

Министерство образования и науки Российской Федерации

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

УДК 550.34  
№ госрегистрации 114100940029

УТВЕРЖДАЮ

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

\_\_\_\_\_ Бондур В.Г.

«    » \_\_\_\_\_ 2016 г.

ОТЧЕТ  
О ПРИКЛАДНЫХ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЯХ

Разработка методов и создание экспериментального образца системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса, для предупреждения значительных сейсмических событий

по теме:

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОСТАВЛЕННЫХ ПЕРЕД ПНИ ЗАДАЧ

(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. №14.577.21.0108

Руководитель темы,  
директор НИИ «АЭРОКОСМОС»  
академик, д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_  
подпись, дата

В. Г. Бондур

Москва 2016

## РЕФЕРАТ

Отчет 352 с., 8 ч., 159 рис., 30 табл., 169 источников, 3 прил.

БАЗА ДАННЫХ, ГЕОДИНАМИЧЕСКИЕ ПРЕДВЕСТНИКИ, ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПОЛЯ, ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ, ИОНОСФЕРНЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ, КОСМИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ, ЛИНЕАМЕНТЫ, НАВИГАЦИОННЫЕ СПУТНИКОВЫЕ СИСТЕМЫ, ПРЕДВЕСТНИКИ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, ПРОГНОЗ, СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЯВЛЕНИЯ, СИСТЕМЫ СБОРА И ОБРАБОТКИ ДАННЫХ, СПУТНИКОВЫЕ ДАННЫЕ, ТЕПЛОВЫЕ ПОЛЯ, ТЕПЛОВЫЕ ПРЕДВЕСТНИКИ

Объектом исследования являются аномалии геофизических полей, возникающих в процессе взаимодействия литосферы и атмосферы при подготовке и протекании землетрясений.

Целями выполнения ПНИ являются:

Разработка и экспериментальная отработка новых методов и технологий сбора, обработки и систематизации данных, регистрируемых космическими средствами для мониторинга предвестников сильных Магнитудой  $\geq 6$  (далее  $M \geq 6$ ) землетрясений.

Разработка научно-технических решений для организации мониторинга сейсмоопасных территорий и создания базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса, для предупреждения, снижения риска и уменьшения экономических, социальных и экологических последствий от значительных сейсмических событий.

Методы и методология проведения работы.

В качестве основных методов и методологии проведения работы на 4-м этапе выполнения ПНИ использовались методы экспериментальных исследований на основании программы и методик экспериментальных исследований, а также математические методы обработки и анализа космических данных для выявления предвестников землетрясений.

Результаты работы.

В ходе выполнения 4-го этапа ПНИ: «Экспериментальные исследования поставленных перед пни задач» получены следующие основные результаты:

а) проведены экспериментальные исследования экспериментального образца системы (ЭОС) формирования и сопровождения базы данных предвестников сильных землетрясений, регистрируемых из космоса, направленные на проверку соответствия разработанного экспериментального образца требованиям Технического задания;

б) проведен анализ результатов экспериментальных исследований;

в) сформирован фрагмент базы данных предвестников землетрясений,

роегистрируемых из космоса;

г) проведены дополнительные патентные исследования;

д) осуществлен подбор и предоставление исходных космических изображений для проведения геодинамических особенностей сейсмоопасных территорий;

е) осуществлена предварительная обработка данных для проведения исследований геодинамических особенностей сейсмоопасных территорий;

ж) подана заявка на изобретение «Способ достоверного обнаружения сейсмического процесса космическими средствами»;

з) получены Свидетельства о государственной регистрации программ для ЭВМ «Модуль построения роз-диаграмм направленности линеаментов», «Модуль построения роз-диаграмм направленности линеаментов».

Степень внедрения

По итогам выполнения 4-го этапа ПНИ все поставленные цели были достигнуты. С точки зрения практического применения основным результатом 4-го этапа ПНИ являются экспериментальные исследования разработанного экспериментального образца системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса.

Полученные результаты будут использованы при создании системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса, которая внесет вклад в решение проблем предупреждения, оценки рисков и уменьшения негативных последствий от сильных землетрясений.

Область применения результатов ПНИ

Разработанный в ходе ПНИ экспериментальный образец системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса, обеспечит возможность осуществления комплексного мониторинга состояния сейсмоопасных территорий для предупреждения и снижения риска значительных сейсмических событий. Полученные результаты будут использованы при создании комплексной системы мониторинга чрезвычайных ситуаций, которая внесет вклад в решение проблем предупреждения, оценки рисков и уменьшения негативных последствий от природных катастроф и обеспечения экологической безопасности.

Полученные при проведении ПНИ результаты будут превышать мировой уровень работ в исследуемой области, будут конкурентоспособны в сравнении с известными отечественными и зарубежными разработками.

Значимость работы определяется возможностью проведения мониторинга предвестников землетрясений с применением новых методов и технологий сбора, обработки

и систематизации данных, регистрируемых космическими средствами, путем использования современных программных и технических решений, позволяющих повысить скорость, качество и системность обработки информации.

НИИ "АЭРОКОСМОС"

## СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	19
1 ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭОС ФОРМИРОВАНИЯ И СОПРОВОЖДЕНИЯ БАЗЫ ДАННЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ ИЗ КОСМОСА	22
1.1 Общие положения	22
1.2 Описание результатов проверки комплектности технической документации на ЭОС (пункт 1 Программы экспериментальных исследований)	24
1.3 Описание результатов проверки комплектности ЭОС, его соответствия технической документации (пункт 2 Программы экспериментальных исследований)	25
1.4 Описание результатов проверки соответствия характеристик аппаратных средств, общего и общесистемного программного обеспечения ЭОС технической документации и требованиям ТЗ (пункт 3 Программы экспериментальных исследований)	26
1.5 Описание результатов проверки соответствия заявленных возможностей ЭОС требованиям по назначению (пункт 4 Программы экспериментальных исследований)	29
1.6 Описание результатов проверки реализации при создании ЭОС «клиент-серверной» технология хранения данных и информационного обмена (пункт 5 Программы экспериментальных исследований)	30
1.7 Описание результатов проверки соответствия архитектуры базы данных предвестников землетрясений требованиям ТЗ (пункт 6 Программы экспериментальных исследований)	33
1.8 Описание результатов проверки реализации функций ввода, хранения, управления (редактирования) и визуализации данных, а также реализации удаленного доступа к базе данных (пункт 7 Программы экспериментальных исследований)	38
1.9 Описание результатов проверки возможности получения данных от заданных внешних источников и реализации функций сбора и предварительной обработки данных (пункт 8 Программы экспериментальных исследований)	45
1.9.1 Проверка работы модуля сбора и предварительной обработки данных спутниковых навигационных систем	45
1.9.2 Проверка работы модуля сбора и предварительной обработки космических данных, полученных в ИК-диапазоне	51
1.9.3 Проверка работы модуля сбора и предварительной обработки космических изображений для исследования геодинамических особенностей сейсмоопасных территорий	54

1.10 Описание результатов проверки возможности тематической обработки GPS-данных для выявления ионосферных предвестников землетрясений программными модулями (пункт 9 Программы экспериментальных исследований)	64
1.10.1 Проверка работы модуля восстановления параметров ионосферы по данным спутниковых навигационных систем	64
1.10.2 Проверка работы модуля расчета полного электронного содержания ионосферы (ТЕС) по данным спутниковых навигационных систем	71
1.11 Описание результатов проверки возможности тематической обработки космических данных, полученных в ИК-диапазоне «Модулем для выявления тепловых предвестников землетрясений» (пункт 10 Программы экспериментальных исследований)	76
1.12 Описание результатов проверки возможности тематической обработки космических данных программными модулями для исследования геодинамических особенностей сейсмоопасных территорий (пункт 11 Программы экспериментальных исследований)	80
1.12.1 Проверка работы модуля построения роз-диаграмм направленности линеаментов	80
1.12.2 Проверка работы модуля расчета суммарных длин линеаментов разных направлений	82
1.13 Описание результатов проверки формирования фрагмента базы данных предвестников землетрясений (пункту 12 Программы экспериментальных исследований)	87
1.14 Заключение по разделу 1	90
<b>2 АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ</b>	<b>91</b>
2.1 Общие положения	91
2.2 Результаты экспериментальных исследований, проведенных с использованием разработанных модулей сбора и обработки данных спутниковых навигационных систем для выявления ионосферных предвестников землетрясений	92
2.2.1 Анализ изменения электронной концентрации ионосферы в период подготовки землетрясения 24 мая 2013 г. в Курило-Камчатском регионе (магнитуда $M=8.3$ )	92
2.2.2 Анализ изменения электронной концентрации ионосферы в период подготовки землетрясения 13 июня 2005 г. в Чили (магнитуда $M=7.8$ )	103
2.2.3 Анализ изменения электронной концентрации ионосферы в период подготовки землетрясения 27 февраля 2010 г. в Чили (магнитуда $M=8.8$ )	110
2.2.4 Анализ динамики скорости изменения полного электронного содержания (ТЕС) ионосферы в период подготовки землетрясения 27 февраля 2010 г. в Чили (магнитуда $M=8.8$ )	118

2.2.5 Анализ полного электронного содержания (ТЕС) и его спектральных составляющих в период подготовки землетрясений 11 марта 2010 г. в Чили (магнитуда $M=6.9, 7.0, 6.0$ )	122
2.3 Результаты экспериментальных исследований, проведенных с использованием разработанных модулей сбора и обработки космических данных, полученных в ИК-диапазоне, для выявления тепловых предвестников землетрясений	134
2.3.1 Анализ вариаций тепловых полей в период подготовки землетрясения 27 февраля 2010 г. в Чили (магнитуда $M=8.8$ )	134
2.3.2 Анализ вариаций тепловых полей при подготовке землетрясения произошедшего 4 апреля 2010 г. на территории Мексики (магнитуда $M=7.2$ )	138
2.3.3 Анализ вариаций тепловых полей при подготовке землетрясения 24 мая 2013 г. в Охотском море (магнитуда $M=8.3$ )	140
2.4 Результаты экспериментальных исследований, проведенных с использованием разработанных модулей обработки космических данных для исследования геодинамических особенностей сейсмоопасных территорий	142
2.4.1 Анализ роз-диаграмм направленности линеаментов при подготовке землетрясения в Мексике 7 апреля 2011 года (магнитуда $M=6.6$ )	142
2.4.2 Анализ суммарных длин линеаментов разных направлений при подготовке землетрясения в Мексике 7 апреля 2011 года (магнитуда $M=6.6$ )	143
2.4.3 Анализ роз-диаграмм направленности линеаментов при подготовке землетрясения в Киргизии 20 июля 2011 года (магнитуда $M=6.1$ )	145
2.4.4 Анализ суммарных длин линеаментов разных направлений при подготовке землетрясения в Киргизии 20 июля 2011 года (магнитуда $M=6.1$ )	146
2.4.5 Анализ роз-диаграмм направленности линеаментов при подготовке землетрясения в Перу 28 октября 2011 года (магнитуда $M=6.9$ )	150
2.4.6 Анализ суммарных длин линеаментов разных направлений при подготовке землетрясения в Перу 28 октября 2011 года (магнитуда $M=6.9$ )	151
2.5 Заключение по разделу 2	154
3 ФОРМИРОВАНИЕ ФРАГМЕНТА БАЗЫ ДАННЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ СИЛЬНЫХ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ ( $M \geq 6$ ), РЕГИСТРИРУЕМЫХ ИЗ КОСМОСА	157
3.1 Общие положения	157
3.2 Описание функциональных возможностей базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых их космоса	157
3.3 Описание фрагмента базы данных	166

3.3.1 Структура и содержание архива, результатов обработки и анализа космических данных для выявления предвестников землетрясения 27 августа 2008 г. в районе озера Байкал (магнитуда $M=6.3$ )	168
3.3.2 Структура и содержание архива, результатов обработки и анализа космических данных для выявления предвестников землетрясения 7 апреля 2011 г. в Мексике (магнитуда $M=6.6$ )	176
3.3.3 Структура и содержание архива, результатов обработки и анализа космических данных для выявления предвестников землетрясения 13 июня 2005 г. в Чили (магнитуда $M=7.8$ )	179
3.4 Заключение по разделу 3	180
4 ПРОВЕДЕНИЕ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ	181
4.1 Заключение по разделу 4	183
5 ПОДБОР И ПРЕДОСТАВЛЕНИЕ ИСХОДНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СЕЙСМООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ.	184
5.1 Общие характеристики исследуемых сейсмоопасных территорий	184
5.1.1 Кавказ	184
5.1.2 Турция	186
5.1.3 Греция	187
5.2 Результаты подбора космических данных	188
5.2.1 Результаты подбора исходных космических изображений для территории Кавказа	189
5.2.2 Результаты подбора исходных космических изображений для территории Турции	196
5.2.3 Результаты подбора исходных космических изображений для территории Греции	202
5.3 Заключение по разделу 5	207
6 ПРЕДВАРИТЕЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ДАННЫХ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ГЕОДИНАМИЧЕСКИХ ОСОБЕННОСТЕЙ СЕЙСМООПАСНЫХ ТЕРРИТОРИЙ	209
6.1 Обобщение геодинамических особенностей сейсмоопасных территорий	209
6.2 Методы выявления линеаментов для проведения исследований геодинамических особенностей сейсмоопасных территорий	211
6.3 Описание программного обеспечения классификации типов подстилающей поверхности по данным ДЗЗ	214



6.3.1 Назначение и общая структура ПО	214
6.3.2 Системные требования и скорость расчетов	216
6.3.3 Логическая структура функций	216
6.3.4 Файлы обучающих данных	218
6.4 Заключение по разделу 6	220
7 ПОДГОТОВКА ЗАЯВКИ НА ОХРАННЫЙ ДОКУМЕНТ	221
8 УЧАСТИЕ В МЕРОПРИЯТИЯХ ПО ДЕМОНСТРАЦИИ И ПОПУЛЯРИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ И ДОСТИЖЕНИЙ НАУКИ, В КОТОРЫХ ПРИНЯЛА УЧАСТИЕ И ПРЕДСТАВИЛА РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОЕКТА ОРГАНИЗАЦИЯ	222
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	223
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	226
ПРИЛОЖЕНИЕ А.....	245
ПРИЛОЖЕНИЕ Б.....	290
ПРИЛОЖЕНИЕ В.....	321

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов, полученных при выполнении 4-го этапа прикладных научных исследований по теме: «Разработка методов и создание экспериментального образца системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса, для предупреждения значительных сейсмических событий», которые изложены в настоящем отчете, можно сделать следующие основные выводы:

1. В соответствии с Техническим заданием и Программой и методикой экспериментальных исследований проведены экспериментальные исследования функциональных подсистем и модулей специального программного обеспечения экспериментального образца системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса, обеспечивающих получение, хранение, обработку и визуализацию космических и сопутствующих данных для мониторинга сейсмоопасных территорий. Проверка проведена по следующим пунктам Программы:

- а) проверка комплектности технической документации на ЭОС;
- б) проверка комплектности ЭОС, его соответствия технической документации;
- в) проверка соответствия характеристик аппаратных средств, общего и общесистемного программного обеспечения ЭОС технической документации и требованиям ТЗ;
- г) проверка соответствия заявленных возможностей ЭОС требованиям по назначению;
- д) проверка реализации при создании ЭОС «клиент-серверной» технология хранения данных и информационного обмена;
- е) проверка соответствия архитектуры базы данных предвестников землетрясений требованиям ТЗ;
- ж) проверка реализации функций ввода, хранения, управления (редактирования) и визуализации данных, а также реализации удаленного доступа к базе данных;
- и) проверка возможности получения данных от заданных внешних источников и реализации функций сбора и предварительной обработки данных;
- к) проверка возможности тематической обработки GPS-данных для выявления ионосферных предвестников землетрясений следующими модулями:
  - модулем восстановления параметров ионосферы по данным спутниковых навигационных систем;
  - модулем расчета полного электронного содержания ионосферы.
- л) проверка возможности тематической обработки космических данных, полученных в ИК-диапазоне «Модулем для выявления тепловых предвестников землетрясений»

м) проверка возможности тематической обработки космических данных модулями тематической обработки космических данных для исследования геодинамических особенностей сейсмоопасных территорий, в том числе:

- модулем построения роз-диаграмм направленности линеаментов;
- модулем расчета суммарных длин линеаментов разных направлений

н) проверка формирования фрагмента базы данных предвестников землетрясений.

Проверки по всем пунктам Программы успешно пройдены.

2. В результате проведения экспериментальных исследований по проверке работы специального программного обеспечения, позволяющего обрабатывать космические данные для выявления ионосферных, геодинамических и тепловых предвестников сильных землетрясений получены данные о сейсмоионосферных вариациях, аномалиях тепловых полей и геодинамических особенностях тестовых сейсмоопасных территорий Курило-Камчатского региона, Чили, Мексики, Киргизии, Перу, которые подтвердили возможности регистрации из космоса предвестников сильных ( $M \geq 6$ ) землетрясений:

а) анализ вариаций параметров ионосферы, полученных с использованием разработанных модулей восстановления параметров ионосферы и расчета полного электронного содержания ионосферы, показал наличие характерных изменений электронной концентрации ионосферы и полного электронного содержания за 3-7 дней до сейсмических событий;

б) анализ результатов обработки данных, полученных в ИК-диапазоне, модулем для выявления тепловых предвестников землетрясений, показал наличие аномалий температуры земной поверхности и приповерхностного слоя атмосферы за 5-7 дней до сейсмического события, уходящего длинноволнового излучения за 12-14 дней до сейсмического события;

в) анализ результатов обработки космических изображений, модулем расчета роз-диаграмм направленности линеаментов и модулем расчета суммарных длин линеаментов разных направлений показал закономерное изменение систем линеаментов при приближении к дате землетрясения и уменьшение после него.

3. По результатам сбора и обработки данных спутниковой навигационной системы GPS, космических изображений, полученных прибором MODIS (спутники Terra, Aqua) и космических данных, полученных прибором AIRS (спутник Aqua), модулями специального программного обеспечения при проведении экспериментальных исследований, а также сопутствующей информации, сформирован фрагмент базы данных предвестников сильных землетрясений ( $M \geq 6$ ), регистрируемых из космоса, для тестовых участков Курило-Камчатского региона, Байкальской рифтовой зоны, Кавказа, Чили, Перу, Мексики, Киргизии.

4. На 4 этапе реализации проекта подана заявка на выдачу патента Российской Федерации на изобретение «Способ достоверного обнаружения сейсмического процесса космическими средствами», а также поданы заявки и получены Свидетельства о регистрации следующих программ для ЭВМ:

- «Модуль расчета отношений суммарных длин линеаментов разных направлений».
- «Модуль построения роз-диаграмм направленности линеаментов».

5. Проведены дополнительные патентные исследования, подтверждающие наличие признаков патентноспособности у заявляемого изобретения и программ для ЭВМ.

6. Осуществлён подбор и предоставление исходных космических изображений для проведения исследований геодинамических особенностей сейсмоопасных территорий за счет собственных средств Индустриального партнера ООО «НПО «ИСИНТЕК». С целью правильного понимания современной динамики и истории развития исследуемых сейсмоопасных территорий, а также для оценки и прогноза сейсмической опасности был проведен анализ их разломных структур и геологического строения. Подбор исходных космических изображений проведен для временного интервала 2005-2007 гг. На исследуемые территории было собрано 82 космических изображения. Объем собранных данных составляет 8.7 Гб.

7. На этапе 4 за счет собственных средств НИИ «АЭРОКОСМОС» для увеличения достоверности процесса интерпретации результатов исследования геодинамических особенностей сейсмоопасных территорий проведена предварительная обработка данных качественным методом по классификации подстилающей поверхности.

8. Для популяризации результатов и достижений науки сотрудники НИИ «АЭРОКОСМОС» за счет собственных средств организации приняли участие в X Европейской конференции по инновациям в технических и естественных науках, которая состоялась г. Вена (Австрия) 2 февраля 2016 года, с сообщением на тему: «Концепция построения системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса», в котором представлены результаты исследований, проведенных на 1, 2 и 3 Этапах настоящих ПНИ.

9. Результаты проекта могут быть использованы МЧС России, Минприроды России, Геофизической службой РАН, научными учреждениями, ВУЗами, международными организациями и др.

10. Сведения о ходе выполнения проекта размещены на официальном сайте НИИ «АЭРОКОСМОС» -[http://www.aerocosmos.info/proekty/project\\_3/obshchaya\\_kharakteristika\\_3.php](http://www.aerocosmos.info/proekty/project_3/obshchaya_kharakteristika_3.php).