

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

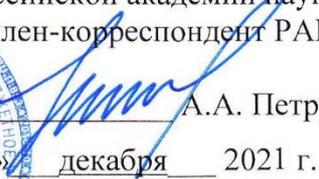
УДК 531.01 004.09 004.04

Номер государственной регистрации АААА-А18-118022790133-1

УТВЕРЖДАЮ

Директор

Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Института космических исследований
Российской академии наук
член-корреспондент РАН

 А.А. Петрукович

« 24 » декабря 2021 г.



ОТЧЕТ

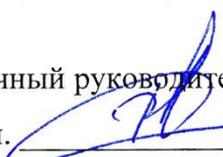
О НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ РАБОТЕ

Исследования в области динамики сложных механических систем, проектирования орбит и построения математических моделей планирования космических экспериментов (промежуточный, этап 1)

Тема УПРАВЛЕНИЕ

0024-2021-0006

Научный руководитель

д.т.н.  Р.Р. Назиров

« 24 » декабря 2021 г.

Москва
2021

СПИСОК ИСПОЛНИТЕЛЕЙ

Руководитель темы
зав. отделом, д-р техн. наук



20.12.21 г.

Назиров Р.Р.
(введение, заключение)

подпись, дата

Ответственный исполнитель,
вед. научн. сотр.,
д-р физ.-мат. наук



20.12.21 г.

Ковалёва А.С.
(раздел 1)

подпись, дата

Ответственный исполнитель,
главный специалист

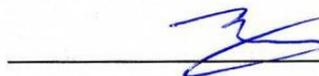


20.12.21 г.

Боярский М.Н.
(раздел 2)

подпись, дата

Ответственный исполнитель,
ст. научн. сотр.,
канд. техн. наук



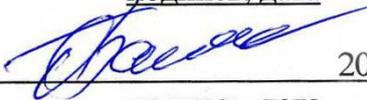
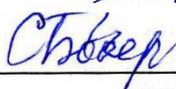
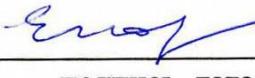
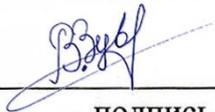
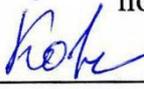
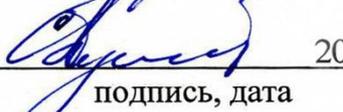
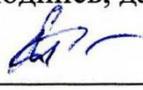
20.12.21 г.

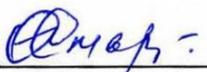
Коноплёв В.В.
(раздел 3)

подпись, дата



ИСПОЛНИТЕЛИ:

Вед. научн. сотр., д-р физ.-мат. наук	 _____	20.12.21 г.	Алтайский М.В. (раздел 2)
	подпись, дата		
Главный специалист	 _____	20.12.21 г.	Андреев А.В. (раздел 2)
	подпись, дата		
Вед. математик, канд. техн. наук	 _____	20.12.21 г.	Аксенов С.А. (раздел 1)
	подпись, дата		
Рук. сектора	 _____	20.12.21 г.	Батанов О.В. (раздел 2)
	подпись, дата		
Мл. научн. сотр.	 _____	20.12.21 г.	Беляев А.А. (раздел 1)
	подпись, дата		
Программист	 _____	20.12.21 г.	Бобер С.А. (раздел 1)
	подпись, дата		
Главный специалист	 _____	20.12.21 г.	Боярский М.Н. (раздел 2)
	подпись, дата		
Ст. научн. сотр., канд. техн. наук	 _____	20.12.21 г.	Егоров В.В. (раздел 2)
	подпись, дата		
Мл. научн. сотр.	 _____	20.12.21 г.	Зубко В.А. (раздел 1)
	подпись, дата		
Вед. научн. сотр., д-р физ.-мат. наук	 _____	20.12.21 г.	Ковалёва А.С. (раздел 1)
	подпись, дата		
Ст. научн. сотр., канд. техн. наук	 _____	20.12.21 г.	Коноплев В.В. (раздел 2,3)
	подпись, дата		
Нач. отдела	 _____	20.12.21 г.	Назаров В.Н. (раздел 2)
	подпись, дата		
Глав. научн. сотр., д-р физ.-мат. наук	 _____	20.12.21 г.	Пулинец С.А. (раздел 1)
	подпись, дата		
Программист	 _____	20.12.21 г.	Полякова Т.В. (раздел 1)
	подпись, дата		
Вед. математик	 _____	20.12.21 г.	Рязанова Е.Е. (раздел 1)
	подпись, дата		
Мл. научн. сотр.	 _____	20.12.21 г.	Стальная М.В. (раздел 2)
	подпись, дата		

Главный специалист	 _____ 20.12.21 г. подпись, дата	Старостина О.А. (раздел 2,3)
Вед. математик, канд. физ.-мат. наук	 _____ 20.12.21 г. подпись, дата	Федяев К.С. (раздел 1)
Зам. зав. отделом	 _____ 20.12.21 г. подпись, дата	Шевченко М.И. (раздел 2)
Вед. научн. сотр., канд. техн. наук	 _____ 20.12.21 г. подпись, дата	Эйсмонт Н.А. (раздел 1)
Нормоконтроль	 _____ 20.12.21 г. подпись, дата	Шевченко М.И.

РЕФЕРАТ

Отчет 49с., 11 рисунков, 79 источников.

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	8
1	Раздел 1. Математические модели планирования космических экспериментов	10
1.1	Разработка аналитических и численных методов решения задач управления сложными механическими системами переменной структуры с целью создания требуемых режимов движения	10
1.2	Работы по навигационному обеспечению проектов Спектр-Рентген-Гамма, Венера-Д, Экзомарс и других	10
1.3	Баллистическое проектирование межпланетных перелетов в рамках перспективных проектов по исследованию малых тел Солнечной системы	12
1.4	Определение ориентации научного прибора эксперимента «Плазма-Ф» в солнечно-эклиптической системе и расчет направления солнечного ветра	16
1.5	Продолжение выполнения расчетов, связанных с дискретным представлением непрерывных объектов сложных пространственных форм, методом конечных элементов	16
1.6	Исследования катастроф и критических явлений в распределенных динамических системах. Ранний прогноз индийских муссонов: климатические сети и критические элементы	17
1.7	Разработка методов автоматического поиска областей подготовки катастрофических землетрясений с использованием космических технологий	19
2	Раздел 2. Интеллект. Телекоммуникационные технологии	23
2.1	Информационная поддержка научно-организационной деятельности ИКИ в сети Интернет	23
2.2	Исследование и опытное внедрение концепции программно-определяемых сетей на основе открытых стандартов (openflow и д.р.). Оценка экономической эффективности и технологических ограничений данной технологии. Выработка рекомендаций по их использованию	23
2.3	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	24
2.4	Разработка концептуальных подходов построения информационных систем наземного сопровождению космических экспериментов	25
2.5	Разработка алгоритма детектирования рыболовных судов в ночное время во всей акватории мирового океана по данным с панхроматического диапазона DNB мультиспектрального радиометра VIIRS, установленного на американском метеорологическом спутнике Suomi NPP. Алгоритм должен быть устойчив к помехам от лунной засветки облаков, полярного сияния, космических лучей, газовых факелов и электрических огней на морских нефтяных платформах и бликов в телескопе спутника.	27
2.6	Разработка алгоритма оценки объемов сжигания попутного газа в 2012-2019 гг. по инфракрасным спектрам от газовых факелов на ночных снимках с мультиспектрального радиометра VIIRS, установленного на американском метеорологическом спутнике Suomi NPP	28

2.7	Разработка алгоритма детектирования вулканических извержений по инфракрасным спектрам от газовых факелов на ночных снимках с мультиспектрального радиометра VIIRS, установленного на американском метеорологическом спутнике Suomi NPP	29
2.8	Теоретические исследования, связанные с применением квантовых нейронных сетей для перспективных квантовых бортовых систем искусственного интеллекта	30
2.9	Теоретические исследования, связанные с применением непрерывного вейвлет-преобразования для определения зависимости турбулентной вязкости от масштаба измерения и времени жизни когерентных структур в атмосфере	30
2.10	Оценка и управление риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы. Исследование 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. Выполнение практических работ по оценке и управлению риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы от действующих и строящихся предприятий, а также от транспортных потоков в городах	31
2.11	Информационный цикл управления состоянием экологических объектов. Продолжение разработки теоретических и алгоритмических основ применения теории оптимального управления к информационному циклу управления состоянием экологических объектов с использованием аэрокосмических данных. Разработка программного комплекса «Геодиалог» как имитатора космических наблюдений и управления геосистемами по данным этих наблюдений. Интеграция оптимального управления и энергетического подхода к загрязнению окружающей среды	32
3	Раздел 3. Космос	34
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	34
	ЗАКЛЮЧЕНИЕ	35
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ	37
	Публикации по теме УПРАВЛЕНИЕ	48

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	Математические науки 1.1.3.5. Моделирование в задачах исследования космоса 1.1.3.6. Моделирование в задачах фундаментальной науки 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
2	Компьютерные и информационные науки 1.2.1.1. Теория информации, научные основы информационно-вычислительных систем и сетей, информатизации общества, квантовые методы обработки информации 1.2.1.3. Локационные системы, геоинформационные технологии и системы	1.2
3	Науки о Земле 1.5.9.1. Состав, структура и динамика атмосферы (включая ионосферу и магнитосферу); изучение атмосферных процессов и явлений, в том числе экстремальных 1.5.10.6. Оценка рисков опасных природных процессов и экстремальных природных явлений	1.5
4	Механика 2.3.1.1. Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем 2.3.1.2. Механика жидкости, газа и плазмы, многофазных и неидеальных сред, механика горения, детонации и взрыва	2.3.1

Фундаментальные и прикладные научные исследования в области механики, систем управления и информатики проводятся по теме 0024-2021-0006 УПРАВЛЕНИЕ.

Тема 0024-2021-0006 УПРАВЛЕНИЕ является частью государственного задания ЧАСТЬ 2: ГОСУДАРСТВЕННЫЕ РАБОТЫ.

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2021 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. № АААА-А18-118022790133-1

Раздел 1 Математические модели планирования космических экспериментов

1.1 Разработка аналитических и численных методов решения задач управления сложными механическими системами переменной структуры с целью создания требуемых режимов движения

Исследованы возможности возбуждения авторезонансных режимов на ограниченном интервале времени в цепи слабо связанных существенно нелинейных осцилляторов при действии гармонического возбуждения с медленно возрастающей частотой, приложенного к начальному осциллятору. Впервые показано, что слабая диссипация в квазирезонансной системе не препятствует возбуждению авторезонанса во всей цепи на конечном интервале времени, но рост диссипации приводит к последовательному срыву резонанса, начиная с осцилляторов, максимально удаленных от источника возбуждения. Разработаны асимптотические процедуры позволяют выделить простые авторезонансные решения и оценить длительность авторезонанса и величину критической диссипации, допускающей резонансное возбуждение. Полученные оценки хорошо согласуются с теоретическими предсказаниями для полностью авторезонансной или полностью нерезонансной цепи, но возбуждение на отдельных участках цепи должно исследоваться специальным образом. Отметим, что полученные результаты представляют интерес для практических приложений, в частности, для задач об управлении колебаниями макро-, микро- и нано-структур.

1.2 Работы по навигационному обеспечению проектов "Спектр-Рентген-Гамма", "Венера-Д", "Экзомарс" и других

Разработаны сценарии и соответствующие алгоритмы их выполнения для проекта «Венера-Д». Имеются в виду части работ, необходимых как для миссии в целом, так и для небесно-механической составляющей проекта. Наиболее существенными результатами, полученными в ходе выполненных исследований, можно считать методы построения траекторий полета, которые позволяют обеспечить посадку аппарата практически в любую точку поверхности Венеры. При этом затраты характеристической скорости (расход рабочего тела) остаются в пределах стандартного решения задачи. Кроме того,

разработанные технологии позволяют оставаться в области ограничений, необходимых для выбора оптимальных параметров орбит спутника Венеры, включённого в состав сценария миссии [1].

Подготовлены базовые составляющие математического обеспечения для проектирования экспериментов на орбите спутника Венеры, исходя из требований соответствующих измерений и иных ограничений со стороны технических систем спутника и характеристик научных приборов.

Проведены исследования и разработки по проблеме астероидной опасности. Была предложена концепция, опирающаяся на использование гравитационных манёвров у планет с целью изменения параметров движения астероидов относительно небольшой массы. В качестве основной идеи этой концепции была предложена последовательность операций по захвату астероида на орбиту, резонансную с орбитой Земли. Технологии решения этой задачи рассматривались в ранее проведенных исследованиях. В последних разработках было показано, что защита Земли может быть построена с использованием всего одного захваченного на такую орбиту астероида, если опасный астероид обнаружен достаточно рано. Проведенное моделирование показало, что описанная концепция имеет достаточно высокие шансы на реальные испытания на физическом уровне [2].

Иллюстрация предлагаемой концепции приводится на рисунке 1.2.1.

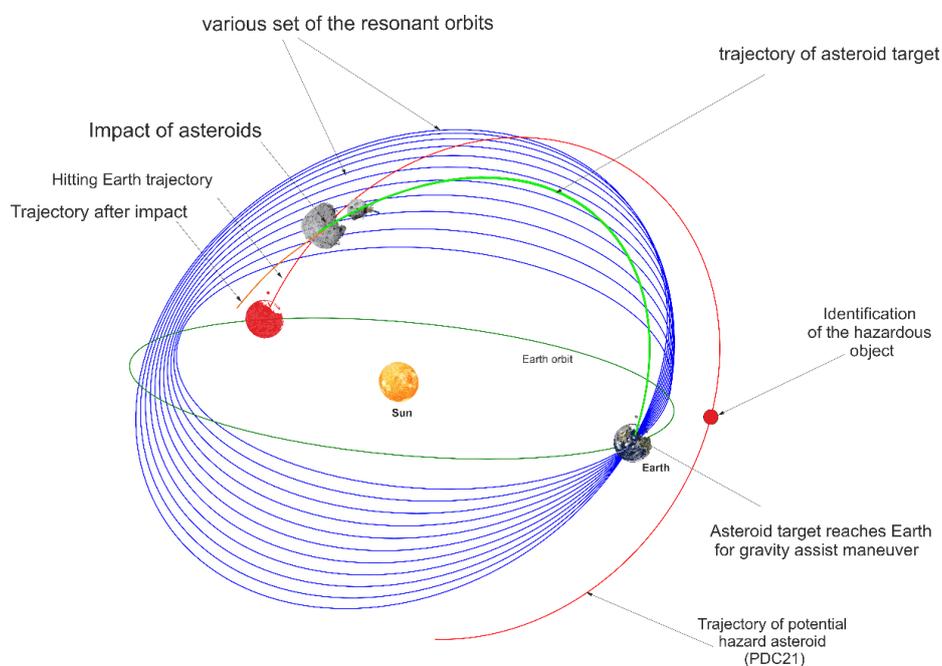


Рисунок 1.2.1- Концепция воздействия на потенциально опасный космический объект при помощи астероида, находящегося на орбите, резонансной с орбитой Земли

Выполнена работа по формированию и внесению изменений SPICE ядер для посадочной платформы (Surface Platform) проекта ExomarsRSP (Экзомарс-2020).

Создано ПО для построения карт видимости для нескольких КА в целях планирования. Построены карты на 2 года для аппаратов Exomars 2016, "Спектр-РГ", "Луна-Глоб" с учетом условий освещенности для КА "Луна-Глоб".

Создано кроссплатформенное ПО `spice_calc` для расчета угла места Солнца, дневных интервалов, интервалов видимости для заданных КА. ПО спроектировано с возможностью достаточно простого и быстрого расширения для выполнения других схожих задач. ПО внедрено в эксплуатацию.

Создано ПО для построения зон видимости КА "Ионозонд" с нескольких наземных пунктов. ПО выполняет следующие функции:

- построение карты с зонами видимости для наземных пунктов и траекторией КА;
- расчет интервалов видимости КА с наземных пунктов;
- расчет пересечений интервалов видимости для всех пар КА – наземный пункт;
- расчет поглощения интервалов видимости для всех пар КА – наземный пункт;
- расчет близкого расположения зон видимости для всех пар КА – наземный пункт;
- визуализацию описанных выше условий на карте.

ПО применено для расчета указанных выше условий для КА "Ионозонд" на 1-3 ноября 2021 года.

В части реализуемых в настоящее время в фазе непосредственной эксплуатации проектов следует указать исключительно успешный проект "Спектр-Рентген-Гамма". Управление его орбитальным движением и ориентацией выполняется с применением разработанного в ИКИ РАН метода, когда необходимые для планируемых операций по поддержанию заданной программы наблюдений операции практически не приводят к возмущению орбиты аппарата. Тем самым достигается заметная экономия рабочего тела.

1. *Eismont, N. A., Nazirov, R. R., Fedyaev, K. S., Zubko, V. A., Belyaev, A. A., Zasova, L. V., Gorinov D.A., & Simonov, A. V. (2021). Resonant Orbits in the Problem of Expanding the Reachable Landing Areas on the Surface of Venus. Astronomy Letters, 47(5), 316-330. (SJR=0.499, IF = 1.384, Q3, [Scopus, Web of Science])*

2. *David Dunham, Natan Eismont, Vladislav Zubko, Andrey Belyaev and Konstantin Fedyaev. OPTIMIZING A PLANETARY DEFENSE SHIELD USING ASTEROIDS IN RESONANCE ORBITS // 7th IAA Planetary Defense Conference 26-30 APRIL 2021. <https://atpi.eventsair.com/QuickEventWebsitePortal/7th-iaa-planetary-defense-conference-2021/website/Agenda/AgendaItemDetail?id=a60d6149-adf3-46ff-b4b1-923edb80c016>*

1.3 Баллистическое проектирование межпланетных перелетов в рамках перспективных проектов по исследованию малых тел Солнечной системы

В рамках развития перспективных направлений исследований космоса были продолжены исследования по баллистическому проектированию исследовательских миссий к малым телам Солнечной системы, в том числе к транснептуновым телам - в частности, к объекту (90377) Седна. Применение гравитационных маневров позволяет существенно расширить технические возможности исследований дальних областей космоса, достичь небесных тел, к которым прямой перелет осуществить не удастся. Ранее в ряде работ зарубежных авторов рассматривался вопрос о возможности перелета к Седне и ее изучения космическим аппаратом с близкого расстояния. Однако для реализации даже наилучшего с точки зрения затрат топлива сценария перелета, полученного в этих работах, требовался суммарный запас характеристической скорости 7,42 км/с при продолжительности перелета 25 лет. В связи с этим возникает задача поиска оптимальных траекторий перелета к Седне, обеспечивающих достижение Седны за как можно меньшее время, с другой стороны, удовлетворяя ограничениям по суммарной характеристической скорости. Полученные результаты исследования [1-3] показывают, что существуют схемы перелета к Седне с затратами характеристической скорости не более 5 км/с при том же времени перелета. Такой результат на ~40% лучше полученного ранее в исследованиях зарубежных специалистов.

В качестве еще одной из возможных миссий к транснептуновым объектам рассматривался перелет к астероиду 2012 VP113, относящемуся к классу седноидов. Объект представляет интерес из-за возможной принадлежности к рассеянному диску, либо к внутренней части Облака Оорта, а также в рамках гипотезы о существовании в Солнечной системе девятой планеты. Исследовался перелет с помощью гравитационных маневров у Земли, Венеры, Юпитера и Нептуна при запуске миссии в 2026 году, рассмотрено несколько возможных сценариев [4].

Продолжением исследований по проектированию межпланетных миссий явились расчеты возможных схем перелета к спутнику Юпитера Ганимеду. Для старта в 2026-2037 гг. рассматривались схемы прямого перелёта и перелёта с использованием гравитационных манёвров у Венеры и Земли. В сфере действия Юпитера для достижения Ганимеда рассматривались схемы трёхимпульсного и четырёхимпульсного перелёта. Оценивались затраты характеристической скорости и длительность полета для этих случаев. Показано, что за счёт использования перелёта с гравитационными манёврами по схеме Земля–Венера–Земля–Земля–Юпитер можно существенно сократить затраты

характеристической скорости, но при этом возрастает длительность полета. Также было показано, что при перелёте к Ганимеду возможны дополнительные пролёты некоторых астероидов за счет небольших дополнительных затрат характеристической скорости, что существенно увеличивает научную значимость данной миссии [5].

Также в рамках данного направления выполнено баллистическое проектирование миссии по изучению астероидов главного пояса. Показана техническая реализуемость малобюджетной миссии, позволяющей совершить облет сразу нескольких небесных тел для уточнения их физических характеристик и орбитальных параметров при проведении измерений с пролетной траектории. Для достижения главного пояса астероидов предлагается использовать полет по схеме Земля-Венера-Земля с использованием маневра VEGA (= Venus + Earth Gravity Assist). Предлагаемая схема последующего полета предусматривает многократные гравитационные маневры у Земли; такая схема предоставляет большой выбор астероидов для исследования с близкого расстояния между каждой парой гравитационных маневров у Земли. Получены результаты предварительного анализа траекторий полета к нескольким астероидам при старте миссии в 2029 г. и при низких дополнительных затратах характеристической скорости на сближение с астероидами [6].

Для исследования околоземных астероидов и, возможно, других объектов Солнечной системы была предложена концепция использования уже имеющихся на орбите космических аппаратов после окончания их основного срока эксплуатации. Показано, что при условии наличия в топливных баках аппарата некоторого запаса топлива для проведения корректирующих маневров возможен перевод аппарата на траекторию сближения с исследуемым объектом. В качестве примера обсуждалась возможность использования КА "Спектр-РГ", находящегося на орбите в окрестности солнечно-земной точки либрации L2, для исследования околоземных астероидов в период после предполагаемого окончания миссии в 2026 году. Как показывают расчеты, существует возможность направить аппарат на траекторию сближения с астероидом Апофис в районе его перигея в 2029 году или с некоторыми другими околоземными объектами, причем суммарная величина необходимых для этого импульсов не превосходит расчетного значения 200 м/с, определяемого ожидаемым остаточным запасом рабочего тела [7]. На приведенном ниже рисунке 1.3.1 показан результат моделирования возможного сближения.

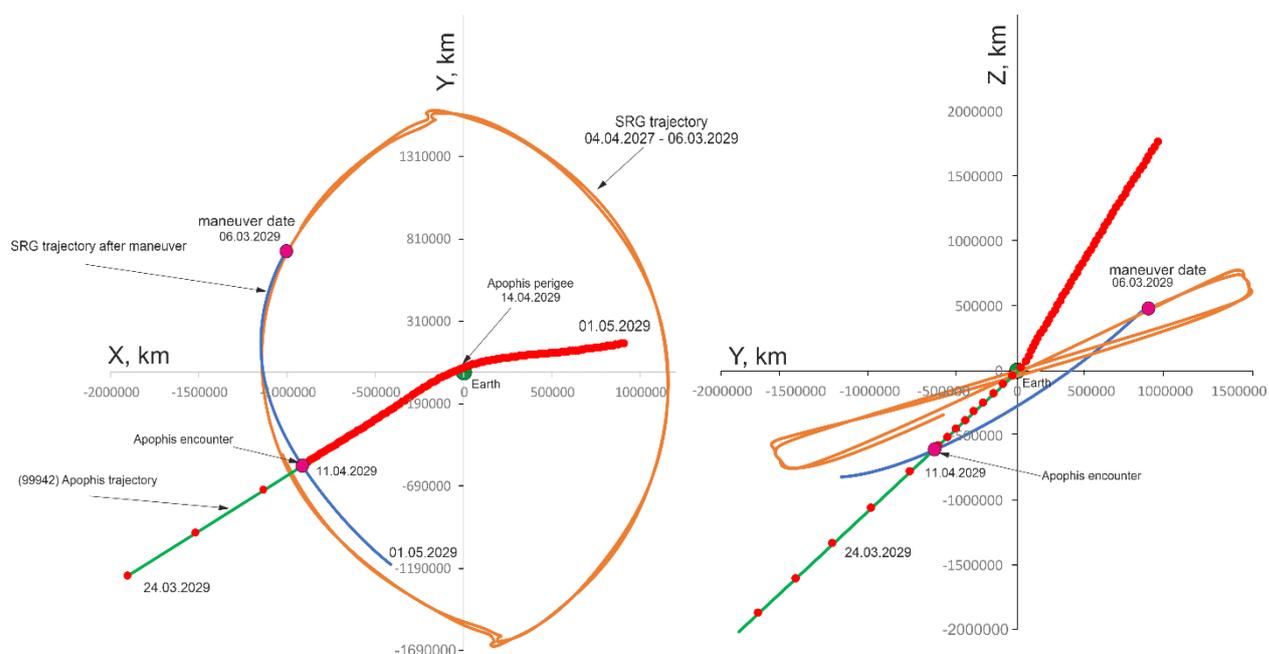


Рисунок 1.3.1 - Моделирование сближения КА "Спектр-PI" с астероидом Апофис.

Результаты проведенных исследований были опубликованы в ведущих мировых научных журналах, представлены на 12 международных конференциях, в том числе было сделано два доклада в рамках 72-го Международного астронавтического конгресса (72-nd IAC-2021).

1. В. А. Зубко, А. А. Суханов, К. С. Федяев [и др.] Анализ оптимальных траекторий перелета к транснептуновому объекту (90377) Седна // Письма в Астрономический журнал. – 2021. – Т. 47. – № 3. – С. 220-228. – DOI 10.31857/S0320010821030104.
2. Zubko, V. A., Sukhanov, A. A., Fedyaev, K. S., Koryanov, V. V., & Belyaev, A. A. (2021). Analysis of Optimal Flight Trajectories to the Trans-Neptunian Object (90377) Sedna. *Astronomy Letters*, 47(3), 188-195. <https://doi.org/10.1134/S1063773721030087> (SJR=0.499, IF = 1.384, Q3, [Scopus, Web of Science]) (Переводная версия)
3. Zubko, V. A., Sukhanov, A. A., Fedyaev, K. S., Koryanov, V. V., & Belyaev, A. A. (2021). Analysis of mission opportunities to Sedna in 2029–2034. *Advances in Space Research*, 68(7), 2752-2775. DOI: 10.1016/j.asr.2021.05.035 (SJR = 0.657, IF = 2.152, Q1, [Scopus, Web of Science])
4. Zubko, V.A and Belyaev, A.A. (2021). Possible space mission to the trans-Neptunian object 2012 VP₁₁₃. *JBIS-Journal of British Interplanetary Society*, 74(10), 358-366. (SJR=0.408, Q3, [Scopus])
5. A.A. Belyaev, N.A. Eismont, A.A. Sukhanov, K.S. Fedyaev, V.A. Zubko. Accessible landing areas on the surface of Ganymede: defining and assessing the opportunity to reach them, *GLEX*

2021 Conference Proceedings, IAF Global Space Exploration Conference 2021, St. Petersburg, Russian Federation. <https://dl.iafastro.directory/event/GLEX-2021/paper/62299/>

6. А. А. Суханов. О малобюджетной миссии для исследования нескольких астероидов с пролетной траектории // *Фундаментальные и прикладные задачи механики. Материалы конференции. Часть 1, Москва, 2–4 декабря 2020 г.* – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – С. 240-241. Doi: 10.18698/2308-6033-2021-3-2067

7. Maxim V. Pupkov, Natan A. Eismont, Konstantin S. Fedyaev, Vladislav A. Zubko, Andrey A. Belyaev, Nikita A. Simbiryov, Ravil R. Nazirov. *An approach to study Near-Earth Asteroids by an operating spacecraft after the completion of its main mission, GLEX 2021 Conference Proceedings, IAF Global Space Exploration Conference 2021, St. Petersburg, Russian Federation.* <https://dl.iafastro.directory/event/GLEX-2021/paper/62206/>

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

В ходе астрофизического эксперимента «Плазма-Ф» (на борту КА СПЕКТР-Р) проводилась обработка и архивация экспериментальных данных по определению ориентации научного прибора БМСВ в солнечно-эклиптической системе координат GSE.

Результаты, представленные в виде матриц перехода из систем КА и БМСВ в систему GSE, размещены на сервере plasma-f.cosmos.ru. Они используются для определения направления солнечного ветра и характеристик потока протонов в магнитослое Земли (MSH) в системе GSE.

Полностью выполнены работы по определению ориентации БМСВ на интервалах, когда КА находился в зоне действия солнечного ветра (SW). Продолжалась работа по определению ориентации в областях магнитослоя, которые представляют особый интерес для физического анализа.

Совместно с сотрудниками лаборатории 821 проводились работы по исследованию поведения потока частиц в областях MSH. Были определены характеристики потока. Эти данные также размещены на сервере plasma-f.cosmos.ru. Продолжалась работа по физической интерпретации и поиску закономерностей поведения потока в магнитослое.

1.5 Продолжение выполнения расчетов, связанных с дискретным представлением непрерывных объектов сложных пространственных форм, методом конечных элементов

Были продолжены работы над задачей конечно-элементного моделирования полей напряжений и деформаций для оборудования космического аппарата. Проработан базовый

инструментарий подготовки конечно-элементной модели на языке PCL (Patran, Nastran) и APDL (ANSYS Mechanical) и автоматизации моделирования сложной пространственной геометрии при помощи Python (для ANSYS).

Разработан математический аппарат для геометрического моделирования объектов сложной пространственной формы, восстанавливаемых NURBS-поверхностями по фасетной сетке замкнутой однородной оболочки, где границы тел задаются неявно заданными функциями. Написана программа подготовки геометрии параметрической модели на Python ANSYS Workbench для сборочной единицы из трех тел.

Был проведен расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) и оценка прогиба платформы для WIM-системы. Пример подготовлен на командном языке Patran PCL и APDL (ANSYS Mechanical).

Проведено исследование геометрии модели при обработке изображений для неоднородных, не односвязных областей, восстанавливаемых по томографическому снимку, и оценка отклонений фасетной геометрии после оптимизации сеток по моделям, а также относительно отсканированных оттисков.

1.6 Исследования катастроф и критических явлений в распределенных динамических системах. Ранний прогноз индийских муссонов: климатические сети и критические элементы

Краткосрочное прогнозирование климата - одна из главных задач Всемирной программы исследования климата. В настоящее время прогнозирование погоды и климата основывается преимущественно на численных моделях, которые существенно зависят от начальных условий (для прогнозов погоды) и граничных условий (для сезонных и долгосрочных прогнозов) способны производить очень хорошие прогнозы. Однако, предсказуемость определенных климатических явлений за пределами шкалы времени погоды (5 дней) может быть довольно ограниченной в силу зависимости от точности начальных и граничных условий, необходимости упрощения, присущей подходу численного моделирования. Поэтому методы численного моделирования погоды достигли жестких пределов для дальнейшего улучшения. Ограничения предсказуемости оперативных прогнозов частично связаны с основной целью численных моделей - точного отражения локальной природы прямых взаимодействий в физическом мире. Однако, модели не являются идеальной имитацией природы. В частности, удаленные связи (the teleconnections), присутствующие в данных наблюдений, отсутствуют в числовых моделях.

Выявление удаленных связей может предоставить возможности для прогнозирования климатических явлений. Идея состоит в том, чтобы получить

дополнительную информацию о климатической системе, фиксируя взаимосвязь различных регионов путем измерения сходства в эволюции их физических величин (корреляция Пирсона, синхронизация событий, энтропия передачи, причинно-следственная связь). Обнаруженные взаимосвязи могут позволить разработать новые методы прогнозирования.

В работе [1] сообщаются результаты новой методологии прогнозирования летнего индийского муссона, включающей в себя анализ климатических сетей. Сочетание сетевого анализа и нелинейной динамики в методологии критических элементов [2] позволило раскрыть критическую природу пространственно-временного перехода к муссону. Основываясь на этих знаниях, была разработана схема для прогнозирования предстоящих дат наступления и прекращения муссонов в центральной части Индии на 40 и 70 дней, соответственно, тем самым значительно улучшая временной горизонт обычных прогнозов [2]. Новая схема доказала свою эффективность (73%/ 84% начала/завершения муссона) как ретроспективно (на 1951–2015 годы), так и успехом в прогнозировании будущих муссонов уже 6 лет подряд с момента его введения в 2016 г [1].

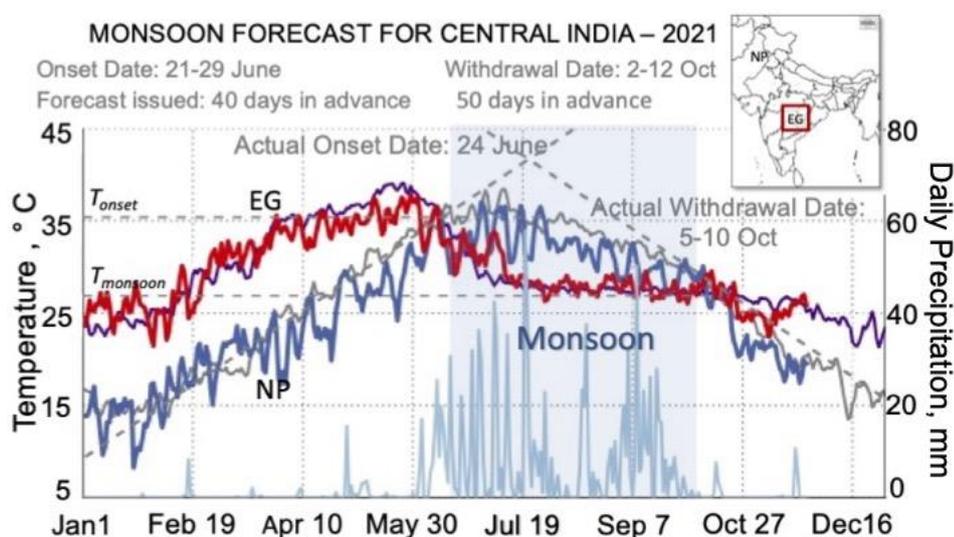


Рисунок 1.6.1 - Прогнозы и результаты муссона 2021 года. Данные суточной температуры (1000 НРа) для точки (20N, 80E) в Восточных Гатах (EG) и для точки (32.5N, 72.5E) в Северном Пакистане (NP) показаны красным и синим, их средние значения за 5 лет — фиолетовым и серым. Пунктиром показаны тренды средних за 5 лет. Продолжительность муссона (область голубого цвета) ограничена пересечением температурных кривых. Суточное количество осадков (по оси справа) подтверждает результаты прогнозов.

Расширение зоны прогноза для регионов Дели и штата Телангана показало 100% результаты в 2021 г. Тестирование методологии доказало ее надежность в условиях изменения климата даже в экстремальных условиях 2016, 2019 и 2021 гг. Подход признан

перспективным для прогнозирования муссонов по всему миру [1], например, в Азии, Африке, а также в Северной и Южной Америке.

[1] Josef Ludescher, Maria Martin, Niklas Boers, Armin Bunde, Catrin Ciemer, Jingfang Fan, Shlomo Havlin, Marlene Kretschmer, Jürgen Kurths, Jakob Runge, Veronika Stolbova, Elena Surovyatkina, and Hans Joachim Schellnhuber. *Network-based forecasting of climate phenomena*. PNAS November 23, 2021 118 (47) e1922872118;

<https://doi.org/10.1073/pnas.1922872118>

[2] Stolbova, V., E. Surovyatkina, B. Bookhagen, and J. Kurths. *Tipping elements of the Indian monsoon: Prediction of onset and withdrawal*. *Geophys. Res. Lett.*, 43, 1–9, 2016,

<https://doi.org/10.1002/2016GL068392>

1.7 Разработка методов автоматического поиска областей подготовки катастрофических землетрясений с использованием космических технологий

В течение последних нескольких лет (примерно с 2018 г.) велась активная работа по идентификации краткосрочных предвестников землетрясений с целью автоматизации процесса. В основу было положено понятие «маски ионосферного предвестника», представляющей собой ночную положительную аномалию, развивающуюся над областью подготовки землетрясения после захода Солнца, длящуюся всю ночь до восхода.

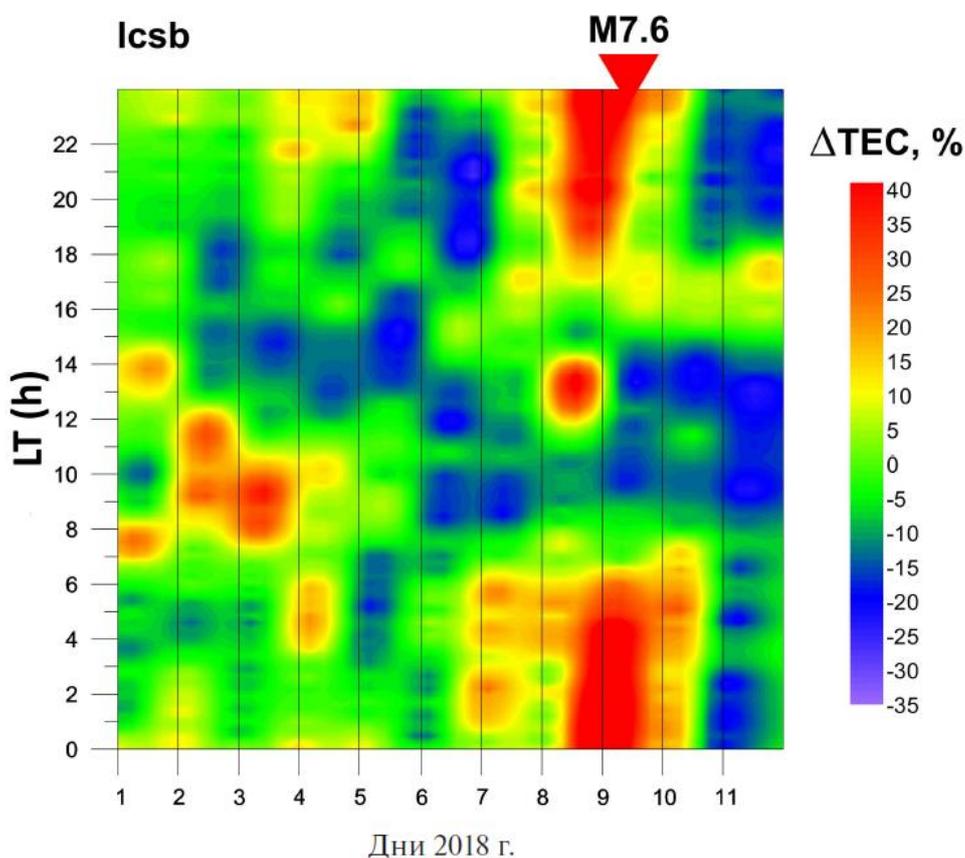


Рисунок 1.7.1 - Пример маски ионосферного предвестник землетрясений

Пулинец С.А., Давиденко Д.В., Положительная ночная аномалия электронной концентрации в ионосфере как краткосрочный предвестник землетрясений и возможный физический механизм ее формирования, Геомагнетизм и Аэрномия, том 58, № 4, с. 579–591, 2018, DOI: 10.1134/S0016794018040120

В данной статье описан физический механизм формирования подобных аномалий перед землетрясением.

Для регионов Италии и Греции был проведен статистический анализ с целью выявления масок для всех землетрясений с магнитудой ≥ 6 для данных GPS и более 5.5 для данных наземного ионосферного зондирования. Была показана устойчивость наблюдаемого явления, что позволило назвать его детерминированной изменчивостью ионосферы.

Давиденко Д.В., Пулинец С.А., Детерминированная изменчивость ионосферы в преддверии сильных ($M \geq 6$) землетрясений в регионах Греции и Италии по данным многолетних измерений, Геомагнетизм и аэрномия, 59(4), 529-544, 2019, DOI: 10.1134/S0016794019040084

Однако, при обработке данных была обнаружена необходимость их очистки от эффектов геомагнитных возмущений и вариаций солнечного радиоизлучения F10.7. Кроме того, необходимо было создать математическое обеспечения для оперативной массовой обработки данных большого количества приемников сетей ГНСС.

Подготовительная работа велась в течение всего 2020 г., а в течение 2021 г. Были апробированы разработанные подходы и представлена концепция автоматизации обработки ионосферной информации для идентификации ионосферных предвестников землетрясений.

Пулинец С.А., Давиденко Д.В., Будников П.А., Метод когнитивной идентификации ионосферных предвестников землетрясений, Геомагнетизм и аэрномия, 61, №1, 103-114, 2021, DOI: 10.31857/S0016794021010132

Блок-схема разработанного технологического процесса идентификации представлена на *Рисунке 1.7.2*

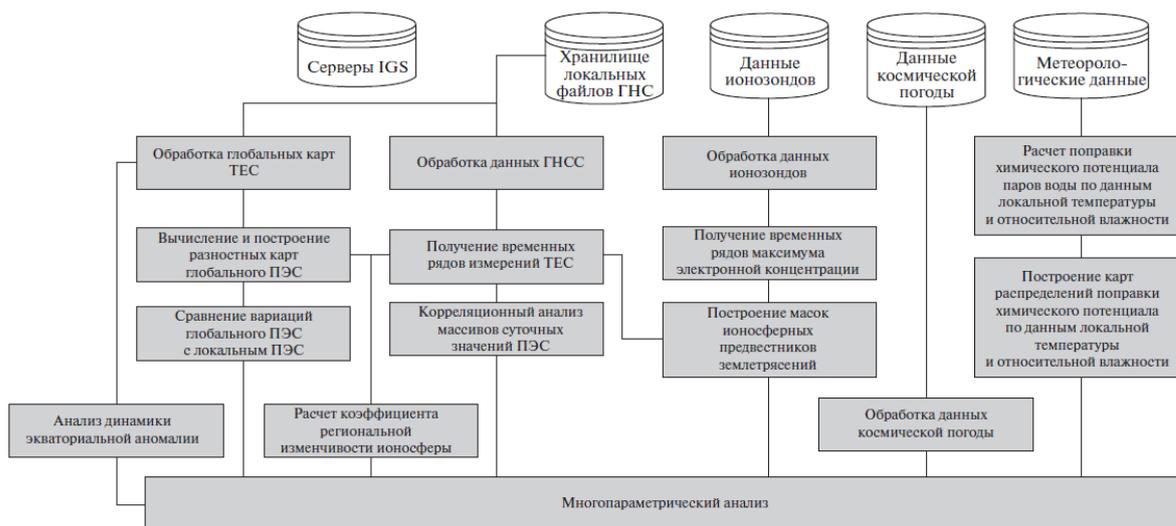


Рисунок 1.7.2 - Схема машинной обработки данных ионосферного мониторинга в целях автоматической идентификации предвестников землетрясений.

Технология была апробирована на ряде сильных землетрясений как исторических, так и в режиме реального времени. В частности, была продемонстрирована стабильность расчетов на примере двух землетрясений с магнитудой 7.1 в Калифорнии с промежутком в 20 лет.

Pulinets S, Tsidilina M, Ouzounov D, Davidenko D. From Hector Mine M7.1 to Ridgecrest M7.1 Earthquake. A Look from a 20-Year Perspective. Atmosphere. 2021; 12(2):262. <https://doi.org/10.3390/atmos12020262>

На Рисунке 1.7.3 показаны маски ионосферных предвестников по данным GPS TEC и измерений наземного ионозонда.

Результаты работы докладывались на нескольких международных конференциях и получили одобрителные отзывы.

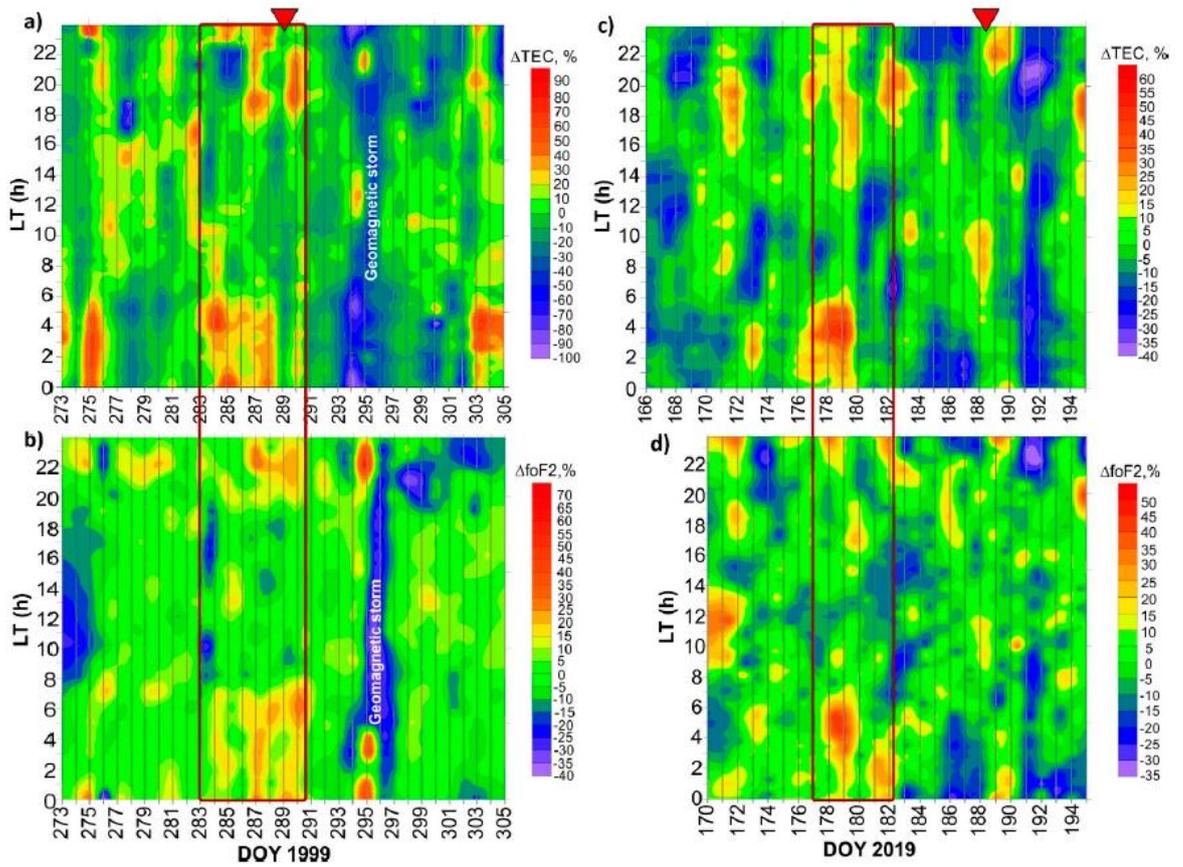


Рисунок 1.7.3 - Левая панель – данные идентификации ионосферных предвестников землетрясения M7.1 Hector Mine 1999 г, правая панель - данные идентификации ионосферных предвестников землетрясения M7.1 Ridgecrest 2019 г.

Раздел 2 Интеллект. Телекоммуникационные технологии

2.1 Информационная поддержка научно-организационной деятельности ИКИ 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.

Введён в эксплуатацию новый официальный веб-сайт института, выполненный на базе системы управления содержимым нового поколения (Dupal 9). Проводились дальнейшее развитие и оперативное обновление информации на веб-сайте института, а также были разработаны следующие новые сайты:

- Первая международная конференция по космическому образованию «Дорога в космос».
- Двенадцатый московский международный симпозиум по исследованиям Солнечной системы (12M-S3).
- Семнадцатая ежегодная конференция "Физика плазмы в солнечной системе".
- XVIII Конференция молодых ученых "Фундаментальные и прикладные космические исследования".

2.2 Исследование и опытное внедрение концепции программно-определяемых сетей на основе открытых стандартов (openflow и д.р.). Оценка экономической эффективности и технологических ограничений данной технологии. Выработка рекомендаций по их использованию

В текущем году была произведена модернизация структурированной кабельной системы (СКС) Института. При модернизации была использована комбинированная схема, использующая распределенную и централизованную архитектуру СКС. Это дало возможность быстро создавать выделенные изолированные проводные сегменты под общие задачи Института, а также отдельные научные проекты.

В настоящее время кабельная система СКС Института включает:

- магистральную кабельную подсистему, объединяющую поэтажные распределительные пункты основного здания Института и кабельные подсистемы внешних корпусов Института с главным распределительным пунктом основного здания;

- магистральную вертикальную подсистему, которая объединяет межэтажные вертикальные соединения в трех основных шахтах основного здания Института;
- горизонтальную подсистему – кабельная система для подключения сетевого оборудования и рабочих мест.

Магистральные подсистемы построены на одномодовых волоконно-оптических кабелях, горизонтальные – на комбинации одномодового оптического кабеля и кабелей витая пара категории 6 и 6а.

Проведенная модернизация СКС позволила перевести проводную инфраструктуру в стадию готовности для подключения всех ресурсоемких сегментов ЛВС на скорости 10Гбит/с.

В текущем периоде продолжались работы по расширению Wi-Fi сети на базе оборудования Ubiquity Networks (UBNT). Модернизация инфраструктуры СКС дает возможность использования нового оборудования Wi-Fi IEEE 802.11ax без деградации полосы пропускания на проводном сегменте. На данный момент беспроводной сегмент включает средства централизованного управления на базе многофункционального устройства Ubiquiti UniFi UDM-PRO и 40 точек беспроводного доступа в главном здании и удаленных корпусах Института.

2.3 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 2021 года были проведены работы по модернизации программно-аппаратного комплекса (ПАК) SCARP ИКИ РАН. Подсистема хранения была расширена новым модулем с общим объемом полезного пространства 350ТБ. Серверная часть параллельной распределенной файловой системы Lustre, работающей в составе комплекса, была обновлена до актуальной версии Lustre 12.6 LTS. Новая версия программного обеспечения позволяет получить предположительный прирост производительности до 50% по скорости доступа к данным. Проведенные работы также делают возможным обновление в 2022 году системного ПО вычислительных серверов комплекса SCARP, это позволит перейти на актуальные версии дистрибутивов семейства Linux в системе контейнерной виртуализации для запуска пользовательских задач. Проводятся оценки применимости

текущей архитектуры ПАК SCARP для построения совместного российско-китайского центра данных по лунным программам (JLDC).

В настоящее время общая дисковая емкость ПАК SCARP, включая удаленный узел ИКИ РАН во Франкфурте, составляет порядка 2ПБ. Для обоснования надежности хранения данных в ПАК SCARP в случае дальнейшего масштабирования были выполнены аналитические оценки вероятности потери данных в хранилище размером 10ПБ в течение 10 лет в зависимости от способа организации дисковой избыточности (Рис 1). При используемом в ПАК SCARP способе дисковой компоновки (RAIDZ3 11/3 - 11 дисков в группе, тройная четность) расчетная вероятность потери данных вследствие отказа дисков составила менее одного процента. Полученные результаты также указывают на то, что использованная дисковая компоновка по надежности соответствует тройному дисковому зеркалированию, часто применяемому в распределенных хранилищах на базе CEPH (синий и красный графики на *Рисунке 2.3.1*), но при этом более чем в два раза эффективнее по полезному дисковому пространству.

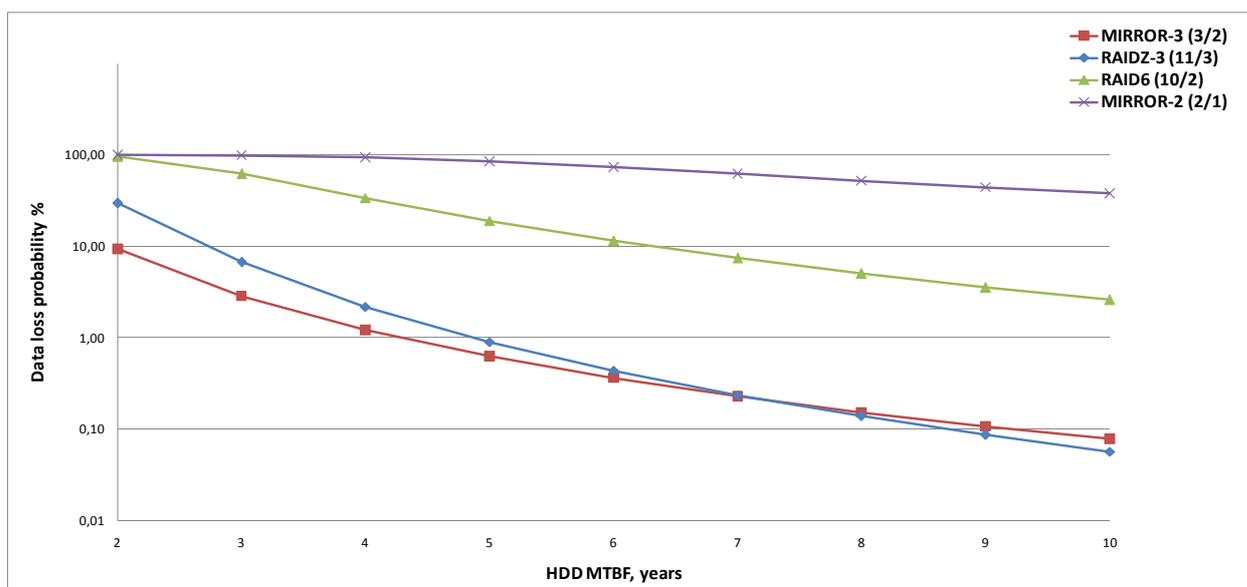


Рисунок 2.3.1 - Вероятность потери данных в хранилище (10ПБ, 10лет) в зависимости от среднего времени наработки диска на отказ. Синий график соответствует дисковой компоновке, используемой в ПАК SCARP.

2.4 Разработка концептуальных подходов построения информационных систем наземного сопровождению космических экспериментов

За отчетный период проводились апробирование и экспериментальная отработка ранее разработанных концептуальных подходов, имплементированных в наземные научные комплексы космических (ННК) проектов, находящихся на стадии реализации. Ход выполнения научной программы таких проектов как «ЭкзоМарс» (миссии 2016 года) и

«Спектр-РГ» показывает высокую эффективность использованных подходов, что нашло отражение в публикациях в отечественных и зарубежных научных изданиях.

В том числе, для организации приема научной информации «Спектр-РГ» был экспериментально апробирован концептуальный сервис-симметричный подход. Следует отметить, что для организации приема научной информации с космических аппаратов (КА) дальнего космоса в дополнение к задачам непосредственно приема информации наземными антенными системами необходимо выполнить целый ряд дополнительных процедур. К таким процедурам относятся подготовка и согласование планов и расписаний сеансов связи, настройка наземного оборудования, оперативный контроль хода выполнения сеансов приема научной информации и ряд других. Как правило, учитывая уникальность таких космических проектов, для их реализации создаются специализированные наземные комплексы. Как, например, Российский комплекс для приема научной информации (РКПНИ) проекта «ЭкзоМарс», созданный ИКИ. При этом, в рамках реализации проекта «Спектр-РГ» из-за баллистических ограничений периодически возникают временные зоны видимости КА с отечественных антенных наземных систем, что в свою очередь, создает проблемы получения всего объема результатов проводимых измерений.

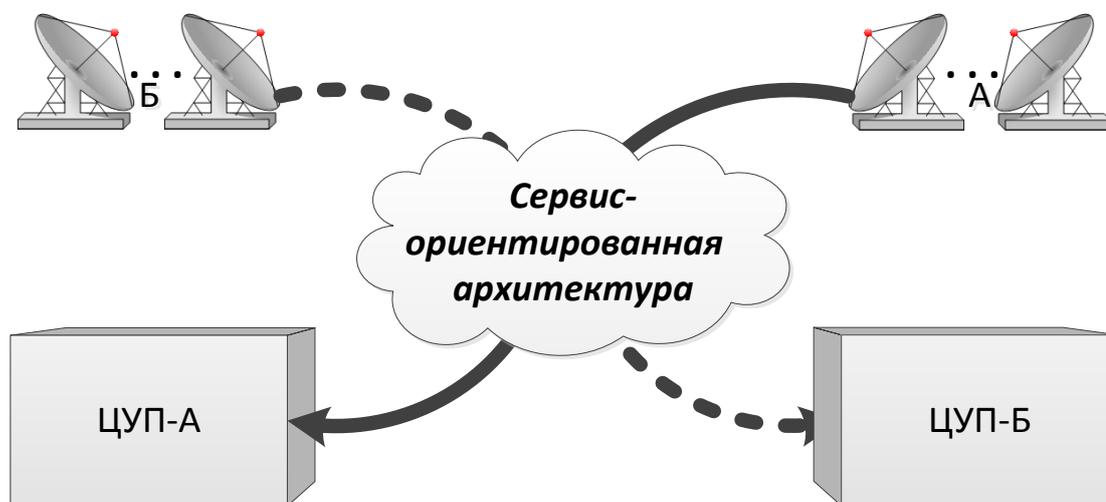


Рисунок 2.4.1 - Сервис-симметричный подход к организации приема научной информации с космических аппаратов (КА) дальнего космоса

Суть излагаемого подхода состоит в соответствующем оркестрировании сервисов имеющейся наземной архитектуры, за счет чего в дополнение к основной задаче – прием научной информации отечественными антеннами и передачу ее в европейский ЦУП (маршрут антенны А – ЦУП-А на Рисушке 2.4.1) была обеспечено решение обратной задачи – прием научной информации проекта «Спектр-РГ» европейскими антенными системами и передачу ее в отечественный ЦУП (маршрут антенны Б – ЦУП-Б на рисунке выше).

Отдельно стоит отметить, что проведение данных работ не потребовало какой-либо переделки имеющейся базы, но позволило увеличить научную отдачу миссии.

Безусловно, реализация данного подхода оказалась возможна за счет использования международных информационных стандартов и рекомендаций и прежде всего CCSDS (Consultative Committee for Space Data Systems), а также базовых принципов сервис-ориентированной архитектуры положенных в основу РКПНИ.

Публикации в зарубежных журналах:

1. *Astronomy & Astrophysics, 2021, The ART-XC telescope on board the SRG observatory, A&A 650, A42 (2021). M. Pavlinsky, ... V. Nazarov ... et al.*
2. *Astronomy & Astrophysics, 2021, The eROSITA X-ray telescope on SRG, A&A 647, A1 (2021). P. Predehl, ... V. Nazarov ... et al.*

2.5. Разработка алгоритма детектирования рыболовных судов в ночное время во всей акватории мирового океана по данным с панхроматического диапазона DNB мультиспектрального радиометра VIIRS, установленного на американском метеорологическом спутнике Suomi NPP. Алгоритм должен быть устойчив к помехам от лунной засветки облаков, полярного сияния, космических лучей, газовых факелов и электрических огней на морских нефтяных платформах и бликов в телескопе спутника

На основе алгоритма детектирования рыболовных судов в ночное время во всей акватории мирового океана по данным с панхроматического диапазона DNB мультиспектрального радиометра VIIRS и базы данных детекций совместно с коллегами из Института прикладных экономических исследований (ИПЭИ) РАНХиГС опубликована монография, содержащая описание методов детектирования судовых огней на море и анализ результата детектирования морских судов и иных объектов в ИЭЗ дальневосточного побережья Российской Федерации. Продолжаются исследования по более широкому направлению распознавания ночных источников света с применением панхроматического диапазона DNB мультиспектрального радиометра VIIRS.

Отечественная монография:

1. *Прикладные задачи дистанционного зондирования ночной поверхности Земли / М. Н. Жижин [и др.]. Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (РАНХиГС). – М. : Изд-во Дело, 2021. – 190 с.*

Публикации в зарубежных журналах:

2. Elvidge, Christopher D; Zhizhin, Mikhail; Ghosh, Tilottama; Hsu, Feng-Chi; Taneja, Jay. *Annual time series of global VIIRS nighttime lights derived from monthly averages: 2012 to 2019*, *Remote Sensing*, 13, 5, 922, 2021, <https://doi.org/10.3390/rs13050922> (IF = 4.848, Q1)
3. Zhizhin M., Matveev A., Ghosh, T., Hsu, F.C., Howells M., Elvidge C. *Measuring Gas Flaring in Russia with Multispectral VIIRS Nightfire*. *Remote Sensing*, 2021, 13(16), 3078; <https://doi.org/10.3390/rs13163078> (IF=4,509, Q1)

2.6 Разработка алгоритма оценки объемов сжигания попутного газа в 2012-2019 гг. по инфракрасным спектрам от газовых факелов на ночных снимках с мультиспектрального радиометра VIIRS, установленного на американском метеорологическом спутнике Suomi NPP. Алгоритм также должен позволять работу с данными, полученными со спутника JPSS-1 с аналогичным радиометром. Калибровка метода осуществляется по данным консорциума CEDIGAZ. На основе этой калибровки получают оценки объемов сжигания попутного газа за 2012-2019 гг. по всем странам и по отдельным нефтяным месторождениям и нефтеперегонным заводам

На основе данных ночных наблюдений сенсора VIIRS спутника Suomi NPP сформирован каталог газовых факелов на территории Российской Федерации, содержащий географические метаданные и оценки объёмов сжигания для валидированных по снимкам высокого пространственного разрешения газовых факелов. Каталог опубликован в статье [Zhizhin et al., 2021], где по данным каталога приведены оценки факельного сжигания попутного нефтяного газа в мире, проанализированы тенденции факельного сжигания в России, приведены оценки объёмов сжигания по регионам и крупным нефтяным компаниям страны (*Рисунок 2.6.1*).

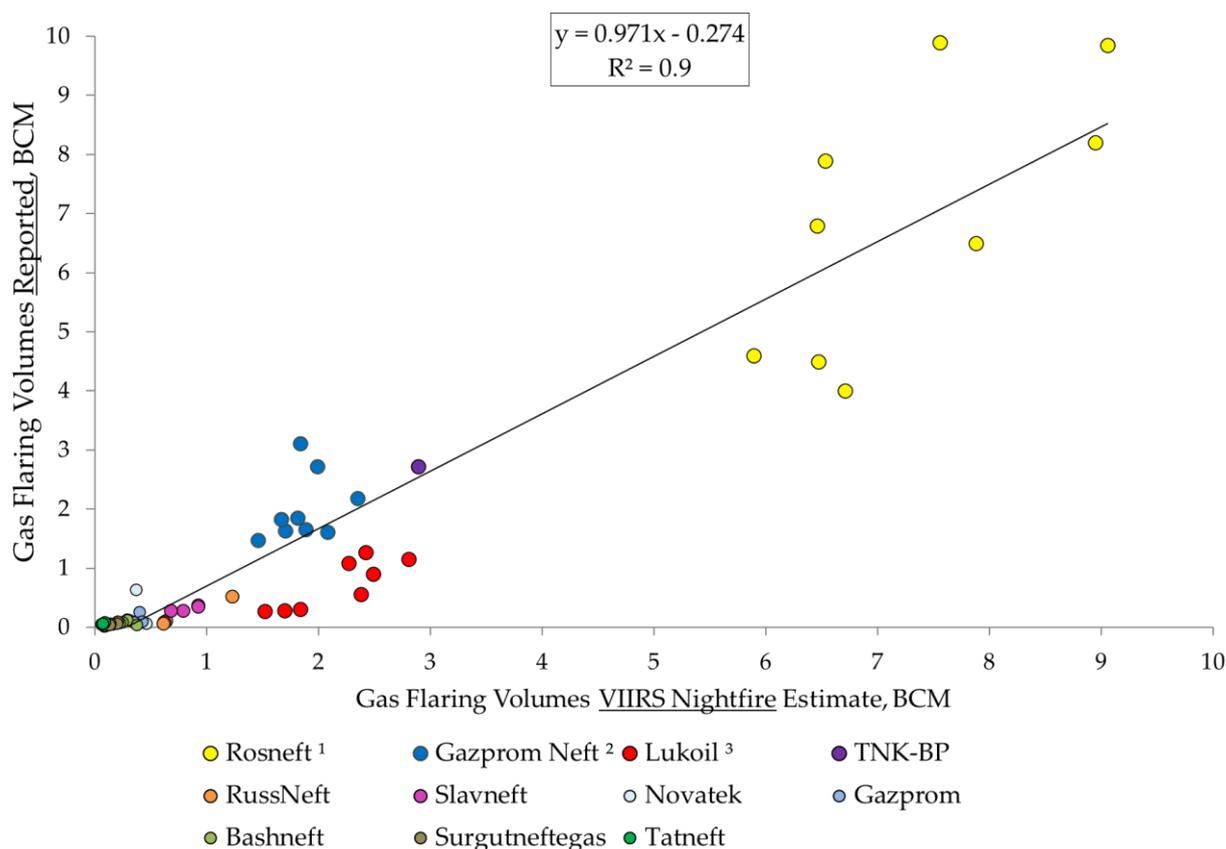


Рисунок 2.6.1 - Корреляция оценок на основе ночных детекций сенсора VIIRS на КА Suomi NPP с отчётными данными крупных нефтегазовых компаний на территории России

Данные каталога были использованы для оценки выбросов «чёрного углерода» (black carbon) в России. Данные глобального каталога газовых факелов, полученного с сенсора VIIRS КА Suomi NPP, использованы для исследования возможностей машинного обучения на примере доступных отчётных данных на территории Северной Дакоты, США.

1. Zhizhin, M.; Matveev, A.; Ghosh, T.; Hsu, F.-C.; Howells, M.; Elvidge, C. *Measuring Gas Flaring in Russia with Multispectral VIIRS Nightfire*. *Remote Sensing*, 13, 3078, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13163078> Q1 (IF = 4.848 (2020))

2. Lu, R.; Miskimins, J. L.; Zhizhin, M. *Learning from Nighttime Observations of Gas Flaring in North Dakota for Better Decision and Policy Making*. *Remote Sensing*, 135, 941, 2021. <https://doi.org/10.3390/rs13050941> Q1 (IF = 4.848 (2020))

2.7 Разработка алгоритма детектирования вулканических извержений по инфракрасным спектрам от газовых факелов на ночных снимках с мультиспектрального радиометра VIIRS, установленного на американском метеорологическом спутнике Suomi NPP. Алгоритм должен позволять работу в реальном времени на приемных станциях, например в Институте вулканологии и сейсмологии ДВО РАН в Петропавловске-Камчатском. Результатом работы

алгоритма должны быть карты и временные ряды очагов вулканизма с оценкой их температуры, площади энергии и объемов выброса лавы. Откалибровать разработанный метод на извержениях Камчатки и сравнить результаты с существующим алгоритмом MODVOLC

Алгоритм детектирования вулканических извержений по инфракрасным спектрам на ночных снимках с мультиспектрального радиометра VIIRS апробируется в режиме, близком к реальному времени, на Камчатке в целях мониторинга вулканической активности. В монографии описано расширение алгоритма, позволяющего различать отдельные высокотемпературные фазы фиксируемого «горячего» источника.

Зарубежная монография:

1. Elvidge, C. D; Zhizhin, M.; Baugh, K.; Hsu, F.-C. *Smoldering Peatland Fires in Indonesia via Triple-Phase Temperature Analysis of VIIRS Nighttime Data. In: Biomass Burning in South and Southeast Asia: Mapping and Monitoring, CRC Press, 25–38, 2021, ISBN: 9780429022258.*

2.8 Теоретические исследования, связанные с применением квантовых нейронных сетей для перспективных квантовых бортовых систем искусственного интеллекта

В области квантовых систем искусственного интеллекта проводились численные и аналитические исследования эффективности обучения квантовых систем в присутствии термостата. Показано, что эффективное обучение возможно только в пределе классического обучения, когда изменение состояния обучающейся системы не приводит к существенному изменению состояния учителя.

2.9 Теоретические исследования, связанные с применением непрерывного вейвлет-преобразования для определения зависимости турбулентной вязкости от масштаба измерения и времени жизни когерентных структур в атмосфере

В области квантовой теории поля и физики высоких энергий проводились следующие исследования:

Исследовалась возможность построения многомасштабных квантовополевых моделей на основе вейвлет-преобразования для квантовой теории поля. В пространстве размерности $(1+1)$, на основе дискретного вейвлет-преобразования, построена модель симметричная относительно координат светового фронта $t+x$ и $t-x$. (<https://arxiv.org/abs/2106.15706>)

2.10 Оценка и управление риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы. Исследование 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. Выполнение практических работ по оценке и управлению риском для здоровья населения в связи с загрязнением атмосферы от действующих и строящихся предприятий, а также от транспортных потоков в городах

Программный комплекс AERMOD (American Meteorological Society-или Environmental Protection Agency Regulatory Model) — один из наиболее широко используемых инструментов моделирования рассеивания в воздухе загрязняющих веществ от промышленных источников. Комплекс содержит микрометеорологическую модель, основанную: а) на наблюдениях с местных метеорологических станций; б) альбедо, параметре Боуэна (Bo) и шероховатости поверхности, рассчитанных для каждой категории землепользования на основе глобальных стандартов; в) данных о вертикальном профиле атмосферы, полученных с ближайшего радиозонда. Однако этих данных оказывается недостаточно для более точного расчета концентраций загрязнителей атмосферного воздуха в районе промышленных предприятий и крупных автомагистралей. Данные космических наблюдений позволяют существенно уточнить значения параметров, в AERMOD и, тем самым, повысить точность расчета концентраций загрязнителей и, в конечном счете, эффективность оценки и управления риском здоровья населения. В отчетный период был выполнен аналитический обзор исследований по извлечению указанных параметров из космических данных, использованию их в AERMOD и влиянию на модельные концентрации. Описаны исходные данные для исследования этого вопроса в настоящей работе на материале реальных предприятий со множеством источников выброса в отличие от приведённых в обзоре работ, где в основном исследуется изолированный источник. Рассматриваются пять различных промышленных предприятий с особым акцентом на три объекта: коксохимический завод под Москвой, очистную станцию на юге России, металлургический завод в Приуралье. Описаны три способа измерения эффекта привлечения космических данных: а) DiffLast — разность между годовыми максимумами часовых концентраций критичного загрязнителя («абсолютный максимум»); б) Day95% — то же с ограничением дневными рабочими часами и использованием 95%-го квантиля вместо абсолютного максимума («регуляторный критерий»); в) DiffFirst — максимальная

почасовая разница за год («мгновенный критерий»), от которых, в свою очередь, зависит рассеяние загрязнений и результирующие приземные концентрации, определяющие воздействие на здоровье населения. Таким образом, разработана и апробирована методика коррекции данных AERMOD на основе использования данных космических наблюдений.

2.11 Информационный цикл управления состоянием экологических объектов. Продолжение разработки теоретических и алгоритмических основ применения теории оптимального управления к информационному циклу управления состоянием экологических объектов с использованием аэрокосмических данных. Разработка программного комплекса «Геодиалог» как имитатора космических наблюдений и управления геосистемами по данным этих наблюдений. Интеграция оптимального управления и эмергетического подхода к загрязнению окружающей среды

На базе теории оптимального управления разработана концепция системы замкнутого информационного цикла мониторинга/управления, использующего данные спутникового дистанционного зондирования земной поверхности. Теория оптимального управления применяется в отношении трех уровней: геосферного, биосферного и ноосферного, благодаря их общей структуре информационных процессов (или энтропийных процессов, рассматриваемых в качестве протоинформации). Эти процессы включают в себя гомеостаз, аккумуляцию и расход информации иерархическими информационными структурами, эволюцию, включая слом гомеостаза и т.п. Управляемая система, например, геосфера, имеет те же информационные способности, что и управляющая система, так что термин «диалог» применительно к ним является более адекватным. В качестве формализма для описания процесса диалога указанных систем используется теория дуального управления Фельбаума.

Указанная концепция найдет свое воплощение в разрабатываемом программном комплексе «Геодиалог».

В нашем случае представляют интерес те варианты теоретического формализма, которые позволяют дать количественную оценку информационных потоков (как бы ни определялось это понятие), протекающих в системе оптимального управления. Фундаментальную роль играет обратная связь наблюдение ↔ управление: циркуляция информации по циклу обратной связи, когда информация, заложенная в объект через управление им, на следующем шаге по времени возвращается к управляющему субъекту в виде информации, содержащейся в наблюдениях над объектом.

На рисунке представлена концепция соединения природных циклов, природного гомеостаза и информационных циклов управления в виде квадрата, в котором есть блок фильтрации – решения обратной задачи, блок собственно управления, управляющее воздействие на объект.

Природный, материальный гомеостаз изображен красно-желто-зеленым циклом, а информационный гомеостаз изображен голубым и синим. Объединение этих двух гомеостазов с их информационным регулированием изображено внутри как серый цикл и как серый, охватывающий все цикл. Это два разных способа изображения системы связи этих циклов. В представленной концепции X – состояние геосистемы, а \hat{X} – оценка состояния системы, X_0 – желаемое состояние системы, $Y = h(X)$ – сигнал наблюдения, поступающий на фильтр. Динамика отфильтрованной оценки состояния системы определяется уравнением Калмана

$$\frac{d\hat{X}}{dt} = A\hat{X} + K(Y - h(\hat{X})),$$

Динамика же состояния системы определяется уравнением

$$\frac{dX}{dt} = AX + L(Z - g(X, X_0)).$$

Концепция связанных циклов: природного и информационного

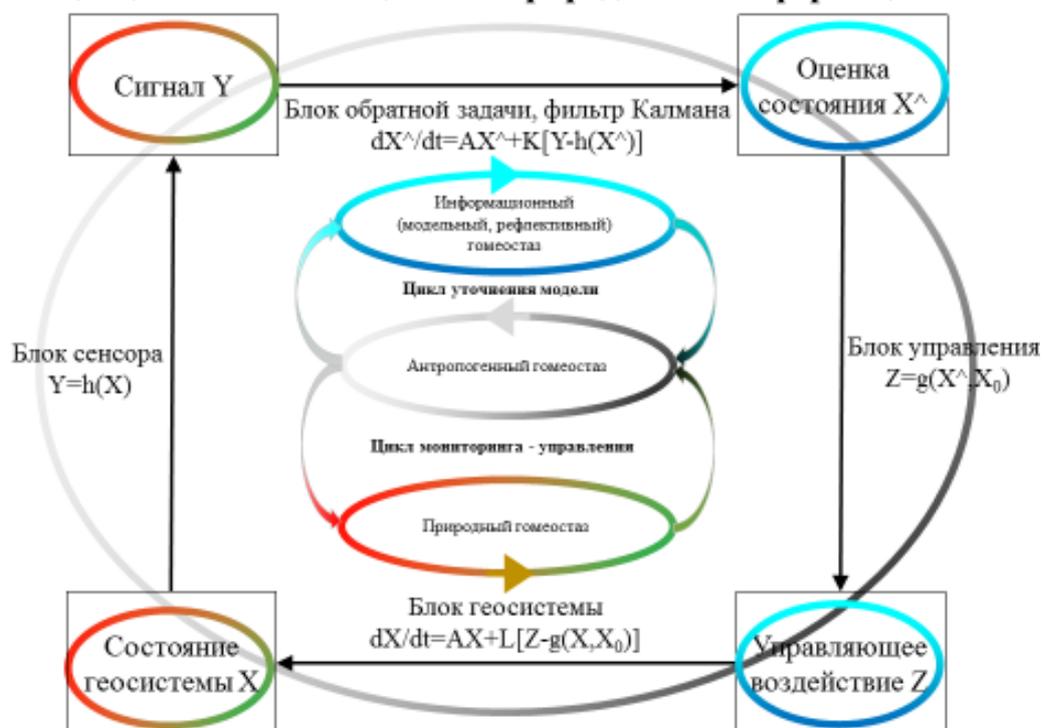


Рисунок 2.11.1 - Концепция связанных циклов: природного и информационного

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 течение 2021 года проходила штатная эксплуатация программных подсистем и модулей, созданных и доработанных в период 2019-2020гг. К ним относятся:

- Подсистема мониторинга сетевой связности на базе анализа топологической информации протокола OSPF (OspfLink), используемая для детектирования сетевых аномалий в системе связи Российского Комплекса Приема Научной Информации (РКПНИ) проекта ЭкзоМарс миссий 2016 и 2020гг, а также для контроля связности ЦОД ИКИ РАН с удаленными филиалами.
- Прозрачный высокопроизводительный шлюз UDTGATE, работающий на базе протокола UDT. Используется для повышения скорости обмена данными на проектно ориентированных каналах связи с высоким фактором $BW * Delay$ (Задержка * Полоса пропускания). Он задействован в обмене данными между основным узлом ЦКП «ИКИ-Мониторинг» (ИКИ РАН, Москва), и удалённым узлом ЦКП "ИКИ-Мониторинг", размещённым на вычислительных мощностях ИКИ РАН во Франкфурте.
- Прототип сервиса параллельной загрузки данных для ПАК SCARP ИКИ РАН, действующий в режиме опытной эксплуатации с возможностью централизованного избирательного подключения к различным направлениям загрузки массивов данных с удаленных сайтов. Сервис производит трансляцию адреса источника запроса в пул IP-адресов, распределенный по подсетям ИКИ РАН. Такой подход улучшает утилизацию сетевых магистралей, а также уменьшает вероятность отказа в обслуживании со стороны удаленного сайта при интенсивной многопоточной загрузке.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном отчете использованы результаты исследований, проведенных в 2021 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 2021 г. было опубликовано 79 научных публикаций. Из них опубликовано:

- статьи в зарубежных изданиях - 20
- статьи в отечественных научных рецензируемых журналах - 6
- монография - 2
- статьи в сборниках материалов конференций - 6
- доклады, тезисы, циркуляры - 45
- публикации, подготовленные в соавторстве с зарубежными учёными – 18

Механика 2.3.1.1. Общая механика, навигационные системы, динамика космических тел, транспортных средств и управляемых аппаратов, механика живых систем

Наиболее значимые результаты

Расширение районов посадки на поверхность Венеры за счет гравитационного манёвра

В настоящее время ведутся проектные исследования по миссии Венера-Д, в которой планируется посадка аппарата в заданный район на поверхности планеты и выведение модуля на орбиту спутника с планируемой датой старта в 2029 году. Серьезной проблемой проекта является обеспечение посадки аппарата в заданный район Венеры. В случае применения известных к настоящему времени технологий и технических ограничений достижимы не более 10 процентов поверхности. Как результат проведенных исследований и разработок впервые предложен метод реализуемых технологий, который позволяет осуществлять посадку практически в любой точке поверхности Венеры за счет применения гравитационного манёвра вблизи планеты. При этом не требуется увеличения расхода топлива и усложнения требований составу служебных систем аппарата. Предложенный метод принят в качестве базового для его дальнейшей разработки организацией НПО имени Лавочкина и не имеет аналогов и прецедентов.

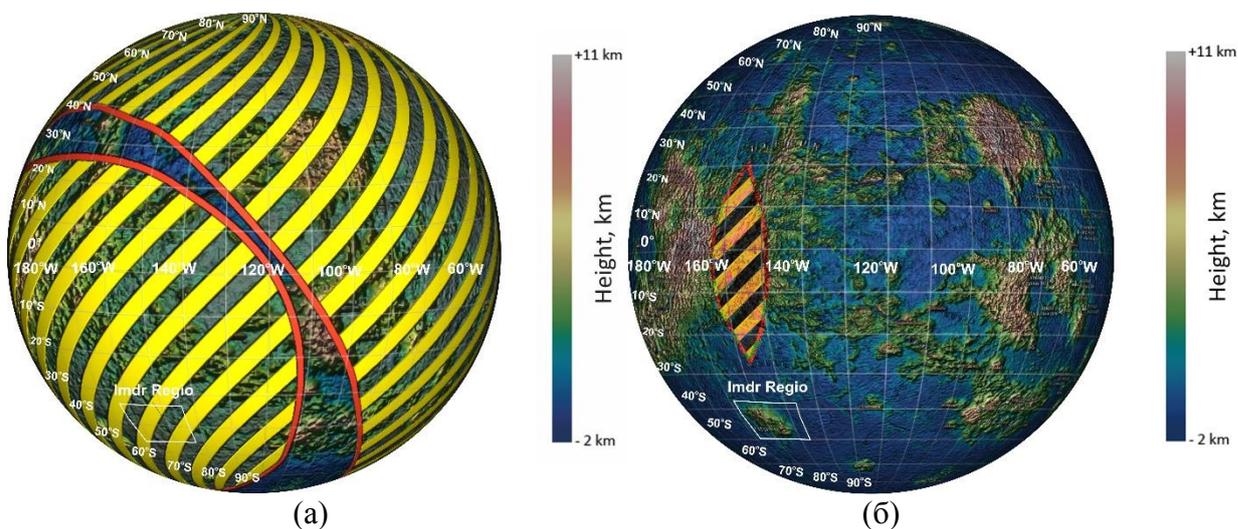


Рисунок 1 - Сравнение используемых подходов для достижения района Imdr Regio, где расположена интересная для исследований гора Идунн Монс (заштрихованы недоступные районы): (а) – стандартный подход; (б) – используя гравитационный маневр у Венеры

Список публикаций:

1. Н. А. Эйсмонт, Р. Р. Назиров, К. С. Федяев, Зубко В.А., Беляев А.А. [и др.] Резонансные орбиты в задаче расширения достижимых областей посадки на поверхности Венеры. *Письма в Астрономический журнал*. – 2021. – Т. 47. – № 5. – С. 352-367. – DOI 10.31857/S0320010821050041. Переводная версия: (2021). *Resonant Orbits in the Problem of Expanding the Reachable Landing Areas on the Surface of Venus. Astronomy Letters*, 47(5), 316-330. DOI: 10.1134/S1063773721050042
2. Eismont N. A., Zubko V. A., Belyaev A. A., Zasova L. V., Gorinov D.A., Simonov A. V., Nazirov R. R., & Fedyaev K. S. (2021). Gravity assists maneuver in the problem of extension accessible landing areas on the Venus surface. *Open Astronomy*, 30, <https://doi.org/10.1515/astro-2021-0013>

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

Публикации по теме УПРАВЛЕНИЕ

Статьи в зарубежных изданиях

1. Zhizhin M., Matveev A., Ghosh, T., Hsu F.C., Howells M., Elvidge C. Measuring Gas Flaring in Russia with Multispectral VIIRS Nightfire. *Remote Sensing*, 2021, 13(16), 3078, <https://doi.org/10.3390/rs13163078> (WoS, Q1, IF=4.848)
2. Elvidge C., Zhizhin M., Ghosh T., Hsu F.C., Taneja J. Annual time series of global VIIRS nighttime lights derived from monthly averages: 2012 to 2019, *Remote Sensing*, 2021, 13, 5, 922, <https://doi.org/10.3390/rs13050922>. (WoS, Q1, IF=4.848)
3. Hsu F.C., Zhizhin M., Ghosh T., Elvidge C., Taneja J. The Annual Cycling of Nighttime Lights in India, *Remote Sensing* 2021, 13(6), 1199, <https://doi.org/10.3390/rs13061199> (WoS, Q1, IF=4.848)
4. Lu R., Miskimins J.L., Zhizhin M., Learning from Nighttime Observations of Gas Flaring in North Dakota for Better Decision and Policy Making, *Remote Sensing* 2021, 13(5), 941, <https://doi.org/10.3390/rs13050941> (WoS, Q1, IF=4.848)
5. Josef Ludescher, Maria Martin, Niklas Boers, Armin Bunde, Catrin Ciemer, Jingfang Fan, Shlomo Havlin, Marlene Kretschmer, Jürgen Kurths, Jakob Runge, Veronika Stolbova, Elena Surovyatkina, and Hans Joachim Schellnhuber. Network-based forecasting of climate phenomena. *PNAS* November 23, 2021 118 (47) e1922872118; <https://doi.org/10.1073/pnas.1922872118> (WoS, Q1, IF=11.205)
6. Fan, J., Meng, J., Ludescher, J., Li, Z., Surovyatkina, E., Chen, X., Kurths, J., & Schellnhuber, H. J. Network-based Approach and Climate Change Benefits for Forecasting the Amount of Indian Monsoon Rainfall, *Journal of Climate* (published online ahead of print 2021). Retrieved Dec 21, 2021, P. 1-39, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0063.1> (WoS, Q1, IF=5.148)
7. Adil M.A., Senturk E., Pulinets S.A., Amory-Mazauder C., A Lithosphere–Atmosphere–Ionosphere Coupling Phenomenon Observed Before M 7.7 Jamaica Earthquake. *Pure and Applied Geophysics*. (2021), 178, 10 3869-3886. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02867-z> (SJR, Q2, IF=2,335)
8. Pulinets S., Krankowski A., Hernandez-Pajares M., Marra S., Cherniak Iu., Zakharenkova I., Rothkaehl H., Kotulak K., Davidenko D., Blaszkiewicz L., Fron A., Flisek P., Rigo A. G., Budnikov P. Ionosphere Sounding for Pre-seismic Anomalies Identification (INSPIRE): Results of the Project and Perspectives for the Short-Term Earthquake

- Forecast. *Frontiers in Earth Science*. 2021; 9(610193).
<https://doi.org/10.3389/feart.2021.610193> (**SJR, Q2, IF=3,498**)
9. Ouzounov D, Pulinets S, Davidenko D, Rozhnoi A, Solovieva M, Fedun V, Dwivedi BN, Rybin A, Kafatos M and Taylor P (2021) Transient Effects in Atmosphere and Ionosphere Preceding the 2015 M7.8 and M7.3 Gorkha–Nepal Earthquakes. *Frontiers in Earth Science*. 2021; 9(757358). doi: 10.3389/feart.2021.757358 (**SJR, Q2, IF=3,498**)
 10. Nina A, Biagi PF, Mitrovic ST, Pulinets S, Nico G, Radovanovic M, Popovic LC. Reduction of the VLF Signal Phase Noise Before Earthquakes. *Atmosphere*. 2021; 12(4):444. <https://doi.org/10.3390/atmos12040444> (**SJR, Q2, IF=2,686**)
 11. Oikonomou, C.; Haralambous, H.; Pulinets, S.; Khadka, A.; Paudel, S.R.; Barta, V.; Muslim, B.; Kourtidis, K.; Karagioras, A.; Inyurt, S., Investigation of Pre-Earthquake Ionospheric and Atmospheric Disturbances for Three Large Earthquakes in Mexico, *Geosciences* 2021, 11, 16, <https://doi.org/10.3390/geosciences11010016> (**SJR, Q2**)
 12. Pulinets, S.; Khachikyan, G. The Global Electric Circuit and Global Seismicity. *Geosciences* 2021, 11, 491. <https://doi.org/10.3390/geosciences11120491> (**SJR, Q2**)
 13. Parrot M., Tramutoli V., Liu T.J.Y., Pulinets S., Ouzounov D., Genzano N., Lisi M., Hattori K., Namgaladze A., Atmospheric and ionospheric coupling phenomena associated with large earthquakes. *The European Physical Journal - Special Topics*, 230, pages197–225 (2021), <https://doi.org/10.1140/epjst/e2020-000251-3> (**WoS, Q2**)
 14. A. Kovaleva. Response enhancement and energy localization in autoresonant nonlinear chains. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, vol. 135, 103753 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2021.103753>. (**JCR, Q2, IF=2,98**)
 15. Zubko, V. A., Sukhanov, A. A., Fedyaev, K. S., Koryanov, V. V., & Belyaev, A. A. (2021). Analysis of mission opportunities to Sedna in 2029–2034. *Advances in Space Research*, 68(7), 2752-2775. DOI: 10.1016/j.asr.2021.05.035 (**SJR = 0.657, IF = 2.152, Q2, [Scopus, Web of Science]**)
 16. Eismont, N. A., Nazirov, R. R., Fedyaev, K. S., Zubko, V. A., Belyaev, A. A., Zasova, L. V., Gorinov D.A., & Simonov, A. V. (2021). Resonant Orbits in the Problem of Expanding the Reachable Landing Areas on the Surface of Venus. *Astronomy Letters*, 47(5), 316-330. DOI: 10.1134/S1063773721050042 (**SJR=0.499, IF = 1.384, Q3, [Scopus, Web of Science]**)
 17. Zubko, V. A., Sukhanov, A. A., Fedyaev, K. S., Koryanov, V. V., & Belyaev, A. A. (2021). Analysis of Optimal Flight Trajectories to the Trans-Neptunian Object (90377) Sedna. *Astronomy Letters*, 47(3), 188-195. DOI: 10.1134/S1063773721030087 (**SJR=0.499, IF = 1.384, Q3, [Scopus, Web of Science]**)

18. Zubko, V.A and Belyaev, A.A. (2021). Possible space mission to the trans-Neptunian object 2012 VP₁₁₃. *JBIS-Journal of British Interplanetary Society*, 74(10), 358-366. **(SJR=0.408, Q3)**
19. Eismont, N. A., Zubko, V. A., Belyaev, A. A., Zasova, L. V., Gorinov D.A., Simonov, A. V., Nazirov, R. R., & Fedyaev, K. S. Gravity assists maneuver in the problem of extension accessible landing areas on the Venus surface. *Open Astronomy*, 30, 1-7. **(SJR=0.309, IF = 0.655, Q3)**, doi.org/10.1515/astro-2021-0013 (в печати)
20. M.V. Altaisky. Quantum artificial intelligence and its social impact, *Journal of Innovation Sciences and Sustainable Technologies*. 1 (2021) 71-78 https://jisst.com/article?item_id=2021001006

Статьи в отечественных научных рецензируемых журналах

21. Н. А. Эйсмонт, Р. Р. Назиров, К. С. Федяев, Зубко В.А. [и др.] Резонансные орбиты в задаче расширения достижимых областей посадки на поверхности Венеры / Н. А. Эйсмонт, Р. Р. Назиров, К. С. Федяев [и др.] // Письма в Астрономический журнал. – 2021. – Т. 47. – № 5. – С. 352-367. – DOI 10.31857/S0320010821050041.
22. А. И. Родионов, И. Д. Родионов, И. П. Родионова, С. Я. Уманский, Д. В. Шестаков, В. В. Егоров, А. П. Калинин. Бортовая аппаратура малого спутника для комплексного исследования атмосферы и ионосферы Земли // ХИМИЧЕСКАЯ ФИЗИКА, 2021, том 40, № 10, с. 61–67. DOI: 10.31857/S0207401X21100113 . *Web of Science*, ISSN (PRINT): 0207-401X, Импакт-фактор (РИНЦ): 1,640.
23. Б.М. Балтер, Д.Б. Балтер, В.В. Егоров, М.В. Стальная, М.В. Фаминская. Данные космических наблюдений параметров поверхности в модели рассеяния промышленных загрязнений воздуха AERMOD. Часть 1. Обзор, данные, классификация землепользования//Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 2. С. 97-111. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-2-97-111. (*SCOPUS, Web of Science*).
24. Б.М. Балтер, Д.Б. Балтер, В.В. Егоров, М.В. Стальная, М.В. Фаминская. Данные космических наблюдений параметров поверхности и их реанализа в модели рассеяния промышленных загрязнений воздуха AERMOD. Часть 2. Альbedo, шероховатость поверхности и параметр Боуэна// Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2021. Т. 18. № 3. С. 121-137. DOI: 10.21046/2070-7401-2021-18-3-121-137. (*SCOPUS, Web of Science*).
25. Михайлов М.В., Зарубин Д.С., Заговорчев В.А. Перспективы применения околоземной ГНСС в качестве инфраструктуры для навигационного обеспечения

лунных миссий, **Инженерный журнал: наука и инновации** #10(118)/2021
DOI: [10.18698/2308-6033-2021-10-2118](https://doi.org/10.18698/2308-6033-2021-10-2118),
<http://engjournal.ru/catalog/arсе/dcpa/2118.html>

26. Алексеев О.А., Пулинец С.А., Будников П.А., Серебряков В.Б., Разумова Н.В., Линьков А.Д., Макет информационного сервиса автоматизированного мониторинга и краткосрочного прогнозирования сильных землетрясений в Камчатско-Сахалинском регионе, Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы, 8 (4), 3-15, DOI 10.30894/issn2409-0239.2021.8.4.3.15

Зарубежные монографии

27. Elvidge, C. D; Zhizhin, M.; Baugh, K.; Hsu, F.-C. Smoldering Peatland Fires in Indonesia via Triple-Phase Temperature Analysis of VIIRS Nighttime Data. In: Biomass Burning in South and Southeast Asia: Mapping and Monitoring, CRC Press, 25–38, 2021, ISBN: 9780429022258.

Отечественные монографии

28. Прикладные задачи дистанционного зондирования ночной поверхности Земли / М. Н. Жижин [и др.]. Российская академия народного хозяйства и государственной службы при Президенте Российской Федерации (РАНХиГС). – М.: Изд-во Дело, 2021. – 190 с.

Статьи в сборниках материалов конференций

29. Zubko, V. A., Sukhanov, A. A., Fedyaev, K. S., Koryanov, V. V., & Belyaev, A. A. Flight trajectories design using gravity assist maneuvers to the trans-Neptunian object (90377) Sedna, GLEX 2021 Conference Proceedings, IAF Global Space Exploration Conference 2021, St. Petersburg, Russian Federation. <https://dl.iafastro.directory/event/GLEX-2021/paper/62107/>
30. Maxim V. Pupkov, Natan A. Eismont, Konstantin S. Fedyaev, Vladislav A. Zubko, Andrey A. Belyaev, Nikita A. Simbiryov, Ravil R. Nazirov. An approach to study Near-Earth Asteroids by an operating spacecraft after the completion of its main mission, GLEX 2021 Conference Proceedings, IAF Global Space Exploration Conference 2021, St. Petersburg, Russian Federation. <https://dl.iafastro.directory/event/GLEX-2021/paper/62206/>
31. A.A. Belyaev, N.A. Eismont, A.A. Sukhanov, K.S. Fedyaev, V.A. Zubko. Accessible landing areas on the surface of Ganymede: defining and assessing the opportunity to reach them, GLEX 2021 Conference Proceedings, IAF Global Space Exploration Conference

- 2021, St. Petersburg, Russian Federation. <https://dl.iafastro.directory/event/GLEX-2021/paper/62299/>
32. Eismont N.A., Zubko V.A., Belyaev A.A., Zasova L.V., Gorinov, D. A., Simonov A.V., Nazirov R.R., Fedyaev K.S. Gravity assists maneuver in the problem of extension accessible landing areas on the Venus surface, GLEX 2021 Conference Proceedings, IAF Global Space Exploration Conference 2021, St. Petersburg, Russian Federation. <https://dl.iafastro.directory/event/GLEX-2021/paper/62106/>
33. T.V. Poliakova, S.S. Gavriushin, S.D. Arutyunov Virtual simulation of the surgery of installing transitional implant dentures for the two-stage dental implant osteointegration period. CSDEIS2021: The Third International Symposium on Computer Science, Digital Economy and Intelligent Systems. December 25 - 26, 2021, Moscow, Russia, 14 p. (Scopus, 4 квартиль)
34. Eismont, N. A., Koryanov, V. V., Fedyaev, K. S., Bober, S. A., Zubkov, V. A., & Belyaev, A. A. (2021, February). On the possibility of expanding the landing areas within the Venera-D project by selecting launch Windows. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2318, No. 1, p. 110012). AIP Publishing LLC. (SJR = 0.177, Q4)

Доклады, тезисы, циркуляры

35. Полякова Т.В. Особенности учета распределения напряжений в десне при моделировании покрывных протезов типа «сэндвич», FARM-2020, 2-4 декабря 2020, 2 с.
36. Щербинин В.В., Щербинина А.К., Гаврюшин С.С., Полякова Т.В., Ражабов У.Т. Особенности учета НДС конструкции при составлении диагностических прогнозов в процессе лечения обширных дефектов зубных рядов протезами «сэндвич». Сборник тезисов XV Всероссийской школы "Математическое моделирование и биомеханика в современном университете" (1 с.) URL: http://www.biomechanics.ru/archive/programma_2021.pdf
37. Полякова Т.В. Некоторые аспекты автоматизации установки временных внутрикостных имплантатов при концевом дефекте зубного ряда, FARM-2021, 7-10 декабря 2021, 2 с.
38. Elena Surovyatkina. Climate predictions: How does the theoretical insight of bifurcations become praxis? The 19th Bolivian School on Complex Systems, La Paz, Bolivia, November 22-24, 2021 (invited Lecture), http://www.gruposistemascomplejos.com/curso_complejo2021/

39. Surovyatkina, E.: The impact of Arctic warming on the timing of Indian monsoon and ice season in the Sea of Okhotsk, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-13582, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13582> , 2021.
40. George, N. B., Surovyatkina, E., Krishnan, R., and Kurths, J.: Critical transition to monsoon in outgoing long-wave radiation: prediction of the advance of Indian Summer Monsoon, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-6453, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-6453>
41. Elena Surovyatkina. Prediction of the ice season timing in the Sea of Okhotsk: Tipping element approach. Japan Geoscience Union Meeting, JpGU 2021, A-AS04: Machine Learning Techniques in Weather, Climate, Hydrology and Disease Predictions, online, 4-6 June 2021, AAS04-01 (invited Speaker), http://www.jpгу.org/meeting_e2021/ , https://confit.atlas.jp/guide/event/jpgu2021/session/AAS04_4PM1/tables?kpxKhYRjyB
42. Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов И.Д., Родионов А.И., Родионова И.П. Комплекс бортовой аппаратуры для мониторинга «космической погоды» и прогноза чрезвычайных ситуаций. Доклад. Всероссийская научно-техническая конференция «Техническое зрение в системах управления 2021», Москва, ИКИ РАН, 21 апреля 2021 г. <http://technicalvision.ru/ISPRS/PSBB21/>
43. Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов И.Д., Родионов А.И., Родионова И.П. Комплекс бортовой аппаратуры для мониторинга «космической погоды» и прогноза чрезвычайных ситуаций. Тезисы доклада на Всероссийской научно-технической конференции «Техническое зрение в системах управления 2021», Москва, ИКИ РАН, 21 апреля 2021 г. С. 12. <http://technicalvision.ru/ISPRS/PSBB21/>
44. Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов И.Д., Родионов А.И., Родионова И.П. Спутниковый комплекс научной аппаратуры для изучения геосферы, термосферы, атмосферы Земли и космической погоды. Доклад. Девятнадцатая международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)», Москва, ИКИ РАН, 15-19 ноября 2021 г. <http://conf.rse.geosmis.ru>
45. Егоров В.В., Калинин А.П., Родионов И.Д., Родионов А.И., Родионова И.П. Спутниковый комплекс научной аппаратуры для изучения геосферы, термосферы, атмосферы Земли и космической погоды. Тезисы доклада на Девятнадцатой международной конференции «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально

- опасных явлений и объектов)», Москва, ИКИ РАН, 15-19 ноября 2021 г. XIX.С.84.
<http://conf.rse.geosmis.ru>
46. Котцов В.А., Егоров В.В., Балтер Д.Б., Стальная М.В. Метод двойной корреляции в анализе многозональной видеоинформации. Доклад. Девятнадцатая международная конференция «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)», Москва, ИКИ РАН, 15-19 ноября 2021 г.
<http://conf.rse.geosmis.ru>
47. Котцов В.А., Егоров В.В., Балтер Д.Б., Стальная М.В. Метод двойной корреляции в анализе многозональной видеоинформации. Тезисы доклада на Девятнадцатой международной конференции «СОВРЕМЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ЗЕМЛИ ИЗ КОСМОСА (Физические основы, методы и технологии мониторинга окружающей среды, потенциально опасных явлений и объектов)», Москва, ИКИ РАН, 15-19 ноября 2021 г. XIX.С.399.
<http://conf.rse.geosmis.ru>
48. Оптимизация полета к транснептуновому объекту Седна / В. А. Зубко, А. А. Суханов, К. С. Федяев, В.В. Корянов, А.А. Беляев // Фундаментальные и прикладные задачи механики. Материалы конференции. Часть 1, Москва, 2–4 декабря 2020 г. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – С. 240-241. Doi: 10.18698/2308-6033-2021-3-2067
49. Баллистическое проектирование траектории перелета к спутнику Юпитера Ганимеду/ А.А. Беляев, В.В. Корянов, К.С. Федяев, А.А. Суханов, В.А. Зубко // Фундаментальные и прикладные задачи механики. Материалы конференции. Часть 1, Москва, 2–4 декабря 2020 г. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – С. 229-231. Doi: 10.18698/2308-6033-2021-3-2067
50. Анализ возможных траекторий перелета к транснептуновому объекту (90377) Седна / В. А. Зубко, А. А. Суханов, К. С. Федяев [и др.] // XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства : сборник тезисов : в 4 т., Москва, 30 марта – 02 2021 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – С. 425-426.
51. Расширение достижимых районов посадки на Венере с помощью гравитационного маневра / Н. А. Эйсмонт, Зубко В.А., Беляев А.А., Засова Л.В. [и др.] // XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П.

- Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства: сборник тезисов: в 4 т., Москва, 30 марта – 02 2021 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – С. 37-38.
52. Сценарий перспективной миссии к транснептуновому объекту 2012 VP113 в 2026 году / В. А. Зубко, А.А. Беляев // XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства : сборник тезисов : в 4 т., Москва, 30 марта – 02 2021 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – С. 39-40.
53. Баллистический сценарий перелета к спутнику Юпитера Ганимеду с посадкой на его поверхность / А.А. Беляев, В.В. Корянов , К.С. Федяев , А.А. , Суханов , В.А. Зубко // XLV Академические чтения по космонавтике, посвященные памяти академика С.П. Королёва и других выдающихся отечественных ученых - пионеров освоения космического пространства : сборник тезисов : в 4 т., Москва, 30 марта – 02 2021 года. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – С. 43-44.
54. ВОЗМОЖНОСТЬ ИЗУЧЕНИЯ ТРАНСНЕПТУНОВОГО ОБЪЕКТА 2012 VP113 С ПРОЛЕТНОЙ ТРАЕКТОРИИ В 2026 ГОДУ / В. А. Зубко, А.А. Беляев // XVIII КОНФЕРЕНЦИЯ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ “Фундаментальные и прикладные космические исследования”, ИКИ РАН, Москва, 14–16 апреля 2021 г., С. 78.
https://kmu.cosmos.ru/docs/2021/thesis_kmu_2021.pdf
55. Natan A. Eismont, Maxim V. Pupkov, Vladislav A. Zubko, Konstantin S. Fedyaev, Andrey A. Belyaev, Nikita A. Simbiryov and Ravil R. Nazirov. EXTENSION OF THE EARTH LIBRATION POINT MISSIONS BY TARGETING A SPACECRAFT TO NEAR-EARTH ASTEROIDS // 7th IAA Planetary Defense Conference 26-30 APRIL 2021.
<https://atpi.eventsair.com/QuickEventWebsitePortal/7th-iaa-planetary-defense-conference-2021/website/Agenda/AgendaItemDetail?id=0593a4b3-588f-4c1a-bd0d-6a56dd455792>
56. David Dunham, Natan Eismont, Vladislav Zubko, Andrey Belyaev and Konstantin Fedyaev. OPTIMIZING A PLANETARY DEFENSE SHIELD USING ASTEROIDS IN RESONANCE ORBITS // 7th IAA Planetary Defense Conference 26-30 APRIL 2021.
<https://atpi.eventsair.com/QuickEventWebsitePortal/7th-iaa-planetary-defense-conference-2021/website/Agenda/AgendaItemDetail?id=a60d6149-adf3-46ff-b4b1-923edb80c016>
57. V.A. Zubko, A.A. Sukhanov, K.S. Fedyaev, V.V. Koryanov, A.A. Belyaev. Determination and analysis of possible flight paths to the trans-Neptunian object (90377) Sedna // 16th

- International Conference on Space Operations, Cape Town, South Africa – 3 - 5 May 2021.
<https://drive.google.com/file/d/1Gxrp7glX26tU1chVJ3rJLS8MslvCbO/view?usp=sharing>
58. Eismont N.A., Nazirov R.R., Zubko V.A., Belyaev A.A., Zasova L.V., Fedyaev K.S., Gorinov, D. A., Simonov A.V. Gravity assist maneuvers as a tool for broadening accessible landing areas on Venus surface // 16th International Conference on Space Operations, Cape Town, South Africa – 3 - 5 May 2021. <https://drive.google.com/file/d/1Gxrp7glX26tU1chVJ3rJLS8MslvCbO/view?usp=sharing>
59. A.A. Belyaev, N.A. Eismont, A.A. Sukhanov, K.S. Fedyaev, V.A. Zubko. Determination of possible landing areas on Jupiter's moon Ganymede // 16th International Conference on Space Operations, Cape Town, South Africa – 3 - 5 May 2021. <https://drive.google.com/file/d/1Gxrp7glX26tU1chVJ3rJLS8MslvCbO/view?usp=sharing>
60. V.A. Zubko, A.A. Sukhanov, K.S. Fedyaev, V.V. Koryanov, A.A. Belyaev. Flight trajectories design using gravity assist maneuvers to the trans-Neptunian object (90377) Sedna // Global Space Exploration Conference (GLEX 2021), St Petersburg, Russian Federation, 14-18 June 2021. <https://iafastro.directory/iac/paper/id/62107/summary/>
61. Maxim V. Pupkov, Natan A. Eismont, Konstantin S. Fedyaev, Vladislav A. Zubko, Andrey A. Belyaev, Nikita A. Simbiryov, Ravil R. Nazirov. An approach to study Near-Earth Asteroids by an operating spacecraft after the completion of its main mission // Global Space Exploration Conference (GLEX 2021), St Petersburg, Russian Federation, 14-18 June 2021. <https://iafastro.directory/iac/paper/id/62206/summary/>
62. A.A. Belyaev, N.A. Eismont, A.A. Sukhanov, K.S. Fedyaev, V.A. Zubko. Accessible landing areas on the surface of Ganymede: defining and assessing the opportunity to reach them. // Global Space Exploration Conference (GLEX 2021), St Petersburg, Russian Federation, 14-18 June 2021. <https://iafastro.directory/iac/paper/id/62299/summary/>
63. Eismont N.A., Zubko V.A., Belyaev A.A., Zasova L.V., Gorinov, D. A., Simonov A.V., Nazirov R.R., Fedyaev K.S. Gravity assists maneuver in the problem of extension accessible landing areas on the Venus surface // Global Space Exploration Conference (GLEX 2021), St Petersburg, Russian Federation, 14-18 June 2021. <https://iafastro.directory/iac/paper/id/62106/summary/>
64. Исследование околоземных астероидов как возможный сценарий продления миссии «Спектр-Рентген-Гамма» / Пупков М.В., Эйсмонт Н.А., Федяев К.С., Зубко В.А., Беляев А.А., Назиров Р.Р., Симбирев Н. // Всероссийская астрономическая конференция (ВАК-2021), 23-28 августа 2021 года, ГАИШ МГУ имени М.В.

- Ломоносова Москва, Россия, С. 90. https://www.vak2021.ru/wp-content/uploads/2021/08/vak2021_abstracts.pdf
65. Гравитационный маневр в задаче расширения областей посадки на поверхности Венеры / Эйсмонт Н.А., Назиров Р.Р., Федяев К.С., Засова Л.В., Зубко В.А., Беляев А.А., Горинов Д.А., Симонов А.В. // Всероссийская астрономическая конференция (ВАК-2021), 23-28 августа 2021 года, ГАИШ МГУ имени М.В. Ломоносова Москва, Россия, С. 102. https://www.vak2021.ru/wp-content/uploads/2021/08/vak2021_abstracts.pdf
66. Анализ оптимальных схем перелета к Седне/ В. А. Зубко, А. А. Суханов, К. С. Федяев, В.В. Корянов, А.А. Беляев // Всероссийская астрономическая конференция (ВАК-2021), 23-28 августа 2021 года, ГАИШ МГУ имени М.В. Ломоносова Москва, Россия, С. 72. https://www.vak2021.ru/wp-content/uploads/2021/08/vak2021_abstracts.pdf
67. Баллистическое проектирование траектории перелета к Ганимеду с определением возможных областей посадки / А.А. Беляев, В.В. Корянов, В.А. Зубко // XIV Всероссийская конференция молодых учёных и специалистов (с международным участием) «Будущее машиностроения России», 21 - 24 сентября 2021, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия. <https://bmr.bmstu.press/publication/853/>
68. Исследование гравитационного маневра в задаче полета к Седне в 2029 году / В. А. Зубко, А.А. Беляев // XIV Всероссийская конференция молодых учёных и специалистов (с международным участием) «Будущее машиностроения России», 21 - 24 сентября 2021, МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия. <https://bmr.bmstu.press/publication/849/>
69. V.A. Zubko, A.A. Sukhanov, K.S. Fedyayev, V.V. Koryanov, A.A. Belyayev. POSSIBLE SPACE MISSION TO SEDNA AT LAUNCH IN 2029-2037 // THE TWELFTH MOSCOW SOLAR SYSTEM SYMPOSIUM 2021, 12MS3-SB-PS-01. – 2021. – pp. 315-316. https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3_book_5.pdf
70. A.A. Sukhanov. REPEATABILITY OF A GIVEN CONFIGURATION OF PLANETS // THE TWELFTH MOSCOW SOLAR SYSTEM SYMPOSIUM 2021, 12MS3-GP-PS-07. – 2021. – pp. 268-268. https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3_book_5.pdf
71. V.A. Zubko, N.A. Eismont, A.A. Belyayev, R.R. Nazirov, K.S. Fedyayev, Zasova L.V., D.A. Gorinov, A.V. Simonov. USING OF A RESONANT ORBIT IN THE PROBLEM OF EXTENSION LANDING AREAS ON THE VENUS SURFACE // THE TWELFTH MOSCOW SOLAR SYSTEM SYMPOSIUM 2021, 12MS3-VN-12. – 2021. – pp. 115. https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3_book_5.pdf

72. V.A. Zubko, D.W. Dunham, N.A. Eismont, K.S. Fedyaev, A.A. Belyaev. USING OPTIMAL NUMBER OF ASTEROIDS ON THE RESONANCE ORBITS TO CONSTRUCT THE PLANETARY DEFENSE SHIELD // THE TWELFTH MOSCOW SOLAR SYSTEM SYMPOSIUM 2021, 12MS3-SB-09. – 2021. – pp. 291. https://ms2021.cosmos.ru/docs/2021/12ms3_book_5.pdf
73. V.A. Zubko, A.A. Sukhanov, K.S. Fedyaev, V.V. Koryanov, A.A. Belyaev. Optimal flight trajectories to trans-Neptunian object (90377) Sedna // 72nd International Astronautical Congress (IAC), Dubai, United Arab Emirates, 25-29 October 2021. <https://www.iafastro.org/assets/files/events/iac/2021/iac2021-technical-programme.pdf> (IAC-21,C1,5,4,x64719)
74. V.A. Zubko, A.A. Belyaev. Flight trajectories determination and analysis to the trans-Neptunian object 2012 VP113 in 2026 // 72nd International Astronautical Congress (IAC), Dubai, United Arab Emirates, 25-29 October 2021. <https://www.iafastro.org/assets/files/events/iac/2021/iac2021-technical-programme.pdf> (IAC-21,E2,2,6,x63330)
75. О малобюджетной миссии для исследования нескольких астероидов с пролетной траектории / А. А. Суханов // Фундаментальные и прикладные задачи механики. Материалы конференции. Часть 1, Москва, 2–4 декабря 2020 г. – Москва: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2021. – С. 240-241. Doi: 10.18698/2308-6033-2021-3-2067
76. Анализ оптимальных схем перелета к Седне / В.А. Зубко, А.А. Суханов, К.С. Федяев, В.В. Корянов, А.А. Беляев // Семинар по механике, управлению и информатике, Москва ИКИ РАН 11.06.2021 url: <http://www.iki.rssi.ru/seminar/20210611/abstract.php>
77. Surovyatkina, E.: The impact of Arctic warming on the timing of Indian monsoon and ice season in the Sea of Okhotsk, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-13582, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-13582> , 2021.
78. George, N. B., Surovyatkina, E., Krishnan, R., and Kurths, J.: Critical transition to monsoon in outgoing long-wave radiation: prediction of the advance of Indian Summer Monsoon, EGU General Assembly 2021, online, 19–30 Apr 2021, EGU21-6453, <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu21-6453>
79. Elena Surovyatkina. Prediction of the ice season timing in the Sea of Okhotsk: Tipping element approach. Japan Geoscience Union Meeting, JpGU 2021, A-AS04: Machine Learning Techniques in Weather, Climate, Hydrology and Disease Predictions, online, 4-6 June 2021, AAS04-01 (invited Speaker), http://www.jpгу.org/meeting_e2021/ , https://confit.atlas.jp/guide/event/jpгу2021/session/AAS04_4PM1/tables?kpxKhYRjyB

Список публикаций по теме УПРАВЛЕНИЕ

1. Josef Ludescher, Maria Martin, Niklas Boers, Armin Bunde, Catrin Ciemer, Jingfang Fan, Shlomo Havlin, Marlene Kretschmer, Jürgen Kurths, Jakob Runge, Veronika Stolbova, Elena Surovyatkina, and Hans Joachim Schellnhuber. Network-based forecasting of climate phenomena. *PNAS November 23, 2021 118 (47) e1922872118*; <https://doi.org/10.1073/pnas.1922872118> (WoS, Q1, IF=11.205)
2. Fan, J., Meng, J., Ludescher, J., Li, Z., Surovyatkina, E., Chen, X., Kurths, J., & Schellnhuber, H. J. Network-based Approach and Climate Change Benefits for Forecasting the Amount of Indian Monsoon Rainfall, *Journal of Climate* (published online ahead of print 2021). Retrieved Dec 21, 2021, P. 1-39, <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-21-0063.1> (WoS, Q1, IF=5.148)
3. Zhizhin M., Matveev A., Ghosh, T., Hsu F.C., Howells M., Elvidge C. Measuring Gas Flaring in Russia with Multispectral VIIRS Nightfire. *Remote Sensing*, 2021, 13(16), 3078, <https://doi.org/10.3390/rs13163078> (WoS, Q1, IF=4.848)
4. Elvidge C., Zhizhin M., Ghosh T., Hsu F.C., Taneja J. Annual time series of global VIIRS nighttime lights derived from monthly averages: 2012 to 2019, *Remote Sensing*, 2021, 13, 5, 922, <https://doi.org/10.3390/rs13050922>. (WoS, Q1, IF=4.848)
5. Hsu F.C., Zhizhin M., Ghosh T., Elvidge C., Taneja J. The Annual Cycling of Nighttime Lights in India, *Remote Sensing* 2021, 13(6), 1199, <https://doi.org/10.3390/rs13061199> (WoS, Q1, IF=4.848)
6. Lu R., Miskimins J.L., Zhizhin M., Learning from Nighttime Observations of Gas Flaring in North Dakota for Better Decision and Policy Making, *Remote Sensing* 2021, 13(5), 941, <https://doi.org/10.3390/rs13050941> (WoS, Q1, IF=4.848)
7. A. Kovaleva. Response enhancement and energy localization in autoresonant nonlinear chains. *International Journal of Non-Linear Mechanics*, vol. 135, 103753 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.ijnonlinmec.2021.103753>. (SJR, Q1, IF=2,985)
8. Zubko, V. A., Sukhanov, A. A., Fedyaev, K. S., Koryanov, V. V., & Belyaev, A. A. (2021). Analysis of mission opportunities to Sedna in 2029–2034. *Advances in Space Research*, 68(7), 2752-2775. DOI: 10.1016/j.asr.2021.05.035 (SJR=0.657, Q2, IF =2.152)
9. Adil M.A., Senturk E., Pulinets S.A., Amory-Mazauder C., A Lithosphere–Atmosphere–Ionosphere Coupling Phenomenon Observed Before M 7.7 Jamaica Earthquake. *Pure and Applied Geophysics*. (2021), 178, 10 3869-3886. <https://doi.org/10.1007/s00024-021-02867-z> (SJR, Q2, IF=2,335)

10. Pulinets S., Krankowski A., Hernandez-Pajares M., Marra S., Cherniak Iu., Zakharenkova I., Rothkaehl H., Kotulak K., Davidenko D., Blaszkiewicz L., Fron A., Flisek P., Rigo A. G., Budnikov P. Ionosphere Sounding for Pre-seismic Anomalies Identification (INSPIRE): Results of the Project and Perspectives for the Short-Term Earthquake Forecast. *Frontiers in Earth Science*. 2021; 9(610193). <https://doi.org/10.3389/feart.2021.610193> (**SJR, Q1, IF=3,498**)
11. Ouzounov D, Pulinets S, Davidenko D, Rozhnoi A, Solovieva M, Fedun V, Dwivedi BN, Rybin A, Kafatos M and Taylor P (2021) Transient Effects in Atmosphere and Ionosphere Preceding the 2015 M7.8 and M7.3 Gorkha–Nepal Earthquakes. *Frontiers in Earth Science*. 2021; 9(757358). doi: 10.3389/feart.2021.757358 (**SJR, Q1, IF=3,498**)
12. Nina A, Biagi PF, Mitrovic ST, Pulinets S, Nico G, Radovanovic M, Popovic LC. Reduction of the VLF Signal Phase Noise Before Earthquakes. *Atmosphere*. 2021; 12(4):444. <https://doi.org/10.3390/atmos12040444> (**SJR, Q2, IF=2,686**)
13. Oikonomou, C.; Haralambous, H.; Pulinets, S.; Khadka, A.; Paudel, S.R.; Barta, V.; Muslim, B.; Kourtidis, K.; Karagioras, A.; Inyurt, S., Investigation of Pre-Earthquake Ionospheric and Atmospheric Disturbances for Three Large Earthquakes in Mexico, *Geosciences* 2021, 11, 16, <https://doi.org/10.3390/geosciences11010016> (**SJR, Q2**)
14. Parrot M., Tramutoli V., Liu T.J.Y., Pulinets S., Ouzounov D., Genzano N., Lisi M., Hattori K., Namgaladze A., Atmospheric and ionospheric coupling phenomena associated with large earthquakes. *The European Physical Journal - Special Topics*, 230, pages197–225 (2021), <https://doi.org/10.1140/epjst/e2020-000251-3> (**WoS, Q2**)