

Форма «Т». Титульный лист заявки в Российский научный фонд

Конкурс 2017 года «Проведение фундаментальных научных исследований и поисковых научных исследований отдельными научными группами»

Название проекта Комплексные исследования источников высокоэнергичных частиц и мощного УКВ излучения в электрически активной атмосфере на основе наземных и спутниковых наблюдений	Номер проекта 17-12-01439 
	Код типа проекта: ОНК(2)
	Отрасль знания: 02
	Основной код классификатора: 02-104 Дополнительные коды классификатора: 02-503 02-503
	Код ГРНТИ 29.05.45
Фамилия, имя, отчество (при наличии) руководителя проекта: Чилингарян Ашот Агасиевич	Контактные телефон и e-mail руководителя проекта: +74953335256, chili987@gmail.com
Полное и сокращенное наименование организации, через которую должно осуществляться финансирование проекта: федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук ИКИ РАН	
Объем финансирования проекта в 2017 г. 6000 тыс. руб.	Год начала проекта: 2017 Год окончания проекта: 2019
Фамилии, имена, отчества (при наличии) основных исполнителей (полностью)	Долгоносов Максим Сергеевич Иудин Дмитрий Игоревич Давыденко Станислав Станиславович (руководитель проекта в данной графе не указывается)
Гарантирую, что при подготовке заявки не были нарушены авторские и иные права третьих лиц и/или имеется согласие правообладателей на представление в Фонд материалов и их использование Фондом для проведения экспертизы и для обнародования (в виде аннотаций заявок).	
Подпись руководителя проекта _____/А.А.Чилингарян/	Дата регистрации заявки 14 декабря 2016 г.
Подпись руководителя организации _____/_____/	
Печать организации	

# Форма 1. Сведения о проекте

## 1.1. Название проекта

на русском языке

Комплексные исследования источников высокоэнергичных частиц и мощного УКВ излучения в электрически активной атмосфере на основе наземных и спутниковых наблюдений  
на английском языке

Comprehensive research of high-energy particles sources and powerful VHF radiation in electrically active atmosphere based on ground-based measurements and satellite observations

## 1.2. Приоритетное направление развития науки, технологий и техники в Российской Федерации, критическая технология:

Указывается согласно перечню (Указ Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 года №899) в случае, если тематика проекта может быть отнесена к одному из приоритетных направлений, а также внести вклад в развитие критических технологий Российской Федерации.

6. Рациональное природопользование.

19. Технологии мониторинга и прогнозирования состояния окружающей среды, предотвращения и ликвидации ее загрязнения.

## 1.3. Ключевые слова (приводится не более 15 терминов)

на русском языке

ускорение заряженных частиц; радиоизлучение грозовых разрядов; высокоэнергичные процессы в атмосфере, короткие внутриоблачные разряды  
на английском языке

acceleration of charged particles; radio emission from lightning; high energy processes in the atmosphere; compact intracloud discharges

## 1.4. Аннотация проекта (объемом не более 2 стр.; в том числе кратко – актуальность и научная новизна)

Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-коммуникационной сети «Интернет».  
на русском языке

Целью данного проекта является изучение механизмов формирования атмосферных источников энергичных частиц и мощного высокочастотного (электромагнитного) излучения и построение моделей на основе данных наземных и спутниковых наблюдений. Проект тесно связан с физикой высоких энергий в электрически активной нижней атмосфере и с высокоэнергичными процессами, обусловленными молниевым разрядом. Ожидается, что в результате реализации данного проекта будет достигнут существенный прогресс по ряду неразрешённых в настоящий момент проблем высокоэнергичных процессов в атмосфере, таких как:

- природа и механизм формирования наземных грозовых превышений (Thunderstorm Ground Enhancements, TGE [Chilingarian et al., 2010, 2011]) – усиления потоков релятивистских электронов, гамма-квантов и нейтронов, коррелированных с грозовой облачностью, с характерной длительностью до нескольких минут;
- механизмы генерации гамма-вспышек в земной атмосфере (Terrestrial Gamma-ray Flashes, TGF) и их связь с наземными грозовыми превышениями;
- природа сверхмощных коротких всплесков высокочастотного излучения (Narrow Bipolar Event, NBE) с источниками, расположенными в земной тропосфере; механизм формирования всплесков различных типов, интерпретация накопленных к настоящему времени спутниковых данных;
- связь сверхмощных коротких всплесков высокочастотного излучения с гамма-вспышками атмосферного происхождения (TGF), которые регистрируются орбитальными рентгеновскими телескопами, и наземными грозовыми превышениями (TGE), которые регистрируются наземными сетями детекторов элементарных частиц;
- физические механизмы рентгеновского излучения лидера молнии, роль рентгеновских лучей в распространении молниевых разрядов, механизм генерации относительно стационарных потоков

рентгеновских лучей грозовыми облаками.

Достижение поставленных целей предполагает решение в рамках проекта ряда взаимосвязанных экспериментальных и теоретических задач, среди которых:

- экспериментальное исследование потоков релятивистских электронов, гамма-квантов и нейтронов, коррелированных с грозовой облачностью, на базе лаборатории ASEC (Ереванский физический институт, Армения); анализ влияния электрической структуры грозового облака на пространственно-временную структуру и спектр потоков энергичных частиц;
- создание наземной станции регистрации широкополосного электромагнитного излучения грозовой активности с высоким частотным, временным и пространственным разрешением (УКВ интерферометр, до 4 антенн); разработка мобильной версии интерферометра для совместной работы с научным комплексом лаборатории ASEC;
- построение теории наземных грозовых превышений, включающей условия развития ливня релятивистских убегающих электронов, объяснение происхождения атмосферных нейтронов и простирающегося до 100 МэВ энергетического спектра гамма-квантов при наземных и спутниковых наблюдениях;
- разработка количественных моделей гамма-вспышек атмосферного происхождения на основе наземных наблюдений потоков релятивистских электронов, гамма-квантов, нейтронов и широкополосного электромагнитного излучения в области грозовой активности;
- установление связи электрической активности в грозовом облаке, в том числе внутриоблачных (включая компактные) разрядов и разрядов облако–земля с высокоэнергичными процессами (TGE, TGF) на основе анализа данных спутниковой и наземной регистрации излучения в широкой полосе частот;
- анализ и систематизация результатов наблюдений мощных всплесков высокочастотного излучения от областей грозовой активности, полученных на спутнике «Чибис-М» за период с 2012 по 2014 год, с организацией соответствующей базы данных; статистический анализ свойств морфологически схожих событий, выяснение степени корреляции всплесков высокочастотного излучения с атмосферными гамма-вспышками;
- разработка количественного описания регистрируемых мощных коротких всплесков высокочастотного электромагнитного излучения, в том числе с шумовым дискретным спектром.

Настоящий проект объединит усилия трёх научных коллективов из России и Армении (ИПФ РАН, ИКИ РАН и ЕрФИ), имеющих большой опыт и возможности для решения сложных задач физики высоких энергий и атмосферного газового разряда. Актуальность проекта определяется выбранными объектами исследования, природа которых является открытым вопросом последние несколько десятилетий: это вспышки гамма-излучения в земной атмосфере (TGF), недавно открытые участниками проекта наземные грозовые превышения (TGE) и сверхмощные всплески высокочастотного излучения (NBE), источники и механизмы генерации которых неизвестны либо известны весьма приближённо. Научная новизна проекта, прежде всего, определяется возможностью комплексных экспериментальных исследований указанных объектов с использованием существующей инфраструктуры уникальной горной лаборатории ASEC, располагающей сетями детекторов заряженных и нейтральных частиц, сенсорами электрического и магнитного полей и автоматическими метеостанциями. На основе полученных данных, в частности, будет проанализирована отмеченная в ряде работ связь наземных грозовых превышений и особенностей электрической структуры грозового облака. Детальный анализ потоков вторичных космических лучей позволит сделать вывод о механизме формирования вспышек гамма-излучения в земной атмосфере, в частности о наличии позитронной обратной связи при формировании лавины убегающих электронов. Кроме того, в рамках проекта планируется создать широкополосный УКВ интерферометр, данные которого позволят определить важные параметры электрической активности в грозовом облаке, синхронной с

высокоэнергичными процессами.

Важным преимуществом проекта также является возможность использовать данные спутниковых наблюдений высокочастотного излучения тропосферных источников, полученные микроспутником «Чибис-М» за период с 2012 по 2014 годы (указанный спутник был разработан и создан при непосредственном участии авторов проекта в Институте космических исследований РАН). Одной из особенностей полученных спутниковых данных является регистрация коротких, мощных всплесков ОБЧ излучения с длительностью 1-3 мкс, характеризующихся дискретной по времени и частоте структурой. В ряде случаев такие всплески формируют пары. Подобные всплески излучения ранее наблюдались и на иностранных спутниковых миссиях (в частности, на спутнике FORTE) и связывались с компактными внутриоблачными разрядами. Однако датчиками микроспутника «Чибис-М» был зарегистрирован новый, ранее не исследованный тип высокочастотного радиоизлучения атмосферы, которое имеет шумовой дискретный характер и не всегда возникает после молниевых разрядов или предшествует ему. Дискретный характер наблюдаемого излучения во временной и частотной областях позволяет применить для построения электродинамических моделей его источников методы фрактального описания существенно неравновесных диссипативных систем, основанные на фундаментальных закономерностях и универсальных сценариях их коллективной динамики. Состоятельность фрактальной методологии продемонстрирована участниками проекта на таких физических объектах, как динамика заряженных частиц в системах со сложной геометрией, резонансные области в хвосте земной магнитосферы, грозовая активность и электрические разряды в верхней атмосфере, просачивание жидкости сквозь грунты со сложной реологией, сейсмичность и др. Таким образом, предлагаемый проект позволит объединить экспериментальные данные, полученные в ходе наземных и спутниковых экспериментов, с теоретическими исследованиями мощных природных источников энергичных частиц и высокочастотного УКВ излучения в атмосфере.

на английском языке

The aim of this project is to study atmospheric sources of energetic particles and powerful high-frequency radiation and build models based on ground-based and satellite observations. The project is closely related to high-energy physics in the electrically active and the lower atmosphere with high-energy processes, caused by lightning discharge. It is expected that as a result of this project, significant progress on a number of unresolved problems at the moment of high energy processes in the atmosphere will be achieved, such as:

- The nature and mechanism of formation of Thunderstorm Ground Enhancements (TGE [Chilingarian et al, 2010, 2011]). TGE is a gain of relativistic electron fluxes of gamma rays and neutrons, correlated with thunderstorm clouds, with a typical duration of several minutes;
- Mechanisms for the generation of Terrestrial Gamma-ray Flashes (TGF) and their relationship to Thunderstorm Ground Enhancements;
- The nature of super-short bursts of high-frequency (VHF) radiation (Narrow Bipolar Event, NBE) from sources located in the Earth's troposphere; the mechanism of formation of different types of bursts, interpretation collected up to the moment satellite data;
- Relation of super-short bursts of high-frequency radiation from TGF, which are recorded orbiting X-ray telescopes and TGE, which recorded ground-based networks of particle detectors;
- The physical mechanisms of X-ray radiation of the lightning leader, the role of X-rays in the spread of the lightning discharge, the generation mechanism of a relatively steady stream of X-rays thunderclouds.

Achieving these goals requires a decision in the framework of a series of inter-related experimental and theoretical problems, including:

- Experimental study of relativistic electron fluxes of gamma rays and neutrons, correlated with thunderstorm clouds, on the basis of ASEC Laboratory (Yerevan Physics Institute, Armenia); analysis of

- the influence of the electric structure of thunderstorm clouds in the space-time structure and the range of fluxes of energetic particles;
- Development of the ground-based station aimed to register broadband electromagnetic radiation from cloud discharges with high frequency, temporal and spatial resolution (VHF interferometer consisting with up to 4 antennas); the development of a mobile version of the interferometer to work with ASEC scientific laboratory complex;
  - Development of the theory of Thunderstorm Ground Enhancements, including the conditions of development of the shower of relativistic runaway electrons, explanation of the origin of atmospheric neutrons and extending up to 100 MeV energy spectrum of gamma rays with ground and satellite observations;
  - Development of quantitative models of gamma-ray bursts of atmospheric origin on the basis of ground-based observations of the relativistic electron fluxes, gamma rays, neutrons and broadband electromagnetic radiation in the area of thunderstorm activity;
  - Association of the electrical activity in the thundercloud, including intracloud (including compact) discharges and cloud-to-ground discharges with high-energy processes (TGE, TGF), based on the analysis of satellite and ground-based data in a broad band of frequencies;
  - Analysis and systematization of the results of observations of intense bursts of high-frequency radiation from thunderstorm activity areas detected aboard the satellite "Chibis-M" for the period from 2012 to 2014, with the organization of the relevant database; Statistical analysis of the properties of morphologically similar event, determination of the degree of correlation bursts of high-frequency radiation from atmospheric gamma-ray flashes;
  - Development of a quantitative description of the registered powerful short bursts of high-frequency electromagnetic radiation, including noise discrete spectrum.

This project will bring together three research teams from Russia and Armenia (Space Research Institute of RAS, Institute of Applied Physics of RAS and Yerevan Physics Institute), with extensive experience and capabilities to solve complex problems in high energy physics and atmospheric gas discharge.

Relevance of the project is determined by the selected objects of study, the nature of which is open to question the past few decades: it is a flash of gamma radiation in the Earth's atmosphere (TGF), recently discovered by project participants Thunderstorm Ground Enhancements (TGE) and super bursts of high-frequency radiation (NBE), sources and mechanisms the generation of which is unknown or known very approximately. The scientific novelty of the project is primarily determined by the ability of complex experimental studies of these objects using the existing infrastructure of ASEC unique mountain labs, disposing networks detectors of charged and neutral particles, sensors of electric and magnetic fields, and automatic weather stations. Based on these results, in particular, it will be analyzed in a number of works marked by the connection of ground lightning elevation and features an electric structure of a thundercloud. A detailed analysis of fluxes of secondary cosmic rays will make a conclusion on the mechanism of formation of gamma-ray bursts in the Earth's atmosphere, in particular the existence of positron feedback in the formation of an avalanche of runaway electrons. In addition, the project is planned to create a broadband VHF interferometer which data will determine the important parameters of the electrical activity in the thundercloud, synchronous with the high-energy processes.

An important advantage of the project is the ability to use data of tropospheric high-frequency radiation sources obtained by microsatellite "Chibis-M" during campaign 2012 to 2014. The satellite was designed and developed with the direct participation of the Institute of Space Research. One of the main phenomenon discovered in the satellite data was short and intense bursts of VHF radiation with a duration of 1-3 microseconds, characterized by a discrete time and frequency structure. In some cases, such bursts formed pairs. Such radiation bursts previously observed on foreign satellite missions (in particular, the satellite FORTE) and were associated with compact intracloud discharges. However, sensors installed aboard microsatellite "Chibis-M" registered a new, previously unexplored type of high-

frequency radio waves of the atmosphere, which has a noise discrete in nature and did not always occur after the lightning discharge, or preceded it. The discrete nature of the observed emission in the time and frequency domains allows you to apply for development its sources of electrodynamic models of fractal techniques to describe essentially nonequilibrium dissipative systems, based on the fundamental and universal laws of scenarios of collective dynamics. Consistency fractal methodology demonstrated by the project participants to physical objects such as the dynamics of charged particles in systems with complex geometry, the resonance region in the wake of the Earth's magnetosphere, thunderstorm activity and electrical discharges in the upper atmosphere, the leakage of fluid through the soil with a complex rheology, seismicity and others.

Thus, the proposed project will bring together the experimental data obtained in the course of terrestrial and satellite experiments, theoretical studies of powerful natural sources of high-energy particles and VHF radiation in the atmosphere.

#### 1.5. Ожидаемые результаты и их значимость (указываются ожидаемые результаты и их научная и общественная значимость (оценка соответствия запланированных результатов мировому уровню исследований, возможность практического использования запланированных результатов проекта в экономике и социальной сфере))

Данная информация может быть опубликована на сайте Фонда в информационно-коммуникационной сети «Интернет» на русском языке

Полученные в рамках проекта результаты позволят ответить на ряд ключевых вопросов современной теории атмосферного электричества, в частности значительно продвинуться в создании адекватных моделей широкого класса разрядных явлений в грозовых облаках и в выяснении их связи с высокоэнергичными процессами в атмосфере. Кроме того, полученные в ходе реализации проекта результаты могут оказаться важными с точки зрения предсказания условий возникновения и свойств опасных (в частности, для воздушных судов) всплесков сверхмощного высокочастотного излучения в диапазоне до нескольких сотен мегагерц, на порядок величины превышающих по амплитуде соответствующее излучение от обычных разрядов облако-земля.

В рамках проекта предполагается решить ряд взаимосвязанных задач и получить следующие основные результаты:

- 1) провести детальное экспериментальное исследование наземных грозовых превышений – длительных потоков релятивистских электронов, гамма-квантов и нейтронов, коррелированных с грозовой облачностью, на базе лаборатории ASEC (Ереванский физический институт, Армения); выяснить влияние электрической структуры грозового облака, в частности нижнего положительного слоя (Low Positive Charge Region, LPCR) на пространственно-временную структуру и спектр потоков вторичных энергичных частиц;
- 2) разработать, создать и протестировать наземную станцию широкополосной многопунктовой регистрации электромагнитного излучения грозовой активности с высоким частотным, временным и пространственным разрешением (УКВ интерферометр); разработать и создать мобильную версию интерферометра для совместной работы с научным комплексом лаборатории ASEC; обеспечить работу станции и создать базу данных результатов наблюдений;
- 3) построить теорию наземных грозовых превышений, включающую условия развития ливня релятивистских убегающих электронов, объяснение происхождения атмосферных нейтронов и простирающегося до 100 МэВ энергетического спектра гамма-квантов при наземных и спутниковых наблюдениях;
- 4) разработать количественную модель регистрируемых на спутниках гамма-вспышек атмосферного происхождения на основе наземных наблюдений длительных потоков

релятивистских электронов, гамма-квантов, нейтронов и широкополосного электромагнитного излучения грозовой активности;

5) проанализировать и систематизировать результаты наблюдений мощных коротких всплесков высокочастотного излучения областей грозовой активности, полученные на спутнике «Чибис-М» за период с 2012 по 2014 год, с организацией соответствующей базы данных; провести статистический анализ свойств морфологически схожих событий, ; выяснить зависимость характеристик коротких тропосферных всплесков высокочастотного излучения от их географических координат, а также от уровня локальной тропосферной конвекции; выяснить степень корреляции всплесков с гамма-вспышками атмосферного происхождения (TGF);

6) количественно описать характеристики регистрируемых на спутниках мощных коротких всплесков высокочастотного электромагнитного излучения, в том числе с шумовым дискретным спектром, на основе фрактально-диссипативной модели компактных внутриоблачных разрядов (Compact Intracloud Discharge, CID [Иудин, Давыденко, 2015; Давыденко, Иудин, 2016]); на основе данных спутниковой регистрации излучения КВР определить характерные размеры и времена жизни проводящих каналов разряда, динамику электрических зарядов в разряде и зависимость проводимости каналов разряда от протекающего по ним тока; согласовать результаты расчётов с данными спутниковой регистрации пар трансионосферных импульсов (Transionospheric Pulse Pair, TIPP);

7) установить взаимосвязь компактных разрядов с высокоэнергичными процессами (TGE, TGF) на основе анализа данных спутниковой и наземной регистрации излучения в широкой полосе частот.

По уровню научных задач, методов моделирования и масштабу экспериментальных исследований, включающих спутниковую и наземную регистрацию потоков высокоэнергичных частиц и излучения сверхмощных атмосферных источников высокочастотного излучения, предлагаемый проект является уникальным и соответствует мировому уровню исследований в области физики высоких энергий в атмосфере, уделяя особое внимание связи высокоэнергичных процессов (TGE, TGF) с электрической активностью и структурой грозовых облаков. Решение поставленных в проекте задач, с одной стороны, позволит ответить на вопрос о механизмах формирования и взаимосвязи наземных грозовых превышений, гамма-вспышек в земной атмосфере и электрических процессов в грозовых облаках, а с другой – построить развитые количественные модели сверхмощных коротких всплесков электромагнитного излучения (NBE) на основе широкополосных спутниковых и наземных наблюдений.

на английском языке

The results obtained in the framework of the project will answer a number of key issues of the modern theory of atmospheric electricity, in particular, significant progress will be achieved in the creation of adequate models of a wide class of discharge phenomena in thunderclouds and clarification of their relationship with the high-energy processes in the atmosphere. Also obtained in the course of the project results may be important in terms of predicting and properties of the natural bursts of dangerous (especially for aircraft and their passengers) of X-ray and VHF radiation in the range of up to several hundred megahertz, an order of magnitude greater than the amplitude of the corresponding radiation from ordinary discharges cloud-to-ground. The project will solve a number of interrelated tasks and obtain the following results:

1) detailed experimental study of Thunderstorm Ground Enhancements- long fluxes of relativistic electrons, gamma rays and neutrons, correlated with storm clouds, on the basis of ASEC Laboratory (Yerevan Physics Institute, Armenia); to find out the effect of the electrical structure of a thundercloud, in particular the Low Positive Charge Region in the space-time structure and the range of the secondary streams of energetic particles;

2) to develop, build and test the ground station broadband multicast registration of electromagnetic

radiation storm activity with high frequency, temporal and spatial resolution (VHF interferometer); to develop and create a mobile version of the interferometer to work with ASEC scientific laboratory complex; provide work stations and create a database of observations;

3) to construct a theory of lightning ground elevations, including the conditions of relativistic runaway electron shower, explanation of the origin of atmospheric neutrons and extending up to 100 MeV energy spectrum of gamma rays with ground and satellite observations;

4) to develop a quantitative model of the satellites detected gamma-ray bursts of atmospheric origin on the basis of long-term ground-based observations of the relativistic electron fluxes, gamma rays, neutrons and broadband electromagnetic radiation storm activity;

5) to analyze and systematize observations powerful short bursts of high-frequency radiation areas of thunderstorm activity obtained on the satellite "Chibis-M" for the period from 2012 to 2014, with the organization of the relevant database; a statistical analysis of the properties of morphologically similar event; clarify the dependence of the characteristics of tropospheric short bursts of high-frequency radiation from their geographical coordinates, as well as on the level of local tropospheric convection; determine the degree of correlation with the bursts of gamma bursts of atmospheric origin (TGF);

6) to quantitatively describe the characteristics detected by satellites powerful short bursts of high-frequency electromagnetic radiation, including noise discrete spectrum on the basis of fractal-dissipative models of compact intracloud discharge (Compact Intracloud Discharge, CID [Iudin, Davydenko, 2015; Davydenko, Iudin, 2016]); on the basis of satellite radiation data measurements of CIDs determine the characteristic dimensions of the lifetimes of the conductive discharge channel, the dynamics of electric charges in the discharge, and the dependence of the discharge channel conductance of the current flowing through it; calculation results agree with the data of the satellite registration pairs transionospheric pulses (Transionospheric Pulse Pair, TIPP);

7) to establish a relationship compact intracloud discharge with high-energy processes (TGE, TGF) by analyzing satellite and terrestrial data recording radiation in a wide frequency band.

In terms of scientific objectives, methods of modeling and scale experimental studies, including satellite and ground-based recording streams of high-energy particles and radiation of super-atmospheric sources of high-frequency radiation, the proposed project is unique and corresponds to the world level of research in the field of high energy physics in the atmosphere, with special emphasis on communication high- processes (TGE, TGF) with electrical activity and structure of the storm clouds. The solution of the project aims, on the one hand, allows to answer the question about the mechanisms of formation and relationship of TGE, gamma-ray bursts in the Earth's atmosphere, and electrical processes in thunderstorm clouds, and on the other - to build a quantitative model of super-short bursts of electromagnetic VHF radiation on the basis of broadband satellite and ground-based observations.

#### **4.7. Предлагаемые методы и подходы, общий план работы на весь срок выполнения проекта и ожидаемые результаты (объемом не менее 2 стр.; в том числе указываются ожидаемые конкретные результаты по годам; общий план дается с разбивкой по годам) на русском языке**

В основе экспериментальной части проекта лежит организация синхронизованных непрерывных наблюдений потоков энергичных частиц и гамма-квантов, многопунктовой регистрации широкополосного электромагнитного радиоизлучения и квазистатического электрического поля грозовых облаков и метеорологических параметров атмосферы на Арагацких высокогорных станциях. По данным измерений потоков заряженных и нейтральных частиц предполагается восстановление их энергетических спектров. При анализе данных особое внимание будет уделено наземным грозовым превышениям с целью составления комплексного каталога указанных событий с максимально полным представлением результатов комплексных синхронных измерений. На основе данного каталога будет проведён анализ многомерных корреляций характеристик TGE, широкополосного радиоизлучения молниевых разрядов и квазистатических электрических полей грозовых и электрифицированных облаков.

Для реализации многопунктовой регистрации широкополосного электромагнитного радиоизлучения грозовых облаков для исследования пространственно-временных изменений в электрической структуре грозового облака будет использована мобильная версия широкополосного УКВ интерферометра, макетный образец которого создан в Специальном конструкторском бюро ИКИ РАН (г. Таруса, Калужская область). В разработанном макете излучение принимается на 4 одинаковые пассивные пространственно-разнесённые дипольные антенны, которые позволяют вычислить азимут и возвышение излучающего элемента молнии. Сигнал, поступающий на одну из антенн, используется для выработки триггера события аналогично тому, как это было сделано в радиочастотном анализаторе на борту микроспутника «Чибис-М». Во избежание влияния внеполосных помех (теле- и радиостанций на частотах выше 100 и ниже 1 МГц) на прибор будет установлен специальный твердотельный фильтр, обладающий высокой избирательностью. Аналогово-цифровой преобразователь цифрового блока будет функционировать на частоте порядка 250 МГц, что обеспечит высокое временное разрешение интерферометра. Объем памяти позволит записывать реализации с длительностью до 150 мс.

Решение задач данного проекта опирается на обработку данных измерений электромагнитного поля в ходе спутниковой миссии «Чибис-М» в очень широком диапазоне частот, от гамма- до ВЧ и ОНЧ излучения. С научной точки зрения наиболее эффективным прибором на борту «Чибиса-М» оказался радиочастотный анализатор (РЧА), в котором была реализована триггерная схема детектирования молниевых разряда. За 32 месяца работы РЧА им было детектировано около 500 событий. Особенности схемы выработки триггера РЧА привели к тому, что основным природным явлением, запечатленным на кадрах временной развертки, оказались пары трансионосферных импульсов высокочастотного излучения (TIPPs), источником которых являются компактные внутриоблачные разряды. На основании входящих в базу данных событий будут получены карты распределения наиболее интенсивных грозовых районов, характерные параметры наблюдаемых молний, а также определены характерные высоты источников компактных разрядов. Кроме того, будет установлена корреляция источников TIPPs и наблюдаемых гамма-вспышек земного происхождения (TGF). Статистическое исследование уже зарегистрированных TGF будут проведены для получения их несмещенных феноменологических параметров, таких как частота появления, длительность, форма импульса, наличие длительной компоненты. Для оценки влияния приборных эффектов при регистрации TGF и физических характеристик наиболее мощных TGF будет выполнено моделирование взаимодействия гамма-квантов с датчиками методом Монте-Карло. Для оптимизации поиска и классификации TGF будут исследованы методы их

обнаружения при малой статистике и с помощью вейвлетного анализа.

Основой предлагаемого подхода к описанию электродинамики молниевых разрядов являются методы фрактального моделирования, построенные на фундаментальных закономерностях и универсальных сценариях коллективной динамики диссипативных систем. Согласно данным натурных измерений динамика электрической структуры молниевых разрядов, а также его электромагнитного излучения обладает свойством универсального скейлинга (самоподобия), что проявляется в сильной, спадающей по степенному закону корреляции регистрируемых величин. Это позволяет рассматривать электрический разряд как систему с самоорганизованной критичностью и использовать для его моделирования современные методы фрактальной геометрии и фрактального анализа. Считается, что молниевый разряд находится вблизи порога перколяционного фазового перехода, который в отличие от обычных (термодинамических) фазовых превращений характеризуется геометрическими свойствами фрактальных кластеров, образованных формирующимися при разряде проводящими каналами. Формирование и эволюцию внутриоблачных электрических разрядов предполагается описывать в рамках оригинального подхода, разработанного участниками проекта и рассматривающего разряд как динамическую иерархическую структуру проводящих каналов в среде с пространственно-неоднородным распределением плотности заряда и напряжённости электрического поля. При этом каждому узлу пространственной решётки в области расчёта соответствует накопленный в данном элементарном объёме электрический заряд, динамика которого определяется структурой зависящих от дискретного времени электрических связей (каналов разряда) между элементами. Вероятность возникновения проводящих связей зависит от напряжённости электрического поля, а также от типа и полярности разряда, определяющих критическое поле и поле его инициации. Характерный размер элементарной ячейки и шаг дискретного времени в модели также зависят от типа разряда и определяются скоростью его распространения. Самосогласованное описание динамики электрического заряда на каждом шаге модельного времени предполагает решение уравнения Пуассона для всех элементарных ячеек и расчёт тока для каждой пары связанных ячеек с учётом проводимости канала разряда, эффективной ёмкости ячейки и внешнего электрического поля, при этом проводимость канала зависит от силы протекающего по каналу тока. Указанное представление разряда, фактически, представляет собой единственную возможность описания его эволюции, поскольку традиционные расчёты в такой трёхмерной системе оказываются чрезвычайно трудоёмкими и не описывают ряд ключевых особенностей рассматриваемого явления (в частности, диссипацию и ветвление сформировавшихся и возникновение новых элементов разряда). Электромагнитное поле внутриоблачного разряда определяется динамикой электрических зарядов в формирующихся проводящих каналах. Источником высокочастотной компоненты электромагнитного излучения являются короткие импульсы тока при формировании электрических связей между соседними ячейками. Параметры таких импульсов могут меняться в широком диапазоне значений и зависят от типа рассматриваемого разряда и характеристик проводящего канала. Низкочастотное излучение разрядов обусловлено сравнительно более долгоживущими и крупномасштабными источниками, включающими несколько соседних проводящих сегментов.

Важные особенности структуры электрического поля в облаке могут быть определены по данным наземных измерений потоков частиц из области сильного поля. Такой анализ будет основан на модели разряда с релятивистской обратной связью (Relativistic Feedback Discharge, RFD), состоящей в следующем. Каждый высокоэнергичный «убегающий» электрон способен сталкиваться с атомами, создавая новые ускоряющиеся электроны, формирующие лавины релятивистских «убегающих» электронов. Учёт эффекта убегания приводит к понижению напряжённости электрического поля, необходимого для пробоя, на порядок величины. Модель RFD учитывает возможность регуляции интенсивности размножения электронов за счёт участия в

реакциях позитронов и высокоэнергичных квантов. В рамках проекта будет рассмотрена система уравнений, описывающая эффект обратной связи в развитии лавин. Будет определено влияние характеристик процессов на результирующую структуру электрического поля и значение напряжённости поля, необходимое для поддержания квазистационарного разряда. Одним из возможных приложений модели RFD является анализ распределения поля и заряда в облаке, в частности, характеристик нижней положительно заряженной области (LPCR), играющей важную роль в инициации разряда облако—земля. В рамках модели RFD предполагается провести оценки высоты и заряда LPCR исходя из экспериментальных данных для напряжённости электрического поля и потока энергичных частиц на поверхности Земли.

Общий план работы на весь срок выполнения проекта можно представить в виде планов на 2017, 2018 и 2019 годы.

План работ на 2017 год:

- 1) проведение синхронизованных непрерывных наблюдений потоков энергичных частиц и гамма-квантов, квазистатического электрического поля грозовых облаков и метеорологических параметров атмосферы на Арагацких высокогорных станциях; определение энергетических спектров заряженных и нейтральных частиц TGE;
- 2) разработка систематизированной базы данных результатов наблюдений высокочастотного излучения областей грозовой активности, полученные спутником «Чибис-М» за период с 2012 по 2014 год; статистический анализ свойств морфологически схожих событий, изучение зависимости характеристик всплесков высокочастотного излучения от географических координат источника и уровня локальной тропосферной конвекции; исследование степени корреляции компактных разрядов с гамма-вспышками земного происхождения;
- 3) разработка эскизного проекта мобильной станции наземной широкополосной регистрации электромагнитного излучения грозовой активности (УКВ интерферометра), обеспечивающей высокое частотное, временное и пространственное разрешение молниевых разрядов;
- 4) разработка модели широкополосного электромагнитного излучения на предварительной и основной стадиях короткого внутриоблачного разряда, учитывающей наличие длительных шумовых высокочастотных сигналов, синхронных с TIPP's;
- 5) оценка влияния инструментальных эффектов (прежде всего «мёртвого» времени) в экспериментах RHESSI, GBM/Fermi, SPI/INTEGRAL; определение статистическое исследование данных регистрации гамма-вспышек земного происхождения (по данным астрофизических лабораторий RHESSI и GBM/Fermi) для определения параметров различных групп TGF;
- 6) подготовка публикаций и годового отчета.

Ожидаемые в 2017 году результаты:

- 1) создание базы данных синхронизованных непрерывных наблюдений потоков энергичных частиц и гамма-квантов, квазистатического электрического поля грозовых облаков и метеорологических параметров атмосферы на Арагацких высокогорных станциях, включая данные по энергетическим спектрам заряженных и нейтральных частиц TGE;
- 2) создание базы данных наблюдений высокочастотного излучения областей грозовой активности спутником «Чибис-М» за период с 2012 по 2014 год; выяснение связи между характеристиками всплесков высокочастотного излучения, географическими координатами источника и уровнем локальной тропосферной конвекции; выяснение степени корреляции компактных разрядов с гамма-вспышками земного происхождения;
- 3) технические решения различных вариантов мобильной станции наземной широкополосной регистрации электромагнитного излучения грозовой активности (УКВ интерферометра);
- 4) построение модели широкополосного электромагнитного излучения на предварительной и основной стадиях короткого внутриоблачного разряда, учитывающей особенности морфологии всплесков высокочастотного излучения, зарегистрированных на спутнике «Чибис-М»; интерпретация наблюдаемых длительных шумовых высокочастотных сигналов, синхронных с TIPP's;

- 5) определение влияния инструментальных эффектов (прежде всего т.н. мёртвого времени) в экспериментах RHESSI, GBM/Fermi, SPI/INTEGRAL; определение параметров различных групп TGF по данным астрофизических лабораторий RHESSI и GBM/Fermi.
- 6) разработка концепции и детальной структуры блока многоканальной «быстрой» электроники, использующего 4-канальный цифровой осциллограф (PicoScope 5244B с частотой дискретизации 25 миллионов выборок в секунду); разработка математического обеспечения прибора «myRio» фирмы «National Instruments» для управления, синхронизации, формирования триггеров и записи временных рядов;
- 7) подготовка 2-х докладов для представления на Осенней сессии Американского геофизического союза (New Orleans, Louisiana, USA).

План работ на 2018 год:

- 1) подготовка и проведение синхронной с измерениями потоков высокоэнергичных частиц и гамма-излучения широкополосной регистрации электромагнитного излучения грозовой активности в условиях Арагацких высокогорных станций с использованием созданного в рамках проекта мобильного УКВ интерферометра; анализ корреляции широких атмосферных и облачных ливней энергичных частиц;
- 2) изготовление и установка на Арагацких высокогорных станциях блоков многоканальной «быстрой» электроники;
- 3) моделирование наземных грозовых превышений с помощью кодов GEANT4 и CORSIKA; анализ формирования TGE в рамках модели разряда с релятивистской обратной связью;
- 4) исследование влияния асимметрии свойств положительных и отрицательных стримерных разрядов на предварительной стадии CID на свойства развитых биполярных стримерных структур и характеристики излучения на основной стадии компактного разряда; сопоставление спутниковых данных и результатов расчётов всплеска высокочастотного излучения компактных разрядов;
- 5) анализ крупномасштабной пространственной электрической структуры грозовых и электрифицированных облаков на Арагацких высокогорных станциях на основе их широкополосного электромагнитного излучения и данных измерений пространственно-разнесённых датчиков электростатического поля;
- 6) формирование совместной базы измерений потоков энергичных частиц, широкополосного электромагнитного и квазистатического полей, а также метеорологических параметров атмосферы при наземных грозовых превышениях в условиях Арагацких высокогорных станций;
- 7) подготовка публикаций и годового отчета.

Ожидаемые в 2018 году результаты:

- 1) дополнение базы данных непрерывных наблюдений потоков энергичных частиц и гамма-квантов, квазистатического электрического поля грозовых облаков и метеорологических параметров атмосферы результатами синхронных измерений широкополосного электромагнитного излучения грозового облака;
- 2) создание моделей TGE, основанных на теории убегающих электронов и модификации энергетических спектров электронов космического излучения; вывод о возможности интерпретации TGE в рамках модели разряда с релятивистской обратной связью;
- 3) определение параметров фрактальной модели компактного разряда, при которых мощность и спектр расчётного высокочастотного излучения соответствует данным наблюдений на спутнике «Чибис-М»; интерпретация различных типов временной структуры зарегистрированных всплесков высокочастотного излучения;
- 4) описание электрических разрядов и крупномасштабной электрической структуры грозовых и электрифицированных облаков на Арагацких высокогорных станциях по данным многопунктовой регистрации широкополосного электромагнитного излучения и квазистатического электрического поля;

План работ на 2019 год:

- 1) выделение и анализ коррелированных событий при совместной регистрации TGE и широкополосного электромагнитного излучения грозового или электрифицированного облака; анализ взаимосвязи наземных грозовых превышений и электрической активности в грозовых облаках;
- 2) корреляционный анализ временной структуры данных детекторов заряженных частиц, гамма- и рентгеновского излучения, широкополосного электромагнитного излучения с микросекундным временным разрешением;
- 3) формирование совместной базы измерений потоков энергичных частиц, гамма-излучения, широкополосного электромагнитного и квазистатического полей, а также метеорологических параметров атмосферы при наземных грозовых превышениях в условиях Арагацких высокогорных станций;
- 4) исследование возможностей и механизмов формирования TGF в рамках разработанной фрактальной модели компактных разрядов; анализ особенностей формирования диаграммы направленности компактных разрядов различной полярности;
- 5) подготовка публикаций и итогового отчета по проекту.

Ожидаемые результаты:

- 1) дополнение базы данных непрерывных наблюдений потоков энергичных частиц и гамма-квантов, квазистатического электрического поля и широкополосного электромагнитного излучения грозовых облаков результатами синхронных измерений в оптическом и УФ диапазонах;
- 2) вывод о степени корреляции молниевой и электрической активности в грозовых и электрифицированных облаках и наземных грозовых превышениях;
- 3) построение теории наземных грозовых превышений, включающей условия развития ливня релятивистских убегающих электронов в грозовом облаке с определённой электрической структурой, объяснение простирающегося до 100 МэВ энергетического спектра гамма-квантов и происхождения атмосферных нейтронов;
- 4) построение модели формирования диаграммы направленности высокочастотного излучения компактных разрядов, согласующаяся с данными спутниковой регистрации пар трансионосферных импульсов; вывод о возможности формирования гамма-вспышек при компактных разрядах.

на английском языке

The basis of the experimental part of the project is the organization of continuous observations synchronized streams of energetic particles and gamma rays, multicast registration broadband electromagnetic radio waves and quasi-static electric fields of thunderclouds and meteorological parameters of the atmosphere on the Aragats mountain stations. According to the measurements of flows of charged and neutral particles it is supposed to restore their energy spectra. Data analysis will focus on ground lightning exceedances for the purpose of drawing up comprehensive catalog of these events with the most complete representation of integrated synchronous measurements. On the basis of this catalog will be conducted analysis of multidimensional correlation characteristics of TGE, broadband radio emission from lightning discharges and quasi-static electric fields and storm clouds electrified.

To implement multicast registration broadband electromagnetic radio waves storm clouds for the study of spatial and temporal variations in the electrical structure of a thundercloud will use the mobile version of broadband VHF interferometer model sample which was created in the Special Design Bureau of IKI (Tarusa, Kaluga region). In the developed layout radiation is received by 4 identical passive space-spaced dipole antennas, which allow us to calculate the azimuth and elevation of a radiating element of lightning. The signal from one antenna is used to generate the trigger events the same way as it was done in the radio frequency analyzer on board microsatellite "Chibis-M." To avoid the influence of band interference

(television and radio stations at frequencies above 100 and below 1 MHz) on the device will be equipped with a special solid-state filter with high selectivity. Analog-to-digital converter digital unit will operate at a frequency of about 250 MHz, which will provide high time resolution of the interferometer. The amount of memory enables you to record the implementation of a duration of 150 ms.

Meeting the challenges of this project relies on the processing of electromagnetic field measurements during the satellite mission "Chibis-M" in a very wide range of frequencies, from gamma to HF and VLF radiation. From a scientific point of view, the most effective instrument on board "Chibis-M" was a radio frequency analyzer (RFA), which was implemented flip-flop detecting the lightning discharge. Over the 32 months of the RFA they had detected 500 events. Features of the trigger generating circuit RFA led to the fact that the basic natural phenomenon, pictured on the timebase frames were couples transionospheric pulses of high-frequency radiation (TIPPs), the source of which are compact intracloud level. On the basis of entering into a database of events will be obtained maps of the distribution of the most intense storm areas, the characteristic parameters of lightning observed and identified specific sources of compact discharge height. There will also be a correlation TIPPs sources and observed gamma-ray bursts terrestrial origin (TGF). The statistical study of TGF already registered will be held for their unbiased phenomenological parameters, such as frequency of occurrence, duration, pulse shape, the presence of long-term components. To assess the effect of instrument registering TGF effects and physical characteristics most potent TGF simulation of gamma rays is arranged sensors Monte Carlo method. To optimize the search and classification methods for their detection will be examined at a low TGF statistics and using wavelet analysis.

The basis of the proposed approach to the description of electrostatics of lightning discharges are the methods of fractal simulation built on the fundamental and universal laws of scenarios collective dynamics of dissipative systems. According to the dynamics of in-situ measurements of the electric structure of the lightning discharge and its electromagnetic radiation has the property of universal scaling (self-similarity), which manifests itself in a strong, decreasing power law correlation values recorded. This allows us to consider an electric discharge as a system with self-organized criticality and the use of modern methods of fractal geometry and fractal analysis for its modeling. It is believed that the lightning discharge is near the percolation threshold of the phase transition, which is in contrast to conventional (thermodynamic) phase transformation is characterized by the geometric properties of fractal clusters formed conducting channels are formed during discharge. Formation and evolution of electric discharges intracloud supposed to describe under the original approach developed by the project participants, and considering the category as a dynamic hierarchical structure of the conducting channels in a medium with a spatially inhomogeneous distribution of the charge density and electric field strength. In this case each node spatial lattice in the calculation corresponds to the accumulated volume of the elementary electric charge, which is determined by the dynamics of the structure depending on the time discrete electrical connections (discharge channel) between the elements. The likelihood of conducting relations depends on the electric field, and the type of discharge and polarity determining critical field and the field of its initiation. The characteristic size of the unit cell and discrete time step in the model are also dependent on the type of discharge and defined by the rate of its spread. Self-consistent description of the dynamics of the electric charge on each model time step involves the solution of Poisson's equation for all of the unit cells and the current calculation for each pair of connected cells in view of the discharge channel conductivity, effective capacity of the cell and the external electric field, and the conductivity of the channel depends on the strength flowing through the channel current. This representation of the discharge, in fact, represents a unique opportunity to describe its evolution, since conventional calculations in a three-dimensional system are extremely time consuming and does not describe some of the key features of the phenomenon (eg, dissipation and branching of mature and emerging new category of elements). Electromagnetic field intracloud discharge is determined by the dynamics of the electric charges in the conducting channels are formed. The source of high-frequency components of the electromagnetic radiation are short current pulses during the formation of the electrical connections between adjacent cells. Parameters such pulses may vary over a wide range and depend on the type

and the conductive discharge reporting channel characteristics. Low-frequency radiation discharges due to the relatively more long-lived and large-scale sources, including several adjacent conductive segments.

Important features of the structure of the electric field in the cloud can be determined according to ground-based measurements of particle fluxes of the strong field. This analysis will be based on the discharge model with relativistic feedback (Relativistic Feedback Discharge, RFD), consisting of the following. Each high-energy "runaway" electron can collide with the atoms, creating new accelerated electrons forming an avalanche of relativistic "runaway" electrons. Accounting for the effect of runaway leads to a decrease of the electric field required for the breakdown, one order of magnitude. RFD model takes into account the possibility of regulating the intensity of electron multiplication by participating in the reactions of high energy positrons and photons. The project will consider a system of equations describing the feedback effect in the development of avalanches. The impact of the characteristics of the processes will be determined on the resultant structure of the electric field and the value of the field strength necessary to maintain a quasi-stationary discharge. One possible model RFD application is the analysis of the field and charge distribution in the cloud, in particular, the characteristics of the bottom of the positively charged region (LPCR), which plays an important role in the initiation of cloud-to-ground discharge. As part of the RFD model it is supposed to hold the height of the evaluation and charge LPCR basis of experimental data for the electric field strength and the flow of energetic particles at the Earth's surface.

The general plan of work for the entire duration of the project can be presented in the form of plans for 2017, 2018 and 2019.

The work plan for 2017:

- 1) conducting continuous observations synchronized streams of energetic particles and gamma rays, a quasi-static electric field of thunder clouds and meteorological parameters of the atmosphere on the Aragats mountain stations; determining energy spectra of charged and neutral particles TGE;
- 2) the development of a systematic database of the results of the high radiation areas of thunderstorm activity observations received satellite "Chibis-M" for the period from 2012 to 2014; Statistical analysis of the properties of morphologically similar event, depending on the study characteristics of bursts of high-frequency radiation from the geographical coordinates of the source and level of local tropospheric convection; study the degree of correlation with the compact discharge gamma flares of terrestrial origin;
- 3) development of conceptual design of the mobile station registration terrestrial broadband electromagnetic radiation storm activity (VHF interferometer), which provides a high frequency, the temporal and spatial resolution of the lightning discharges;
- 4) development of a model of broadband electromagnetic radiation at a preliminary stage and the main short intracloud discharge, taking into account the existence of long-term noise of high-frequency signals, synchronized with TIPPs;
- 5) assessment of the impact of instrumental effects (primarily the "dead" time) in experiments RHESSI, GBM / Fermi, SPI / INTEGRAL; definition of statistical research data gamma-ray bursts terrestrial origin (according to the astrophysical laboratories RHESSI and GBM / Fermi) to determine the parameters of different TGF groups;
- 6) the preparation and publication of the annual report.

Expected results in 2017:

- 1) creation of a database synchronized continuous observations of energetic particle fluxes and gamma rays, a quasi-static electric field of thunder clouds and meteorological parameters of the atmosphere on the Aragats mountain stations, including data on the energy spectra of charged and neutral particles TGE;
- 2) creation of a data base of high-frequency radiation observation areas of thunderstorm activity a satellite

"Chibis-M" for the period from 2012 to 2014; clarification of the connection between the characteristics of the high-frequency bursts of radiation, the geographical coordinates of the source and level of local tropospheric convection; determination of the degree of correlation with the compact discharge gamma flares of terrestrial origin;

- 3) the technical solutions of various embodiments of the mobile station terrestrial broadband registration of electromagnetic radiation storm activity (VHF interferometer);
- 4) construction of a model of broadband electromagnetic radiation at a preliminary stage and the main short intracloud discharge, taking into account the morphology of bursts of high-frequency radiation, registered on the satellite "Chibis-M"; interpretation of the observed long-term noise of high-frequency signals, synchronized with TIPPs;
- 5) to determine the effect of instrumental effects (especially the so-called dead time) in experiments RHESSI, GBM / Fermi, SPI / INTEGRAL; determination of the parameters of various groups of TGF according astrophysical laboratories RHESSI and GBM / Fermi.
- 6) the development of the concept and the detailed structure of a multi-channel "fast" electronic unit that uses a 4-channel digital storage oscilloscope (PicoScope 5244B with a sampling rate of 25 million samples per second); development of a software instrument «myRio» company «National Instruments» for control, synchronization, and triggers the formation of recording time series;
- 7) Preparation of 2 reports for submission to the Autumn Session of the American Geophysical Union (New Orleans, Louisiana, USA).

The work plan for 2018:

- 1) the preparation and conduct of synchronous measurements with high-energy particle fluxes and gamma radiation registration broadband electromagnetic radiation storm activity in the conditions of Aragats high-altitude stations using established within mobile VHF interferometer project; Correlation analysis of extensive air showers and cloud of energetic particles;
- 2) manufacture and installation of high-altitude Aragats station blocks multichannel "fast" electronics;
- 3) modeling of ground lightning exceedances using GEANT4 CORSIKA and codes; TGE analysis of the formation within the discharge model with relativistic feedback;
- 4) study of the effect of the asymmetry of properties of positive and negative streamer discharge at a preliminary stage in the CID property developed bipolar streamer structures and characteristics of the radiation on the main stage of the compact discharge; comparison of satellite data and the results of calculations of high-frequency radiation spike compact bits;
- 5) analysis of the large-scale spatial structure of the electric and electrified storm clouds on Aragats mountain stations based on their broadband electromagnetic radiation and measurement data spatially spaced electrostatic field sensors;
- 6) formation of a joint database of measurements of energetic particle fluxes and broadband electromagnetic quasi-static fields, as well as meteorological parameters of the atmosphere at ground lightning excesses under Aragats high-altitude stations;
- 7) preparation and publication of the annual report.

Expected results in 2018:

- 1) complement the database of continuous observations of energetic particle fluxes and gamma rays, a quasi-static electric field of thunder clouds and meteorological parameters of the atmosphere results of simultaneous measurement of broadband electromagnetic radiation of a thundercloud;
- 2) the creation of TGE models based on the theory of runaway electrons and modification of the energy spectra of cosmic ray electrons; concluded that TGE interpretation possible within the discharge model with relativistic feedback;
- 3) determination of the fractal parameters of the model of the compact category, where the power and range of high-frequency radiation calculation is consistent with observations on the satellite "Chibis-M"; interpretation of various types of temporary structures for the bursts of high-frequency radiation;

4) description of the electrical discharges and the large-scale structure of the electric and electrified storm clouds on Aragats mountain stations according to multicast registration broadband electromagnetic radiation and quasi-static electric field;

The work plan for 2019:

- 1) selection and analysis of correlated events at the joint registration of TGE and broadband electromagnetic radiation or lightning electrified clouds; analysis of the relationship of land elevation and storm of electrical activity in thunderclouds;
- 2) correlation analysis of the temporal structure of the data of the charged particle detectors, gamma and X-ray, broadband electromagnetic radiation with microsecond time resolution;
- 3) the formation of a joint database of measurements of energetic particle fluxes, gamma-radiation, electromagnetic and broadband quasi-static fields, as well as meteorological parameters of the atmosphere at ground lightning excesses under Aragats high-altitude stations;
- 4) research capabilities and mechanisms of TGF in the framework developed by the fractal model of compact discharge; analysis of the characteristics of compact beamforming bits of different polarity;
- 5) preparation and publication of the final project report.

Expected results:

- 1) addition of energetic particles of continuous observations database streams and gamma rays, a quasi-static electric field and broadband electromagnetic radiation storm clouds results of simultaneous measurements in optical and ultraviolet ranges;
- 2) the conclusion of the degree of correlation of lightning and electrical activity in thunderclouds and electrified clouds and lightning ground elevation;
- 3) construction of the theory of lightning ground elevations, including the conditions of development of the shower of relativistic runaway electrons in a thunderstorm cloud with a certain electrical structure, explanation of extending up to 100 MeV energy spectrum of gamma rays and neutrons atmospheric origin;
- 4) construction of a model beam forming compact high-frequency radiation discharges, consistent with the data of satellite registration pairs transionospheric pulses (TIPP); conclusion about the possibility of formation of gamma-ray bursts with the compact intracloud discharges.

4.8. Имеющийся у научного коллектива научный задел по проекту (указываются полученные ранее результаты, разработанные программы и методы)

- 1) Получены и обработаны результаты регистрации наземных грозových превышений (TGE) на Арагацких высокогорных станциях за 2009-2015 годы. В работах, опубликованных в 2010-2016 годах, подробно исследуются случаи грозовой активности, которые сопровождались усилением потоков гамма-квантов, электронов и нейтронов. При этом разные типы элементарных частиц одновременно измерялись и идентифицировались с помощью различных детекторов и установок с разными энергетическими порогами. К важнейшим достижениям научного коллектива за последние годы можно отнести следующие:
- впервые зарегистрированы облачные ливни частиц, инициированные убегаящими электронами в сильных электрических полях грозových облаков;
  - впервые измерены энергетические спектры электронов при TGE;
  - разработана модель TGE с учётом сложной электрической структуры грозového облака; – построены модели энергетических спектров электронов и гамма-квантов при различных значениях напряжённости атмосферного электрического поля;
  - впервые выдвинута гипотеза о том, что наблюдение высокоэнергичных гамма-квантов связано с модификацией энергетических спектров вторичных космических лучей;
  - проведён исчерпывающий анализ результатов экспериментов, в которых регистрировались

- потоки нейтронов, с точки зрения различных интерпретаций их формирования; с учётом данных других установок сделаны существенные выводы относительно механизма возникновения нейтронов и гамма-излучения во время грозовой активности;
- выделены и проанализированы случаи, когда TGE резко прерывались молниевым разрядом.
- 2) По результатам наземных и баллонных измерений электростатического поля, а также радиолокационного зондирования построены модели крупномасштабной электрической структуры грозовых облаков различного типа, в том числе грозовых конгломератов (мезомасштабных конвективных систем) и типичных равнинных грозовых облаков с областями быстрой и медленной конвекции. Предложен алгоритм восстановления электрической структуры грозового облака, в частности распределения токов, зарядов и проводимости, и характеристик разрядов по данным многопунктовой регистрации приземного электрического поля.
- 3) Исследована динамика крупномасштабных переходных токов, текущих в атмосфере после молниевых разрядов. В рамках аксиально-симметричной численной модели, построенной в приближении квазиэлектростатики, вычислены электрические поля и токи после молниевых разрядов различного типа. Результаты модели подтверждены данными комплексного эксперимента по прямому измерению медленной компоненты электрического поля в натуральных условиях.
- 4) Построена трёхмерная модель полей и токов, возникающих в атмосфере с анизотропной неоднородной проводимостью вследствие одиночного внутриоблачного разряда либо разряда облако—земля. Модель основана на численном решении уравнений Максвелла методом конечных разностей во временной области позволяет в рамках единого подхода описать как соответствующий стадии возвратного удара электромагнитный импульс, так и последующую квазистатическую релаксацию возмущения пространственного заряда. Проанализирована зависимость формы электромагнитного импульса и последующего всплеска квазистатического электрического поля от пространственно-временных параметров разрядного тока, возмущения электрической проводимости внутри грозового облака, анизотропии проводимости верхних слоёв атмосферы и расстояния до молниевых разряда. Показана возможность определять основные параметры компонент разрядного тока из сопоставления результатов расчётов с данными наблюдений электромагнитного и квазистатического полей.
- 5) Разработана новая модель молниевых разрядов в грозовом облаке, учитывающая вероятностное деление и биполярную структуру лидерного канала, одновременный рост различных (лидерных) ветвей разряда, конечное электрическое поле в канале молнии и динамику его проводимости. Модель была применена для описания развития молниевых разрядов различного типа в облаках с типичной электрической структурой и позволила учесть влияние нижнего слоя положительного заряда (LPCR) на тип и эволюцию молниевых разрядов.
- 6) Предложена новая модель компактного внутриоблачного разряда (CID), рассматривающая его как результат взаимодействия двух биполярных стримерных структур, формирующихся в сильном неоднородном электрическом поле грозового облака на предварительной стадии разряда. Начало основной стадии CID соответствует возникновению электрической связи между развитыми стримерными структурами, в результате чего накопленный на смежных концах структур электрический заряд нейтрализуется за время, много меньшее длительности предварительной стадии. При этом параметры возникающего импульса тока хорошо согласуются с известными оценками тока компактного внутриоблачного разряда, а формирующийся всплеск высокочастотного излучения соответствует результатам спутниковых наблюдений CID.
- 7) Разработан и создан макет широкополосного УКВ интерферометра, состоящий из 3 пассивных дипольных антенн и одной антенны типа T2FD, подключенной к радиочастотному анализатору, позволяющий проводить измерения в автоматическом режиме; разработан программный комплекс для анализа данных УКВ интерферометра.
- 8) Проведены предварительные модельные расчеты «убегания» электронов для физических условий, характерных для Арагацких высокогорных станций; начата работа по модернизации

численного кода, учитывающего генерацию свободных электронов с энергиями от нескольких кило- до мегаэлектронвольт.

Список основных недавних публикаций участников проекта:

- A. Chilingarian, A. Daryan, K. Arakelyan et al., Ground-based observations of thunderstorm-correlated fluxes of high-energy electrons, gamma rays, and neutrons, *Phys. Rev. D.*, 82, 043009, 2010
- A. Chilingarian, G. Hovsepyan, and A. Hovhannisyanyan, Particle bursts from thunderclouds: Natural particle accelerators above our heads, *Physical Review D* 83, 062001 (2011).
- A. Chilingarian, B. Mailyan and L. Vanyan, Recovering of the energy spectra of electrons and gamma rays coming from the thunderclouds, *Atmospheric Research* 114–115, 1–16, (2012).
- A. Chilingarian, N. Bostanjyan, and L. Vanyan, Neutron bursts associated with thunderstorms, *Physical Review D* 85, 085017 (2012).
- Chilingarian, A. and Mkrtchyan, H., Role of the Lower Positive Charge Region (LPCR) in initiation of the Thunderstorm Ground Enhancements (TGEs), *Physical Review D* 86, 072003 (2012).
- A. Chilingarian, N. Bostanjyan, T. Karapetyan, L. Vanyan, Remarks on recent results on neutron production during thunderstorms, *Physical Review D* 86, 093017 (2012).
- A. Chilingarian, B. Mailyan, Recovering of the TGE electron and gamma ray energy spectra, *Journal of Physics: Conference Series* 409 (2013) 012214.
- A. Chilingarian, N. Bostanjyan, T. Karapetyan, On the possibility of location of radiation-emitting region in thundercloud, *Journal of Physics: Conference Series* 409 (2013) 012217.
- K. Avakyan, K. Arakelyan, A. Chilingarian, et al., NaI Detector Network at Aragats, *Journal of Physics: Conference Series* 409 (2013) 012218.
- A. Chilingarian, N. Bostanjyan, T. Karapetyan, L. Vanyan, Neutron production during thunderstorms, *Journal of Physics: Conference Series* 409 (2013) 012216.
- A. Chilingarian, Thunderstorm Ground Enhancements (TGEs) - New High- Energy Phenomenon Originated in the Terrestrial Atmosphere, *Journal of Physics: Conference Series* 409 (2013) 012019
- A. Chilingarian, G. Hovsepyan, Extensive Cloud Showers (ECS) – New High-Energy Phenomena Resulting from the Thunderstorm Atmospheres, *Journal of Physics: Conference Series* 409 (2013) 012221.
- A. Chilingarian, L. Vanyan, Simulations of the secondary cosmic ray propagation in the thunderstorm atmospheres resulting in the Thunderstorm ground enhancements (TGEs), *Journal of Physics: Conference Series* 409 (2013) 012215.
- A. Chilingarian, H. Mkrtchyan, Lower positive charge region (LPCR) and its influence on initiation of Thunderstorm ground enhancements (TGEs) and cloud-to-ground (CG-) and intracloud (IC-) lightning occurrences, *Journal of Physics: Conference Series* 409 (2013) 012219
- A. Chilingarian, A., Karapetyan T, Melkumyan L., Statistical analysis of the Thunderstorm Ground Enhancements (TGEs) detected on Mt. Aragats. *J. Adv. Space Res.*, 52, 1178 (2013),
- A. Chilingarian, Mailyan B., and Vanyan L., Observation of Thunderstorm Ground Enhancements with intense fluxes of high-energy electrons, *Astropart. Phys.*, 48, 1 (2013)
- A. Chilingarian, G. Hovsepyan, and L. Kozliner, Thunderstorm ground enhancements: Gamma ray differential energy spectra, *Physical Review D* 88, 073001 (2013).
- Chilingarian, A. A. (2013), Exploring High-Energy Phenomena in Earth's Atmosphere, *Eos Trans. AGU*, 94(50), 488.
- A. Chilingarian, Thunderstorm Ground Enhancements - model and relation to lightning flashes, *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 107, 68-76, 2014.
- A. Chilingarian, G. Hovsepyan, L. Vanyan, On the origin of the particle fluxes from the thunderclouds: energy spectra analysis, *EPL*, 106 (2014) 59001
- A. Chilingarian, Exploring the Origin of High-Energy Particle Beams in the Atmosphere, *Eos*, Vol. 95, No. 46, 18 November 2014
- A. Chilingarian, S. Chilingaryan, G. Hovsepyan, Calibration of particle detectors for secondary cosmic

rays using gamma-ray beams from thunderclouds, *Astroparticle Physics* 69 (2015) 37–43

A. Chilingarian, G. Hovsepyan, G. Khanikyan, et al., Lightning origination and thunderstorm ground enhancements terminated by the lightning flash, *EPL*, 110 (2015) 49001

Chilingarian, A., S. Chilingaryan, and A. Reymers (2015), Atmospheric discharges and particle fluxes, *J. Geophys. Res.: Space Physics*, 120, 5845–5853, doi:10.1002/2015JA021259.

Chilingarian A., Hovsepyan G., and Mantasakanyan E., 2016. Mount Aragats as a stable electron accelerator for atmospheric High-energy physics research, *Phys. Rev. D: Part. Fields*, 93, 052006.

Chilingarian, A. (2016), Where does lightning come from? *Eos*, 97, doi:10.1029/2016EO050097.

A. Chilingarian, G. Hovsepyan, L. Kozliner, Extensive Air Showers, Lightning, and Thunderstorm Ground Enhancements, *Astroparticle Physics*, *Astroparticle Physics* 82 (2016) 21–35

Iudin D.I., Davydenko S.S., Fractal model of the compact intracloud discharge. I. Features of structure and evolution // *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2015. Vol.58, No.7, pp.477-496.

Davydenko S.S., Iudin D.I., Fractal model of the compact intracloud discharge. II. Unique features of electromagnetic emission // *Radiophysics and Quantum Electronics*. 2016. Vol.59, No.7, pp.560-575.

Иудин, Д.И., Ф.Д. Иудин, М. Хаякава (2015), Моделирование радиоизлучения внутриоблачного молниевых разряда, *Известия вузов. Радиофизика*, т.58, No.3, стр.187-199.

Iudin, D.I., Ya.D. Sergeyev, and M. Hayakawa (2015), Reprint of Infinity computations in cellular automaton forest-fire model, *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation*, Vol.21, No.1–3, pp.190-199.

Davydenko, S.S., and E.A. Mareev (2014), Comment on “Charge transfer to the ionosphere and to the ground during thunderstorms” by S. A. Mallios and V. P. Pasko, *J. Geophys. Res.: Space Physics*, Vol.119, doi:10.1002/2013JA019230.

Davydenko, S.S., S.A. Savikhin, A.S. Sergeev, and S.A. Zolotov (2014), 3D modeling atmospheric electric field and current caused by a lightning discharge, in: *Proc. 15th Int. Conf. on Atmospheric Electricity*. Norman, USA, 2014. Art.no.P-08-25.

Davydenko, S.S., D.I. Iudin, V.Yu. Klimashov, A.Yu. Kostinskiy, and V.S. Syssoev (2014), Electrical structure of the unipolar charged aerosol cloud, in: *Proc. 15th Int. Conf. on Atmospheric Electricity*. Norman, USA, 2014. Art.no.P-08-19.

Давыденко, С.С. (2012), О влиянии ионосферных течений на поля и токи планетарного генератора, *Геомагнетизм и аэрономия*, т.52, №2, стр.226-236.

Iudin, D.I., Ya.D. Sergeyev, and M. Hayakawa M. (2012), Interpretation of percolation in terms of infinity computations, *Appl. Math. Comput.*, Vol.218, No.16, pp.8099-8111.

Davydenko S.S., Marshall T.C., and Stolzenburg M. (2010) Modeling the electric structures of two thunderstorms and their contributions to the global circuit // *Atmospheric Research*, Vol.91, P.165, doi:10.1016/j.atmosres.2008.08.006.

Zelenyi L.M. et al. The academic Chibis-M microsatellite // *Cosm. Res.* 2014. Vol. 52, № 2. P. 87–98. Dolgonosov M.S. et al. “Solitary” Trans-Ionosferic Pulse Pairs onboard of the microsatellite “Chibis-M” // *Adv. Sp. Res.* 2015. Vol. 56, № 6. P. 1177–1184.

#### 4.9. Перечень оборудования, материалов, информационных и других ресурсов, имеющихся у научного коллектива для выполнения проекта (в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)

1) Техническая инфраструктура высокогорных научных станций Арагац и Нор Амберд Ереванского физического института (ЕрФИ) состоит из капитальных зданий, расположенных на высоте 3200 и 2000 м, в которых находятся экспериментальные залы, энергетическое оборудование, столовые, комнаты для проживания персонала, лекционные залы. На станцию Арагац проложена линия электропередачи с напряжением 35 кВ, все экспериментальные установки оборудованы источниками бесперебойного питания; на станциях установлены дизель-генераторы и емкости для хранения горючего.

Автомобильный парк составляют автомобили высокой проходимости и

транспорт на гусеничном ходу. Для передачи данных с экспериментальных установок используются радиомодемы и мобильная связь с помощью специально установленных станций компании «Билайн». Ввиду суровых климатических условий проводится регулярный ремонт объектов инфраструктуры. В Отделении космических лучей ЕрФИ, которое проводит научные работы на станциях, имеются инженерно-технические кадры, осуществляющие эксплуатацию имеющегося оборудования.

Научная инфраструктура станций состоит из сетей детекторов элементарных частиц, регистрирующих потоки заряженных и нейтральных частиц и их энергии (сцинтилляторы, кристаллы NaI, CsI, пропорциональные счетчики). Электрические и магнитные поля измеряются сенсорами фирмы «Boltek» (USA) и приборами Львовского центра космических исследований. Современная электроника регистрирует корреляции измерений разнообразных детекторов, обеспечивают запись корреляций и выделения физических событий заданной конфигурации и синхронизацию измерений с наносекундной точностью (цифровой осциллограф PicoScope 5244B с частотой дискретизации 25 миллионов выборок в секунду и блок «myRio» фирмы «National Instruments» и др.). Временные ряды измерений с временем интегрирования 50 мс, 1 с и 1 мин поступают на сервера ЕрФИ в режиме реального времени и доступны пользователям через веб-интерфейс ADEI с развитыми возможностями многомерной визуализации. Информация с базы данных многократно дублируется для обеспечения как сохранности, так и постоянного доступа. Всего поддерживается около 500 каналов информации с Арагацких установок, объем ежедневной информации достигает десятков гигабайт.

2) Широкополосный УКВ интерферометр, развернутый в г. Таруса (Калужская область) на базе СКБ ИКИ РАН. Интерферометр представляет собой 4 одинаковые пассивные дипольные антенны, разнесенные на расстояние порядка 10 метров между антеннами 1-2 и 2-3. Расстояние между антеннами 2 и 4 составляет порядка сотни метров. Антенны 1, 2 и 3 составляют короткую базу интерферометра и позволяют вычислить азимут и возвышение (угол наклона) источника излучения. Антенна 4 составляет длинную базу с антенной 2 и необходима для повышения точности определения координат в трёхмерном пространстве. Все антенны подключены к программно-аппаратному блоку, выполняющему роль многоканального радиочастотного анализатора, через коаксиальные кабели. Сигнал, поступающий на одну из антенн, используется для выработки триггера события аналогично тому, как это было сделано в радиочастотном анализаторе на борту микроспутника «Чибис-М». Объем памяти позволяет записывать кадры длительностью до 150 мс. Задачей узла триггера события является выделение микросекундного широкополосного импульса на фоне помех и формирование команды на запись кадра памяти всех антенн, причем в кадр пишется как предыстория события, так и последовавший за триггером УКВ сигнал.

3) Вычислительный комплекс ИКИ РАН (кластер). На данный момент доступно в круглосуточном режиме 24 вычислительных узла.

4) Для участников гранта будет доступна вся необходимая инфраструктура Специального конструкторского бюро Космического приборостроения ИКИ РАН, необходимая для отладки и испытаний мобильной версии УКВ интерферометра.

#### 4.10. План работы на первый год выполнения проекта (в том числе указываются запланированные командировки по проекту) на русском языке

План работ на 2017 год:

1) проведение синхронизированных непрерывных наблюдений потоков энергичных частиц и гамма-квантов, квазистатического электрического поля грозовых облаков и метеорологических параметров атмосферы на Арагацких высокогорных станциях; определение энергетических

спектров заряженных и нейтральных частиц TGE;

2) разработка систематизированной базы данных результатов наблюдений высокочастотного излучения областей грозовой активности, полученные спутником «Чибис-М» за период с 2012 по 2014 год; статистический анализ свойств морфологически схожих событий, изучение зависимости характеристик всплесков высокочастотного излучения от географических координат источника и уровня локальной тропосферной конвекции; исследование степени корреляции компактных разрядов с гамма-вспышками земного происхождения;

3) разработка мобильной станции наземной широкополосной регистрации электромагнитного излучения грозовой активности (УКВ интерферометра), обеспечивающей высокое частотное, временное и пространственное разрешение молниевых разрядов;

4) разработка модели широкополосного электромагнитного излучения на предварительной и основной стадиях короткого внутриоблачного разряда, учитывающей наличие длительных шумовых высокочастотных сигналов, синхронных с транс-ионосферными парами импульсов;

5) оценка влияния инструментальных эффектов (прежде всего «мёртвого» времени) в экспериментах RHESSI, GBM/Fermi, SPI/INTEGRAL; статистическое исследование данных регистрации гамма-вспышек земного происхождения (по данным астрофизических лабораторий RHESSI и GBM/Fermi) для определения параметров различных групп TGF.

Планируемые командировки участников проекта в 2017 году:

1) командирование руководителя проекта в Москву и Нижний Новгород для координации работ по проекту;

2) участие 5 человек в конференции Thunderstorms and Elementary Particle Acceleration (TEPA-2017, Ереван, Армения);

3) командировка 2 человек в Университет Флориды (Florida University, Gainesville, Florida, USA) для обмена опытом по созданию сети УКВ детекторов молниевых разрядов;

4) поездка 3 человек на Арагацкие высокогорные станции для совместной работы и обсуждения результатов;

5) участие 3 человек в Осенней сессии Американского геофизического союза (New Orleans, Louisiana, USA).

на английском языке

The work plan for 2017:

1) conducting continuous observations synchronized fluxes of energetic particles and gamma rays, a quasi-static electric field of thunder clouds and meteorological parameters of the atmosphere on the Aragats mountain stations; determining energy spectra of charged and neutral particles in TGE;

2) the development of a systematic database of the results of the high radiation areas of thunderstorm activity observations received satellite "Chibis-M" for the period from 2012 to 2014; Statistical analysis of the properties of morphologically similar event, depending on the study characteristics of bursts of high-frequency radiation from the geographical coordinates of the source and level of local tropospheric convection; study the degree of correlation with the compact discharge gamma flares of terrestrial origin;

3) Development of a mobile station of a terrestrial broadband registration of electromagnetic radiation storm activity (VHF interferometer), which provides a high frequency, the temporal and spatial resolution of the lightning discharges;

4) development of a model of broadband electromagnetic radiation at a preliminary stage and the main short intracloud discharge, taking into account the existence of long-term high-frequency noise signals, synchronized with the trans-ionospheric pulse pairs;

5) assessment of the impact of instrumental effects (primarily the "dead" time) in experiments RHESSI, GBM / Fermi, SPI / INTEGRAL; Statistical Analysis of the data of gamma-ray bursts terrestrial origin (according RHESSI and GBM / Fermi astrophysical laboratories) to determine the parameters of different TGF groups.

Planned trips participants of the project in 2017:

- 1) business trip of the project manager from Moscow to Nizhny Novgorod for the coordination of the project;
- 2) participation of 5 people in the conference Thunderstorms and Elementary Particle Acceleration (TEPA-2017, Yerevan, Armenia);
- 3) business trip for 2 people, University of Florida (Florida University, Gainesville, Florida, USA) to share experiences on the establishment of a network of detectors VHF lightning discharges;
- 4) business trip of 3 people to Aragats high-altitude stations for collaboration and discussion of the results;
- 5) participation of 3 persons in the autumn meeting of the American Geophysical Union (New Orleans, Louisiana, USA).

#### 4.11. Планируемое на первый год содержание работы каждого основного исполнителя проекта (включая руководителя проекта)

Чилингарян Ашот: общее руководство проектом, составление планов рабочих групп, согласование сроков исполнения; обработка многомерных данных с Арагацких установок; составление технического задания на наносекундную электронику; подготовка докладов на международные конференции, написание статей.

Иудин Дмитрий Игоревич: построение микрофизической модели пространственно-распределённой инициации мелкомасштабных разрядов в областях сильного поля в грозовых облаках, моделирование электродинамики предварительной стадии компактного разряда с учётом эстафетной проводимости ансамбля мелкомасштабных разрядов в рамках механизма направленной перколяции; анализ условий формирования протяжённых проводящих кластеров, описание фрактальной токовой системы компактного разряда. Участие в написании статей и отчета.

Давыденко Станислав Станиславович: разработка модели электромагнитного излучения компактного разряда при наличии длительной стадии мелкомасштабной разрядной активности в грозовом облаке; интерпретация спутниковых наблюдений длительной шумовой компоненты высокочастотного излучения компактных разрядов, синхронной с парами трансионосферных импульсов, в рамках механизма кластер-кластерной агрегации проводящих разрядных структур. Участие в написании статей и отчета.

Долгоносов Максим Сергеевич: разработка мобильной станции наземной широкополосной регистрации электромагнитного излучения грозовой активности (УКВ интерферометра), а также пакета математических программ, обеспечивающих обработку полученных данных; численное моделирование наземных грозowych превышений; анализ формирования TGE в рамках модели разряда с релятивистской обратной связью; оценка влияния инструментальных эффектов в космических экспериментах; статистическое исследование данных регистрации гамма-вспышек земного происхождения для определения параметров различных групп TGF. Участие в подготовке докладов на международные конференции, в написании статей и отчета.

#### 4.12. Ожидаемые в конце первого года конкретные научные результаты (форма изложения должна дать возможность провести экспертизу результатов и оценить степень выполнения заявленного в проекте плана работы). на русском языке

- 1) База данных синхронизованных непрерывных наблюдений потоков энергичных частиц и гамма-квантов, квазистатического электрического поля грозowych облаков и метеорологических параметров атмосферы на Арагацких высокогорных станциях, включая данные по энергетическим

спектрам заряженных и нейтральных частиц TGE;

- 2) база данных наблюдений высокочастотного излучения областей грозовой активности спутником «Чибис-М» за период с 2012 по 2014 год; выяснение связи между характеристиками всплесков высокочастотного излучения, географическими координатами источника и уровнем локальной тропосферной конвекции; выяснение степени корреляции компактных разрядов с гамма-вспышками земного происхождения;
- 3) мобильная станция наземной широкополосной регистрации электромагнитного излучения грозовой активности (УКВ интерферометр);
- 4) модель широкополосного электромагнитного излучения на предварительной и основной стадиях короткого внутриоблачного разряда, учитывающая особенности морфологии всплесков высокочастотного излучения, зарегистрированных на спутнике «Чибис-М»; интерпретация наблюдаемых длительных шумовых высокочастотных сигналов, синхронных с TIPP's;
- 5) определение влияния инструментальных эффектов (прежде всего т.н. мёртвого времени) в экспериментах RHESSI, GBM/Fermi, SPI/INTEGRAL; определение параметров различных групп TGF по данным астрофизических лабораторий RHESSI и GBM/Fermi;
- 6) концепция и детальная структура блока многоканальной «быстрой» электроники;
- 7) публикации по теме проекта в журнале с высоким импакт-фактором; 2 доклада на Осенней сессии Американского геофизического союза (New Orleans, Louisiana, USA).

на английском языке

- 1) The database is synchronized continuous observations of energetic particle fluxes and gamma rays, a quasi-static electric field of thunder clouds and meteorological parameters of the atmosphere on the Aragats mountain stations, including data on the energy spectra of charged and neutral particles TGE;
- 2) High-frequency radiation observation data base with areas of thunderstorm activity detected by satellite "Chibis-M" for the period from 2012 to 2014; clarification of the connection between the characteristics of the high-frequency bursts of radiation, the geographical coordinates of the source and level of local tropospheric convection; determination of the degree of correlation with the compact discharge gamma flares of terrestrial origin;
- 3) the mobile station registration terrestrial broadband electromagnetic radiation storm activity (VHF interferometer);
- 4) a model of broadband electromagnetic radiation at a preliminary stage and the main short intracloud discharge, taking into account the peculiarities of the morphology of bursts of high-frequency radiation, registered on the satellite "Chibis-M"; interpretation of the observed long-term noise of high-frequency signals, synchronized with TIPP's;
- 5) to determine the effect of instrumental effects (especially the so-called dead time) in experiments RHESSI, GBM / Fermi, SPI / INTEGRAL; determination of the parameters of various groups of TGF according astrophysical laboratories RHESSI and GBM / Fermi;
- 6) the concept and the detailed structure of a multi-unit "fast" electronics;
- 7) publication on the project in a journal with high impact factor; two reports at the autumn session of the American Geophysical Union (New Orleans, Louisiana, USA).

4.13. Перечень планируемых к приобретению за счет гранта оборудования, материалов, информационных и других ресурсов для выполнения проекта (в том числе – описывается необходимость их использования для реализации проекта)

Осциллограф АКИП-76404D (ключевой элемент УКВ интерферометра, предлагаемого в данном проекте для изучения молниевой активности) 2 шт.  
National Instruments myRIO-1900 (ключевой элемент УКВ интерферометра, участвует в сборе данных, предлагаемого в данном проекте для изучения молниевой активности) 2 шт.

Ноутбук Lenovo ThinkPad T450 - необходим для работы в полевых условиях, 2 шт.  
Принтер HP LaserJet Pro M426dw - необходим для организации бумажного документооборота и подготовки отчетов, 1 шт.  
Внешний жесткий диск 2 шт (для хранения и переноса полученных данных)  
Расходные канцелярские материала (бумага для принтера, картриджи для принтеров и т.д.)

#### **4.14. Файл с дополнительной информацией 1**

С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. В формате pdf, до 3 Мб.  
Текст в файлах с дополнительной информацией должен приводиться на русском языке. Перевод на английский язык требуется в том случае, если заявитель оценивает данную информацию существенной для эксперта.

#### **4.15. Файл с дополнительной информацией 2 (если информации, приведенной в файле 1 окажется недостаточно)**

С графиками, фотографиями, рисунками и иной информацией о содержании проекта. В формате pdf, до 3 Мб.

Подпись руководителя проекта \_\_\_\_\_/А.А. Чилингарян/