

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ  
ФЕДЕРАЦИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
(ИКИ РАН)

УДК 531.01 004.09 004.04

Номер государственной регистрации 122042500013-4

УТВЕРЖДАЮ

И.о. директора

Федерального государственного  
бюджетного учреждения науки

Института космических исследований

Российской академии наук

член-корреспондент РАН

А.А. Петрукович

« 22 » декабря 2023 г.



ОТЧЕТ О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов (промежуточный, этап 2)

Тема УПРАВЛЕНИЕ

FFWG-2022-0005


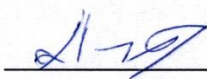
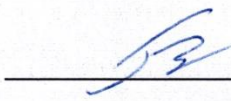
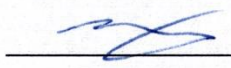
Научный руководитель

д.т.н. Р.Р. Назиров

« 20 » декабря 2023 г.


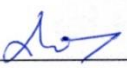

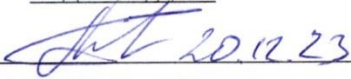
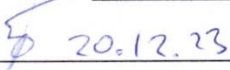
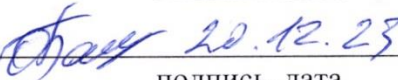

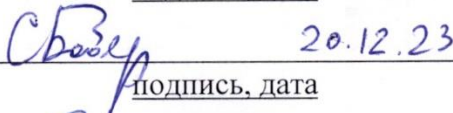
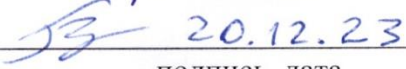
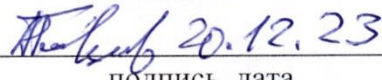
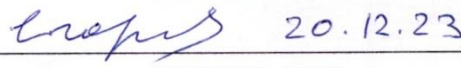
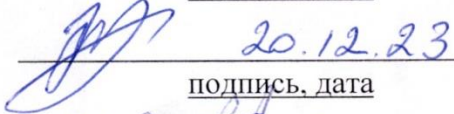
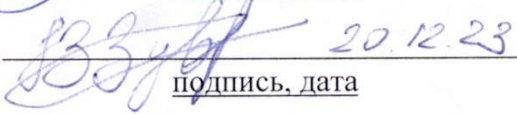
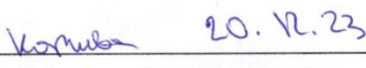
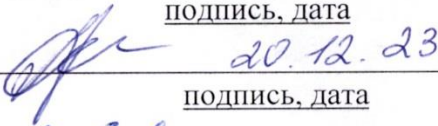

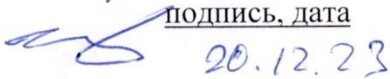
Москва  
2023

## СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ



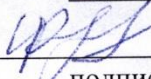


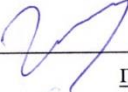
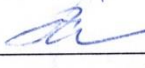




Руководитель темы зав. отделом, д-р техн. наук	 <u>20.12.23</u>	Назиров Р.Р. (введение, заключение)
Ответственный исполнитель, вед. научн. сотр., д-р физ.-мат. наук	 <u>20.12.2023</u>	Алтайский М.В. (раздел 1)
Ответственный исполнитель, главный специалист	 <u>20.12.2023</u>	Боярский М.Н. (раздел 2)
Ответственный исполнитель, нач. лаборатории, канд. техн. наук	 <u>20.12.2023</u>	Коноплёв В.В. (раздел 3)



ИСПОЛНИТЕЛИ:

Вед. программист	 20.12.23 _____	Аббакумов А.С. (раздел 2)
	подпись, дата	
Вед. научн. сотр., д-р физ.-мат. наук	 20.12.23 _____	Алтайский М.В. (раздел 2)
	подпись, дата	
Главный специалист	 20.12.23 _____	Андреев А.В. (раздел 2)
	подпись, дата	
Вед. математик, канд. техн. наук	 20.12.23 _____	Аксенов С.А. (раздел 1)
	подпись, дата	
Программист	 20.12.23 _____	Балтер Д.Б. (раздел 2)
	подпись, дата	
Рук. сектора	 20.12.23 _____	Батанов О.В. (раздел 2)
	подпись, дата	
Мл. научн. сотр.	 20.12.23 _____	Беляев А.А. (раздел 1)
	подпись, дата	
Программист	 20.12.23 _____	Бобер С.А. (раздел 1)
	подпись, дата	
Главный специалист	 20.12.23 _____	Боярский М.Н. (раздел 2)
	подпись, дата	
Программист	 20.12.23 _____	Говоров А.В. (раздел 2)
	подпись, дата	
Ст. научн. сотр., канд. техн. наук	 20.12.23 _____	Егоров В.В. (раздел 2)
	подпись, дата	
Главный специалист	 20.12.23 _____	Жижин М.Н. (раздел 2)
	подпись, дата	
Мл. научн. сотр.	 20.12.23 _____	Зубко В.А. (раздел 1)
	подпись, дата	
Вед. научн. сотр., д-р физ.-мат. наук		<u>Ковалёва А.С.</u> (раздел 1)
Вед. программист	 20.12.23 _____	Корнева Н.Н. (раздел 2)
	подпись, дата	
Ст. лаборант	 20.12.23 _____	Королёва А.В. (раздел 1)
	подпись, дата	
Главный специалист	 20.12.23 _____	Комарова Н.Ю. (раздел 2)
	подпись, дата	
Нач. лаборатории, канд. техн. наук	 20.12.23 _____	Коноплев В.В. (раздел 2,3)
	подпись, дата	

Вед. программист	<u>Коротков 20.12.23г.</u> подпись, дата	Коротков Ф.В. (раздел 2)
Вед. конструктор	<u>Лакутина 20.12.23</u> подпись, дата	Лакутина Е.В. (раздел 2)
Инженер	<u>Матвеев 20.12.23</u> подпись, дата	Матвеев А.М. (раздел 2)
Вед. инженер	<u>Марков 20.12.23</u> подпись, дата	Марков Я.И. (раздел 2)
Рук. сектора	<u>Мельник 20.12.23</u> подпись, дата	Мельник А.П. (раздел 2)
Вед. математик	<u>Минская 20.12.23</u> подпись, дата	Минская Л.К. (раздел 2)
Ст. лаборант	<u>Мухамедова 20.12.2023</u> подпись, дата	Мухамедова Э.О. (раздел 1)
Нач. отдела	<u>Назаров 20.12.2023</u> подпись, дата	Назаров В.Н. (раздел 2)
Программист	<u>Полякова 20.12.2023</u> подпись, дата	Полякова Т.В. (раздел 1)
Вед. математик	<u>Просветов 20.12.2023</u> подпись, дата	Просветов А.В. (раздел 2)
Глав. научн. сотр., д-р физ.-мат. наук	<u>Пулинец 20.12.2023</u> подпись, дата	Пулинец С.А. (раздел 1,2)
Инженер	<u>Пупков 20.12.23</u> подпись, дата	Пупков М.В. (раздел 1)
Главный специалист	<u>Ревин 20.12.2023</u> подпись, дата	Ревин О.В. (раздел 3)
Вед. математик	<u>Рязанова 20.12.2023</u> подпись, дата	Рязанова Е.Е. (раздел 1)
Инженер	<u>Симбирев 20.12.2023</u> подпись, дата	Симбирев Н.А. (раздел 1)
Мл. научн. сотр.	<u>Стальная 20.12.2023</u> подпись, дата	Стальная М.В. (раздел 2)
Главный специалист	<u>Старостина 20.12.2023</u> подпись, дата	Старостина О.А. (раздел 2,3)
Вед. научн. сотр., канд. техн. наук	<u>Суханов 20.12.23</u> подпись, дата	Суханов А.А. (раздел 1)
Вед. научн. сотр., д-р техн. наук	<u>Суровяткина 20.12.23</u> подпись, дата	Суровяткина Е.Д. (раздел 1)

Вед. программист	<u> 20.12.23</u> подпись, дата	Третьяков А.Е. (раздел 2)
Научн. сотр., канд. физ.-мат. наук	<u> 20.12.23</u> подпись, дата	Федяев К.С. (раздел 1)
Вед. математик	<u> 20.12.23</u> подпись, дата	Фролов В.А. (раздел 1)
Ст.лаборант	<u> 20.12.23</u> подпись, дата	Храпоничев С.В. (раздел 1)
Инженер	<u> 20.12.23</u> подпись, дата	Черненко О.С. (раздел 1)
Вед. математик	<u> 20.12.2023</u> подпись, дата	Чесалин Л.С. (раздел 2)
Зам. зав. отделом	<u> 20.12.23</u> подпись, дата	Шевченко М.И. (раздел 2)
Ст. лаборант	<u> 20.12.23</u> подпись, дата	Ширшова О.А. (раздел 1)
Вед. научн. сотр., канд. техн. наук	<u> 20.12.23</u> подпись, дата	Эйсмонт Н.А. (раздел 1)
Вед. программист	<u> 20.12.2023</u> подпись, дата	Яновский Н.М. (раздел 2)
Нормоконтроль	<u> 20.12.23</u> подпись, дата	Шевченко М.И. (раздел 2)

## РЕФЕРАТ

Настоящий документ содержит отчет за 2023 год о научно-исследовательской работе по теме FFWG-2022-0005 УПРАВЛЕНИЕ - исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов. Номер государственной регистрации - 122042500013-4.

Текст отчета состоит из Введения, трех разделов и Заключения. В разделе 1 «Математические модели планирования космических экспериментов» приводятся результаты исследований задач навигационного и баллистического обеспечения космических проектов, решения задач управления сложными механическими системами переменной структуры с целью создания требуемых режимов движения, результаты исследования катастроф и критических явлений в распределенных динамических системах. В разделе 2 «Интеллект. Телекоммуникационные технологии» приводятся результаты работ в области развития наземных научных комплексов (ННК) для сопровождения космических проектов, технологий программно-определяемых параллельных и распределенных систем хранения, работ по спутниковому мониторингу факельных источников нефтяных газов. В разделе 3 «Космос» описываются результаты работ по разработке и внедрению обобщенной отказоустойчивой и масштабируемой архитектуры для территориально распределенной проектно-ориентированной сети в рамках поддержки ННК космических экспериментов. В Заключении приводится описание наиболее значимого результата по теме Управление, а именно «Разработана физическая модель генерации атмосферных и ионосферных аномалий над областями подготовки катастрофических землетрясений и методов их автоматического поиска с использованием космических технологий». В конце отчета дана информация о публикационной активности исполнителей.

Отчет содержит 46 страниц, 8 рисунков, 81 источник.

Ключевые слова: МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПЛАНИРОВАНИЯ КОСМИЧЕСКИХ ЭКСПЕРИМЕНТОВ, НЕБЕСНАЯ МЕХАНИКА, АСТЕРОИДНО-КОМЕТНАЯ ОПАСНОСТЬ, НАВИГАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ, СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОРИЕНТАЦИЕЙ, НАВИГАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ, СПУТНИКОВЫЙ МОНИТОРИНГ, ОРБИТЫ ИСЗ, АРХИВЫ НАУЧНЫХ КОСМИЧЕСКИХ ДАННЫХ, НАЗЕМНЫЕ НАУЧНЫЕ КОМПЛЕКСЫ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ, ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНЫЕ СЕТИ И СИСТЕМЫ



СОДЕРЖАНИЕ		
		Стр.
	ВВЕДЕНИЕ	9
1	Раздел 1. Математические модели планирования космических экспериментов	11
1.1	Баллистико-навигационное обеспечение космических экспериментов в проектах «ЭкзоМарс», «СРТ» «ЧИБИС-АИ», «ВЕНЕРА-Д», «Трабонт», планируемых лунных миссиях. Результат: разработка программного обеспечения и выбор оптимальных орбит	11
1.2	Оптимизация управления космическими аппаратами (КА) в задачах полета в окрестности коллинеарных точек либрации. Результат: сценарии и процедуры выбора программ выполнения маневров космических аппаратов	12
1.3	Баллистическое проектирование миссий к спутникам планет и малым телам Солнечной системы. Результат работы – расчеты возможных сценариев миссий с учетом оптимизации топливных затрат	12
1.4	Разработка методики расширения достижимых для посадки областей поверхности небесных тел (планет и спутников) на основе использования резонансных орбит. Результат работы – расчет баллистических схем, позволяющих обеспечить посадку спускаемого аппарата в заданную область поверхности небесного тела	13
1.5	Системное исследование проблем оптимизации состава и параметров комплексных проектов освоения космоса за пределами низких околоземных орбит. Результат: научно-технические исходные данные, метод оптимизации и управления параметрами комплексных проектов освоения космоса за пределами низких околоземных орбит	16
1.6	Разработка методов автоматического поиска областей подготовки катастрофических землетрясений с использованием космических технологий	16
1.7	Подавление термоакустической неустойчивости путем управления динамикой в критических областях	18
1.8	Определение ориентации научного прибора эксперимента «Плазма-Ф» в солнечно-эклиптической системе и расчет направления солнечного ветра	19
1.9	Расчеты дискретного представления непрерывных объектов сложных пространственных форм методом конечных элементов (МКЭ)	20
2	Раздел 2. Интеллект. Телекоммуникационные технологии	21
2.1	Информационная поддержка научно-организационной деятельности ИКИ в сети Интернет	21
2.2	Дальнейшее исследование и штатное внедрение технологий программно-определяемых параллельных и распределенных систем хранения, включающих механизмы повышенной надежности хранения, поддержку твердотельных накопителей в качестве промежуточного "кэширующего" уровня, а также средства интеграции в облачные инфраструктуры. Оценка экономической эффективности и технологических ограничений данных технологий. Выработка рекомендаций по их использованию	21
2.3	Разработка концептуальных подходов построения информационных систем наземного сопровождению космических экспериментов	22
2.4	Применение ночных данных радиометра VIIRS (КА Suomi NPP и JPSS-1) для оценки объемов сжигания попутного газа на факельных установках, характеристик естественных пожаров, искусственных высокотемпературных аномалий и вулканической деятельности, а также детектирования огней (освещения) рыболовных судов	22

2.5	Восстановление миниатюр и изображений с угасшим текстом (палимпсестов) из коллекции Государственного исторического музея с применением вариационного анализа и свёрточных нейронных сетей	25
2.6	Теоретические исследования, связанные с применением квантовых нейронных сетей для перспективных квантовых бортовых систем искусственного интеллекта	27
2.7	Оценка и управление риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы. Продолжение исследования возможностей применения космических данных для улучшения оценок риска для здоровья населения от загрязнения атмосферы: автоматизированное применение моделей рассеяния загрязнений ISC/AERMOD к оценке риска здоровью по российским исходным данным и космическим наблюдениям. Продолжение работ по оценке и управлению риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы предприятиями и транспортом	28
3	Раздел 3. Космос	31
3.1	Разработка и внедрение обобщенной отказоустойчивой и масштабируемой архитектуры для территориально распределенной проектно-ориентированной сети в рамках поддержки научных наземных комплексов для сопровождения космических экспериментов	31
	<b>ЗАКЛЮЧЕНИЕ</b>	32
	<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ</b>	34
	Публикации по теме <b>УПРАВЛЕНИЕ</b>	44



## ВВЕДЕНИЕ

Основные направления деятельности Федерального государственного бюджетного учреждения науки Института космических исследований Российской академии наук соответствуют Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период 2021-2030 гг., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р.

Институт космических исследований Российской академии наук проводит научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы в соответствии с государственными заданиями Министерства науки и высшего образования, ежегодным тематическим планом Института и “Федеральной космической программой России” по следующим основным направлениям:

- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области астрофизики и радиоастрономии (номер направления в Программе 1.3.7)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области физики космической плазмы, энергичных частиц, Солнца и солнечно- земных связей (номер направления в Программе 1.3.7)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планет и малых тел Солнечной системы (номер направления в Программе 1.3.7)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования планеты Земля (номер направления в Программе 1.5)
- Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики (номер направления в Программе 2.3.1.1.)
- Развитие исследовательской, конструкторской, опытно-экспериментальной базы научного космического приборостроения и методов экспериментальной физики (номер направления в Программе 1.3.7)
- Информационно-вычислительные системы и среды в науке и образовании (номер направления в Программе 1.1.8)

Эти направления НИР и ОКР соответствуют следующим направлениям фундаментальных исследований, указанным в Программе фундаментальных научных исследований в Российской Федерации на долгосрочный период 2021-2030 гг., утвержденной распоряжением Правительства РФ от 31 декабря 2020 г. № 3684-р.

п/п	Направление фундаментальных исследований	Номер направления в «Программе»
1	<b>Астрономия и исследования космического пространства</b> 1.3.7.1. Происхождение, строение и эволюция Вселенной 1.3.7.2. Физика галактик и межгалактической среды 1.3.7.3. Физика звезд и компактных объектов 1.3.7.4. Солнце и околоземное космическое пространство, солнечно-земные связи 1.3.7.5. Планеты и планетные системы 1.3.7.6. Развитие методов наземной и внеатмосферной астрономии	1.3.7
2	<b>Физика плазмы</b> 1.3.4.3. Плазменные процессы в геофизике и астрофизике	1.3.4
3	<b>Науки о Земле</b> 1.5.8. Океанология 1.5.9. Науки об атмосфере, климатология 1.5.10. География, геоэкология и рациональное природопользование 1.5.11. Водные ресурсы, гидрология суши 1.5.12. Метрология и цифровизация в науках о Земле 1.5.1.6. Изучение и прогнозирование катастрофических явлений (землетрясения, извержения вулканов, цунами); оценки сейсмической, вулканической и цунами опасности	1.5
4	<b>Механика</b> 2.3.1.1. Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем	2.3.1
5	<b>Информационно-вычислительные системы и среды в науке и образовании</b> 1.1.8.1. Сетевая поддержка науки и образования; структуризация и визуализация больших данных в науке и образовании 1.1.8.2. Алгоритмы и программные системы в космическом мониторинге Земли и экологии	1.1.8

Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики проводятся по теме FFWG-2022-0005 УПРАВЛЕНИЕ.

Тема FFWG-2022-0005 УПРАВЛЕНИЕ является частью государственного задания ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2023 г. по теме УПРАВЛЕНИЕ Исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов.

## УПРАВЛЕНИЕ

Исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов

Гос.рег. № 122042500013-4

### Раздел 1 Математические модели планирования космических экспериментов

#### 1.1 Баллистико-навигационное обеспечение космических экспериментов в проектах «ЭкзоМарс», «Спектр-Рентген-Гамма» «ЧИБИС-АИ», «ВЕНЕРА-Д», «Трабант», планируемых лунных миссиях. Результат: разработка программного обеспечения и выбор оптимальных орбит

Разработаны алгоритмы и комплекс программ, позволяющих моделировать сценарии полетов космических аппаратов к околоземным астероидам на основе применения гравитационных маневров у Венеры и Земли. При этом было показано, что такие задачи решаются при выполнении основных задач исследования планет как попутные. Как ключевая концепция указанных сценариев рассматривался метод использования резонансных орбит. Кроме того, было показано, что те же сценарии могут быть успешно применены и собственно для астероидов при решении проблем защиты от астероидно-кометной опасности.

Были выполнены исследования по возможностям реализации задач управления полетом малых аппаратов (микроспутников) для случаев их запуска с орбитальных пилотируемых станций и в составе экспедиций к Венере. В первом случае в качестве возможных прототипов рассматривались проектируемые аппараты «Чибис-АИ» и «Трабант», во втором – микроспутник проекта «Венера-Д». Было показано, что предложенные варианты управления реализуемы с применением имеющихся в настоящее время технологий.

В рамках решения текущих и планируемых задач управления обсерваторией «Спектр-Рентген-Гамма» были разработаны и предложены к конкретному применению методы комбинации управления движением, которые позволяют радикально снизить расходы рабочего тела.

Разработаны методы и программные комплексы для решения задач, связанных с полетами к Луне. В частности, показана возможность гравитационных маневров у Луны в сочетании с использованием солнечного паруса.

## **1.2 Оптимизация управления космическими аппаратами (КА) в задачах полета в окрестности коллинеарных точек либрации. Результат: сценарии и процедуры выбора программ выполнения маневров космических аппаратов**

Рассмотрена задача продления миссии обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» (СРГ) для изучения астероидов с пролетной траектории с учетом текущих запасов рабочего тела на борту. Предложены варианты изменения орбиты космического аппарата (КА), находящегося на ограниченной орбите в окрестности солнечно-земной точки либрации  $L_2$ , для близкого пролета некоторых потенциально опасных астероидов, чего может стать либо получение изображения исследуемого небесного тела с помощью звездного датчика БОКЗ-МФ, либо уточнение массы этого тела путем проведения траекторных измерений. Показано, что существуют варианты, при которых обсерватория СРГ может сохранить орбиту в окрестности точки либрации системы Солнце-Земля. Также проанализировано совместное движение СРГ и трех других (по состоянию на конец 2023 года) космических аппаратов по орбитам вокруг солнечно-земной точки либрации  $L_2$  и показана возможность осуществления предлагаемого концепта по исследованию астероидов для одного из трех зарубежных проектов.

Также проводилась модификация разработанных ранее математических методов и алгоритмов, создание на их основе программного обеспечения для проведения численных расчетов в рамках данного исследования.

## **1.3 Баллистическое проектирование миссий к спутникам планет и малым телам Солнечной системы. Результат работы – расчеты возможных сценариев миссий с учетом оптимизации топливных затрат**

Проводился теоретический анализ различных типов двойных облетов планет, подготовлена к печати статья "Двойные облеты планет в космических полетах".

Рассмотрены возможные сценарии перелета КА к спутникам Нептуна Тритону и Нереиде. Демонстрируются схемы перелета с использованием гравитационного маневра у Юпитера и двигателей малой тяги. Разработан сценарий, позволяющий провести в рамках одной миссии изучение обоих спутников с близкого расстояния. Наиболее перспективная схема перелета включает пролет Нереиды на расстоянии около 10 тыс. км и дальнейший перелет к Тритону с выходом на его орбиту. Показано, что при начальной массе аппарата 800 кг и длительности миссии 14,4 лет суммарные затраты рабочего тела составят не более 340 кг. Полученные результаты обеспечиваются применением ионной двигательной установки с удельным импульсом 6000 с и тягой 0,42 Н.



Представлены результаты предварительного анализа малобюджетной миссии, целью которой является исследование нескольких астероидов одним космическим аппаратом с пролетной траектории. Анализ проведен для старта миссии в 2029 году. Для достижения главного пояса астероидов предлагается использовать перелет Земля-Венера-Земля. Предлагаемая схема такого полета включает несколько гравитационных маневров вблизи Земли и обеспечивает большой выбор астероидов для исследования с близкого расстояния между каждой парой гравитационных маневров вблизи Земли. В качестве основных целей были выбраны несколько крупных астероидов, среди которых тройной (216) Клеопатра. Кроме того, были определены различные менее крупные астероиды, которые могут быть достигнуты совместно с основными целями.

Продолжены исследования схем перелета к дальним транснептуновым телам (ТНО). В качестве потенциального объекта для исследований выбран ТНО (90377) Седна. Проведены сравнение различных схем перелета КА от Земли к Седне, оптимизация траекторий по критерию минимума суммарных затрат топлива с использованием гравитационных маневров у Венеры, Земли, Юпитера и Нептуна при ограничении на длительность перелета.

Для некоторых из рассмотренных оптимальных траекторий перелёта к Седне также показана возможность пролёта на близком расстоянии одного или нескольких астероидов главного пояса с небольшими дополнительными активными манёврами, необходимыми для сближения с астероидами. Проведено моделирование радиационной нагрузки, которую будет испытывать КА при близких пролетах Юпитера.

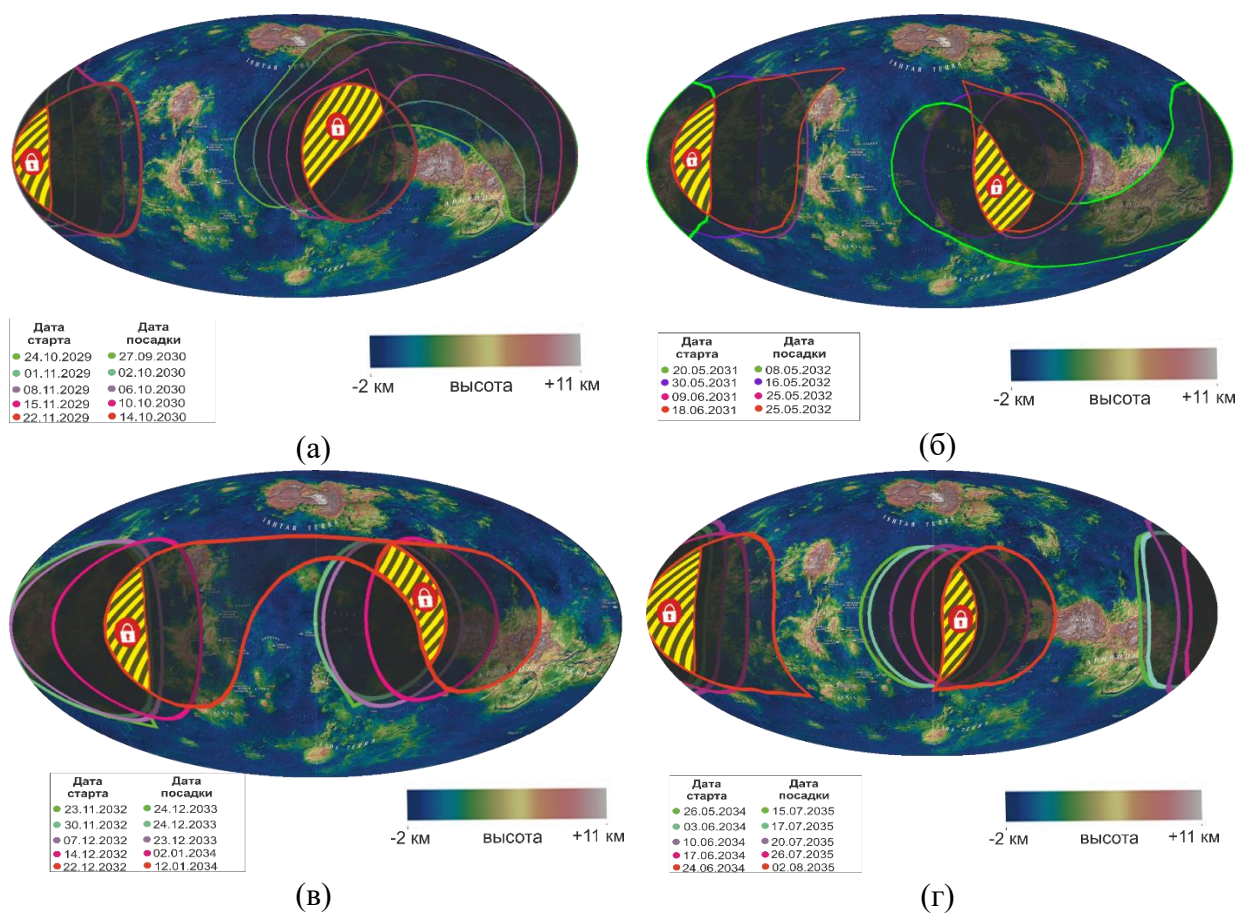
#### **1.4. Разработка методики расширения достижимых для посадки областей поверхности небесных тел (планет и спутников) на основе использования резонансных орбит. Результат работы – расчет баллистических схем, позволяющих обеспечить посадку спускаемого аппарата в заданную область поверхности небесного тела**

Проведены исследования по обобщению разработанного ранее метода построения такой траектории перелета к Венере, которая бы обеспечивала доставку посадочного аппарата в требуемый регион, находящийся практически в любой области поверхности планеты. Метод основан на использовании гравитационного маневра и резонансных орбит (*прим.:* под резонансной  $m:n$  орбитой понимается гелиоцентрическая орбита КА, отношение периода которой к периоду орбиты планеты является рациональным числом  $m/n$ ). Гравитационный маневр совершается космическим аппаратом (КА) при первом сближении с Венерой и служит для перехода на требуемую резонансную орбиту.

Обеспечение посадки КА в выбранный регион поверхности планеты производится путем выбора резонансной орбиты, позволяющей спустя один оборот совершить посадку в этот регион при следующем сближении с Венерой.

Разработан алгоритм перехода на требуемую резонансную орбиту, обеспечивающую посадку в заданную точку на поверхности Венеры. Показано, что наилучшим с точки зрения минимального времени полета является использование резонансных 1:1 орбит. Приведен алгоритм выбора требуемой резонансной орбиты в зависимости от координат точки посадки. Приводятся примеры построения траекторий полета к важной с научной точки зрения области Велламо-Юг ( $29^\circ$  с.ш.,  $164^\circ$  в.д.) поверхности Венеры.

Результаты укрупненного анализа применения предложенного сценария представлены картами поверхности Венеры для миссий с окнами старта в 2029, 2031, 2032 и 2034 годах, также приведены результаты для дополнительных окон старта в 2036 и 2037 годах. На рисунке 1.4.1 показаны карты Венеры, на которых затенены недоступные для посадки области для заданных дат старта от Земли и посадки на Венеру. Отметим, что в силу особенностей орбитального движения Венеры и ее собственного вращения недоступные области смещаются для разных дат старта-прилета.



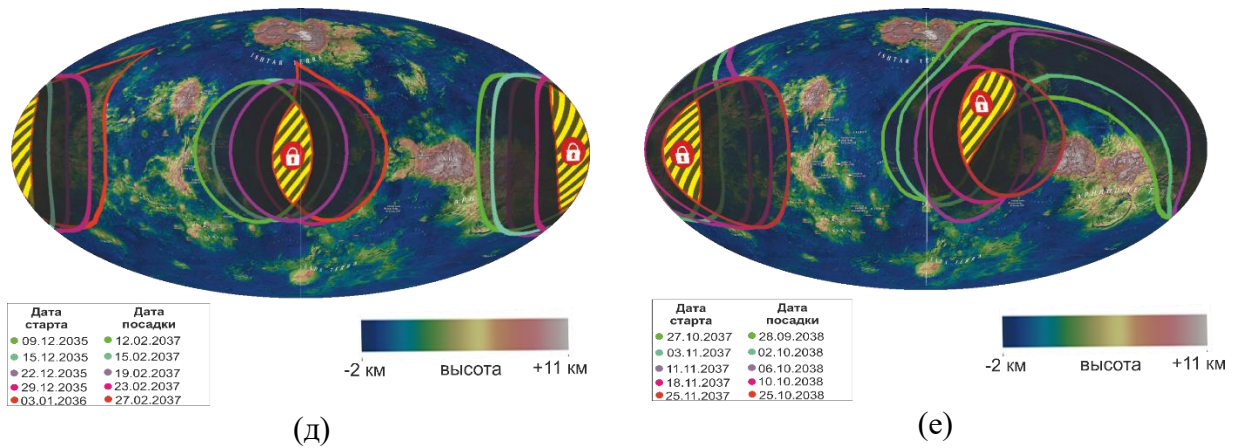


Рисунок 1.4.1 – Недостижимые области посадки (для заданной даты прилета, затемнены) и их перемещение на поверхности Венеры для различных окон старта в 2029-2037 гг. Желтым заштрихованы районы, попадание в которые невозможно в течение всего окна старта. Области построены на карте Венеры в равноплощадной проекции Мольвейде, центральный меридиан совмещен с нулевым для Венеры (область региона Альфа)

Анализ недостижимых для посадки областей при старте КА к Венере с 2029 по 2037 гг. показал, что предлагаемый метод позволяет обеспечить посадку практически в любую область на поверхности планеты, а суперпозиция недостижимых областей в рамках одного окна старта и, тем более, в рамках всего рассмотренного периода старта показывает, что любая точка на поверхности Венеры оказывается доступной для посадки.

В результате работы установлено, что обобщённый метод оказывается наиболее эффективен в задаче проектирования траекторий полета к Венере, поскольку из-за ее медленного вращения, а также ограниченных возможностей запуска КА от Земли (1 раз в 19 месяцев) достижимая часть поверхности Венеры составляет не более 5%.

Уточнение траектории полета к Венере в рамках полной модели сил с использованием приближений, полученных с помощью разработанной методики, показало эффективность метода, поскольку различие в величине суммарных топливных затрат по сравнению с упрощенной моделью составило всего около 2%.

Также было проведено усовершенствование схем перелета к Венере, при реализации которых КА, совершающий полет к планете после гравитационного маневра и перехода на резонансную орбиту с целью повторной встречи с Венерой, осуществляет пролет небольшого астероида. Результатом выполнения работы стали рассчитанные достижимые районы посадки, получаемые при перелете КА к Венере по траекториям, включающим ее облет с последующим возвращением и безымпультную встречу с астероидом. Оказалось, что в каждое из окон старта можно найти такую траекторию, которая будет удовлетворять как требованию к пролету астероида, так и приводить спускаемый аппарат к нужной точке на поверхности Венеры. Всего в рамках сценария полета к Венере с гравитационным маневром и последующем витке КА на резонансной 1:1 гелиоцентрической орбите было

обнаружено 35 астероидов, пролет которых удовлетворяет всем обозначенным ранее требованиям.

В качестве дальнейших исследований планируется представить алгоритмы и методики, позволяющие учитывать строгие ограничения на орбиту орбитального модуля для построения траекторий КА в рамках рассмотренных сценариев перелета. Также важным направлением развития метода построения траекторий является анализ его применения в задаче построения траекторий полета в системе спутников планет-гигантов. Применение предложенного подхода может показывать высокую эффективность, поскольку этот подход не зависит от характера собственного вращения небесного тела (большинство крупных спутников находятся в синхронном движении с планетой).

### **1.5 Системное исследование проблем оптимизации состава и параметров комплексных проектов освоения космоса за пределами низких околоземных орбит. Результат: научно-технические исходные данные, метод оптимизации и управления параметрами комплексных проектов освоения космоса за пределами низких околоземных орбит**

Рассмотрены:

- сценарии лунных миссий для вариантов наличия / отсутствия окололунной посещаемой станции и с точки зрения общей транспортной эффективности ( $E_t$ ) (грузопотока на траектории перелёта к Луне при фиксированном составе космических миссий); вопросы доставки модуля поддержки лунных миссий к Луне (орбита размещения, двухпусковая схема выведения с Земли, варианты схем перелётов к Луне с точки зрения минимизации затрат  $\Delta V$  и ограничений по времени перелёта).

- вопросы создания демонстрационных малых КА для отработки баллистических сценариев и решения научных задач в ходе таких миссий.

- вопросы международной интеграции научных миссий на базе возможностей и материалов по Международной научной лунной станции (МНЛС).

### **1.6 Разработка методов автоматического поиска областей подготовки катастрофических землетрясений с использованием космических технологий**

В течение отчетного периода продолжалась отработка технологий автоматизации поиска областей подготовки катастрофических землетрясений, а также физического обоснования разрабатываемых методов. В частности, в работе [1] было показано, что эффекты в ионосфере перед землетрясениями являются не случайными, а стабильно повторяющимися независимо от времени и технологии ионосферных измерений.



Так для двух землетрясений на Аляске с магнитудой больше 8 и временным промежутком между ними 57 лет, были зарегистрированы одинаковые положительные эффекты в ионосфере. Первый был получен методом вертикального зондирования со спутника, а второй – с помощью построения разностных карт GPS GIM.

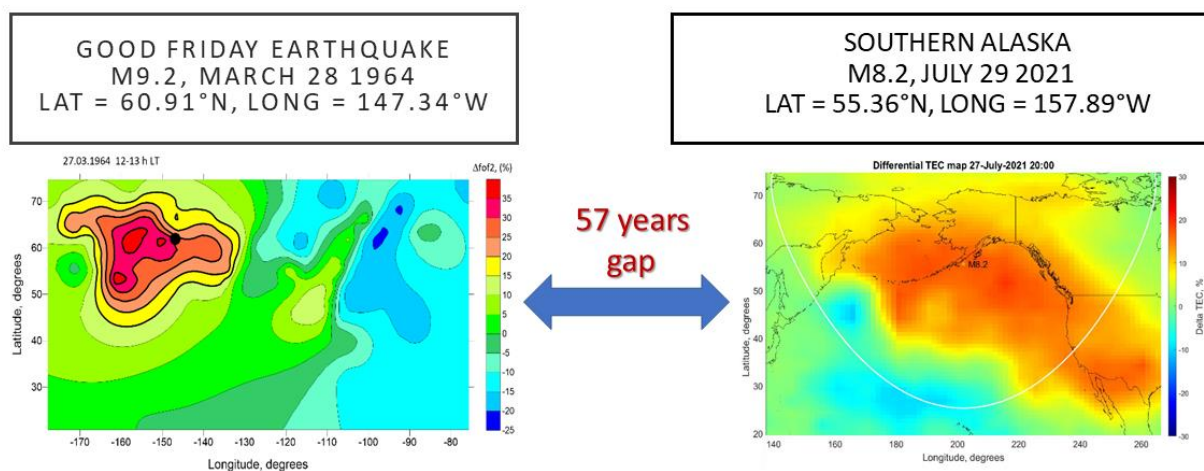


Рисунок 1.6.1 – Левая панель - положительная аномалия, зарегистрированная в ионосфере над зоной подготовки землетрясения на Аляске с магнитудой 9.3 с помощью спутникового ионозонда, установленного на спутнике Alouette, за сутки до землетрясения, состоявшегося 28 марта 1964 г.; правая панель - положительная аномалия, зарегистрированная в ионосфере над зоной подготовки землетрясения на Аляске с магнитудой 8.2, полученная путем обработки глобальных карт GPS GIM полного электронного содержания за двое суток до землетрясения, состоявшегося 29 июля 2021 г.

Модельные расчеты сейсмогенного поля в ионосфере совпали по порядку величины с электрическим полем, измеряемым на спутниках над областью подготовки землетрясения. Был подтвержден обоснованный ранее эффект генерации возмущений в магнитосопряженной точке с помощью данных измерений электромагнитных полей на китайском специализированном спутнике CSES1 в сотрудничестве с китайской стороной.

Применение методов искусственного интеллекта для автоматической идентификации предвестников землетрясений было доложено на Юбилейной XI Всероссийской научно-технической конференции АО «Российские космические системы» «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий», посвященная 100-летию со дня рождения Л.И. Гусева, Москва, 6-8 июня 2023г. [2]. В настоящее время готовится публикация в журнале «Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы».

Возможность использования метеорологических параметров в задачах краткосрочного прогноза землетрясений был рассмотрена в работе [3].

С другой стороны, возможность стимулирования землетрясений метеорологическими аномалиями была представлена в докладе на генеральной ассамблее IUGG в Берлине [4].

Физического обоснование возможности краткосрочного прогноза землетрясений на основании мониторинга специфических вариаций в атмосфере и ионосфере было опубликовано в обзорной работе [5].

1. Hegai, V., Zeren, Z., Pulinets, S. Seismogenic Field in the Ionosphere before Two Powerful Earthquakes: Possible Magnitude and Observed Ionospheric Effects (Case Study) // *Atmosphere* 2023, 14, 819, <https://doi.org/10.3390/atmos14050819>
2. Пулинец С.А., Алексеев О.А., Линьков А.Д., Разумова Н.В., Калинин С.Ю. Использование искусственного интеллекта для автоматической идентификации предвестников землетрясений, Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы (в печати)
3. Шитов А.В., Пулинец С.А., Будников П.А., Влияние подготовки землетрясения на изменение метеорологических характеристик (на примере Чуйского землетрясения 2003 г.) // *Геомagnetизм и аэрономия*, 2023, том 63, № 4, с. 441–454.
4. Pulinets, S., Litvinenko, L., Budnikov, P. Meteorological parameters as possible triggers of earthquakes, XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), 11-19 July 2023, Berlin.
5. Pulinets, S.A. Physical bases of the short-term earthquake forecast // *Astronomical and Astrophysical Transactions*, 2023, Vol. 33, No. 6, Cambridge Scientific Publishers, Coll. «Astronomical and Astrophysical Transactions», France, ISBN : 9781908106872

### **1.7 Подавление термоакустической неустойчивости путем управления динамикой в критических областях**

Термоакустическая неустойчивость представляет собой высокоамплитудные периодические колебания давления, приводящие к разрушению газовых турбин, ракетных двигателей и других силовых установок. Из-за опасной неустойчивости процесс инженерного проектирования двигателей включает определение карты устойчивости. И это очень дорогостоящий и долгий итерационный процесс.

В результате экспериментального исследования, нацеленного на решение этой проблемы и проведенного с опорой на теорию критических элементов выявлены критические зоны в камере сгорания - зародыши фазы термоакустической неустойчивости. Одна такая зона расположена у стенки камеры сгорания, другая, застойная зона, - перед стабилизатором пламени. В эксперименте тестировались три модификации стабилизатора пламени. Было обнаружено, что изменение геометрии стабилизатора пламени путем перфорации приводит к усилению термоакустической неустойчивости до 300%, тогда как вырезание сегментов в застойной зоне, приводит к подавлению термоакустической

неустойчивости до 70%, что повышает безопасность эксплуатации силовых установок (см. рисунок 1.7.1).

Таким образом, теория, описывающая универсальные пространственно-временные свойства физических процессов, возникающих при критических переходах, развитая для атмосферных процессов и позволяющая прогнозировать муссоны, подтверждена экспериментально применительно для подавления термоакустической неустойчивости, что придает импульс и предлагает новые теоретические инструменты для развития инженерных наук.

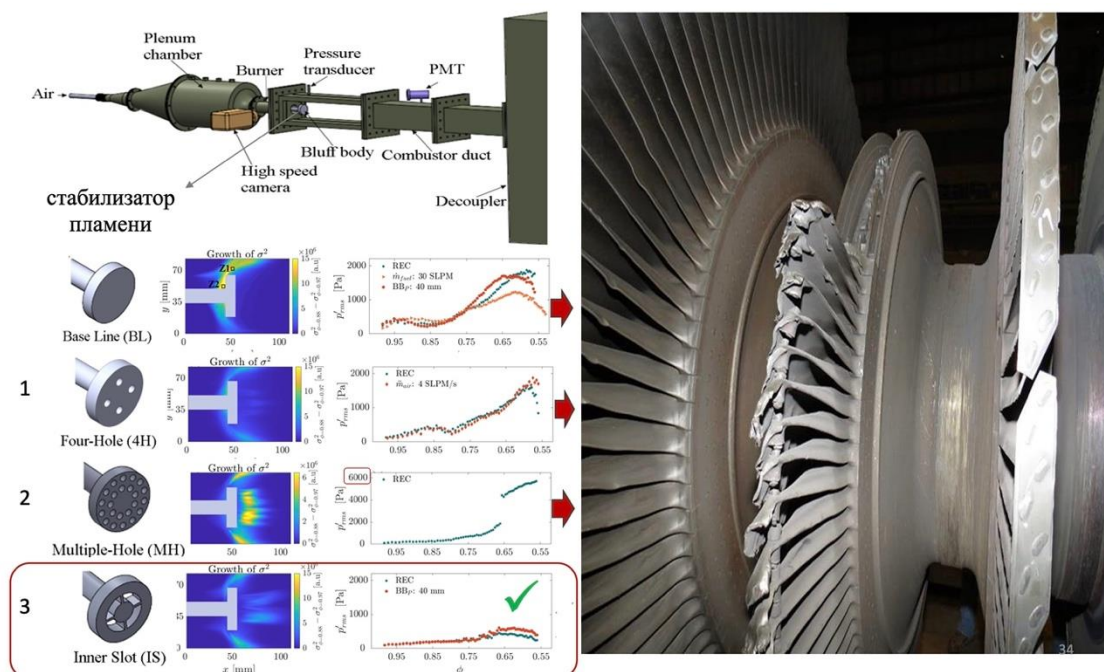


Рисунок 1.7.1 – Подавление термоакустической неустойчивости до 70%, путем удаления застойной зоны в критической области (3), тогда как другие модификации (1, 2) приводят к усилению термоакустической неустойчивости до 300%, что приводит к разрушению турбины

1. Raghunathan, M., George, N.B., Unni, V.R., Kurths, J., Surovyatkina, E., Sujith, R.I.

Inhibiting the onset of thermoacoustic instability through targeted control of critical regions // International Journal of Spray and Combustion Dynamics. 2023;15(1):3-15. DOI: 10.1177/17568277221149507

### 1.8 Определение ориентации научного прибора эксперимента «Плазма-Ф» в солнечно-эклиптической системе координат и расчет направления солнечного ветра

Продолжались работы по определению параметров солнечного ветра, полученных в ходе астрофизического эксперимента «Плазма-Ф» (на борту КА «СПЕКТР-Р»).

Была создана новая улучшенная версия программы, обрабатывающая данные приборов БМСВ и солнечного датчика (DSS), позволяющая уточнить характеристики солнечного ветра (СВ). По этой программе были заново обработаны данные измерений на всех интервалах, где прибор

БМСВ работал в режиме регистрации полного потока СВ, за все время проведения измерений (2011 - 2018гг.). Получены параметры солнечного ветра - переносная скорость протонов СВ, отношение переносной скорости протонов СВ к тепловой скорости протонов СВ, полный ток положительно заряженных частиц СВ, отношение полного тока положительно заряженных частиц СВ к среднему току тепловых протонов, направление потока протонов в разных системах координат (в том числе в системе GSE с учетом абберации). При обработке использовались данные по определению ориентации прибора БМСВ в системе GSE, полученные ранее.

Результаты обработки размещены на сервере plasma-f.cosmos.ru в разделе SW\_Results и доступны для дальнейшего физического анализа. К файлам данных приложено подробное описание.

### **1.9 Расчеты дискретного представления непрерывных объектов сложных пространственных форм методом конечных элементов (МКЭ)**

Выполнены расчеты для ряда примеров, включающих в себя задачи моделирования колебаний, рассмотрение физической и геометрической нелинейности (с построением соответствующих графиков) с учетом проблем сингулярности, сохранения острых углов и необходимости упрощения задачи. Выполнено изучение проблемы усталостной долговечности и циклических нагрузок с целью выбора модели усталости.

Проведены работы по субмоделированию в задачах механики для исследования концентрации напряжений, возникающих в выделенной области конструкции, находящейся в плоско-напряженном состоянии. В подмодель добавляются скругления. Были получены соответствующие картины полей напряжений в подконструкции, которые уменьшаются за счет добавления скругления.

Также проводилось тестирование примера теплового анализа космических аппаратов (космический аппарат 1U CubeSat) с учетом распределения альбедо по поверхности Земли.

Продолжена работа над задачей конечно-элементного моделирования полей напряжений и деформаций для оборудования космического аппарата (модальный анализ).



## Раздел 2 Интеллект. Телекоммуникационные технологии

### 2.1 Информационная поддержка научно-организационной деятельности ИКИ РАН в сети Интернет

Обеспечивалось функционирование и развитие аппаратной, программной и информационной частей серверов телематических служб института, включая почтовый сервер, Web-сервер, серверов службы доменных имен (DNS), FTP-сервер, облачное хранилище файлов на базе ПО Seafile.

На официальном веб-сайте института добавлен раздел «Популярно», на котором размещаются видеоматериалы, популярные статьи, лекции и интервью сотрудников Института, материалы по истории космических исследований. Проводились дальнейшее развитие и оперативное обновление информации на веб-сайте института, а также были разработаны следующие новые сайты:

- Новый сайт аспирантуры ИКИ, выполненный на базе системы управления содержимым нового поколения (Drupal 10)
- Четырнадцатый московский международный симпозиум по исследованиям Солнечной системы (13M-S3).
- Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в солнечной системе».
- XX Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования".
- Третья международная конференция «Наука на МКС».

### 2.2 Дальнейшее исследование и штатное внедрение технологий программно-определяемых параллельных и распределенных систем хранения, включающих механизмы повышенной надежности хранения, поддержку твердотельных накопителей в качестве промежуточного "кэширующего" уровня, а также средства интеграции в облачные инфраструктуры. Оценка экономической эффективности и технологических ограничений данных технологий. Выработка рекомендаций по их использованию

В течение 2023 года была произведена модернизация инженерной инфраструктуры ЦОД ИКИ РАН в части систем кондиционирования и автоматизированного технического контроля. Кроме этого, было реализовано катастрофоустойчивое решение по распределенному хранению данных резервного копирования с дополнительной полезной емкостью 250ТБ. Для новой системы резервного копирования были применены

расширенные механизмы безопасности, включающие отдельное помещение с контролируемым доступом, логически изолированный сетевой сегмент и двухфакторную аутентификацию для внешнего административного входа. В настоящее время разрабатывается архитектура системы как мультипроектного сервиса для резервирования критических корпоративных и научных данных Института.

### **2.3 Разработка концептуальных подходов построения информационных систем наземного сопровождению космических экспериментов**

За отчетный период на фоне работ по экспериментальной отработке ранее разработанных концептуальных подходов и методов осуществлялась разработка новых принципов по созданию масштабируемой территориально–распределенной архитектуре информационных систем наземного сопровождения космических экспериментов.

Отработка ранее разработанных подходов осуществлялась в рамках наземной поддержки реализации таких проектов как «ЭкзоМарс» (миссии 2016 года) и «Спектр-РГ». Следует отметить, что успешное выполнение работ по обеспечению реализации научной программы вышеупомянутых миссий средствами наземных научных комплексов демонстрирует правильность ранее предложенных методов.

В дополнение к отработке новых технических решений в рамках реализации научных программ таких миссий как «ЭкзоМарс» и «Спектр-РГ», полученные по теме результаты использовались при проектировании наземных систем и комплексов для перспективных проектов.

Так принципы цифровой экосистемы были заложены в проектный облик наземного научного комплекса проекта «Венера-Д», а для российского сегмента объединенного российско-китайского центра данных по исследованию Луны и дальнего космоса (ЦДЛиДК) была разработана отказоустойчивая и масштабируемая архитектура.

### **2.4. Применение ночных данных радиометра VIIRS (КА Suomi NPP и JPSS-1) для оценки объёмов сжигания попутного газа на факельных установках, характеристик естественных пожаров, искусственных высокотемпературных аномалий и вулканической деятельности, а также детектирования огней (освещения) рыболовных судов**

В работе [1] описаны результаты детектирования с применением алгоритма VIIRS Nightfire (VNF) стабильных термоаномалий, соответствующих антропогенным (индустриальным) источникам: газовым факелам на нефтегазовых объектах и коксохимических предприятиях, высокотемпературным эмиссиям металлургических

предприятий и цементных заводов. Приведены алгоритмы фильтрации природных пожаров (по порогу детектирования  $<2\%$  безоблачных наблюдений при  $T > 1\,300\text{ K}$ ) и алгоритм сегментации источников фиксируемой термоаномалии в случае превышения ею размеров одного пикселя при максимальном угле наблюдения сенсора VIIRS ( $\sim 1.6\text{ км}$ ).

В результате проведенного детектирования было зафиксировано 20 113 термоаномалии, соответствующие стационарным источникам (индустриальные объекты, в т. ч. газовые факелы, вулканы), из которых 2280 (11.3%) находится в России; на газовые факелы в мире приходится около 75% (14 984) всех зафиксированных термоаномалий. На рисунке 2.4.1 представлены ежемесячный график распределения числа детектируемых термоаномалий и фиксируемой энергии излучения в России. Были определены усреднённые оценки температуры отдельных категорий термоаномалий (см. рисунок 2.4.2).

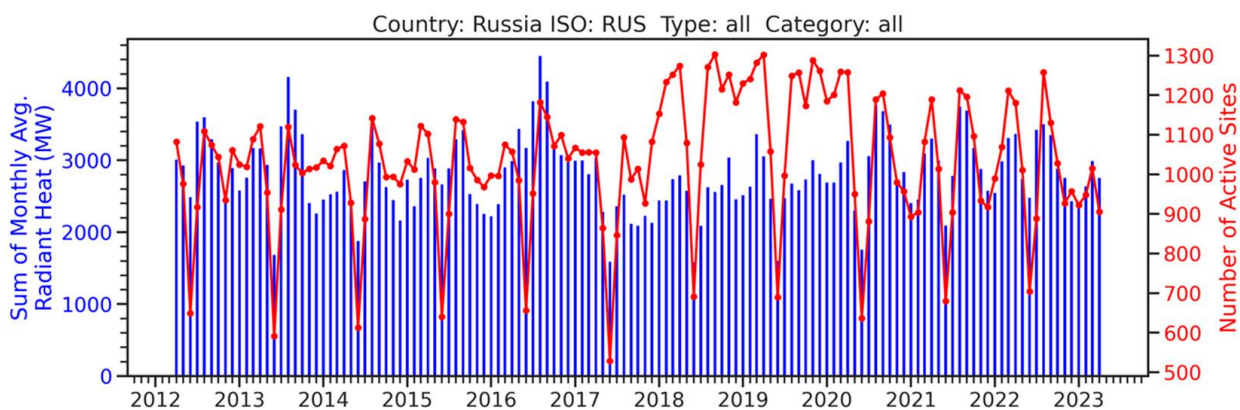


Рисунок 2.4.1 – Ежемесячный график числа детекций VIIRS Nightfire (график) и оценки энергии излучения (Radiant Heat, МВт) от стационарных термоаномалий (гистограмма) в России за весь период наблюдений. Число детекций в летние месяцы резко снижается из-за отсутствия ночных наблюдений в высоких широтах, где широко представлены газовые факелы

## Infrared Emitter Temperature Histograms

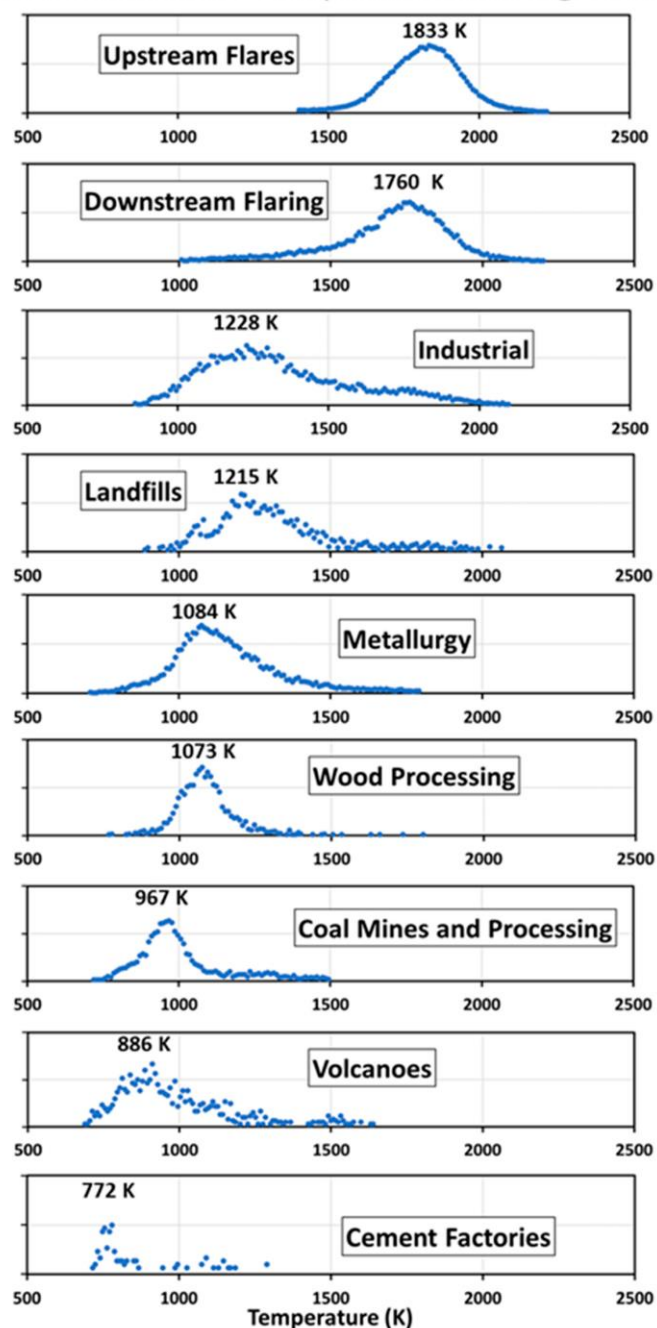


Рисунок 2.4.2 – Гистограмма распределения температур по категории термоаномалий

В работе [2] рассмотрено применение алгоритма VIIRS Nighttime Lights (VNL) детектирования ночного освещения с применением не только средней освещённости, но и других параметров (дисперсия, коэффициент асимметрии, коэффициент эксцесса освещённости).

На примере Хьюстона (США) отмечена потенциальная возможность фиксации перехода на светодиодное освещение по сокращению дисперсии в освещении, фиксируемой VNL. Анализ скаттерограммы «средняя освещённость vs дисперсия освещённости» позволяет выделить несколько классов объектов:

- пиксели с низким средним и высокой дисперсией, которые соответствуют эпизодически горящим газовым факелам на фоне объектов с малой освещённостью;
- пиксели со средними значениями по обоим параметрам, которые соответствуют городскому освещению, причём дисперсия возрастает с увеличением общей освещённости;
- пиксели с высокими значениями средней и дисперсии освещённости, которые соответствуют крупным источникам освещения с мерцанием, вызванным переменным током (лампы накаливания);
- пиксели со средними значениями средней освещённости, но высокой дисперсией, соответствующие локациям с нестабильным городским освещением, вызванным частыми блэкаутами, а также локациям с временной повышенной активностью (например, из-за ежегодных праздничных мероприятий)

1. Elvidge, C.D.; Zhizhin, M.; Sparks, T.; Ghosh, T.; Pon, S.; Bazilian, M.; Sutton, P.C.; Miller, S.D. Global Satellite Monitoring of Exothermic Industrial Activity via Infrared Emissions // Remote Sens. 2023, 15, 4760. <https://doi.org/10.3390/rs15194760>. IF = 13.85 (2023).

2. Elvidge, C.D.; Hsu F.-C.; Zhizhin, M.; Fhosh, T.; Sparks, T. Statistical moments of VIIRS night-time lights. // Int. J. Remote Sens. 2023. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2161857>. IF = 3.531 (2023).

## **2.5 Восстановление миниатюр и изображений с угасшим текстом (палимпсестов) из коллекции Государственного исторического музея с применением вариационного анализа и свёрточных нейронных сетей**

В рамках проводимой совместно с сотрудниками Государственного исторического музея работы [1] по восстановлению миниатюр и изображений с угасшим текстом был определён канал мультиспектральной съёмки ( $\lambda = 730$  нм), в котором возможно определить неоднородность красочного слоя (поновления текста и миниатюр). Мультиспектральная съёмка и последующая программная обработка методом CVA показала, что миниатюр с первоначальной раскраской сохранилось достаточно много (именно она не видна в диапазоне ИК 730 нм), а полностью поновленных изображений крайне мало; большинство содержит как оригинальную живопись, так и более поздние наслоения.

Также был апробирован метод по группировке и структуризации неструктурированного набора данных без разметки с применением свёрточных нейронных

сетей [2]. Использование данного подхода в дальнейшем планируется при автоматизации восстановления и автоматического распознавания угасшего текста в палимпсестах.

В печати находится работа с описанием методики восстановления утраченных фрагментов (текста и миниатюр) с применением мультиспектральной съёмки и алгоритмов распознавания и реконструкции изображений, а также результаты, полученные в результате сотрудничества Государственного исторического музея (ГИМ) и Института космических исследований (ИКИ) РАН за период с 2017 г. Среди не публиковавшихся ранее результатов можно выделить следующие:

- Для визуализации текста греческих папирусов египетского происхождения III в. до н.э. – VII в. н.э., выполненного углеродистыми органическими чернилами, наилучший результат дала съёмка в ИК-диапазоне 730 нм, что позволило в том числе установить точную дату создания документов.
- При исследовании партитуры симфонии № 1 П.И. Чайковского скрытый под заклеяками первоначальный авторский текст был распознан с помощью съёмки в ИК-лучах (840 нм).
- При работе с миниатюрами и угасшими рисунками (на примере Хлудовской Псалтыри) оказалось что применение съёмки в УФ-диапазоне хорошо работает при восстановлении угасших подготовительных рисунков, выполненных железо-галловыми чернилами, а ИК-лучи применимы в их реконструкции под верхним слоем темперы. Применение рекурсивных нейронных сетей с частичной свёрткой позволило практически полностью восстановить подготовительный рисунок ряда угасших миниатюр, а также открыть новые смытые рисунки на полях рукописи.

Подготовлены публикации с описанием результатов обработки отрывка из двух пергаменных листов (бифолии) с византийским палимпсестом, атрибутированного как греческое Евангелие Апракос (Лекционарий) XII в. (по верхнему тексту), который после обработки был датирован IX в., а содержащийся текст оказался фрагментом греческого унциального Лекционария.

1. Уханова Е.В., Андреев А.В., Жижин М.Н., Пойда А.А. Возможности определения поновлений миниатюр Хлудовской Псалтыри середины IX в. (ГИМ, Хлуд. Д 129) с помощью мультиспектральной съёмки и последующей программной обработкой методом SVA // XXXV Всероссийская научная конференция с международным участием «Вспомогательные исторические дисциплины в современном научном знании», Москва, ИВИ РАН, 6–7 апреля 2023.



2. Prosvetov A., Balaev V. Degradation detection for steam engines // XXV International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains 2023 (DAMDID/RCDL 2023), HSE University, Moscow, October 24–27, 2023. <https://damdid2023.hse.ru/mirror/pubs/share/867941782.pdf>.

3. Уханова Е.В., Андреев А.В., Жижин М.Н., Пойда А.А. Водяные знаки средневековой бумаги: опыт первой российской базы данных // «XIII Римские Кирилло-Мефодиевские чтения», ИнСлав РАН, Москва, 4–8 сентября 2023. [https://inslav.ru/sites/default/files/rcht\\_2023.pdf](https://inslav.ru/sites/default/files/rcht_2023.pdf).

## **2.6 Теоретические исследования, связанные с применением квантовых нейронных сетей для перспективных квантовых бортовых систем искусственного интеллекта**

В 2023м году проводились следующие исследования в области космологии и гравитации:

Представлена пятимерная квантовая модель расширяющейся вселенной, в которой, вместо обычной трехмерной инфляции, расширяется четырехмерное пространственно-временное многообразие. Дополнительная пятая координата является счетчиком дискретных изменений соответствующей релятивистской спиновой сети. Уравнение Шредингера, описывающее эволюцию такой вселенной по отношению к пятой координате, записывается в базисе всех возможных историй четырехмерного мира.

Релятивистское обобщение спиновых сетей Пенроуза обычно строится с помощью представлений группы  $SO(3,1)$ , либо путем «евклидизации» группы Лоренца  $SO(3,1)$  до группы вращений четырехмерного пространства  $SO(4)$ , и последующей замены этой группы ее универсальной накрывающей группой  $SU(2)*SU(2)$ . Данный подход может быть расширен, и в некоторой степени упрощен, если вместо однородной группы Лоренца  $SO(3,1)$  использовать неоднородную группу Пуанкаре  $SO(3,1) \times T_4$ . При таком подходе метка каждого ребра спиновой сети состоит из индекса  $j$  группы  $SU(2)$  и массы покоя  $m$ , являющегося индексом представлений группы трансляций  $T_4$ . Вершины графа (интертвинеры) становятся произведениями обычной спиновой части и дельта функции, отвечающей сохранению импульса в каждой вершине. Показано, что такой подход устанавливает соответствие между релятивистскими спиновыми сетями и обычными диаграммами Фейнмана, описывающими поля материи [<http://arxiv.org/abs/2311.06328>].

По результатам исследований опубликована работа:

1. Mikhail Altaisky and Michal Hnatich, Are there any Landau poles in wavelet-based quantum field theory? // Physical Review D, 108, 085023 (2023), doi: 10.1103/PhysRevD.108.085023

**2.7 Оценка и управление риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы. Продолжение исследования возможностей применения космических данных для улучшения оценок риска для здоровья населения от загрязнения атмосферы: автоматизированное применение моделей рассеяния загрязнений ISC/AERMOD к оценке риска здоровью по российским исходным данным и космическим наблюдениям. Продолжение работ по оценке и управлению риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы предприятиями и транспортом**

В части работ по оценке и управлению риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы были получены следующие результаты.

Выполнено моделирование процесса управления выбросами в атмосферу загрязняющих веществ на примере нефтеперерабатывающего завода (НПЗ) г. Уфа. Вычислительные эксперименты проводились с помощью программного комплекса ENIPS, в который встроена модель рассеяния AERMOD. Имитация управления выбросами была проделана для интервала в 5 дней, когда наблюдались серьезные проблемы с концентрациями выбросов.

Мерилом для оценки неканцерогенной опасности того или иного вещества может служить сравнение с предельной допустимой концентрацией (ПДК). Отношение расчетной концентрации к предельной дает индекс неканцерогенного риска. Риски оцениваются для отдельных органов человека.

Если не учитывать импульсный характер многих источников промышленных загрязнений, то значения максимальных разовых концентраций оказываются сильно завышенными. Учет импульсного характера выбросов проводился методом статистических испытаний (метод Монте-Карло), при котором моменты выброса случайным образом разбрасываются по часам года, в соответствии с показателем импульсности или указанным числом часов работы в год, и затем берется наибольшая почасовая концентрация.

Методика расчета и управления выбросом сводилась к следующему:

На основе модели AERMOD рассчитывается ожидаемая концентрация  $C(t)$ , которая сравнивается со средней концентрацией в некотором месте, наиболее уязвимом для рассматриваемой территории. Выброс  $M(t)$  адаптируется, т.е. когда метеоусловия неблагоприятные он снижается, а когда благоприятные – выброс можно сделать больше.

Представим модель того, как могло быть сделано это управление. Каждый отдельный источник загрязнения имеет свои ограничения по управлению. В модели в качестве этого ограничения введено то, что за некий промежуток времени нужно выбросить заданное количество загрязнителей  $M$ . Это – типичное технологическое ограничение, управлять можно только графиком выбросов.

Главный параметр управления – коэффициент усиления обратной связи  $K$ . С ним величина выброса рассчитывается по формуле:

$$M(t) = M + M \cdot K \cdot \left(1 - \frac{C(t)}{C_{cp}}\right),$$

где  $M$  – совокупный выброс, г/сек,  $C$  – концентрация, мг/м<sup>3</sup>. Коэффициент  $K$  характеризует силу обратной связи, т.е. то насколько сильно уменьшается выброс, когда ожидается повышенная концентрация загрязнителя. В экспериментах задавались два значения  $K$ : 0,2 и 0,5. Расчеты показывают, что это достаточно эффективный способ.

На рисунке. 2.7.1 отражены средние концентрации загрязнений в случае индивидуального управления выбросами каждого источника и по модели управления концентрациями в одной, наиболее критичной точке в сравнении с управлением совокупным выбросом по концентрациям в каждой точке.

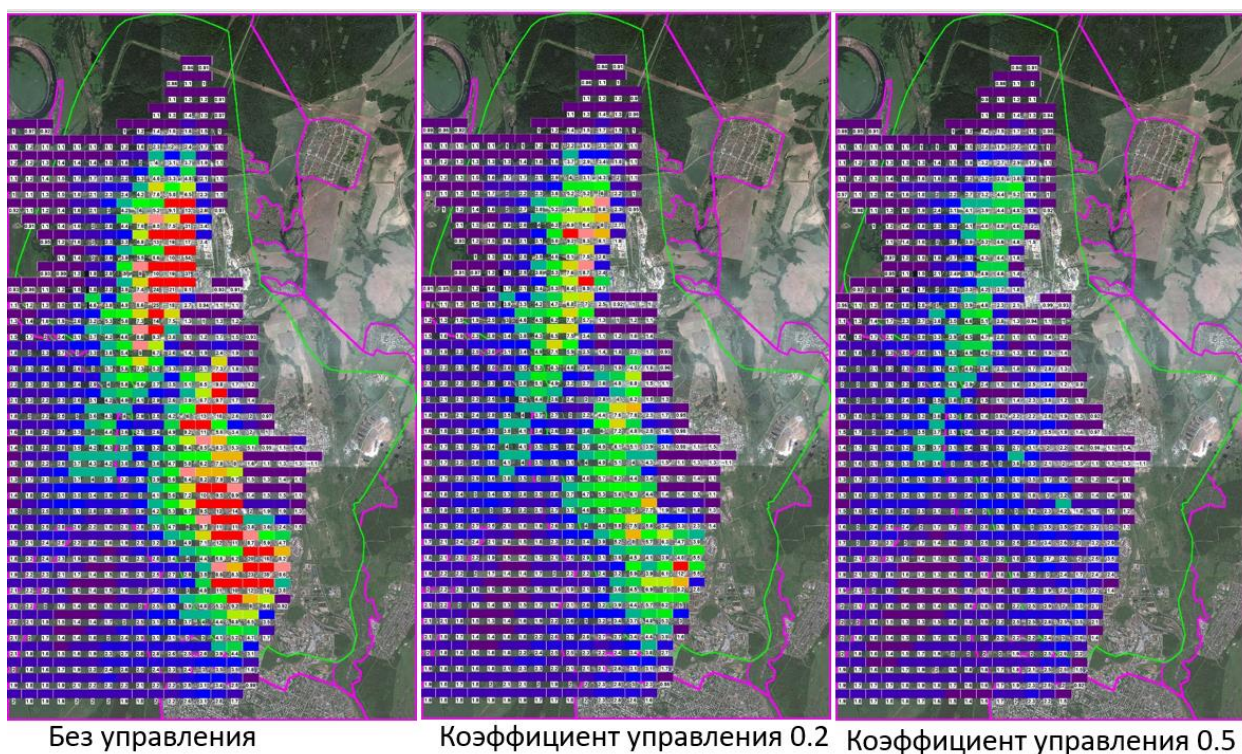


Рисунок 2.7.1 – Средняя концентрация  $C_1$ - $C_{19}$  за 01.01.2019 – 05.01.2019 по выбросам в г/с. Производится управление выбросом каждого источника индивидуально по концентрациям в клетке (п. Старая Александровка, расположенный возле НПЗ). Красным цветом показаны концентрации, превышающие норматив, желтым и зеленым цветом – с меньшими концентрациями

Проведенные вычислительные эксперименты показали, что управление импульсными выбросами может быть достаточно эффективным способом снижения пиковых рисков для здоровья на территориях, примыкающих к НПЗ. При этом эффект от индивидуального управления выбросом для каждого источника больший, чем при управлении совокупным выбросом.

## Раздел 3 КОСМОС

### 3.1 Разработка и внедрение обобщенной отказоустойчивой и масштабируемой архитектуры для территориально распределенной проектно-ориентированной сети в рамках поддержки научных наземных комплексов для сопровождения космических экспериментов

В 2023 году были проведены исследовательские работы по дальнейшему развитию сервиса обнаружений сканирований и DDOS атак (SDMON), работающему в сети «КОСМОС». В частности, были апробированы основные алгоритмы машинного обучения для формирования экспертной оценки по наблюдаемой статистической картине сетевого трафика. Архитектура проектируемой системы показана на рисунке 3.1.1. Эффективный механизм кластеризации исходных данных по сетевым соединениям позволяет в режиме реального времени произвести редукцию числа анализируемых объектов до значений, которые могут оперативно обрабатываться алгоритмами машинного обучения. Предварительные исследования показали, что наилучшие результаты достигаются с помощью класса алгоритмов, относящегося к деревьям принятия решений, которые сочетают высокую скорость работы с высокой точностью экспертной оценки.

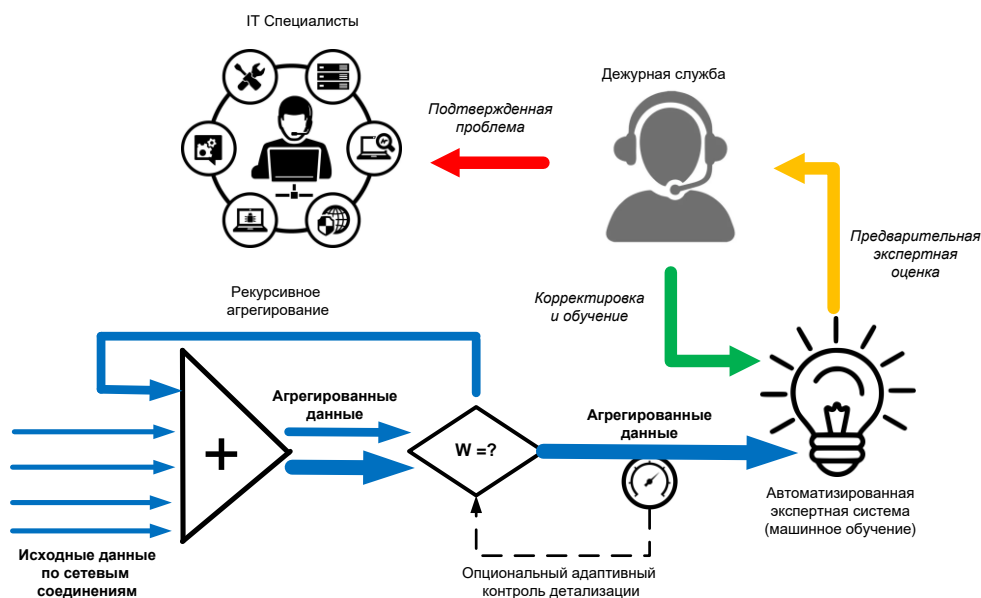


Рисунок 3.1.1 – Рабочий процесс обработки данных и принятия решений в системе SDMON (Scan/DDoS Monitor).



## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В настоящем отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2023 г. по теме «Управление: Исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов». По результатам этих исследований сотрудниками ИКИ РАН в 2023 г. было опубликовано 81 научная работа, в том числе:

- статьи в зарубежных изданиях - 17
- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах - 6
- статьи в сборниках материалов конференций - 6
- доклады, тезисы, циркуляры – 50
- статьи в научно-популярных изданиях - 2
- публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными учёными – 13

**Науки о Земле. 1.5.1.6. Изучение и прогнозирование катастрофических явлений (землетрясения, извержения вулканов, цунами); оценки сейсмической, вулканической и цунами опасности**

### **Наиболее значимые результаты**

**Разработана физическая модель генерации атмосферных и ионосферных аномалий над областями подготовки катастрофических землетрясений и методов их автоматического поиска с использованием космических технологий**

Установлено, что ионизация пограничного слоя атмосферы как результат тектонической активности и увеличения эманации радона из земной коры приводит к формированию крупномасштабных неоднородностей в атмосфере и ионосфере в результате развития термодинамической неустойчивости. Процесс носит взрывной характер и является частью глобальной системы взаимодействия геосфер. Международное признание результата выразилось во включении данного механизма в международную программу исследований в рамках глобального проекта IMCP (International Meridional Circle Program).

Концепция взаимодействия геосфер под воздействием ионизации разрабатывалась более 25 лет, начиная с доклада на секции Общей физики и астрономии РАН в 1998 г. Разрабатывались одновременно физическая модель взаимодействия литосфера, атмосферы, ионосферы и магнитосферы и экспериментальные методы идентификации эффектов, генерируемых в различных средах под воздействием ионизации. В результате были разработаны методы краткосрочного прогноза землетрясений, регистрации местоположения и интенсивности радиационного заражения при авариях на атомных

электростанциях и при испытаниях ядерного оружия в различных средах, эффектов ионизации при инициации ураганов и тайфунов, самовозгорания хвойных лесов.

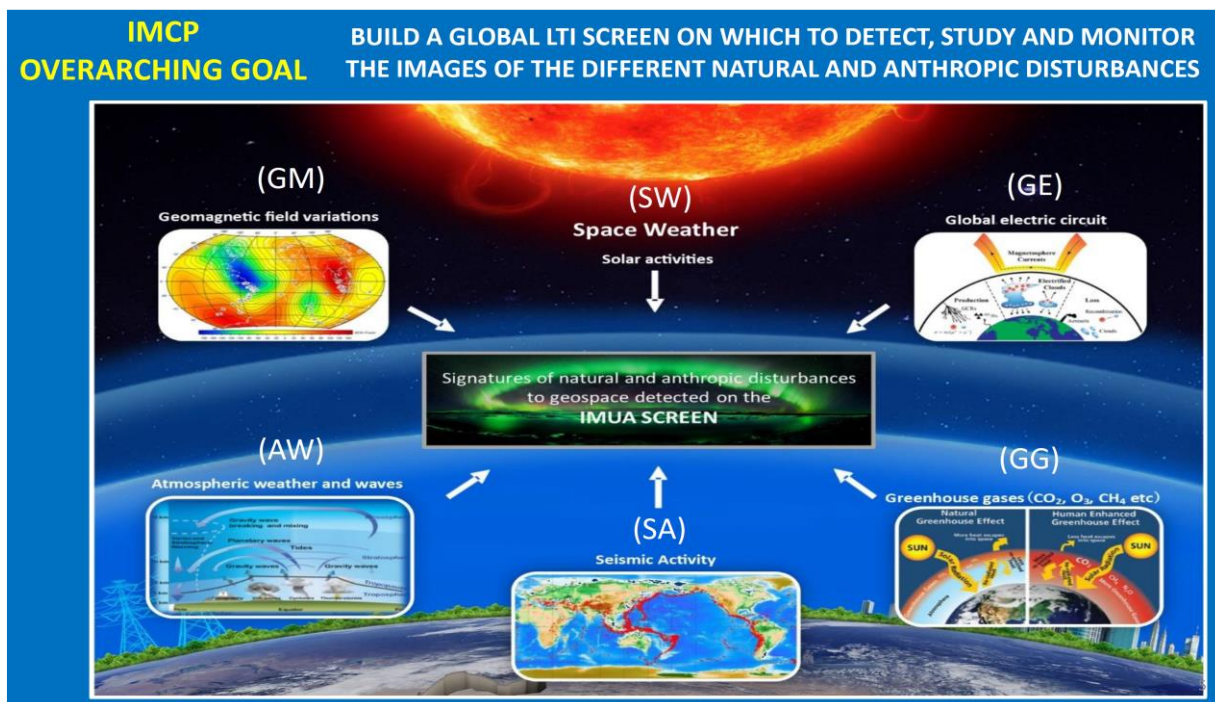


Рисунок 1 – Система взаимодействия геосфер, в которую входит сейсмическая активность (SA) внизу

С.А. Пулинец является лидером международной группы ученых, развивающих данное направления. Помимо порядка 200 статей опубликованы 4 монографии, которые могут быть использованы в образовательных целях. Благодаря этим усилиям кардинально изменился подход к пониманию проблемы взаимодействия геосфер, она стала основной задачей крупного международного проекта IMCP (International Meridional Circle Program), а воздействие сейсмической активности на окружающую среду было включено в систему геосфер, включающую космическую погоду, солнечную активность, глобальную электрическую цепь, тропосферные процессы.

1. Pulinets S.A., Physical bases of the short-term earthquake forecast // *Astronomical and Astrophysical Transactions (AApTr)*, Vol. 34, Issue 1, pp. 65-84, 2023

2. Pulinets S., Budnikov P., Karelin A., Žalohar J. Thermodynamic instability of the atmospheric boundary layer stimulated by tectonic and seismic activity // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 246, 106050, 2023, <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2023.106050>.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

### Публикации по теме УПРАВЛЕНИЕ

#### Статьи в зарубежных изданиях:

1. Zubko V. A., Eismont N. A., Fedyaev K. S., Belyaev A. A. A method for constructing an interplanetary trajectory of a spacecraft to Venus using resonant orbits to ensure landing in the desired region // *Advances in Space Research*. – 2023. – Т. 72. – №. 2. – С. 161-179. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.02.045>  
(SJR=0.599, SNIP=1.232, CiteScore= 5.0, IF = 2.6, Q1, [Scopus, Web of Science])
2. Zubko V. Analysis of prospective flight schemes to Venus accompanied by an asteroid flyby // *Acta Astronautica*. – 2023. – Т. 210. – С. 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2023.05.009>  
(SJR=1.015, SNIP=1.591, CiteScore= 6.3, IF = 3.5, Q1, [Scopus, Web of Science])
3. Elvidge C.D., Zhizhin M., Sparks T., Ghosh T., Pon S., Bazilian M., Sutton P.C., Miller S.D. Global Satellite Monitoring of Exothermic Industrial Activity via Infrared Emissions. // *Remote Sens*. 2023, 15, 4760. <https://doi.org/10.3390/rs15194760> (IF = 13.85, Q1)
4. Kovaleva A.S. Melnikov's method for controlled stochastic oscillations of a rocking block with fractional derivative. // *Probabilistic Engineering Mechanics*, Volume 72, Article 103437, April 2023, <https://doi.org/10.1016/j.pro bengmech.2023.103437> (IF = 2.6, Q1)
5. Altaisky M., Hnatich M. Are there any Landau poles in wavelet-based quantum field theory? // *Physical Review D*, 108, 085023 (2023), doi: 10.1103/PhysRevD.108.085023 (IF=5, Q1)
6. Raghunathan M., George N.B., Unni V.R., Kurths J., Surovyatkina E., Sujith R.I. Inhibiting the onset of thermoacoustic instability through targeted control of critical regions // *International Journal of Spray and Combustion Dynamics*. – 2023. – Vol. 15(1). – pp. 3-15. doi:10.1177/17568277221149507 (IF =1,6, Q2)
7. Elvidge C.D., Hsu F.-C., Zhizhin M., Fhosh T., Sparks T. Statistical moments of VIIRS night-time lights. // *Int. J. Remote Sens*. – 2023, 1–25. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2161857> (IF = 3.531, Q2)
8. Nina A., Milovanović B., Malinović-Milićević S., Pulinets S. Editorial: Atmospheric disturbances: responses to phenomena from lithosphere to outer space // *Front. Environ. Sci*. 11:1199573, 2023, doi: 10.3389/fenvs.2023.1199573 (IF=3,498, Q2)
9. Hegai V., Zeren Z., Pulinets S. Seismogenic Field in the Ionosphere before Two Powerful Earthquakes: Possible Magnitude and Observed Ionospheric Effects (Case Study) // *Atmosphere* 2023, 14, 819. <https://doi.org/10.3390/atmos14050819> (IF=3,110, Q2)

10. Yutsis V., Kotsarenko A., Grimalsky V., Pulinets S. On the Radon-Related Mechanism of the Seismo- and Volcanogenic Geomagnetic Anomalies: Experiments in Tlamacas Mountain (Volcano Popocatepetl Area) and Electrode Effect Model // *Atmosphere* 2023, 14, 705.  
<https://doi.org/10.3390/atmos14040705> (IF=3,110, Q2)
11. Pulinets S., Budnikov P., Karelin A., Žalohar J. Thermodynamic instability of the atmospheric boundary layer stimulated by tectonic and seismic activity. // *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 2023, 246, 106050  
<https://doi.org/10.1016/j.jastp.2023.106050> (IF=1,9, Q2)
12. Eismont N. A., Pupkov M. V., Fedyaev K.S., Zubko V.A., Belyaev A.A., Simbiriyov N.A., Nazirov R.R.. Possibilities for Using a Spacecraft in an Orbit Around the Collinear Sun-Earth Libration Point to Study Near-Earth Asteroids (AAS 20-334) // *Proceedings of the IAA/AAS SciTech Forum 2020 on Space Flight Mechanics and Space Structures and Materials*, 8-10 June 2020, RUDN University, Moscow, Russia, *Advances in astronomical sciences* (Vol. 178), ISBN: 978-0-87703-686-9, ISSN: 0065-3438, pp. 385-390, 2023,  
<https://www.univelt.com/linkedfiles/v178%20Contents.pdf> (SJR=0.143, SNIP=0.132, Q4, [Scopus])
13. Zubko V., Sukhanov A., Fedyaev K., Koryanov V., Belyaev A. Using gravity assists for flight design to trans-Neptunian object (90377) Sedna (AAS 20-323) // *Proceedings of the IAA/AAS SciTech Forum 2020 on Space Flight Mechanics and Space Structures and Materials*, 8-10 June 2020, RUDN University, Moscow, Russia, *Advances in astronomical sciences* (Vol. 178), ISBN/ISSN: 978-0-87703-686-9, pp. 275-282, 2023,  
<https://www.univelt.com/linkedfiles/v178%20Contents.pdf>  
(SJR=0.143, SNIP=0.132, Q4, [Scopus])
14. Sukhanov A. On a Multiple Asteroid Flyby Mission (AAS 20-335) // *Proceedings of the IAA/AAS SciTech Forum 2020 on Space Flight Mechanics and Space Structures and Materials*, 8-10 June 2020, RUDN University, Moscow, Russia, *Advances in astronomical sciences* (Vol. 178), ISBN/ISSN: 978-0-87703-686-9, pp. 391-403, 2023,  
<https://www.univelt.com/linkedfiles/v178%20Contents.pdf> (SJR=0.143, SNIP=0.132, Q4, [Scopus])
15. Nazirov R., Eismont N., Zubko V., Belyaev A., Zasova L., Gorinov D., Simonov A. Using Gravity Assist for Landing on the Venus (AAS 20-305) // *Proceedings of the IAA/AAS SciTech Forum 2020 on Space Flight Mechanics and Space Structures and Materials*, 8-10 June 2020, RUDN University, Moscow, Russia, *Advances in astronomical sciences* (Vol. 178), ISBN/ISSN: 978-0-87703-686-9, pp. 47-54, 2023,

<https://www.univelt.com/linkedfiles/v178%20Contents.pdf> (SJR=0.143, SNIP=0.132, Q4, [Scopus])

16. Pulinets S.A. Physical bases of the short-term earthquake forecast // *Astronomical and Astrophysical Transactions* (AApTr), 2023, Vol. 34, Issue 1, pp. 65-84.
17. Petrukovich A., Zelenyi L., Mitrofanov I., Korablev O., Tretyakov V., Zarubin D., Gorinov D. Cooperation Perspectives in Space Science: Moon, Venus and Beyond // *Aerospace China*, ISSN 1671-0940, vol. 24 № 1, p. 15-19.

**Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах:**

18. Егоров В.В., Балтер Д.Б., Стальная М.В., Фаминская М.В. Моделирование управления выбросами на нефтеперерабатывающих комплексах с привлечением данных космических наблюдений в задачах снижения рисков для здоровья населения // *Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе*, 2023, № 3 (312). С.32-40. (РИНЦ)
19. Калинин А.П., Егоров В.В., Родионов А.И., Родионов И.Д., Родионова И.П. Синхронизированное детектирование рентгеновского и вторичного флуоресцентного излучения образца монофотонными сенсорами // *Химическая физика*, 2023, Т. 42. № 7. С. 17-22. DOI: 10.31857/S0207401X23070087 (РИНЦ).
20. Rodionov A.I., Rodionov I. D., Rodionova I.P., Shestakov D.V., Egorov V.V., Shapovalov V.L., Kalinin A. P. Heterogeneity Accounting for the UV-C Radiation Propagation Path Over the Sea // *Russ. J. Phys. Chem. B* 17, 1246–1250 (2023), <https://doi.org/10.1134/S1990793123050275>
21. Шитов А.В., Пулинец С.А., Будников П.А. Влияние подготовки землетрясения на изменение метеорологических характеристик (на примере Чуйского землетрясения 2003 г.) // *Геомагнетизм и аэрономия*, 2023, том 63, № 4, с. 441–454
22. Пулинец С.А., Хегай В.В., Легенька А.Д., Корсунова Л.П., Эффективность относительного  $\delta$ -параметра Барбье при поиске ионосферных предвестников землетрясений // *Геомагнетизм и аэрономия*, 2023, 63, №3, 349-357, DOI: 10.31857/S0016794023600102
23. Пулинец М.С., Будников П.А., Пулинец С.А., Глобальный отклик ионосферы на интенсивные вариации солнечной и геомагнитной активности по данным глобальной сети навигационных приемников GNSS // *Геомагнетизм и аэрономия*, 2023, 63, №2, 202-215, DOI: 10.31857/S0016794022600703

**Статьи в сборниках материалов конференций:**

24. Zubko V., Eismont N., Belyaev A., Fedyaev K., Zasova L., Gorinov D., Nazirov R., Zarubin D. Resonant orbit for the expansion of achievable landing areas on the Venus surface in framework of Venera-D project // *Proceedings of the International Astronautical Congress*,



IAC: 73rd, PARIS, September 18–22, 2022. – Paris, 2022. ISSN: 0074-1795  
(<https://www.scopus.com/record/display.uri?eid=2-s2.0-85167597437&origin=inward&txGid=9ec5e7bdcf7d23f2b38f0973e1717945>). (IAC-22,C1,IPB,33,x67224.) (SJR=0.121, SNIP=0.155 [Scopus])

25. Pupkov M.V., Eismont N.A., Fedyaev K.S., Zubko V.A., Extension of the Mission of a Spacecraft Operating at a Vicinity of the Sun-Earth Libration Point for Asteroids Exploration (MDM, Paper ID: 357) // Proceedings of the 17th International Conference on Space Operations, 6-10 March, 2023, Mohammed Bin Rashid Space Centre, Dubai, United Arab Emirates – Dubai, 2023, 7 p. [https://star.spaceops.org/paper\\_lists.php](https://star.spaceops.org/paper_lists.php)
26. Уханова Е.В., Андреев А.В., Жижин М.Н., Пойда А.А. Возможности определения поновлений миниатюр Хлудовской Псалтири середины IX в. (ГИМ, Хлуд. Д 129) с помощью мультиспектральной съемки и последующей программной обработкой методом CVA // Материалы XXXV Всероссийской научной конференции с международным участием «Вспомогательные исторические дисциплины в современном научном знании», Москва, ИВИ РАН, 6–7 апреля 2023.
27. Prosvetov A., Balaev V. Degradation detection for steam engines // Proceedings of the XXV International Conference on Data Analytics and Management in Data Intensive Domains 2023 (DAMDID/RCDL 2023), HSE University, Moscow, October 24–27, 2023. URL: <https://damdid2023.hse.ru/mirror/pubs/share/867941782.pdf>.
28. Pulinets S.A., Budnikov P.A., Karelin A.V., Žalohar J. Thermodynamic instability of the atmospheric boundary layer stimulated by tectonic and seismic activity // Proceedings of the VIII International Conference “Atmosphere, Ionosphere, Safety”, (AIS-2023), Kaliningrad, June 4–9, 2023, p. 110-113
29. Pulinets S.A. Lithosphere, Atmosphere and Ionosphere Coupling (LAIC) as a complex system // Proceedings of the ISSI conference «Investigation of the Lithosphere Atmosphere Ionosphere Coupling (LAIC) Mechanism before the Natural Hazards», Bern, 11-13 September 2023, <https://doi.org/10.57757/IUGG23-3509>

**Доклады, тезисы, циркуляры:**

30. Пупков М.В., Эйсмонт Н.А., Старинова О.Л., Зубко В.А., Федяев К.С. Изучение астероидов, сближающихся с Землей, с помощью космического аппарата, функционирующего в окрестности точки либрации // XLVII Академические чтения по космонавтике 2023: Сборник тезисов, посвященный памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых – пионеров освоения космического пространства. В 4-х томах, Москва, 24-27 января 2023 года. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный

- исследовательский университет), 2023. – Т.1., С. 288-290.  
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54351607>
31. Pupkov M., Eismont N., Zubko V., Fedyaev K. Possibilities of using a spacecraft located in the vicinity of the libration point for near-Earth objects exploration // 8th IAA Planetary Defense Conference, 3-7 April, 2023, Vienna, Austria.  
<https://atpi.eventsair.com/QuickEventWebsitePortal/23a01---8th-planetary-defense-conference/programme-website/Agenda/AgendaItemDetail?id=cebec0a7-4563-467d-a0a8-4e67d9f411c1>
32. Пупков М.В., Эйсмонт Н.А., Старинова О.Л., Зубко В.А., Федяев К.С. Концепт миссии по изучению астероидов для космической обсерватории «Спектр-Рентген-Гамма» // XX Конференция Молодых Ученых «Фундаментальные и прикладные космические исследования»: Сборник тезисов докладов, ИКИ РАН, Москва, 12-14 апреля 2023 года. – Москва: Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт космических исследований Российской академии наук, 2023. – С. 102.  
<https://kmu.cosmos.ru/docs/2023/KMU2023-AbstractBook-2023-06-16.pdf>
33. Pupkov M., Eismont N., Zubko V., Fedyaev K. Observation of near-Earth objects by a small spacecraft located in the vicinity of the libration point (IAA-B14-0416P) // 14th IAA Symposium on Small Satellites for Earth System Observation, 7-12 May, 2023, Berlin, Germany.
34. Пупков М.В. О возможностях перелета космического аппарата из окрестности солнечно-земной точки либрации к астероиду, сближающемуся с Землей // Семинар ИКИ РАН «Механика, Управление и Информатика», 26 мая 2023 года, ИКИ РАН, Москва, Россия. <http://www.iki.rssi.ru/seminar/20230526/abstract.php>
35. Пупков М.В. Рентгеновская обсерватория «Спектр-Рентген-Гамма»: перспективы использования за пределами номинального срока эксплуатации, такие как полеты к астероидам и другим объектам Солнечной системы // Семинар ИКИ РАН «Летнее солнцестояние в Тарусе: космические полеты в планах и наяву», 26-29 июня 2023 года, Таруса, Россия.
36. Симбирев Н. А., Эйсмонт Н. А., Суханов А. А. [и др.] Возможные схемы перелета к спутникам Нептуна Тритону и Нереиде // Фундаментальные и прикладные задачи механики: Материалы Международной научной конференции, Москва, 06–09 декабря 2022 года. Том Часть 1. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2023. – С. 228-232. – EDN ORWZCH. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54112291>

37. Симбирев Н. А., Эйсмонт Н. А., Суханов А. А. [и др.] Баллистический сценарий перспективной миссии по исследованию спутников Нептуна Тритона и Нереиды // XLVII Академические чтения по космонавтике 2023: Сборник тезисов, посвященный памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства, Москва, 24–27 января 2023 года. Том 2. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2023. – С. 382-383. – EDN FSHZTV. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54228059>
38. Zubko V.A., Sukhanov A.A., Fedyaev K.S., Belyaev A.A., Koryanov V.V. Extended opportunities of a mission to Sedna // 17th International Conference on Space Operations (SpaceOps 2023), Dubai, UAE, 6-10 March 2023. [https://www.spaceops.org/agenda/event\\_search.php](https://www.spaceops.org/agenda/event_search.php)
39. Zubko V.A., Fedyaev K.S., Belyaev A.A., Koryanov V.V. Prospects for research of extreme transneptunian objects by extension of the space mission scenario // 5th COSPAR Symposium, Abstracts, Singapore, 16-21 April 2023, Nanyang Technological University. <https://app.cospar-assembly.org/2023/browser/presentation/32810>.
40. Zubko V.A., Sukhanov A.A., Fedyaev K.S., Belyaev A.A., Koryanov V.V. Mission to the trans-Neptunian object Sedna: a possible next step of humanity towards stars // 74th International Astronautical Congress, Baku, 2-6 October 2023. <https://dl.iafastro.directory/event/IAC-2023/paper/77475/>
41. В. А. Зубко, А. А. Беляев, Н. А. Эйсмонт, К. С. Федяев. Возможные траектории полета к Венере с гравитационным маневром и посадкой в заданном регионе // Фундаментальные и прикладные задачи механики: Материалы Международной научной конференции, Москва, 06–09 декабря 2022 года. Том Часть 1. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет), 2023. – С. 208-209. – EDN ZJDGFE. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54112281>
42. В. А. Зубко, Н. А. Эйсмонт, К. С. Федяев [и др.] Методика построения межпланетной траектории полета космического аппарата к Венере с использованием гравитационного маневра и резонансных орбит для обеспечения посадки в желаемом регионе на поверхности планеты // XLVII Академические чтения по космонавтике 2023: Сборник тезисов, посвященный памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых — пионеров освоения космического пространства, Москва, 24–27 января 2023 года. Том 2. – Москва: Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный

- исследовательский университет), 2023. – С. 310-311. – EDN JXBNVW.  
<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54228033>
43. В.А. Зубко, Н.А. Эйсмонт, К.С. Федяев, А.А. Беляев. Методика расчета траекторий полета космического аппарата к Венере для обеспечения посадки в желаемом регионе на поверхности планеты // XIII Всероссийский съезд по теоретической и прикладной механике. 21-25 августа 2023 года, Санкт-Петербург (<https://ruscongrmech2023.ru/wp-content/uploads/2023/08/1.6.pdf> )
44. V. A. Zubko, N. A. Eismont, A. A. Belyaev [et al.] Mission Scenario of Flight to Venus with Landing at Any Desired Location on Its Surface // The Thirteenth Moscow Solar System Symposium 13M-S3 : Abstracts, Москва, 10–14 октября 2022 года. – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2022. – Р. 329. – EDN FMAITI. (<https://www.elibrary.ru/item.asp?id=50086683> )
45. Zubko V.A., Eismont N.A., Belyaev A.A., Fedyaev K.S., Zasova L.V., Gorinov D.A., Nazirov R.R. Venera-D multipurpose mission design // 17th International Conference on Space Operations (SpaceOps 2023), Dubai, UAE, 6-10 March 2023.  
[https://www.spaceops.org/agenda/event\\_search.php](https://www.spaceops.org/agenda/event_search.php)
46. V. A. Zubko, N. A. Eismont, K.S Fedyaev, A. A. Belyaev. Scenario of mission to Venus followed by an asteroid flyby // 5th COSPAR Symposium, Abstracts, Singapore, 16-21 April 2023, Nanyang Technological University. <https://app.cospar-assembly.org/2023/browser/presentation/32790>
47. В. А. Зубко, Н. А. Эйсмонт, А. А. Суханов [и др.] Анализ траекторий перелета космического аппарата к Венере с пролетом астероидов // Идеи Циолковского в теориях освоения космоса: Материалы 58-х Научных чтений, посвященных разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского, Калуга, 19–21 сентября 2023 года. Том Часть 1. – Калуга: Эйдос, 2023. – С. 261-263. – EDN IYRPJT. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=54764837>
48. V. A. Zubko, N. A. Eismont, K.S Fedyaev. An exploration of a prospective flight scheme to Venus associated with an asteroid flyby // 74th International Astronautical Congress, Baku, 2-6 October 2023. <https://dl.iafastro.directory/event/IAC-2023/paper/77470/>
49. V.A. Zubko, N.A. Eismont, K.S. Fedyaev, A.A. Belyaev. Study of flight scenario of mission to Venus followed by a passage of an asteroid // The Fourteenth Moscow Solar System Symposium 14M-S3: Abstracts, Москва, 9–13 октября 2023 года. – Москва: Институт космических исследований Российской академии наук, 2023. – Р. 222.  
([https://ms2023.cosmos.ru/docs/2023/14ms3\\_ABSTRACT-BOOK-2023-10-06.pdf](https://ms2023.cosmos.ru/docs/2023/14ms3_ABSTRACT-BOOK-2023-10-06.pdf) )

50. Surovyatkina, E.: Local onset of monsoon defined by critical values of atmospheric variables: Indian summer monsoon case, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-8441 <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-8441> , 2023.
51. Joseph, J., Whitbread, A., Roetter, R., and Surovyatkina, E.: Characterizing the growing period using seasonal rainfall onset dates in the semi-arid region of Tanzania, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, EGU23-12235, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu23-12235> , 2023
52. Surovyatkina Elena. Critical transition to monsoon: statistical physics principles of monsoon forecasting. // Deutsche Physikalische Gesellschaft. Dresden Conference Spring Meeting, 2023, Technische Universität Dresden, 26-31 March, Invited topical talk, P. 36. <https://www.dpg-verhandlungen.de/year/2023/conference/skm/part/dy/session/28/contribution/3>
53. Surovyatkina Elena and Teferi Dejene Demissie (Ethiopia, the International Livestock Research Institute, ILRI). Co-organisers Inter-and Transdisciplinary Session, EGU General Assembly 2023, Vienna, Austria, 24–28 Apr 2023, Monsoon onset: definition, drivers of early and late-onset and onset forecast. ITS2.8/AS1.23, <https://meetingorganizer.copernicus.org/EGU23/session/46895>
54. Elena Surovyatkina, Universal Definition of Local Monsoon Onset // The Asia Oceania Geosciences Society (AOGS) annual conventions, AS01-A050, AOGS23-Reg-6737. Singapore, 30 July - 4 August 2023, [https://www.asiaoceania.org/AOGS2023\\_PROGRAM\\_GUIDE/program\\_guide.asp](https://www.asiaoceania.org/AOGS2023_PROGRAM_GUIDE/program_guide.asp)
55. Елена Суровяткина. Прогресс в прогнозировании наступления и завершения муссонов в Индии. // Двадцать первая международная конференция "Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса", 13-17 ноября 2023, XXI.Н.531, Институте космических исследований РАН, Москва, 2023 <http://conf.rse.geosmis.ru/thesisshow.aspx?page=249&thesis=10110>
56. Уханова, Е.В., Андреев, А.В., Жижин, М.Н., Пойда, А.А. Водяные знаки средневековой бумаги: опыт первой российской базы данных // XIII Римские Кирилло-Мефодиевские чтения, ИнСлав РАН, Москва, 4–8 сентября 2023. URL: [https://inslav.ru/sites/default/files/rcht\\_2023.pdf](https://inslav.ru/sites/default/files/rcht_2023.pdf).
57. В.В.Егоров, Д.Б.Балтер, М.В.Стальная. Вычислительные эксперименты по имитации управления выбросами загрязнителей крупного промузла с привлечением данных космических наблюдений. // Тезисы и доклад на Двадцатой первой международной конференции «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО

- ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2023 г.  
С. 87. Официальный сайт конференции: <http://conf.rse.geosmis.ru>
58. В.В.Егоров, А.П.Калинин, А.И.Родионов, И.Д.Родионов, И.П.Родионова. Дистанционное определение коэффициентов экстинкции атмосферы в УФ-С диапазоне для наклонной трассы над морем. // Тезисы и доклад на Двадцатой первой международной конференции «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА», Москва, ИКИ РАН, 13-17 ноября 2023 г. С.162. Официальный сайт конференции: <http://conf.rse.geosmis.ru>
59. В.А.Котцов, В.В.Егоров, Д.Б.Балтер, М.В.Стальная. Новая корреляционная оценка для результатов многопараметрических наблюдений и опыт её применения. // Тезисы и доклад на Всероссийской конференции «СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ». Москва. 12-13 декабря 2023 г. Официальный сайт конференции: <http://www.rntores.ru/>
60. A. Abbakumov, K. Anufreichik, O. Batanov, N. Eismont, F. Korotkov, A. Mishchenko, V. Nazarov. Science Ground Segment for Venera-D mission // 17th International Conference on Space Operations, ID # 654, Dubai, United Arab Emirates, 6 - 10 March 2023.
61. O.Batanov, I. Balashov, M.Burtsev, F.Korotkov, E.Loupian, A.Mischenko, V.Nazarov. ExoMars TGO Archive Interface – Table and Map Interoperability // 17th International Conference on Space Operations, ID # 668, Dubai, United Arab Emirates, 6 - 10 March 2023.
62. Н.Е.Капуткина, М.В.Алтайский «Квантовые точки и системы обработки информации» // XXII Всероссийская конференция «Проблемы физики твердого тела и высоких давлений». Тезисы докладов, сс. 82-83, Москва, ФИАН, 2023, ISBN 978-5-00202-364-6, <http://www.hppi.troitsk.ru/meetings/school/XXII-2023/abstracts-23.pdf>
63. Пулинец С.А., Ижовкина Н.И., Клос З., Кирага А., Роткель Х., Высокочастотная радиоспектрометрия космической плазмы. Прошлое и будущее // Девятнадцатая ежегодная конференция «Физика плазмы в Солнечной системе», 5-9 февраля 2023, ИКИ РАН, Москва
64. Алексеев О.А., Пулинец С.А., Линьков А.Д., Разумова Н.Д., Калинин С.Ю., Использование искусственного интеллекта для автоматической идентификации предвестников землетрясений // Юбилейная XI Всероссийская научно-техническая конференция АО «Российские космические системы» «Актуальные проблемы ракетно-космического приборостроения и информационных технологий», посвященная 100-летию со дня рождения Л.И. Гусева, Москва 6-8 июня 2023 г.



65. Pulinets S.A., Budnikov P.A., Karelin A.V. and Žalohar J. Thermodynamic instability of the atmospheric boundary layer stimulated by tectonic and seismic activity // VIII International Conference “Atmosphere, Ionosphere, Safety”, (AIS-2023), Kaliningrad, June 4–9, 2023
66. Pulinets, S., Litvinenko, L., Budnikov, P. Meteorological parameters as possible triggers of earthquakes // XXVIII General Assembly of the International Union of Geodesy and Geophysics (IUGG), 11-19 July 2023, Berlin
67. Pulinets S.A., Hegai V.V. Seismogenic electric field penetration into the ionosphere. Models and reality // URSI GASS 2023, Sapporo, Japan, 19 – 26 August 2023
68. Pulinets S.A., Topside sounder as a most reliable instrument for the Space Weather monitoring. Short review and future perspectives // URSI GASS 2023, Sapporo, Japan, 19 – 26 August 2023
69. Pulinets S.A., Lithosphere, Atmosphere and Ionosphere Coupling (LAIC) as a complex system // ISSI conference «Investigation of the Lithosphere Atmosphere Ionosphere Coupling (LAIC) Mechanism before the Natural Hazards», Bern, 11-13 September 2023
70. Pulinets S.A., Air ionization as an important factor in the inter-geospheres coupling processes // IMCP Workshop and space weather school, September 13-24 2023, Beijing, China
71. Pulinets S.A., CSES as important milestone in the creation of international space system for global monitoring of short-term earthquake precursors // CSES-1 Workshop 2023, 17-21 September, Beijing
72. Пулинец С.А., Роль глобальной электрической цепи в сложной системе взаимодействия геосфер // 6-я Всероссийская конференция «Глобальная Электрическая Цепь», г. Борок, Ярославская обл., 2-6 октября 2023
73. Pulinets S.A. From physical understanding to practical applications of the remote sensing data of earthquake precursory phenomena monitoring. March 2023 Turkey-Syria seismic sequence as an example // International Workshop on Aerospace Application for Earthquake Early Warning and Quick Response, 23-25 October, 2023 in Istanbul, Turkey, APSCO
74. Pulinets S., Energy transformation, release and dissipation during earthquake preparation period as the manifestation of geosphere’s interaction // International Conference on Recent Trends in Geoscience Research and Applications 2023, 23-27 October, Belgrade
75. Aleksandra Nina, Pier Francesco Biagi, Sergey Pulinets, Srđan Mitrović, Giovanni Nico, Luka Č. Popović. New potential earthquake precursor: reduction of the VLF signal noise // International Conference on Recent Trends in Geoscience Research and Applications 2023, 23-27 October, Belgrade
76. Пулинец С.А. Регистрация методами ДЗЗ краткосрочных предвестников землетрясений 2023 г. и их физическая интерпретация // Двадцать первая

международная конференция «Современные проблемы дистанционного зондирования земли из космоса», 13-17 ноября 2023 г.

77. Л.М.Зелёный, Д.С.Зарубин, "Использование ПКК для проведения научных исследований" // Наука на МКС: Третья международная конференция, посвящённая 25-летию Международной космической станции: сб. тез. докл. М.: ИКИ РАН, 2023, стр. 111-112. ISBN 978-5-00015-063-4, DOI: 10.21046/ISS-2023 <https://iss-science.cosmos.ru/docs/2023/наука-на-mks-v4.pdf>
78. Овчинников М.Ю., Петрукович А.А., Кораблёв О.И., Зарубин Д.С. и др. «Миссия на Марс на базе МКА с ЭРДУ» // 58-е Научные чтения, посвященные разработке научного наследия и развитию идей К.Э. Циолковского 2023 г., 19-21 сентября 2023 года, Калуга, [https://readings.gmik.ru/abstracts\\_2023\\_part\\_1.pdf](https://readings.gmik.ru/abstracts_2023_part_1.pdf), стр. 43-47
79. D. Zarubin at al., "A mission design for lunar orbital module delivery and its use to support "Earth-Moon" transportation" // 74-й Международный астронавтический конгресс (IAC), IAC-23,A5,1,3,x77784, Баку, Азербайджан, 2-6 октября 2023 г., <https://www.iac2023.org/>

#### **Статьи в научно-популярных изданиях:**

80. Pulinets S., A Journey through Vernadsky's Universe // Executive Intelligence Review, 50 (7), 13-18, February 17, 2023. [https://www.researchgate.net/publication/369018990\\_A\\_Journey\\_through\\_Vernadsky's\\_Universe](https://www.researchgate.net/publication/369018990_A_Journey_through_Vernadsky's_Universe)
81. Пулинец, С.А., Ведешин, Л.А., Космос, как природная плазменная лаборатория // Земля и Вселенная, №6, с. 33-51, 2023, DOI: 10.7868/S0044394823060038

#### **Список публикаций по теме УПРАВЛЕНИЕ**

1. Zubko V. A., Eismont N. A., Fedyaev K. S., Belyaev A. A. A method for constructing an interplanetary trajectory of a spacecraft to Venus using resonant orbits to ensure landing in the desired region // Advances in Space Research. – 2023. – Т. 72. – №. 2. – С. 161-179. <https://doi.org/10.1016/j.asr.2023.02.045>  
(SJR=0.599, SNIP=1.232, CiteScore= 5.0, IF = 2.6, **Q1**, [Scopus, Web of Science])
2. Zubko V. Analysis of prospective flight schemes to Venus accompanied by an asteroid flyby // Acta Astronautica. – 2023. – Т. 210. – С. 56-70. <https://doi.org/10.1016/j.actaastro.2023.05.009>  
(SJR=1.015, SNIP=1.591, CiteScore= 6.3, IF = 3.5, **Q1**, [Scopus, Web of Science])
3. Elvidge C.D., Zhizhin M., Sparks T., Ghosh T., Pon S., Bazilian M., Sutton P.C., Miller S.D. Global Satellite Monitoring of Exothermic Industrial Activity via Infrared Emissions. // Remote Sens. 2023, 15, 4760. <https://doi.org/10.3390/rs15194760> (IF = 13.85, **Q1**)

4. Kovaleva A.S. Melnikov's method for controlled stochastic oscillations of a rocking block with fractional derivative. // Probabilistic Engineering Mechanics, Volume 72, Article 103437, April 2023, <https://doi.org/10.1016/j.probengmech.2023.103437> (IF = 2.6, **Q1**)
5. Altaisky M., Hnatich M. Are there any Landau poles in wavelet-based quantum field theory? // Physical Review D, 108, 085023 (2023), doi: 10.1103/PhysRevD.108.085023 (IF=5, **Q1**)
6. Raghunathan M., George N.B., Unni V.R., Kurths J., Surovyatkina E., Sujith R.I. Inhibiting the onset of thermoacoustic instability through targeted control of critical regions // International Journal of Spray and Combustion Dynamics. – 2023. – Vol. 15(1). – pp. 3-15. doi:10.1177/17568277221149507 (IF =1,6, **Q2**)
7. Elvidge C.D., Hsu F.-C., Zhizhin M., Fhosh T., Sparks T. Statistical moments of VIIRS night-time lights. // Int. J. Remote Sens. – 2023, 1–25. <https://doi.org/10.1080/01431161.2022.2161857> (IF = 3.531, **Q2**)
8. Nina A., Milovanović B., Malinović-Miličević S., Pulinets S. Editorial: Atmospheric disturbances: responses to phenomena from lithosphere to outer space // Front. Environ. Sci. 11:1199573, 2023, doi: 10.3389/fenvs.2023.1199573 (IF=3,498, **Q2**)
9. Hegai V., Zeren Z., Pulinets S. Seismogenic Field in the Ionosphere before Two Powerful Earthquakes: Possible Magnitude and Observed Ionospheric Effects (Case Study) // Atmosphere 2023, 14, 819. <https://doi.org/10.3390/atmos14050819> (IF=3,110, **Q2**)
10. Yutsis V., Kotsarenko A., Grimalsky V., Pulinets S. On the Radon-Related Mechanism of the Seismo- and Volcanogenic Geomagnetic Anomalies: Experiments in Tlamacas Mountain (Volcano Popocatepetl Area) and Electrode Effect Model // Atmosphere 2023, 14, 705. <https://doi.org/10.3390/atmos14040705> (IF=3,110, **Q2**)
11. Pulinets S., Budnikov P., Karelin A., Žalohar J. Thermodynamic instability of the atmospheric boundary layer stimulated by tectonic and seismic activity. // Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics, 2023, 246, 106050 <https://doi.org/10.1016/j.jastp.2023.106050> (IF=1,9, **Q2**)
12. Eismont N. A., Pupkov M. V., Fedyaev K.S., Zubko V.A., Belyaev A.A., Simbiriyov N.A., Nazirov R.R.. Possibilities for Using a Spacecraft in an Orbit Around the Collinear Sun-Earth Libration Point to Study Near-Earth Asteroids (AAS 20-334) // Proceedings of the IAA/AAS SciTech Forum 2020 on Space Flight Mechanics and Space Structures and Materials, 8-10 June 2020, RUDN University, Moscow, Russia, Advances in astronautical sciences (Vol. 178), ISBN: 978-0-87703-686-9, ISSN: 0065-3438, pp. 385-390, 2023, <https://www.univelt.com/linkedfiles/v178%20Contents.pdf> (SJR=0.143, SNIP=0.132, **Q4**, [Scopus])

13. Zubko V., Sukhanov A., Fedyaev K., Koryanov V., Belyaev A. Using gravity assists for flight design to trans-Neptunian object (90377) Sedna (AAS 20-323) // Proceedings of the IAA/AAS SciTech Forum 2020 on Space Flight Mechanics and Space Structures and Materials, 8-10 June 2020, RUDN University, Moscow, Russia, Advances in astronomical sciences (Vol. 178), ISBN/ISSN: 978-0-87703-686-9, pp. 275-282, 2023, <https://www.univelt.com/linkedfiles/v178%20Contents.pdf> (SJR=0.143, SNIP=0.132, **Q4**, [Scopus])
14. Sukhanov A. On a Multiple Asteroid Flyby Mission (AAS 20-335) // Proceedings of the IAA/AAS SciTech Forum 2020 on Space Flight Mechanics and Space Structures and Materials, 8-10 June 2020, RUDN University, Moscow, Russia, Advances in astronomical sciences (Vol. 178), ISBN/ISSN: 978-0-87703-686-9, pp. 391-403, 2023, <https://www.univelt.com/linkedfiles/v178%20Contents.pdf> (SJR=0.143, SNIP=0.132, **Q4**, [Scopus])
15. Nazirov R., Eismont N., Zubko V., Belyaev A., Zasova L., Gorinov D., Simonov A. Using Gravity Assist for Landing on the Venus (AAS 20-305) // Proceedings of the IAA/AAS SciTech Forum 2020 on Space Flight Mechanics and Space Structures and Materials, 8-10 June 2020, RUDN University, Moscow, Russia, Advances in astronomical sciences (Vol. 178), ISBN/ISSN: 978-0-87703-686-9, pp. 47-54, 2023, <https://www.univelt.com/linkedfiles/v178%20Contents.pdf> (SJR=0.143, SNIP=0.132, **Q4**, [Scopus])
16. Pulinets S.A. Physical bases of the short-term earthquake forecast // *Astronomical and Astrophysical Transactions (AApTr)*, 2023, Vol. 34, Issue 1, pp. 65-84.
17. Petrukovich A., Zelenyi L., Mitrofanov I., Korablev O., Tretyakov V., Zarubin D., Gorinov D. Cooperation Perspectives in Space Science: Moon, Venus and Beyond // *Aerospace China*, ISSN 1671-0940, vol. 24 № 1, p. 15-19.