

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

УДК 502.3-027.21
№ госрегистрации 114100940032
Инв. №

УТВЕРЖДАЮ

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

Бондур В.Г.

« » _____ 2015 г.

**ОТЧЕТ
О ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ**

Разработка методов и технологий оценки объемов эмиссий и распространения
углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде Северной и Восточной
Евразии по данным космического мониторинга

по теме:

**ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ, НАПРАВЛЕННЫЕ НА РЕШЕНИЕ
ПОСТАВЛЕННЫХ ЗАДАЧ**

(промежуточный)

Этап 2

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

Соглашение о предоставлении субсидии от 08.08.2014 г. № 14.583.21.0003

Руководитель темы
академик РАН, д-р техн. наук,
профессор

подпись, дата

В. Г. Бондур

Москва 2015

СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

академик РАН, д.т.н., профессор	В.Г. Бондур (по всем разделам)
Ведущий инженер	М.В. Гапонова (Введение, заключение, Раздел 1, 2, 4)
Инженер	К.А. Арутюнян (Раздел 1, 2)
Старший инженер	О.С. Воронова (Раздел 1, 2)
Инженер	М.А. Тарасова (Раздел 1, 2)
Младший научный сотрудник	А.Н. Трекин (Раздел 1, 3)
Стажер исследователь	А.Ю. Гушин (Раздел 2, 3)
Ведущий инженер	В.Л. Кладов (Раздел 1)
Руководитель группы, к.т.н.	С.А. Улановский (Раздел 3, Приложение А)
Заведующий отделом	М.Н. Цидилина (Раздел 1)
Младший научный сотрудник	Е.С. Митюшина (Приложение Б)
Младший научный сотрудник	Е.В. Гапонова (Раздел 2)
Инженер	А.П. Тушнова (Раздел 4)
Заведующий отделом	В.Е. Воробьев (Раздел 3)
Нормоконтролер:	О. А. Кузьмина

РЕФЕРАТ

Отчет 150 с., 4 ч., 37 рис., 24 табл., 120 источников, 2 прил.

ЭМИССИИ, МАЛЫЕ ГАЗОВЫЕ КОМПОНЕНТЫ, АЭРОЗОЛЬ, АТМОСФЕРА, ПРИРОДНЫЕ ПОЖАРЫ, СПУТНИКОВЫЕ И НАЗЕМНЫЕ ДАННЫЕ, КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ

Объектом исследования являются эмиссии и распространение углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде.

Целью настоящей работы является разработка и экспериментальная отработка методов и технологий мониторинга состояния воздушной среды для оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в интересах предупреждения и уменьшения негативных последствий от природных пожаров.

Целью совместных научных исследований является развитие и реализация новых подходов к мониторингу состояния воздушной среды с учётом антропогенных и природных воздействий, ориентированных на разработку методов и технологий мирового уровня, позволяющих снизить экологическую нагрузку на окружающую среду, а также усилить координацию исследовательской деятельности между Российской Федерацией и КНР.

Методы и методология проведения работы

В качестве основных методов проведения работ на данном этапе ПНИ использовались: методы теоретических исследований в области разработки методов и технологий оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде, методы и технологии сбора и обработки спутниковых данных, методы проектирования баз данных, методология функционального моделирования IDEF0.

Результаты работы

В ходе выполнения **2-го этапа ПНИ**: «Теоретические исследования, направленные на решение поставленных задач» получены следующие **основные результаты**:

а) Разработана технология сбора и обработки спутниковых данных для проведения оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах.

б) Разработана логическая структура базы данных результатов оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах, полученных на основании космического мониторинга.

в) Разработаны технические решения, определяющие облик системы для оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах, программно-техническую платформу для ее функционирования, инструментальные средства для создания отдельных компонентов системы.

г) Проведен анализ и обобщение результатов ПНИ по 2 этапу.

Работы, выполненные иностранным партнером:

д) Проведены исследования методик и технологий измерения и оценки аэрозольной оптической толщины.

е) Проведен анализ распределения аэрозольной оптической толщины в тестовых районах Китая.

Степень внедрения

Внедрение предлагаемых разработок даст возможность обеспечения комплексного мониторинга загрязнений атмосферы для исследования последствий природных пожаров. Система комплексного мониторинга природных пожаров и их последствий внесёт значимый вклад в решение проблем, связанных с охраной окружающей среды и обеспечением экологической безопасности. Внедрение планируется на последующих этапах выполнения ПНИ и после его завершения.

Область применения результатов ПНИ

Результаты ПНИ будут востребованы Министерством Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий, Министерством природных ресурсов и экологии Российской Федерации, Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, различными ВУЗами, организациями субъектов Российской Федерации, предприятиями реального сектора экономики, иностранными организациями, институтами РАН входящими в состав Федерального агентства научных организаций.

Возможными путями и действиями по доведению результатов исследований до потребителей являются: публикации в научных журналах, в том числе электронных; доклады о результатах исследований на российских и международных конференциях; участие в российских и международных выставках по тематике исследований; размещение информации о результатах на сайте организации; подготовка обоснованных предложений по использованию результатов исследований при подготовке профильных специалистов.

Значимость работы определяется возможностью оценки состояния воздушной среды и негативных воздействий на нее от природных пожаров с применением новых методов и технологий по данным космического мониторинга.

Работы выполняются в координации с партнерским китайским проектом, что стимулирует развитие международных интеграционных процессов в науке и содействует формированию устойчивых кооперационных связей российских и китайских научно-исследовательских организаций.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	11
1 РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ СБОРА И ОБРАБОТКИ СПУТНИКОВЫХ ДАННЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ОЦЕНКИ ОБЪЕМОВ ЭМИССИЙ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТ И АЭРОЗОЛЕЙ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ПРИ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРАХ	14
1.1 Основные принципы сбора и обработки спутниковых данных для проведения оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах.....	14
1.1.1 Общие положения	14
1.1.2 Основные характеристики используемых базовых информационных продуктов ..	15
1.1.3 Технологическая схема сбора, обработки и хранения спутниковых данных для проведения оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах	26
1.2 Разработка методики сбора и обработки спутниковых данных для определения очагов природных пожаров.....	30
1.2.1 Общие положения	30
1.2.2 Обобщенная блок-схема методики сбора и обработки спутниковых данных для определения очагов природных пожаров	30
1.2.3 Особенности сбора и оперативной обработки данных, полученных спутниками TERRA, AQUA и NOAA для определения очагов природных пожаров	32
1.2.4 Особенности сбора и обработки спутниковых данных, получаемых аппаратурой спутников Метеор - М №1,2	36
1.3 Разработка методики сбора и обработки спутниковых данных для определения площади природных пожаров	38
1.3.1 Общие положения	38
1.3.2 Обобщенная блок-схема методики	38
1.3.3 Особенности сбора спутниковых данных для определения площадей природных пожаров	40
1.3.4 Обработка данных для определения площадей природных пожаров	40
1.4 Разработка методики сбора и обработки спутниковых данных для оценки объемов эмиссий углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах.....	46
1.4.1 Исходные данные для оценки объемов эмиссий углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах	46
1.4.2 Основа методики обработки спутниковых данных для оценки объемов эмиссий углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах	47
1.4.3 Основные шаги методики сбора и обработки спутниковых данных для оценки объемов эмиссий углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах	47
1.5 Разработка методики сбора и обработки спутниковых данных для оценки динамики распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде.....	51
1.5.1 Основные подходы к оценке динамики распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде	51
1.5.2 Блок-схема методики сбора и обработки спутниковых данных для оценки динамики распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде	51
1.5.3 Описание методики сбора и обработки спутниковых данных, используемых для непосредственного измерения состава атмосферы	53

1.5.4 Описание методики сбора и обработки данных для оценки динамики распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде с использованием методов математического моделирования	62
1.5.5 Сравнение результатов моделирования состояния атмосферы с результатами расчетов состава атмосферы на основании данных ДЗЗ	63
Выводы к Разделу 1	64
2 РАЗРАБОТКА ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОЦЕНКИ ОБЪЕМОВ ЭМИССИЙ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТ И АЭРОЗОЛЕЙ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ПРИ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРАХ, ПОЛУЧЕННЫХ НА ОСНОВАНИИ КОСМИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА.....	66
2.1 Основные принципы проектирования базы данных	66
2.2. Структура и описание входных данных.....	67
2.3 Описание форматов используемых данных	71
2.4 Разработка кодировки файлов формируемых массивов данных	72
2.5 Иерархическая структура файлового хранилища	73
2.6 Логическая структура базы данных результатов оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах.....	73
Выводы к Разделу 2	77
3 РАЗРАБОТКА ТЕХНИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ ОБЛИК СИСТЕМЫ ДЛЯ ОЦЕНКИ ОБЪЕМОВ ЭМИССИЙ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТ И АЭРОЗОЛЕЙ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ПРИ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРАХ, ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКУЮ ПЛАТФОРМУ ДЛЯ ЕЕ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ, ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ СОЗДАНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ КОМПОНЕНТОВ СИСТЕМЫ.....	79
3.1 Общая характеристика разрабатываемого Макета системы для оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах.....	79
3.2 Описание функциональных подсистем разрабатываемого Макета системы	81
3.3 Разработка архитектуры Макета системы	83
3.4 Разработка функциональной модели системы	90
3.5 Выбор инструментальных (программных) средств для создания отдельных компонентов разрабатываемого Макета системы.....	97
3.5.1 Выбор операционной системы (ОС).....	97
3.5.2 Выбор базового программного обеспечения для обработки данных ДЗЗ	97
3.5.3 Выбор программного обеспечения ГИС	98
3.5.4 Выбор системы управления базами данных (СУБД)	100
3.5.5 Выбор языка программирования	101
Выводы к Разделу 3	102
4 АНАЛИЗ И ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ПНИ ПО 2 ЭТАПУ	103
4.1 Обобщение достигнутых на 2-м этапе ПНИ результатов	103
4.2 Анализ выполнения требований технического задания на ПНИ	106
Выводы к Разделу 4	107
ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....	108
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	111
ПРИЛОЖЕНИЕ А ОСНОВНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ ОБЪЕМОВ ЭМИССИЙ И РАСПРОСТРАНЕНИЯ УГЛЕРОДСОДЕРЖАЩИХ ГАЗОВЫХ КОМПОНЕНТ И АЭРОЗОЛЕЙ В ВОЗДУШНОЙ СРЕДЕ ПРИ ПРИРОДНЫХ ПОЖАРАХ	122
ПРИЛОЖЕНИЕ Б ОТЧЕТ О ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ.....	127

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании анализа и оценки результатов, полученных при выполнении 2-го этапа прикладных научных исследований (ПНИ) по теме: «Разработка методов и технологий оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде Северной и Восточной Евразии по данным космического мониторинга» и разработанных материалов, представленных в настоящем отчете, можно сделать следующие **основные выводы:**

1. Разработана технология сбора и обработки спутниковых данных, которая позволит оптимизировать процесс оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах. На ее основе будут разработаны новые и доработаны уже существующие алгоритмы автоматизации сбора и обработки исходной спутниковой информации.

2. Предложены способы получения исходных данных для оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах, которыми являются базовые информационные продукты, формируемые аппаратурой различных спутников: MODIS (спутники TERRA, AQUA), AVHRR (спутник NOAA), MCSU-MP, KMCC (спутники Метеор-М 1,2), VIIRS (спутник SUOMI NPP), AIRS (спутник AQUA), OMI (спутник AURA) обеспечивающие:

- оперативное получение спутниковых данных со станций приема (например, продукты MODIS, AVHRR);
- бесплатный доступ через сеть Интернет (например, продукты MODIS, AIRS, OMI);
- данные, к которым предоставляется прямой бесплатный доступ после предварительного заказа (например, продукты приборов MCSU-MP, KMCC и ИКФС-2).

3. Разработана логическая структура базы данных, описывающая понятия предметной области, взаимосвязь между компонентами этой базы, а также ограничения на данные, налагаемые предметной областью, которая будет использоваться при создании базы данных результатов оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах.

4. Разработаны технические решения, позволившие определить облик системы для оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде и разработать структурную схему Макета системы, в соответствии с которой она состоит из следующих функциональных подсистем:

- сбора данных космического мониторинга;
- предварительной обработки данных;
- конвертации и ввода данных в базу данных;

- хранения данных;
- тематической обработки данных;
- визуализации данных.

5. Выбрана программно-техническая платформа для разрабатываемой системы (макета системы), обеспечивающая заданную функциональность системы, принятую технологию реализации процессов решения задач, технические аспекты хранения данных и организации информационного обмена в рамках системы, а также надежность функционирования системы и защиту данных от негативного воздействия внешних факторов.

6. Разработана обобщенная функциональная модель системы оценки объемов эмиссий и распространения углеродсодержащих газовых компонент и аэрозолей в воздушной среде при природных пожарах на основе космических данных, отображающая взаимодействие основных функциональных компонент разрабатываемой системы.

7. Проведен выбор программных средств для создания отдельных компонентов разрабатываемой системы. В качестве операционных систем АРМ и серверов выбраны операционные системы, обеспечивающие современный уровень разработок и максимально полную реализацию потребностей, связанных с решением задач по созданию системы. В составе АРМ базы данных выбрана 64-битная операционная система Windows 8.1 Professional, для сервера базы данных - 64-битная операционная система Windows 2012 Server R2. В качестве базового программного обеспечения выбраны следующие программные продукты: ENVI, ArcGIS (в модификации ArcInfo), Microsoft SQL Server Standard. Средством разработки новых и усовершенствования существующих специализированных модулей обработки спутниковой информации выбран язык программирования C, C++.

8. В рамках 2-го этапа ПНИ проведены дополнительные патентные исследования, на основании которых подана заявка на получения патента «Способ контроля пирологического состояния подстилающей поверхности», № заявки 2015115569, дата подачи 24.04.2015. Исследование патентоспособности заявки представлены в Приложении Б к настоящему отчету о ПНИ.

9. Проведенная оценка полноты решения задач и эффективности полученных результатов показала, что задачи, поставленные на 2-м этапе ПНИ, решены полностью и соответствуют требованиям Соглашения на выполнения прикладных научных исследований. Согласно всем критериям, применяемым к оценке научных исследований, результаты, полученные в ходе выполнения 2-го этапа работ, являются высокоэффективными и выполнены на высоком научно-техническом уровне.

10. Результаты, полученные на 2-м этапе работ, будут использованы на последующих этапах ПНИ при разработке методов и технологий оценки объёмов эмиссий и распространения

малых газовых компонент, и аэрозолей в воздушной среде с использованием данных о пожарах, полученных аэрокосмическими методами, что позволит обеспечить возможность проведения комплексного мониторинга загрязнений атмосферы для выявления последствий природных пожаров. Система комплексного мониторинга природных пожаров и их последствий внесёт значимый вклад в решение проблем, связанных с охраной окружающей среды и обеспечением экологической безопасности.

11. В соответствии с Техническим заданием и Планом графиком выполнения ПНИ иностранным партнером Институтом дистанционного зондирования и цифровой Земли Китайской академии наук (RADI) на 2-м этапе ПНИ проведены исследования методик и технологий измерения и оценки аэрозольной оптической толщины, выполнен анализ распределения аэрозольной оптической толщины в тестовых районах Китая.

В рамках второго этапа Институтом дистанционного зондирования и цифровой Земли Китайской академии наук (RADI) опубликовано две статьи:

а) H. Xu, J. Guang, Y. Xue¹, Gerrit de Leeuw, Y. H. Che, Jianping Guo, X.W. He, T.K. Wang, 2015, A Consistent Aerosol Optical Depth (AOD) Dataset over Mainland China by Integration of Several AOD Products. Atmospheric Environment. (doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.05.023).

б) J H, Zhang, XD An, XF, Liu, FM Yao, Links of aerosol-cloud-precipitation based on satellite and principal component analysis in China, ICCEP 2015, (в печати).

Результаты работ иностранного партнера представлены в Аннотационном отчете.

12. Сведения о ходе выполнения настоящих прикладных научных исследований размещены на официальном сайте НИИ «АЭРОКОСМОС»:

http://www.aerocosmos.info/proekty/project_5/obshchaya_kharakteristika_5.php.