического

моделирования состава атмосферы, для более точной оценки объёмов эмиссий и распространения вредных газов и аэрозолей, обусловленных природными и антропогенными факторами, на основе различных спутниковых данных и результатов математического моделирования газовой и аэрозольной динамики в атмосфере, обеспечивающих объективную оценку влияния вредных примесей на состояние воздушной среды для предотвращения негативного влияния на окружающую среду, климат, а также для улучшения качества жизни людей.

В результате выполнения настоящих ПНИ будут созданы алгоритмы и программные средства для мониторинга динамики естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей в атмосферу на основе космических данных и моделировании.

Целью 4-го этапа прикладных научных исследований является проведение экспериментальных исследований прототипа комплекса программных и технических решений, реализующих разработанные методы космического мониторинга и математического моделирования.

Главной задачей, решаемой на 4-м этапе проекта, является проверка работоспособности разработанного прототипа комплекса программных и технических решений, путём проведения экспериментальных исследований, а также корректировка разработанной математической модели и уточнение разработанных методов космического мониторинга.

Отчет содержит:

- описание и результаты экспериментальных исследований прототипа комплекса программных и технических решений, реализующих разработанные методы космического мониторинга и математического моделирования;
- корректировку разработанной комплексной математической модели газовой и аэрозольной динамики атмосферы;
- уточнение разработанных методов космического мониторинга естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей

Работы по интеграции результатов в контексте моделирования систем Земли в региональном и глобальном масштабе, выполненные иностранным партнером - Университетом Хельсинки (ATM-SCIENCE УН, Финляндия) представлены в аннотационном отчете.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам выполнения четвертого 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. В соответствии с разработанной на 3-ем этапе проекта программой и методикой экспериментальных исследований проведены экспериментальные исследования прототипа комплекса программных и технических решений, реализующих разработанные методы космического мониторинга и математического моделирования, которые подтвердили возможности:

- сбора и хранения информации о состоянии воздушной среды, поступающей как со станции приема космических данных, так и из долговременных архивов, полученных с космических аппаратов (КА) Terra, AQUA, AURA, NOAA, Метеор-М и др.;

- обработки данных, полученных со спутников Terra, AQUA, AURA, NOAA, Метеор-М и др., для выявления естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей;

- обработки данных космического мониторинга о состоянии воздушной среды и характеристиках подстилающей поверхности, поступающих с временным разрешением от 4 часов до 7 суток;

- расчета объемов эмиссий газовых примесей (в том числе CO, CO₂, NO₂ и др.) и аэрозолей в воздушной среде с учетом коэффициентов эффективности для различных типов растительности на основании данных космического мониторинга на разных уровнях пространственной дифференциации;

- получения оценок состояния и динамики изменения атмосферы с интервалом от 12 часов до 1-3 месяцев на региональном и глобальном масштабных уровнях при оценке воздействия эмиссий вредных примесей на воздушную среду;

- построения карт распространения эмиссий газовых примесей и аэрозолей в воздушной среде на основании данных космического мониторинга.

- формирования выходных информационных продуктов (геопривязанные карты с результатами оценки объемов эмиссий и распространения газовых примесей и аэрозолей, результаты статистической обработки и др.).

2. Проведена корректировка разработанной комплексной математической модели газовой и аэрозольной динамики атмосферы, с целью обеспечения возможности моделирования в региональном и глобальном масштабах, которая заключалась в подключении

к разработанной на предыдущем этапе проекта комплексной математической модели: гидродинамической модели RAMS (Regional Atmospheric Modeling System); гибридной модели переноса пассивного трассера HYPART (Hybrid Particle and Concentration Transport), входящей в состав программного комплекса RAMS и доработанной в соответствии с решаемыми задачами; глобальной трёхмерной химической транспортной модели GEOS-chem.

3. Выполнено уточнение разработанных методов космического мониторинга естественных и антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей, а именно: метода космического мониторинга антропогенных источников горения; метода выявления очагов природных пожаров и расчёта объёмов эмиссий по космическим данным; метода мониторинга поля концентрации метана (CH₄) в атмосфере по космическим данным, а также методов космического мониторинга динамики антропогенных эмиссий газовых примесей и аэрозолей в атмосферу с использованием результатов исследований иностранного партнера.

4. В соответствии с Техническим заданием и Календарным планом на четвертом этапе проекта Иностранным партнером - Университетом Хельсинки (ATM-SCIENCE УН, Финляндия) проведена интеграция полученных результатов для моделирования систем Земли в региональном и глобальном масштабе.

Полученные результаты Иностранного партнера, которые представлены в аннотационном отчете, будут использованы в дальнейших исследованиях.

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

6. Работы по четвертому 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.

7. Результаты, полученные на четвертом 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.

8. Сведения о ходе выполнения проекта размещены на официальном сайте НИИ «АЭРОКОСМОС» http://www.aerocosmos.info/proekty/project_4/obshchaya_karakteristika_4.php