

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 РАН, д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_ Бондур В.Г.

«    » \_\_\_\_\_ 2014 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»

Шифр темы «2014-14-579-0057-014»

(промежуточный)

Этап № 1: «Выбор направления исследований»

Руководитель темы,  
академик РАН, д.т.н., профессор

\_\_\_\_\_   
подпись, дата

В. Г. Бондур

Москва 2014

## СПИСОК ОСНОВНЫХ ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

### Руководитель темы:

академик РАН, д.т.н., профессор

В.Г. Бондур (по всем разделам)

### Исполнители темы:

Заведующий отделом

М.Н. Цидилина (по всем разделам)

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

С.Ц. Акопян (раздел 1, 3)

Инженер

О.С. Воронова (раздел 1, 3, 4)

Ведущий инженер

М.В. Гапонова (раздел 1, 3, 4)

Младший научный сотрудник

Е.В. Гапонова (раздел 1, 3, 4)

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

И.А. Гарагаш (раздел 1, 3)

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

М.Б. Гохберг (раздел 1, 3)

Техник

А.Ю. Гущин (раздел 4)

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

А.Т. Зверев (раздел 1, 3)

Ведущий инженер

В.Л. Кладов (раздел 3, 4)

Старший инженер

Е.В. Ольшанская (раздел 1)

Ведущий научный сотрудник, д.ф.-м.н.

В.М. Смирнов (раздел 1, 3)

Руководитель группы, к.т.н.

С.А. Улановский (раздел 3)

Старший научный сотрудник

С.Л. Шалимов (раздел 1, 3)

## РЕФЕРАТ

Отчет 173 с., 4 ч., 45 рис., 22 табл., 370 источников, 1 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 проведения работ на данном этапе ПНИ использовались: методы анализа, систематизации и обобщения научных материалов о состоянии мировых исследований в области мониторинга предвестников землетрясений и разработки методов прогноза и анализа данных, также использовались методы систематизации и структуризации данных, направленных на разработку логической структуры для создания системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса.

### **Результаты работы**

В ходе выполнения **1-го этапа ПНИ**: «Выбор направлений исследований» получены следующие **основные результаты**:

а) Проведен аналитический обзор современной научно-технической, нормативной, методической литературы, затрагивающей научно-техническую проблему, исследуемую в рамках ПНИ, в том числе обзор научных информационных источников: статьи в ведущих зарубежных и российских научных журналах, монографии - не менее 25 научно-информационных источников за период 2007 – 2013 гг.

б) Проведены патентные исследования по ГОСТ 15.011-96.

в) Проведен выбор и обоснование направления исследований, в том числе.

- разработка вариантов возможных решений поставленных задач и проведение их сравнительной оценки;

- обоснование и выбор программно-технической платформы для функционирования системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса.

г) Разработана логическая структура базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса.

Работы, выполняемые за счет внебюджетных средств.

д) Подбор и предоставление архивных данных на сейсмоопасные регионы мира.

е) Сбор, систематизация, обработка и анализ оперативных данных на сейсмоопасные регионы мира.

### **Степень внедрения**

По итогам выполнения 1-го этапа ПНИ все поставленные цели были достигнуты. С точки зрения практического применения основными результатами первого этапа ПНИ являются результаты выбора направлений проведения исследований в области разработки методов исследования сейсмоопасных территорий, способствующего повышению эффективности мониторинга предвестников землетрясений по космическим данным.

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**

Разработанные в ходе ПНИ методы и технологии мониторинга опасных природных явлений, в том числе технология сбора и обработки космических данных, позволяющих регистрировать предвестники значительных сейсмических событий ( $M \geq 6$ ), и системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса, созданный экспериментальный образец 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

<b>ВВЕДЕНИЕ.....</b>	<b>18</b>
<b>1 АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР СОВРЕМЕННОЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ, НОРМАТИВНОЙ, МЕТОДИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ, ЗАТРАГИВАЮЩЕЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКУЮ ПРОБЛЕМУ, ИССЛЕДУЕМУЮ В РАМКАХ ПНИ, В ТОМ ЧИСЛЕ ОБЗОР НАУЧНЫХ ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ: СТАТЬИ В ВЕДУЩИХ ЗАРУБЕЖНЫХ И РОССИЙСКИХ НАУЧНЫХ ЖУРНАЛАХ, МОНОГРАФИИ - НЕ МЕНЕЕ 25 НАУЧНО-ИНФОРМАЦИОННЫХ ИСТОЧНИКОВ ЗА ПЕРИОД 2007 – 2013 ГГ.....</b>	<b>22</b>
1.1 Проблемы прогноза землетрясений.....	22
1.1.1 Анализ результатов деятельности Международной комиссии по прогнозированию землетрясений и защите населения.....	22
1.1.2 Предвестники землетрясений.....	25
1.2 Обзор современных научных публикаций.....	32
1.3 Методы мониторинга сейсмоопасных территорий.....	44
1.3.1 Анализ методов мониторинга ионосферы для выявления предвестников землетрясений.....	44
1.3.2 Анализ методов мониторинга напряженного состояния земной коры для выявления геодинамических предвестников землетрясений.....	56
1.3.3. Анализ методов мониторинга тепловых предвестников землетрясений.....	59
1.3.4 Метод сейсмической энтропии, способствующий повышению эффективности мониторинга предвестников землетрясений по космическим данным.....	62
1.4 Обзор существующих архивов космических и наземных данных, используемых для исследования предвестников землетрясений.....	66
1.4.1 Сейсмологические сети мира.....	66
1.4.2 Архив данных спутниковой навигационной системы GPS.....	77
1.4.3 Архив космических данных, используемых для мониторинга геодинамических предвестников землетрясений.....	81
1.4.4. Архивы космических данных, используемых для мониторинга тепловых предвестников землетрясений.....	86
1.4.5 Каталоги с информацией о геомагнитной обстановке и солнечной активности.....	89
1.4.6 Каталог метеорологических данных.....	92
1.4.7 Базы данных и каталоги, содержащие информацию о предвестниках землетрясений..	92
<b>2 ПРОВЕДЕНИЕ ПАТЕНТНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ПО ГОСТ 15.011-96.....</b>	<b>95</b>
<b>3 ВЫБОР И ОБОСНОВАНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ.....</b>	<b>97</b>
3.1 Разработка вариантов возможных решений поставленных задач и проведение их сравнительной оценки.....	97
3.1.1 Возможные пути решения задач по мониторингу ионосферы в сейсмоопасных регионах и их сравнительная оценка.....	97
3.1.2 Возможные пути решения задач по мониторингу напряженного состояния земной	

кору в сейсмоопасных регионах.....	101
3.1.3 Возможные пути решения задач по мониторингу тепловых предвестников землетрясений и их сравнительная оценка.....	105
3.1.4 Обоснование выбора оптимального варианта мониторинга сейсмоопасных территорий для выявления предвестников землетрясений.....	107
3.1.5 Выбор концепции построения системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса.....	111
3.2 Обоснование и выбор программно-технической платформы для функционирования системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса.....	113
3.2.1 Обоснование архитектуры программно-технической платформы.....	113
3.2.2 Выбор технических средств.....	120
3.2.3 Выбор общего программного обеспечения.....	126
<b>4 РАЗРАБОТКА ЛОГИЧЕСКОЙ СТРУКТУРЫ БАЗЫ ДАННЫХ ПРЕДВЕСТНИКОВ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЙ, РЕГИСТРИРУЕМЫХ ИЗ КОСМОСА.....</b>	<b>128</b>
4.1 Структура и характеристика входных данных.....	128
4.2 Описание форматов данных.....	131
4.3 Разработка кодировки файлов формируемых массивов данных.....	132
4.4 Иерархическая структура файлового хранилища.....	135
4.5 Логическая структура базы данных предвестников землетрясений.....	135
<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ.....</b>	<b>142</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....</b>	<b>145</b>
<b>ПРИЛОЖЕНИЕ А.....</b>	<b>173</b>

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основании результатов, полученных при выполнении 1-го этапа ПНИ 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. Проведен аналитический обзор, в результате которого проанализировано 370 научно-технических, нормативных, методических источников (181 из них опубликованы в период 2007-2014 гг.), позволивший получить основополагающую систематизированную информацию об основных направлениях исследований в области регистрации предвестников землетрясений для мониторинга сейсмических территорий и прогнозирования значительных сейсмических событий с магнитудами  $M \geq 6$ .

2. В результате проведенного анализа выявлены основные проблемы, связанные с прогнозом землетрясений, которые заключаются в невозможности в настоящее время указать точное место, время и силу предстоящего сейсмического события, а также, положительные тенденции в развитии методов мониторинга сейсмоопасных территорий, в том числе методов, использующих данные дистанционного зондирования. Анализ основных проблем, связанных с прогнозом землетрясений, продемонстрировал необходимость применения комплексного подхода, основанного на использовании как наземных, так и космических методов регистрации различных типов предвестников для осуществления краткосрочного и повышения надежности среднесрочного прогноза сейсмических событий.

3. Анализ информационных источников показал, что в настоящее время известно достаточно много случаев успешного выявления различных предвестников землетрясений, однако эта информация, в большинстве случаев, носит несистематизированный характер, и отсутствуют современные базы данных, содержащие комплексную информацию о предвестниках сильных землетрясений, в том числе регистрируемых из космоса. В связи с этим необходимо разрабатывать новые информационные системы, что позволит существенно поднять эффективность мониторинга сейсмоопасных территорий

4. На основании анализа возможных путей регистрации различных предвестников землетрясений выбраны и обоснованы перспективные направления мониторинга сейсмоопасных территорий, которые основаны на использовании космических данных, и показано, что наиболее предпочтительными являются методы космического мониторинга различных геофизических полей, в том числе параметров ионосферы, регистрируемых с использованием данных спутниковых навигационных систем; напряженно-деформированного состояния земной коры, регистрируемого методом линеamentного анализа и путем построения геомеханических моделей;



тепловых полей, регистрируемых с использованием аппаратуры ИК спутников. Обоснована необходимость применения комплексного подхода к мониторингу предвестников землетрясений, основанного на совместном использовании различных космических и наземных методов, позволяющего более полно и успешно решать задачи мониторинга сейсмоопасных территорий, а, следовательно, и уменьшать последствия этих катастрофических природных процессов.

5. На основании выбранных методов сбора и обработки данных для регистрации предвестников землетрясений проанализирована технологическая последовательность мониторинга сейсмоопасных территорий с учетом решаемых задач и разработана концепция построения системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса.

6. Приведено обоснование выбора программно-технической платформы для функционирования системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса, в том числе обоснована её архитектура, разработана схема деления технических средств, определены характеристики основных технических средств.

7. На основании анализа источников получения входных данных, а также анализа выходных данных, формируемых по результатам предварительной и тематической обработок космической информации, систематизированы данные подлежащие хранению и разработана логическая структура базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса.

8. Проведены патентные исследования. Информационные поиски проводились в базах данных Всемирной Организации Интеллектуальной Собственности, Патентного Ведомства США и Роспатента с целью выявления ключевых патентов, определяющих направление трендов в данной технической области. Выполнен отбор патентных документов мирового фонда и их анализ с целью определения патентной чистоты разработанных методов обработки космических данных и создаваемой автоматизированной системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, в результате которого установлено, что изобретательская активность в большей степени приходится на заявителей из России, а также Китая и Кореи.

Проведенные патентные исследования показали, что объект исследования является патентно-чистым и способным к патентной охране в Российской Федерации. Патентная чистота на методы обеспечена в отношении Российской Федерации и других стран мира.

9. За счет внебюджетных средств были выполнены следующие работы:

- Подбор и предоставление архивных данных на сейсмоопасные регионы мира (НПО «ИСИНТЕК»).
- Сбор, систематизация, обработка и анализ оперативных данных на сейсмоопасные регионы мира (НИИ «АЭРОКОСМОС»).

10. Разрабатываемые в ходе ПНИ методы и технологии мониторинга опасных природных явлений, в том числе технология сбора и обработки космических данных, позволяющих регистрировать предвестники значительных сейсмических событий ( $M \geq 6$ ), а также созданный экспериментальный образец системы формирования и сопровождения базы данных предвестников землетрясений, регистрируемых из космоса, обеспечат 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.

11. Результаты проекта могут быть использованы организациями и службами МЧС России, Министерством природных ресурсов и экологии РФ, Федеральной службой по гидрометеорологии и мониторингу окружающей среды, Министерством регионального развития РФ, ГК «Росатом», Министерством энергетики Российской Федерации, ОАО «РусГидро», Геофизической службой РАН, Институтом физики Земли РАН, Институтом теории прогноза землетрясений РАН, Институтом вулканологии и сейсмологии РАН, ЗАО «Информационные системы и наукоемкие технологии», компанией TerraSeismic, ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «РЖД», учебными учреждениями высшего и профессионального образования России и др.

12. Результаты, достигнутые в ходе 1-го этапа ПНИ удовлетворяют требования ТЗ к выполняемым работам. Выполнены требования по стандартизации, унификации, совместимости и взаимозаменяемости, по обеспечению безопасности для жизни и здоровья людей, к патентной чистоте и правовой защите результатов интеллектуальной деятельности, технико-экономические требования, требования к достижению программных индикаторов и показателей.