

На правах рукописи



МУРТАЗОВ Андрей Константинович

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ
МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА
ОПТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ**

05.13.01 – Системный анализ, управление и обработка информации
(технические системы)

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Рязань 2016

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Рязанский государственный университет имени С.А. Есенина» (РГУ имени С.А. Есенина)

Научный консультант

Миронов Валентин Васильевич, доктор физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики ФГБОУ ВО «Рязанский государственный радиотехнический университет»

Официальные оппоненты:

Прохоров Михаил Евгеньевич, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией космических проектов государственного астрономического института имени П.К. Штернберга ФГОУ ВО «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова»

Клюшников Валерий Юрьевич, доктор технических наук, Главный научный сотрудник ФГУП «Центральный научно-исследовательский институт машиностроения», г. Королев Московской обл.

Кузнецов Павел Константинович, доктор технических наук, профессор кафедры «Электропривод и промышленная автоматика» ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет».

Ведущая организация

ФГБУН «Институт астрономии РАН» (ИНАСАН), г. Москва.

Защита состоится «18» января 2017 г. в 12 часов на заседании диссертационного совета Д 212.211.01 в Рязанской государственной радиотехнической университете по адресу:

390005, г. Рязань, ул. Гагарина, д. 59/1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Рязанского государственного радиотехнического университета и на сайте www.rsreu.ru.

Автореферат разослан «...» _____ 2016 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета Д 212.211.01

канд. техн. наук, доцент



Пржегорлинский В.Н.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Учение академика В.И. Вернадского о биосфере и ноосфере – мировоззренческая база всего естествознания XX века, – рассматривает мир в целом и Землю в частности, как единую глобальную экосистему. Окружающей средой, естественным образом входящей в экосистему Земли, служит околоземное космическое пространство (ОКП), являющееся предметом неослабевающего внимания исследователей разных стран, включая и Россию.

Уже с начала космической эры (1957) понятие окружающей среды закономерно стало включать в себя представление об околоземном космическом пространстве, которое тесно взаимодействует с составляющими «классической» среды обитания человека, осуществляя своеобразную связь между ними и космосом.

В связи с этим актуальной проблемой современной науки является исследование загрязнения ОКП космическим мусором, изучение воздействия естественного и техногенного мусора на физическое состояние системы «ОКП – биосфера», в частности, прямое воздействие мусора на биосферу Земли. За последние 40 лет зарегистрированы и занесены в международные каталоги свыше 16000 случаев возвращения техногенных объектов в атмосферу Земли и их сгорания.

Масса техногенного мусора в ОКП заметно нарастает со временем, что создает реальную опасность, как для космических аппаратов, в частности, пилотируемых, так и непосредственно для биосферы Земли. Общее количество обнаруженных и сопровождаемых техническими средствами объектов с эквивалентным диаметром более 10 см превысило уже 14000. Среди этих объектов 94% – это доля техногенного космического мусора.

Объем космического мусора растет за счет взаимных столкновений и взрывов космических аппаратов на орбитах. Так 11.01.2007 г. на высоте 800 км китайская ракета уничтожила отработавший свой срок спутник Фэньюнь, в результате чего появилось более 2000 новых обломков мусора размером в несколько см, и загрязнение ОКП увеличилось почти на 22 %. Позднее 10.02.2009 г. на высоте около 790 километров зафиксирован первый случай столкновения двух ИСЗ. Спутник связи «Космос-2251», запущенный в 1993 году и выведенный из употребления, столкнулся с коммерческим спутником американской компании спутниковой связи «Iridium-33». В результате столкновения образовалось около 600 обломков, большая часть которых остается на прежней орбите.

Успешное освоение ОКП невозможно без знания его текущего состояния, без анализа источников и закономерностей существования и эволюции техногенного мусора. В свою очередь результаты исследований космического мусора теснейшим образом связаны с космодинамикой, геофизикой, экологией и безопасностью жизнедеятельности.

Кроме того, в последнее время в связи с разработкой проблемы «космической опасности» резко возрос практический интерес к загрязнению ОКП естественным мусором, к источникам этого загрязнения, к наличию в общем потоке метеороидов опасных для Земли космических тел.

Известное Челябинское событие 2013 г. показало, что даже тела небольших размеров представляют опасность для биосферы и человека и способны вызвать региональную экологическую катастрофу.

Проблема развития метода оптического мониторинга объектов в геостационарной зоне околоземного пространства, опасных тел естественного происхождения в ближнем и дальнем космосе представляется в связи с этим весьма актуальной.

В глобальном смысле проблема мониторинга ОКП обусловлена, с одной стороны, продолжающимся освоением ОКП, с другой - проблемами безопасности жизни на Земле.

Актуальность темы диктуется также необходимостью получения детальной информации:

1) об оптических свойствах искусственных космических объектов для их идентификации;

- 2) об оптических свойствах поверхностей малых тел Солнечной системы (в том числе опасных) для решения проблемы их раннего обнаружения оптическими системами;
- 3) о содержании опасных тел в околоземном космическом пространстве для оценки риска функционирования космической техники и пилотируемой космонавтики.

Первые две проблемы связаны с решением основной задачи фотометрии астрономических объектов, которая впервые была сформулирована В.М. Григоревским (1976), и активно начала разрабатываться многими астрономическим и военными организациями страны с начала 80-х гг. XX века с развитием методов телевизионной астрономии. В решении проблемы принимали участие многие видные ученые из крупных организаций и отдельных обсерваторий и институтов.

Третья проблема весьма актуальна в связи с увеличивающейся метеороидной опасностью для космической техники при монотонно возрастающем числе объектов в ближнем космосе, и свое развитие получила уже в XXI веке.

К тому же, несмотря на достаточно развитую сеть оптического мониторинга естественных и техногенных объектов в ОКП и сложившуюся систему контроля космического пространства, 35 лет назад отсутствовал единый подход к организации мониторинга ОКП оптическими средствами, который и разрабатывается в диссертации.

Анализ проблемы показывал, что оптический мониторинг объектов в ОКП должен основываться на единой методической базе и системном подходе и нуждался в усовершенствовании и оптимизации.

Таким образом, создание и системное развитие комплексной системы мониторинга естественных и техногенных объектов в околоземном пространстве оптическими средствами является важной и актуальной научной проблемой, имеющей важнейшее теоретическое и прикладное значение.

В работе решается крупная научно-техническая проблема, связанная с поиском, обнаружением и распознаванием тел различного происхождения в околоземном космическом пространстве (в том числе опасных космических тел) оптическими системами.

Объектом исследования являются тела естественного и техногенного происхождения в околоземном космическом пространстве.

Цель работы состоит в разработке теоретических основ и методологии мониторинга околоземного пространства оптическими системами для повышения эффективности как фундаментальных научных исследований, так и экологических и оборонных разработок, обеспечении безопасности космических полетов, прогнозировании чрезвычайных ситуаций.

Для достижения этой цели в работе решаются следующие основные задачи:

- систематизация процессов в ОКП как среды мониторинга;
- разработка и совершенствование методов решения прямой и обратной задач спектрофотометрии объектов естественного и искусственного происхождения в ОКП как ядра мониторинга;
- разработка методики физического моделирования оптических характеристик техногенных объектов в ОКП и безатмосферных тел Солнечной системы;
- разработка методики распознавания техногенных поверхностей в ОКП по сравнительному анализу данных их оптических наблюдений и физического моделирования;
- разработка модели метеороидного риска в околоземном пространстве.

Методы исследования. В исследовании околоземного космического пространства использованы методы системного анализа ситуаций, методы практической астрофизики, физического и математического моделирования, методы экспертных оценок, теории принятия решений, методы статистического анализа данных.

Научная новизна. В процессе многолетних исследований получены следующие новые результаты:

- разработаны методические основы оптического мониторинга загрязнения околоземного пространства телами естественного и техногенного происхождения;
- разработана методика физического моделирования оптических характеристик поверхностей естественных и искусственных космических тел, позволяющая идентифицировать объекты в ОКП;
- разработана методика обработки и анализа экспериментальных лабораторных данных о полях рассеяния и спектральных характеристиках объектов в ОКП, позволившая повысить эффективность их распознавания;
- создан банк данных о пространственной плотности и распределении крупных метеороидов в метеорных потоках для оценки их опасности;
- разработана математическая модель метеороидного риска в околоземном космическом пространстве, позволяющая оценить меру естественной опасности для космической техники в околоземном космическом пространстве.

Теоретическая значимость работы. Теоретическая ценность работы включает в себя следующие основные положения:

- разработана строгая математическая постановка прямой и обратной задачи спектрофотометрии объектов естественного и искусственного происхождения в ОКП как ядра системного мониторинга ОКП;
- существенно модернизированы методы распознавания техногенных поверхностей в ОКП по данным их оптических наблюдений для определения материального состава космического мусора;
- введено понятие и разработана методика оценки метеороидного риска в околоземном пространстве для оценки их опасности для космической техники, в том числе для пилотируемых объектов.

Практическая ценность работы. Практическая значимость работы состоит в создании и обеспечении систем оптического мониторинга опасных объектов в околоземном пространстве для контроля безопасной жизнедеятельности на Земле. Подобные системы могут быть организованы и успешно функционировать на базе как крупных, так и малых наблюдательных станций.

Системно разработаны теоретические основы и методики мониторинга тел в околоземном пространстве оптическими средствами, позволяющие получать значимые для экологии околоземного пространства результаты.

Полученные лично автором экспериментальные и теоретические результаты легли в основу экспертных систем распознавания объектов в ближнем космосе по результатам их оптического мониторинга.

Основные положения, защищаемые в диссертации:

- методика мониторинга околоземного пространства, основанная на системном подходе и позволяющая проводить поиск и обнаружение космических объектов телевизионными оптическими системами;
- математическая постановка основной задачи фотометрического мониторинга космических объектов и направления ее решения;
- методика физического моделирования оптических характеристик поверхностей космических тел, естественного и техногенного космического мусора, как ядра экологического мониторинга ОКП оптическими средствами;
- критерии распознавания искусственных и естественных поверхностей по данным их оптического мониторинга;
- методика определения формы и состава поверхностей космических объектов при сравнительном анализе данных моделирования и результатов их оптических наблюдений, позволяющая достоверно распознавать эти объекты;
- понятие и математическая модель метеороидного риска в околоземном пространстве, основанная на данных широкоугольного оптического мониторинга опасных тел в метеорных потоках и позволяющая оценить меру опасности для космической техники.

Достоверность. Достоверность научных результатов исследования подтверждена соответствием результатов математического и физического моделирования результатам мониторинга и данным предприятий-изготовителей космической техники, а также соответствием результатов, представленных на многочисленных международных конференциях, результатам других отечественных и иностранных исследователей и организаций.

Реализация и внедрение. Диссертационная работа включает в себя исследования, проведенные в рамках:

- гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект 04-02-3005д);
- аналитической ведомственной целевой программы «Развитие научного потенциала высшей школы (2006–2008 г.)» (проект 2.2.3.1.1609) Министерства образования и науки РФ;

- государственного задания на выполнение работ «Исследование загрязнения околоземного пространства опасными космическими телами различного происхождения» (2012–2013 гг.);

- гранта Российского фонда фундаментальных исследований (проект 11-02-00203 «Телевизионный мониторинг метеорных явлений»);

- задания на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания Минобрнауки РФ «Исследование свойств опасных тел в околоземном космическом пространстве» (2014-2016 гг.);

- хоздоговорных НИР: «Сфера», «Копье», «Планета», «Флора», «Сеть», «Ренессанс-06-7», «Блеск» (1980–1994 гг.) совместно с Крымской астрофизической обсерваторией; институтом астрономии РАН; ЦНИИМаш; НПО им. С.А. Лавочкина; НПО «Орион». Результаты исследований внедрены в НИИ «Фотон» Рязанского государственного радиотехнического университета; Рязанском государственном университете имени С.А. Есенина, институте астрономии РАН, ГАИШ МГУ, Иркутском государственном университете, резиденте Сколково ООО Гаскол, РКЦ «Прогресс», НПК «Рекод».

Созданное новое научное направление, связанное с экологическими аспектами проблемы, представлено во внедренном в РГУ имени С.А. Есенина учебном курсе «Экология околоземного пространства», который разработан и читается автором студентам-экологам.

Апробация работы. Основные результаты исследований были представлены на: съездах Международного евро-азиатского астрономического общества (Москва, 2002-2012, 2015); Международных, Всероссийских и Всесоюзных конференциях: «Астрономия и геодезия в новом тысячелетии» (Казань, 2001); «Космическая защита Земли» (Евпатория, 2001); «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика» (Рязань, 2001, 2008); «Инженерная география и экология урбанизированных территорий» (Ярославль, 1999); «Проблемы оптических наблюдений искусственных космических объектов» (Алма-Ата, 1986; Суздаль, 1987; Ашхабад, 1989; Ужгород, 1990; Кацивели, 1995); «Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы» (Обнинск, 1999; Терскол, 2003); «Панорама философской мысли в России XX века» (Рязань, 2001, 2004); «Околоземная астрономия XXI в» (Звенигород, 2001); "Comets, Asteroids, Meteors, Meteorites, Asteroles, Craters" (Винница, 2002, 2005, 2008); «Космос и биосфера. Космическая погода и биологические процессы» (Крым, 2003); Чтения К.Д. Ушинского (Ярославль, 2004-2010), «Экологические проблемы биосферы и околоземного космического пространства: теория и практика» (Рязань, 2006); «Современные проблемы астрономии» (Одесса, 2007), «Космические рубежи XXI века» (Казань, 2007), «Наблюдения ОКО» (Звенигород, 2008), «Актуальные проблемы космонавтики (астрономии) и общества» (Ярославль, 2008), «100 лет Тунгусскому феномену» (Москва, 2008), «Современная экология – наука XXI века» (Рязань, 2008), «Экологические системы, приборы и чистые технологии» (Москва, 2008-2012), «Актуальные проблемы экологии и природопользования» (Москва, 2009), «Околоземная астрономия» (Казань, 2005; Терскол, 2007; Казань, 2009; Красноярск, 2011; Туапсе, 2013; Терскол, 2015), «V Бредихинские чтения (Заволжск, 2014); «Инновации в науке,

производстве и образовании» (Рязань, 2011, 2013, 2014); International Meteor Conference (UK, 2010; Romania, 2011; Spain, 2012; Poland, 2013; Austria, 2015; Netherlands, 2016), European Planet Science Congress (UK, 2013; France, 2015); International Conference «Asteroids, Comets, Meteors» (Finland, 2014); 40th COSPAR Scientific Assembly (Moscow, 2014); International Conference on Climate Changes, Global Warming, Biological Problems (South Korea, 2015), International Conference «Meteoroids-2016» (Netherlands, 2016).

Результаты исследований обсуждались на научных семинарах института астрономии РАН, Крымской астрофизической обсерватории, НПО «Орион», НИИ «Фотон» РГРТУ. Результаты проведенных автором исследований признаны международным научным сообществом.

Личный вклад автора. В диссертационной работе представлены результаты, которые автор получил самостоятельно, либо его вклад был решающим на всех этапах совместных исследований от постановки задачи и проведения наблюдений до их анализа и интерпретации.

Автором разработана концепция физических основ экологии околоземного пространства и места в ней объекта исследований – тел естественного и искусственного происхождения.

Разработана методика решения основной задачи спектрофотометрии космических объектов, включающая, наряду с математическим, и метод физического моделирования оптических свойств поверхностей в космосе.

Разработана и реализована методика физического моделирования оптических характеристик поверхностей космических объектов. Спектральные индикатрисы рассеяния космических поверхностей, полученные впервые в стране, составляли ядра в уравнениях для решения задач по их идентификации.

Автор участвовал в фотометрических наблюдениях геостационарных ИСЗ в группе телевизионной астрономии Крымской астрофизической обсерватории под руководством доктора физико-математических наук В.В. Прокофьевой. Здесь были выполнены первые работы по распознаванию космических объектов, используя сравнительный анализ результатов наблюдений и данных экспериментов по физическому моделированию оптических свойствах техногенных поверхностей.

Теоретические работы по решению прямой и обратной задачи фотометрии объектов в ОКП проводились в составе исследовательской группы на станции наблюдений ИСЗ Рязанского госпединститута (ныне РГУ имени С.А. Есенина).

Исследования по оптическому мониторингу метеорного вещества в околоземном пространстве организованы автором на базе астрономической обсерватории Рязанского госуниверситета. На основании многолетних наблюдений опасных метеороидов в метеорных потоках автором разработана модель риска в околоземном пространстве.

Публикации. Диссертация включает исследования, выполненные автором начиная с 1983 г. По теме диссертации представлено 80 опубликованных работ. Из них 34 – в изданиях, рекомендованных ВАК РФ; 17 – в изданиях, входящих в международные системы цитирования Web of Science, Scopus, Astrophysics Data System (NASA). Вопросы экологии ОКП и его мониторинга оптическими средствами включены в учебные пособия, разработанные автором для студентов-астрофизиков и экологов.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, заключения, списка использованных источников, включающего 260 наименований, приложения, имеет 336 страниц, 116 рисунков и 29 таблиц.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе выполнен системный анализ проблемы мониторинга загрязнений околоземного пространства оптическими средствами.

Представлен анализ свойств околоземного пространства как среды мониторинга, на основе разработанной автором концепции экологии околоземного пространства.

Анализ моделей и стандартов метеорного вещества в околоземном пространстве показал, что в них имеются недостатки, связанные с недостаточными сведениями о содержании опасных миллиметровых и метровых тел в метеорном окружении Земли. Модели, разработанные на основе различных методов мониторинга, давали различные оценки содержания в метеорном окружении Земли опасных тел. Не были разработаны модели, основанные на данных наиболее перспективных оптико-электронных систем мониторинга, что накладывало ограничения на разработку моделей риска от воздействия опасных метеороидов на космическую технику, геосферы и человека.

Для статистической оценки содержания опасных тел в метеорных потоках и разработки новых моделей метеорного окружения Земли требуется их постоянный мониторинг оптико-электронными средствами.

Модели техногенного космического мусора в системах контроля космического пространства РФ и США позволяют предвычислять соударения его с объектами на низких и геостационарных орбитах.

Однако, постоянно меняющаяся техногенная космическая обстановка и монотонное увеличение объема космического мусора требует (квази)непрерывного мониторинга околоземного пространства соответствующими методами и средствами.

Кроме того, в существующие модели не заложена возможность проведения идентификации объектов, используя некоординатную (фото и спектрофотометрическую) информацию, что связано с оптимальным решением основной задачи фотометрии космических объектов.

Цель и задачи настоящей работы вытекают, таким образом, из общей концепции безопасности космической деятельности, проблем космической опасности, задач контроля космического пространства, проблемы происхождения и эволюции Солнечной системы.

Представленные исследования относятся к области обнаружения и распознавания естественных и техногенных космических объектов и входят в общую схему мониторинга околоземного пространства оптическими системами (рис. 1). Эта схема разработана при отработке методики оптического мониторинга геостационарных ИСЗ и анализа его данных с точки зрения идентификации объектов в ближнем космосе.

Она включает в себя структурно связанные между собой информационные блоки:

- блок получения информации об объектах в оптическом диапазоне спектра (технические характеристики оптических средств мониторинга, данные мониторинга, модели мусора, математические и физические модели параметров, характеризующих видимость объектов); этот блок поставляет информацию о распределении оптических характеристик обнаруженных объектов, на основе чего ставится и решается задача систематизации процессов в околоземном пространстве;

- блок анализа информации на основе данных моделирования: а) для техногенных объектов – модели техногенного космического мусора; каталог моделей блеска КО, каталог отражательных характеристик КО – для целей решения задачи распознавания техногенных объектов; б) для метеоров – модели естественного мусора в околоземном пространстве; каталог активности метеорных потоков, каталог орбит КА – для решения задачи оценки метеороидного риска в околоземном пространстве.

Совместный анализ полученных данных позволяет провести идентификацию техногенных объектов по результатам их оптического мониторинга, оценить метеороидную и космическую опасность в околоземном пространстве.



Рис. 1. Схема организации экспертной системы мониторинга объектов в ОКП оптическими средствами

Таким образом, из общей схемы мониторинга объектов в околоземном пространстве вытекают задачи исследования: систематизация процессов в ОКП как среды мониторинга; разработка методов решения прямой и обратной задач спектрофотометрии объектов естественного и искусственного происхождения в ОКП как ядра мониторинга; разработка методики физического моделирования оптических характеристик техногенных объектов в ОКП и безатмосферных тел Солнечной системы; разработка методики распознавания техногенных поверхностей в ОКП по сравнительному анализу данных их оптических наблюдений и физического моделирования; разработка модели метеороидного риска в околоземном пространстве.

Во второй главе представлены методические основы мониторинга околоземного пространства.

Решена прямая задача фотометрии безатмосферных тел Солнечной системы и искусственных космических объектов в околоземном пространстве. Разработана методика оценки ожидаемого блеска космического мусора. Разработана методика фотометрического мониторинга космических объектов и мониторинга пролета метеорных частиц в атмосфере оптическими системами.

Представлен детерминированный подход к решению прямой задачи фотометрии небесных тел, лишенных атмосферы, основанный на определении освещенности земной поверхности космическим объектом.

Без учета дополнительного освещения объекта Землей и Луной монохроматическая освещенность, создаваемая КО на поверхности Земли, выражается соотношением

$$E_{\lambda} = E_{\lambda}^{\odot} \frac{a_{\lambda} F(\varphi) S}{d^2} P_{\lambda}^{M(z)} \eta_{\lambda}^{-1}(z), \quad (1)$$

где E_{λ}^{\odot} - монохроматическая освещенность КО Солнцем, d – топоцентрическое расстояние КО, a_{λ} -геометрическое альbedo поверхности КО, S – видимая освещенная площадь поверхности КО, $F(\varphi)$ – фазовая функция, определяемая структурой поверхности тела, P_{λ} - монохроматический коэффициент прозрачности атмосферы, $M(z)$ – атмосферная масса, η_{λ}^{-1} - пропускание атмосферы, определяемое теллурическим поглощением.

При решении прямой задачи подробно проанализирована теория фазовых функций тел различной формы и оптических свойств поверхностей для случаев диффузного рассеяния и зеркального отражения. Показано, что определяющую роль в ее решении играют взаимозатенения и взаимозагораживания элементов поверхности (для естественных тел – пористость поверхности), что требует строгого учета геометрии видимости.

На основе решения прямой задачи разработана методика оценки ожидаемого блеска естественных тел и техногенных объектов в околоземном пространстве.

Тела естественного происхождения в Солнечной системе

Ожидаемый блеск тел естественного происхождения определяется выражением (1) при диффузном характере рассеяния ими света:

- в области фазовых углов $0-5^\circ$ - оппозиционным эффектом;
- в области фазовых углов, больших 5° – макро- и микрозатенениями их поверхности.

Методика реализована при оценке ожидаемого блеска астероидов-троянецов на земной орбите в главе 3.

Техногенные объекты в околоземном пространстве

Топоцентрическое расстояние объектов на LEO (Low Earth Orbits) изменяется весьма значительно на коротких (порядка нескольких минут) периодах времени, что резко ухудшает качество прогноза их ожидаемого блеска.

Блеск объекта на GEO (Geostationary or Geosynchronous Earth Orbits), для которого топоцентрическое расстояние практически постоянно, согласно выражению (1) определяется его геометрическим альбедо и фазовой функцией, зависящей от формы, особенностей рассеяния, ориентации КО относительно Солнца и наблюдателя.

Ожидаемый блеск космических объектов определяется, таким образом, как диффузным рассеянием, так и зеркальным отражением света их поверхностями:

- взаимными затенениями и загораживаниями друг друга элементами их конструкции;
- ориентацией объектов относительно Солнца и наблюдателя.

Эти положения позволили в дальнейшем создать модели ожидаемого блеска геостационарного КО известной формы, конструкции и оптических свойств поверхности для различных экспертных систем распознавания по данным оптического мониторинга.

Решение прямой задачи фотометрии и анализ полученных в процессе исследований оптических характеристик техногенных космических поверхностей позволило оценить ожидаемый блеск КО. В табл. 1 представлены результаты расчетов максимальных значений ожидаемого блеска элемента техногенного мусора, находящегося на LEO или GEO.

Они показывают, что в видимой области спектра можно с помощью несложной аппаратуры (ПЗС-камер с широкоугольной оптикой) обнаруживать объекты в нижней части ОКП площадью от $0,2 \text{ м}^2$ и альбедо не менее $0,3$ с диффузным видом рассеяния света, а также значительно меньшие по размерам фрагменты техногенного космического мусора в случае зеркального отражения света от их поверхностей. Часть популяции мусора на GEO можно, согласно этим оценкам, обнаруживать небольшими телескопами.

Таблица 1

Ожидаемый блеск техногенной поверхности в ОКП

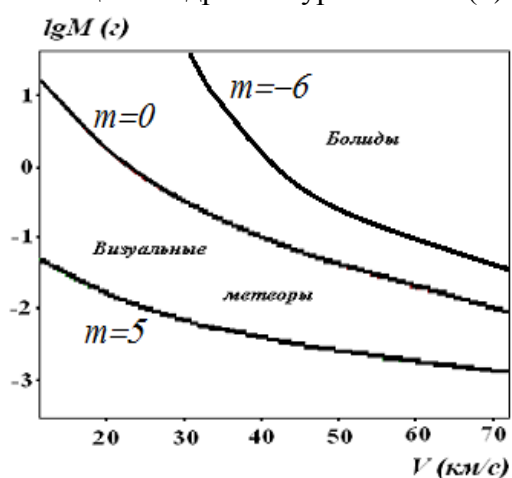
Высота, км	Диффузный объект		Зеркальный цилиндр		Зеркальная пластина	
	S=1 м ²	S=0,2 м ²	S=1 м ²	S=0,2 м ²	S=1 м ²	S=0,2 м ²
200	2,66	4,41	-2,42	-0,67	-7,74	-5,99
500	3,91	5,66	-1,17	0,58	-6,49	-4,74
GEO	12,49	15,46	8,03	10,38	2,79	4,54

Решение обратной задачи спектрофотометрии КО в общем случае сводится к решению интегрального уравнения Фредгольма:

$$\Phi(\lambda, \theta, \varphi, \theta_2, \varphi_2) = \frac{1}{r^2} \sum_k \int_{S_k''} B_k(\lambda, \psi', \theta', \varphi') \cos \theta' dS_k'' \quad (2)$$

где $\Phi(\lambda, \theta, \varphi, \theta_2, \varphi_2)$ - спектральные кривые блеска КО, полученные из наблюдений, $B_k(\lambda, \psi', \theta', \varphi')$ - «солнечная» спектральная яркость материала покрытия k -й компоненты, углы определяют ориентацию КО относительно Солнца и наблюдателя, а суммирование проводится по всем компонентам КО. Интегрирование проводится по видимой освещенной части каждой компоненты с учетом затенений и загораживаний другими компонентами.

Исследования показали, что решение прямой задачи спектрофотометрии КО, а также снятие неоднозначности решения обратной задачи, требует наличия независимых данных о спектральных яркостях и индикатрисах рассеяния излучения их поверхностей, являющихся ядрами в уравнениях (2).



Метеорные явления

Ожидаемый блеск метеорных явлений, вызываемых метеороидами различной массы и скорости входа в атмосферу (рис. 2) получен при анализе процессов излучения света опасными космическими телами и метеороидами при их вхождении в атмосферу. Здесь представлена зависимость блеска метеороида, создающего метеорное явление, от скорости его входа в атмосферу для метеороидов различной массы.

Область ожидаемых значений блеска опасных метеороидов лежит выше значений кривой с $m=0$ и соответствует их начальным массам от 0.02 г и диаметрам порядка 1 мм.

Рис. 2. Соотношение между массой и скоростью метеоров различного блеска

Проведен анализ геометрических условий оптического мониторинга различных объектов. Оценены параметры видимого движения небесных тел различных классов с точки зрения использования оптических систем с небольшой апертурой для их мониторинга.

Проведенная оценка потоков тел в ОКП показала, что поток техногенного космического мусора сильно варьируется с высотой орбиты, а естественного мусора – заметно изменяется в течение года и сильно зависит от эпохи пересечения Землей орбит метеорных потоков и сезонной спорадической составляющей.

Проанализированы особенности метода регистрации информации в оптическом диапазоне, дающие ряд преимуществ оптическим методам перед другими при мониторинге объектов различных классов в Солнечной системе и ОКП. Показано, что в оптическом диапазоне длин волн заметную роль играют квантовые шумы, превышающие тепловые.

Показано, что при оптическом мониторинге слабых объектов качество изображения обусловлено, главным образом, состоянием атмосферы;

- 1) случай яркого объекта $N_* \gg N_\phi$, $\varepsilon \cong \frac{\sqrt{N_*}}{N_*} = \frac{1}{\sqrt{N_*}} = \frac{1}{D\sqrt{n_*t}}$;
- 2) случай слабого объекта $N_* < N_\phi$, $\varepsilon = \frac{\sqrt{2N_\phi}}{N_*} = \frac{\sqrt{2D^2\beta^2St}}{D^2n_*t} = \frac{\beta}{Dn_*} \sqrt{\frac{2S}{t}}$,

где N – количество зарегистрированных фотонов; ε - относительная ошибка измерений; t - время экспозиции, β - угловой размер изображения (обычно атмосферное), D - апертура

телескопа, S - яркость фона неба [квантов/см²/с/стер], n_* - поток от источника [квантов/см²/с].

Поскольку мощность принятого от объекта сигнала в радиолокации, как известно, обратно пропорциональна четвертой степени его топоцентрического расстояния, а световой поток, создаваемый КО на поверхности Земли, обратно пропорционален квадрату топоцентрического расстояния КО, оптические методы заметно эффективней работают на больших расстояниях (к примеру, геостационарная область контролируется практически оптическими системами).

К тому же, для антенн радиолокационных станций отношение $\frac{\lambda}{\sqrt{A}}=(3-5)\cdot 10^{-3}(A$ - апертура телескопа), тогда как в оптике даже для 1-см объектива оно не превышает 10^{-5} , что дает возможность обнаруживать и отслеживать в оптическом диапазоне объекты значительно меньшего размера.

На основе анализа геометрических условий наблюдения и особенностей приема излучения в оптическом диапазоне спектра, оценены минимальные параметры оптических приемных систем для мониторинга различных объектов.

Проницающая способность телескопа Шмидта (17/20 см) астрономической обсерватории Одесского университета с камерой Watec LCL-902K в телевизионном режиме (25 кадров в секунду) составляет $11,8^m$ в визуальной области спектра V ($\lambda_{\max}=550$ нм). Проницающая способность оптической метеорной системы обсерватории РГУ с широкоугольным объективом 6/12 мм и камерой Watec-902H в телевизионном режиме составляет $4,2^m$.

Полученные во второй главе результаты дали возможность повысить эффективность систем оптического мониторинга и процедуру оперативного распознавания космических объектов по его данным.

В третьей главе представлена строгая математическая постановка основной задачи спектрофотометрии космических объектов, предложены направления ее решения; описана методика разработки каталога расчетных моделей блеска геостационарных КО; оценен ожидаемый блеск астероидов-троянецов на орбите Земли; представлен метод физического моделирования мониторинга околоземного пространства.

Представлен общий подход, в котором основная задача фотометрии астрономических объектов сводится к решению интегрального уравнения (2), в котором солнечная спектральная яркость материала покрытия k -ой компоненты поверхности определится как

$$B_k(\lambda, \psi, \vartheta, \varphi) = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b_k(\lambda, \lambda', \psi, \vartheta, \varphi) E_S(\lambda') d\lambda'. \quad (3)$$

Здесь $E_S(\lambda')$ - спектральная плотность солнечного излучения, $b_k(\lambda, \lambda', \psi, \vartheta, \varphi)$ - спектральная нормированная яркость материала покрытия k -ой компоненты в длине волны λ_1 , вызванная падающим излучением единичной интенсивности с длиной волны λ_2 , λ - длина волны, на которой проводятся наблюдения (рис. 3).

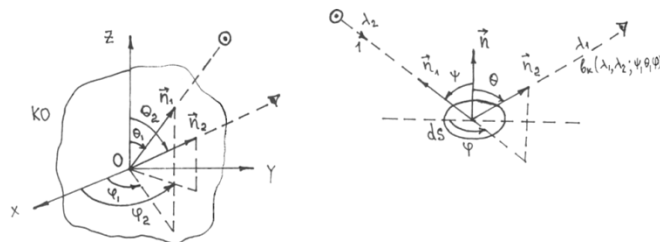


Рис. 3. Схема расположения векторов в спутникоцентрической системе координат

В случае решения прямой задачи - когда ядра $B_k(\lambda, \psi, \vartheta, \varphi)$ считаются известными (определенными из наблюдений или из лабораторных измерений спектральных индикатрис рассеяния покрытий КО) - численно определяются кривые блеска КО.

По разработанной методике проводилось математическое моделирование, численный расчет и экспертный анализ спектральных кривых блеска геостационарных космических аппаратов (КА) различных конструкций. В компьютерной программе учитывалось, что каждый элемент конструкции технологичен и является телом геометрической формы, описываемой системой уравнений и неравенств не выше 2-го порядка.

Обратная задача – по полученной в результате мониторинга кривой блеска требуется идентифицировать объект, то есть определить ядра $b_k(\lambda, \lambda', \psi, \vartheta, \varphi)$ уравнения (2). Аналитически уравнение (2) не имеет решения. Оно существенно нелинейно ввиду: 1) сложной зависимости спектральной яркости $B_k(\lambda, \psi, \vartheta, \varphi)$ от аргументов; 2) взаимного затенения компонентов. Для получения однозначности нужны априорные данные об индикатрисах рассеяния компонентов поверхности объектов или сравнительный анализ результатов наблюдений и данных каталога, полученного при решении прямой задачи.

Поэтому обратную задачу решали в модельном, упрощенном виде, считая 1) что КО состоит из одной компоненты; 2) что эта компонента является выпуклой; 3) эта компонента является телом вращения; 4) задавая закон рассеяния (полагая, что на поверхности материала конструкции КО происходит либо зеркальное отражение, либо диффузное ламбертовское рассеяние). В этой постановке интегральное уравнение (3) приводится к стандартным уравнениям Вольтерра или Фредгольма I-го рода и решается стандартными методами регуляризации акад. А.Н. Тихонова или другими методами решения некорректных задач математической физики.

Таким образом, решение обратной задачи сводится к вероятностному сравнению результатов фотометрических наблюдений с результатами численного моделирования блеска каталожных объектов, в которые введены априорные данные об отражательных свойствах поверхностей элементов их конструкции.

В процессе исследований было теоретически и экспериментально доказано, что все расчеты достаточно выполнять в приближении геометрической оптики.

На рис. 4(а, б) представлены сравнительные графики сравнения численного и экспериментального определения яркости зеркальной поверхности солнечной панели при изменении радиального угла приемника ($0-90^\circ$) при фиксированных: φ_r – азимутальном угле приемника; φ_s – азимутальном угле источника; θ_s – радиальном угле источника; n – коэффициенте преломления материала покрытия поверхности КО; G_{am} – коэффициенте шероховатости поверхности.

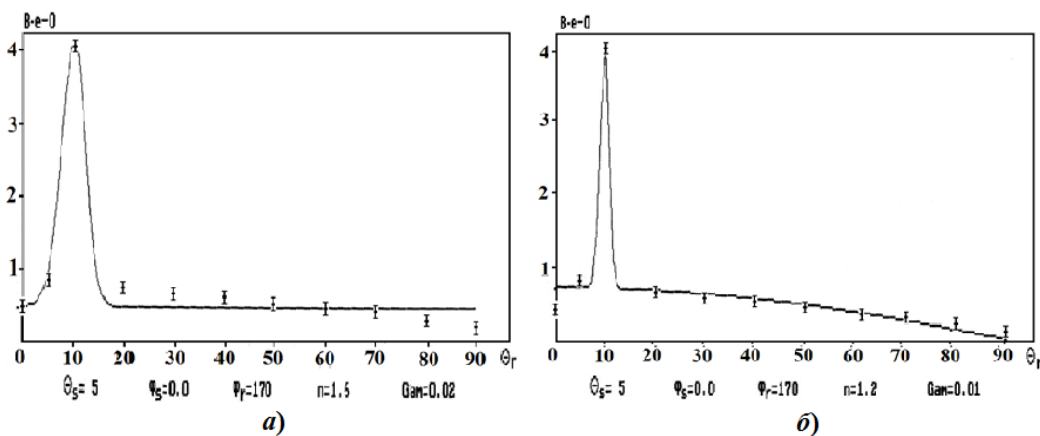


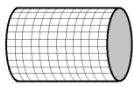
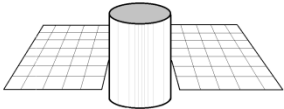
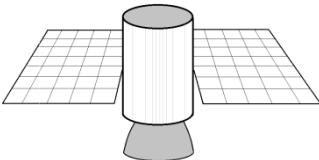
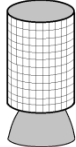
Рис. 4. Графики сравнения экспериментальных и полученных методом численного моделирования (сплошная кривая) индикатрис рассеяния солнечной панели для различных коэффициентов шероховатости G_{am} ее поверхности

При уменьшении параметра G_{at} профиль зеркальной вспышки становится более острым (ее угловые размеры приближаются к видимому с модели угловому размеру источника освещения). Диффузная часть приближается к ламбертовской.

Создан первый каталог блеска расчетной модели геостационарного КО (табл. 2), базировавшийся на анализе данных о конструкциях запускаемых объектов, параметрах их орбит и ориентации.

Таблица 2

Расчетная модель геостационарного космического объекта

Цилиндр с СБ на боковой поверхности	Диффузный цилиндр с плоскими СБ	Диффузный цилиндр с плоскими СБ и сферической антенной	Цилиндр с СБ на боковой поверхности и сферической антенной
			
$L = 3 \text{ м}$ $D = 2 \text{ м}$ $a_{бок} = 0.3$	$L = 3 \text{ м}$ $D = 2 \text{ м}$ $S_{СБ} = 14 \text{ м}^2$ $a_{цпл} = 0.9$ $a_{СБ} = 0.3$	$L = 3 \text{ м}$ $D = 2 \text{ м}$ $d_{ант} = 1 \text{ м}$ $S_{СБ} = 14 \text{ м}^2$ $a_{цпл} = 0.9$ $a_{ант} = 0.9$ $a_{СБ} = 0.3$	$L = 3 \text{ м}$ $D = 2 \text{ м}$ $d_{ант} = 1 \text{ м}$ $S_{СБ} = 2 \text{ м}^2$ $a_{цпл} = 0.9$ $a_{ант} = 0.9$ $a_{СБ} = 0.3$
Ориентация: ось цилиндра перпендикулярна направлению на Солнце	Ориентация: плоскость СБ перпендикулярна Солнцу, ось цилиндра - на подспутниковую точку	Ориентация: плоскость СБ перпендикулярна Солнцу, антенна – на подспутниковую точку	Ориентация: ось цилиндра перпендикулярна направлению на Солнце, антенна – на Землю

Принятая в работе расчетная модель блеска геостационарного КО позволила:

- выполнить оценку ожидаемого блеска «среднего» геостационарного КО и его изменения;
- выявить зоны наиболее благоприятного обнаружения геостационарных КО;
- показать, что максимальный блеск геостационарного КО наблюдается в периоды, близкие к дням равноденствий.

На основе детерминированного подхода к решению прямой задачи фотометрии КО были построены модельные кривые блеска геостационарных КО. Использовались данные об оптических свойствах материалов покрытий их поверхностей из экспериментов по физическому моделированию. Они явились основой создания базы данных для экспертной системы распознавания геостационарных КО по спектрофотометрическим наблюдениям.

Решение прямой задачи фотометрии естественных небесных тел продемонстрировано на модели блеска астероидов в лагранжевых точках земной орбиты (земных астероидов-троянец), в то время, когда не было открыто ни одного их представителя.

Результаты анализа результатов этих расчетов показали возможность обнаружения земных троянцев даже при использовании небольших телескопов.

Оценка ожидаемого блеска земных троянцев в рамках модели взаимных затенений элементами их шероховатых поверхностей оказалась близка к оценке блеска первого обнаруженного объекта (2010 г.).

Методика физического моделирования разработана с целью воспроизведения в лаборатории условий оптического мониторинга астрономических объектов, получения спектральных и фотометрических индикатрис поверхностей космических объектов и их моделей с целью дальнейшего использования в различных экспертных системах оптического мониторинга ОКП.

При разработке методики и аппаратуры для моделирования оптических характеристик космических объектов и их поверхностей потребовался учет как условий освещения их Солнцем, так и условий оптического мониторинга наземными системами.

Эти требования были сформулированы впервые в начале 1980-х гг.:

- конечность видимого с объекта радиуса солнечного диска ($0,0093$ рад с расстояния 1 а. е.);

- параллельность падающих на космическую поверхность лучей ввиду достаточной удаленности Солнца;

- максимум излучения, освещающего объект, приходится на желто-зеленую область спектра с $\lambda_m = 475$ нм и наблюдается при $\lambda_m = 555$ нм с поверхности Земли;

- изображение любого астрономического объекта в астрономическом инструменте точечное. В случае близкого и крупного объекта (например, МКС) важно, чтобы весь объект помещался в полевую диафрагму фотометра.

Модель космического тела или поверхность освещалась параллельным пучком излучения, сформированного коллиматором. Фотометрические измерения велись в цветовой системе, близкой к астрономической визуальной системе V ($\lambda_{max} = 550$ нм). Рассеянное излучение регистрировалось фотоэлектрическим фотометром (в современном варианте – ПЗС-камерой) применяемом в астрономических наблюдениях.

Измерения проводились в сферической системе координат с центром на наблюдаемом объекте (модели). В ней ϕ_S , ϕ_N – широты Солнца и земного наблюдателя относительно экватора системы, $\Delta\vartheta$ – разность их долгот. В лаборатории эти величины соответствовали широтам и разности долгот источника и приемника излучения. Фазовый угол φ объекта (угол с вершиной при модели между направлениями на источник и приемник света) определялся в этой системе выражением

$$\cos \varphi = \sin \phi_S \sin \phi_N + \cos \phi_S \cos \phi_N \cos \Delta\vartheta. \quad (4)$$

a). Определение спектральной яркости поверхности

Из классических законов рассеяния излучения диффузными поверхностями известно, что поток, попадающий в приемник излучения, пропорционален яркости поверхности в наблюдаемой площадке. Для случая, реализованного в работе, при измерениях в описанной системе координат этот закон выразится соотношением

$$d\Phi(\lambda) = b(\lambda) \sin \phi_N d\omega dS, \quad (5)$$

где $b(\lambda)$ и dS – яркость и видимая площадь освещенной площадки, $d\omega$ – телесный угол объектива приемного устройства, под которым он виден с поверхности образца; ϕ_N – широта объектива приемного устройства.

Если теперь регистрируется поток $d\Phi_0$ от какого-либо ортотропного (рассеивающего по закону Ламберта) стандартного образца плоской поверхности, поставленной в такие же условия видимости, то

$$b(\lambda) = b_0(\lambda) \frac{d\Phi(\lambda)}{d\Phi_0(\lambda)}. \quad (6)$$

Далее, поскольку на выходе приемного устройства измеряется фототок (усиленный) ФЭУ, вызванный падающим на него световым потоком, то напряжение dU на нагрузке усилителя постоянного тока можно записать как

$$dU = kd\Phi, \quad (7)$$

где k – передаточный коэффициент приемного устройства.

Тогда измеряемая яркость образца поверхности

$$b(\lambda) = b_0(\lambda) \frac{dU(\lambda)}{dU_0(\lambda)}. \quad (8)$$

Следует отметить, что полученные значения $b(\lambda)$ характеризуют спектральную яркость образца в направлении, в котором производятся измерения (характеризуемом углами $\phi_S, \phi_N, \Delta\vartheta$), то есть фактически индикатрису рассеяния $b_\lambda(\varphi)$. Поскольку измерения проводились относительно баритового экрана с почти ортотропной поверхностью и тщательно определенной индикатрисой рассеяния и геометрическим альбедо $a_0(\lambda)$, близким к 1 в области 400–800 нм, яркость $b(\lambda)$, приведенная к нормальным углам падения и рассеяния, характеризовала спектральное альбедо $a(\lambda)$ исследуемой поверхности. Альбедо поверхности в области длин волн $\Delta\lambda$ найдется как

$$a = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} a(\lambda) d\lambda. \quad (9)$$

Описанная методика применялась для получения индикатрис рассеяния и определения спектрального альбедо диффузных поверхностей.

Для определения спектрального коэффициента отражения r_λ зеркальной поверхности использовались следующая методика.

Первый подход связан с непосредственной нормировкой излучения по потоку $d\Phi_0(\lambda, S, i)$, падающему от осветительного устройства на исследуемую поверхность, и соответствующего ему значению напряжения $dU_0(\lambda, S, i)$ на выходе приемного устройства. Здесь S – площадь освещенного участка поверхности, i – угол падения света. В этом случае расчет спектрального коэффициента отражения проводился по соотношению

$$r_\lambda = \frac{dU(\lambda, S, i, \varphi, d)}{dU_0(\lambda, S, i)}, \quad (10)$$

где в значения $dU(\lambda, S, i, \varphi, d)$ вносились поправки за расстояние d от поверхности до приемного устройства и за угол рассеяния, который при измерениях зеркальной составляющей совпадает с фазовым углом φ .

Во втором подходе использовался вторичный стандарт, для которого $r_0(\lambda)$ определялся по (10). Тогда спектральный коэффициент отражения зеркальной поверхности

$$r(\lambda, \varphi) = \frac{dU(\lambda, \varphi)}{dU_0(\lambda, \varphi)} r_0(\lambda, \varphi). \quad (11)$$

Таким образом были получены значения спектрального альбедо a_λ диффузной поверхности и спектрального коэффициента отражения излучения зеркальной поверхностью модели относительно источника света установки.

Относительно Солнца спектральная яркость поверхности для этих случаев определялась как

$$B_\lambda = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} b_\lambda E_\lambda^\odot d\lambda, \quad (12)$$

где E_λ^\odot – солнечная спектральная освещенность исследуемой поверхности.

б). Определение относительной величины светового потока, рассеянного моделью астрономического тела

В данном случае приемным устройством регистрируется поток $d\Phi(\lambda)$, рассеянный моделью в направлении наблюдателя, заданном углами ϕ_N и $\Delta\vartheta$, в телесный угол $d\omega$

$$d\Phi(\lambda) = \sum_{i=1}^n b_i(\lambda) \sin \phi_N dS_i d\omega, \quad (13)$$

где $b_i(\lambda)$ и dS_i – яркость и площадь i -го элемента конструкции модели КА.

Этот случай является реализацией спектрофотометрических наблюдений астероидов и КО, когда регистрируется излучение от всего объекта, попадающее в объектив телескопа.

Разработанная методика для моделирования спектрофотометрических свойств безатмосферных тел Солнечной системы и искусственных космических объектов реализована в созданной экспериментальной установке (табл. 3).

Таблица 3

Основные конструктивные параметры установки для физического моделирования оптических характеристик астрономических объектов

<u>Осветительное устройство</u>	
Объектив: диаметр, мм	80
относительное отверстие	1:10
Электрическая мощность источника излучения, Вт	
лампа К 9	300
лампа КГМ	100
Точность контроля стабильности излучаемого потока, %	1
<u>Приемное устройство на базе ФЭУ-86</u>	
Объективы: фокусное расстояние, мм	35; 50
относительное отверстие	1:3,5; 1:2
Поле зрения, град	2,5, 1,6
Стабильность контрольного источника света по току, %	0,1
<u>Подвеска модели</u>	
Число осей	2
Пределы изменения скорости вращения осей, мин ⁻¹	0,5 – 5,0
Максимальные размеры модели, мм	50 X 50
<u>Расстояния</u>	
Модель – объектив осветительного устройства, мм	7700
Модель – объектив приемного устройства, мм	2000
<u>Спектральные характеристики</u>	
Диапазон чувствительности, нм	
призма Аббе	400 – 700
дифракционная решетка	300 – 800
Дисперсия, нм / мм	
призма Аббе	0,5 – 3,0
дифракционная решетка	3,0 – 4,0
<u>Относительная спектральная чувствительность</u>	
в интегральном свете	
максимум, нм	534
полуширина, нм	116
<u>Точность измерений</u>	
Разности долгот источника и приемника излучения, град	0,017
Углов ориентации модели, град	1
Величин сигнала на выходе, %	1
Фотометрических и спектральных характеристик, %	3-5

Реализация методики физического моделирования фотометрических и спектральных характеристик поверхностей космических объектов и безатмосферных тел Солнечной системы, полей рассеяния их моделей технически позволила смоделировать в лаборатории реальные условия видимости объектов различного происхождения, формы и состава поверхности.

Созданная методика лежит в основе банка спектральных индикатрис рассеяния техногенных и естественных поверхностей, полей рассеяния моделей искусственных космических объектов. Результаты исследований привели к однозначному решению прямой задачи фотометрии КО и снижению неоднозначности решения обратной задачи.

Полученные результаты дали возможность повысить эффективность систем оптического мониторинга, оптимизировать системы оперативного распознавания космических объектов оптическими средствами.

В четвертой главе представлены результаты формирования банка данных для экспертных оценок возможностей распознавания КО оптическими системами. В банк вошли данные экспериментальной реализации метода физического моделирования фотометрических и спектральных характеристик материалов покрытий КО и безатмосферных тел Солнечной системы, данные моделирования полей рассеяния КО, сравнительного анализа полей рассеяния КО и их моделей по критериям распознавания отдельных поверхностей. Полученные с помощью разработанных методов результаты позволили решить важную научно-техническую задачу - распознавание КО по данным их оптического мониторинга.

Представлены обобщенные результаты экспериментальной реализации метода физического моделирования фотометрических и спектральных характеристик материалов покрытий КО и безатмосферных тел Солнечной системы, моделирования полей рассеяния КО, сравнительного анализа полей рассеяния КО и их моделей.

В процессе экспериментов получены индикатрисы рассеяния различных материалов, которыми покрываются поверхности различных конструкций КО. По результатам на рис. 5 представлены нормированные к единичной площади индикатрисы рассеяния различных стеклотканей, показывающие значительное отклонение рассеянного ими потока от ламбертовского. Пик излучения, рассеянного вдоль поверхности, вызван перераспределением света в нитях стекловолокна. Показано, что это явление резко уменьшает наклон фазовых кривых и делает его заметно меньшим наклона ортотропной поверхности.

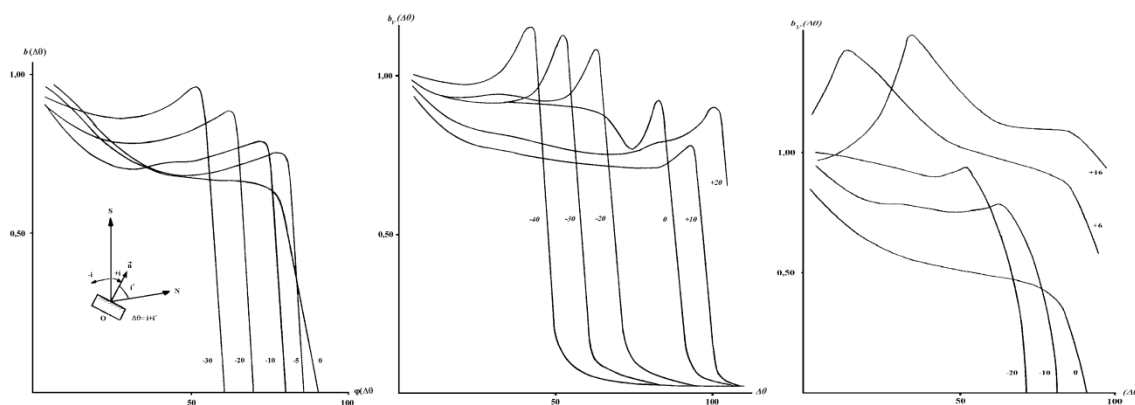


Рис. 5. Изменение яркости образца стеклоткани, армидной металлизированной ткани и стеклотекстолита в функции угла $\Delta\theta$ для различных углов падения i , нормированное к единице для $i=i'=0$ (i' - угол рассеяния)

Поверхности, покрытые красками, напротив, показывают близость рассеянного излучения к ламбертовскому (рис. 6).

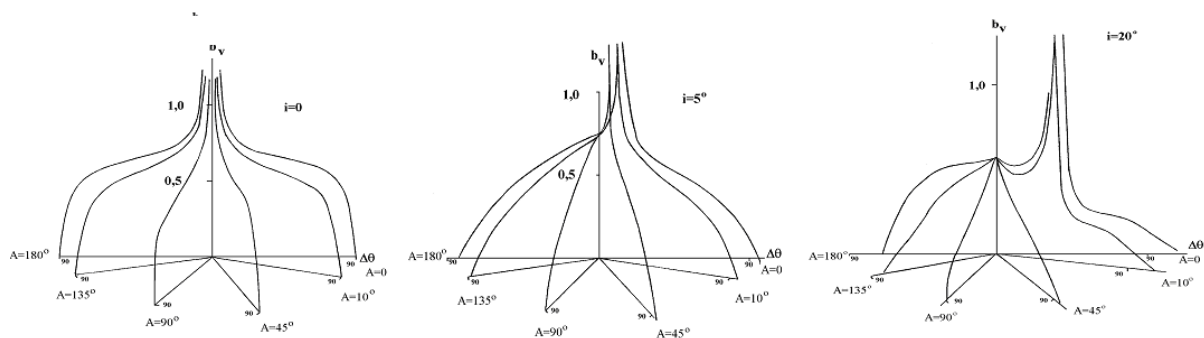


Рис. 6. Пространственная индикатриса рассеяния белой титановой эмали для различных углов падения

Полученные в ходе экспериментов спектральные характеристики покрытий КО представлены на рис. 7.

Спектр стеклотканей показывает существенную зависимость от структуры поверхности.

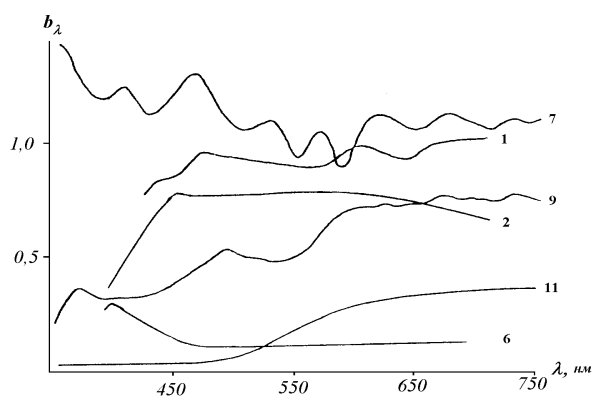


Рис. 7. Нормированная спектральная яркость b_λ некоторых образцов материалов покрытий КА и техногенного космического мусора (1, 7, 9 – стеклоткани и стеклотекстолит; 2 – белая эмаль; 11 – темная коричневая ткань; 6 – СБ)

Спектр кремниевых СБ имеет хорошо выраженный избыток в синей области. Наличие такого избытка приводит к смещению показателя цвета $B-V$ в отрицательную область и является надежным критерием идентификации солнечной панели по данным спектрального и многоцветного фотометрического мониторинга КО.

Следует отметить, что представленные результаты были подтверждены результатами аналогичных исследований, выполненных в США, но значительно позднее.

Проведенный анализ результатов показал, что оптические свойства материалов покрытий КО достаточно разнообразны. Однако, двумерная диаграмма «альbedo–показатель цвета» (рис. 8) выявляет наличие достаточно хорошо выраженных областей, которые занимают на ней те или иные материалы.

Здесь, с учетом данных по различным тканям автор предложил информативную классификацию материалов покрытий ИСЗ по их оптическим свойствам. Было выделено шесть классов покрытий, охватывающих достаточно широкую для практического применения область, как значений альbedo, так и показателя цвета ($B-V$), величину которого чаще всего наиболее просто получить по результатам наблюдений.

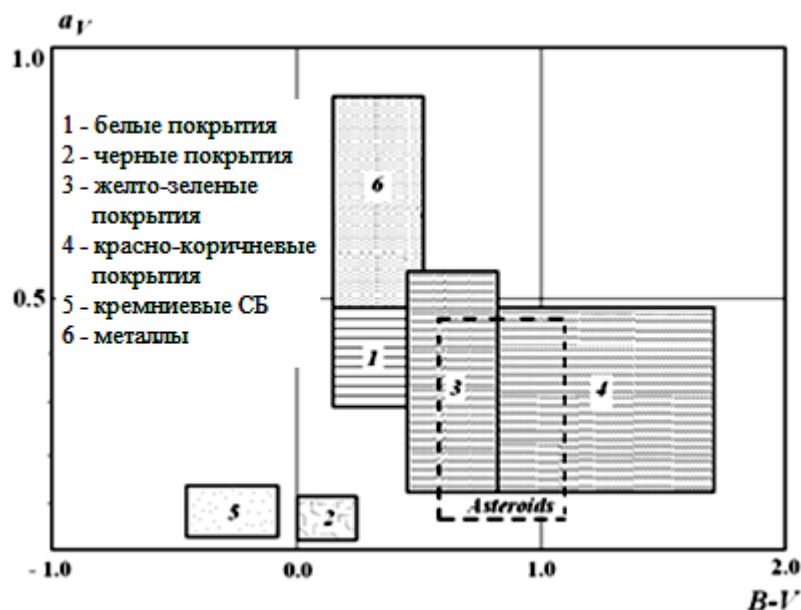


Рис. 8. Схема классификации «альbedo – показатель цвета (B-V)» техногенных поверхностей в сравнении с астероидами

Сравнение результатов проведенных экспериментов с данными наблюдений об оптических свойствах естественных тел позволили сформулировать критерии, позволяющие отличать эти тела друг от друга: при близких по значению показателях цвета $B-V$, $V-R$ наблюдаемых объектов. Оказалось, что наклон фазовых функций поверхностей естественных объектов как минимум в два раза больше наклона фазовых функций поверхностей техногенных объектов (табл.4).

Таблица 4

Оптические параметры техногенных поверхностей в ОКП в сравнении с параметрами естественных поверхностей

Поверхность (вид рассеяния)	Альbedo	Показатель цвета $B-V$	Наклон фазовой кривой	Амплитуда вспышки
СБ (зерк.)	0,05÷0,10	-0,3÷-0,5	0,013	до 10^3
Белая эмаль (зерк.)	~0,80	0,1÷0,5	0,013	~10-30
Ткани без стекловолокна (диф)	0,15÷0,25	0,2÷1,2	0,013	-
Стекловолокно (диф.)	0,25÷0,75	0÷1,2	0,010÷0,012	-
Майлар (зерк.)	0,80	~0	0,013	~ 10^2
Астероиды (диф.)	0,06÷0,40	0,65÷1,1	0,024÷0,20	-
Ламбертовский ци- линдр (теор.)	-		0,013	
Ламбертовская плоскость (теор.)	-		0,014	

В работе впервые получены экспериментальные поля рассеяния типовых физических моделей геостационарных КО. Так, получен набор кривых блеска, характеризующих поле рассеяния модели, близкой по конструкции к геостационарному объекту «Интелсат–5», при заданных условиях видимости, на заданную календарную дату и время наблюдений (рис. 9). Эти ожидаемые фотометрические параметры представили собой экспериментальное решение прямой задачи фотометрии данного объекта.

Сравнительный анализ этих данных и результатов фотометрического мониторинга геостационарного объекта «Интелсат–5» позволил решить обратную задачу - выявить основные отражающие элементы его конструкции, определить их ориентацию, оценить величину эффективной отражательной площади и параметры антенны.

При этом впервые были сформулированы условия, определяющие видимость геостационарных КО, и выведены аналитические выражения для их расчета.

Проведен сравнительный анализ полей рассеяния расчетной модели блеска и физических моделей с такими же конструктивными особенностями для одинаковых условий видимости.

Результаты показали, что метод физического моделирования дает достоверные данные о полях рассеяния КО, позволяет экспериментально учитывать взаимные затенения элементов конструкций КО и однозначно решает прямую задачу фотометрии КО.

Построение каталога полей рассеяния физических моделей КО дает возможность снизить меру неоднозначности при решении обратной задачи фотометрии КО – определение их формы, размеров и конструктивных особенностей по данным фотометрического мониторинга.

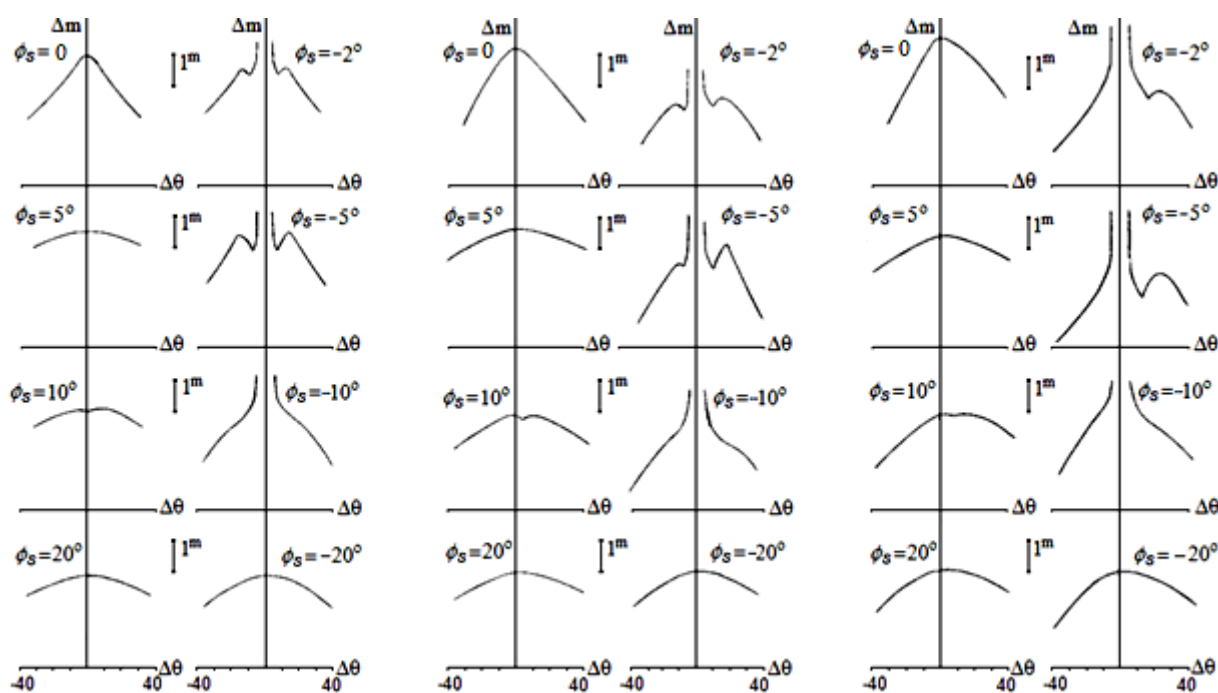


Рис. 9. Кривые блеска физической модели КО Intelsat-5 для различных широт ϕ_s источника излучения

В процессе сравнительного анализа данных эксперимента и фотометрических наблюдений разработан способ оперативной оценки материального состава космического объекта, аналогичный методу построения синтетических спектров.

Для определения блеска модели космического объекта, состоящей из n поверхностей, имеющих различные цветовые характеристики, использовалась оригинальная идея доктора физико-математических наук В.В. Прокофьевой.

В каждой оценке блеска присутствует вклад от этих n поверхностей:

$$\Phi_{ik} = a_1 \cdot \Phi_{1ik} + a_2 \cdot \Phi_{2ik} + \dots + a_n \cdot \Phi_{nik}, \quad (14)$$

где $i=1, 2, \dots, N$ – число наблюдений, k – цветовая полоса, Φ_{ik} – поток от объекта в k -й полосе, $\Phi_{1ik}, \Phi_{2ik}, \Phi_{nik}$ – потоки от поверхностей $1, 2, \dots, n$ в k -й полосе.

Уравнения записывались для нескольких близких по времени i -х оценок блеска и решались с помощью вариаций коэффициентов a_n . Данная процедура проводилась до получения минимальной разности между правой и левой частью уравнения (14), а также повторялась для разных участков кривой блеска исследуемого объекта. Этим способом были получены данные о цветовых характеристиках поверхностей ряда геостационарных ИЗС и астероидов.

Таким образом, впервые была решена задача определения конструкции геостационарного спутника и материалов покрытия ее элементов по результатам сравнительного анализа данных фотометрического мониторинга геостационарного спутника и физического моделирования.

Проведенные исследования позволили создать банк данных фотометрических и спектральных характеристик геостационарных ИЗС, использовавшийся в дальнейшем в экспертных системах по распознаванию космических объектов.

Полученные результаты используются целым рядом исследователей для оперативной идентификации поверхностей объектов на GEO.

В пятой главе представлены: методика мониторинга опасных метеороидов в метеорных потоках с помощью широкоугольной оптической ПЗС-системы; экспериментальные оценки средней пространственной плотности опасных метеороидов в метеорном потоке Персеиды в период действия этого потока на протяжении длительного промежутка времени; модель оценки риска опасных соударений космической техники с метеороидами в околоземном пространстве; оригинальная методика, оптимизирующая расчет средних значений метеороидного риска для КА с различными параметрами орбиты.

На основе рекомендаций к системам оптического мониторинга на астрономической обсерватории Рязанского госуниверситета имени С.А. Есенина разработана широкоугольная оптическая ПЗС-система для мониторинга загрязнения ОКП космическим мусором естественного и техногенного происхождения.

Исследование параметров системы (табл. 5) на базе черно-белой телевизионной камеры Watec-902H с 1/2" электронной матрицей ICX-249AL (Япония) показало, что с ее помощью возможно осуществлять как базисный мониторинг метеорных явлений (определение орбит метеорных тел), так и широкоугольный мониторинг ярких метеоров (оценка метеороидной опасности).

Таблица 5

Параметры широкоугольной ТВ-системы для мониторинга метеорных явлений

Объектив	Поле зрения, град	Дисторсия на краю поля зрения, град	Проницающая способность, ТВ режим/сложение кадров, м	Максимум спектральной чувствительности, нм	Цель использования
Computar HG0808AFCS	45X34	0,6	5,2/7,5	550	Базисный мониторинг
Computar T2314FICS	140X100	10	2,5/4,8	550	Широкоугольный мониторинг

Эффективность системы состоит в возможности оценки метеороидной опасности в режиме реального времени, что продемонстрировано проведенными исследованиями.

Так, по программе исследования опасных метеороидов в метеорных потоках в период 2007-2013 гг. (исключая 2010 г.) наблюдалось около 300 ярких метеоров потока Персеиды. Учитывались метеоры, абсолютный блеск которых составлял $M \geq 0^m$. Результаты исследований представлены на рис. 10а.

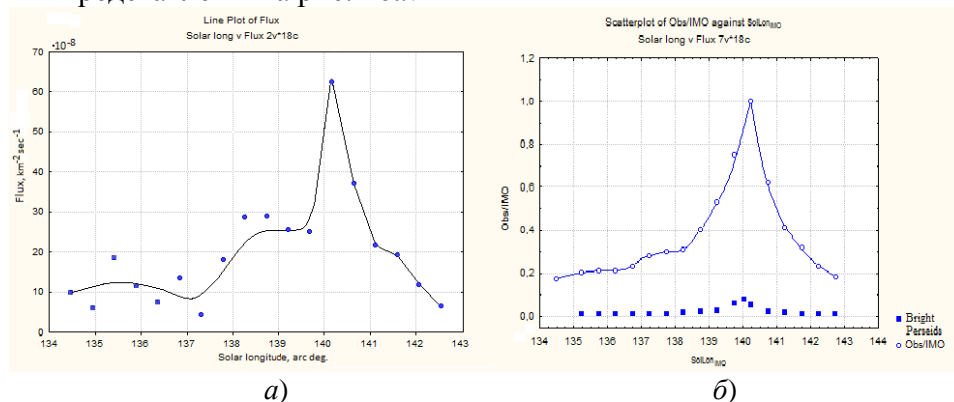


Рис. 10. График, описывающий результаты широкоугольного ПЗС-мониторинга ярких Персеид 2007-2013 гг. (а); сравнение их с данными IMO по всему потоку (б)

Здесь же (рис. 10б) представлено сравнение полученных нами средних значений плотности потока ярких Персеид и всего потока по визуальным данным Международной метеорной организации (ИМО) в 2007-2013 гг. За единицу принята средняя максимальная пространственная плотность потока в ИМО $D=81 \cdot 10^{-9} \text{ км}^{-3}$. Распределение ярких метеоров оказалось статистически близко к распределению всех метеоров потока Персеиды. В период максимума Персеид поток опасных частиц достигал мгновенного значения $F=(3,8 \pm 1,1) \cdot 10^{-7} \text{ км}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$. Максимальное значение средней плотности потока ярких Персеид относительно данных ИМО в этот период достигало 0,076.

Общее содержание метеоров ярче 0^m в потоке Персеиды равно отношению интегралов вида $\int_{\lambda} D d\lambda$ под кривыми, и в период 2007-2013 гг. оно составило $0,051 \pm 0,008$.

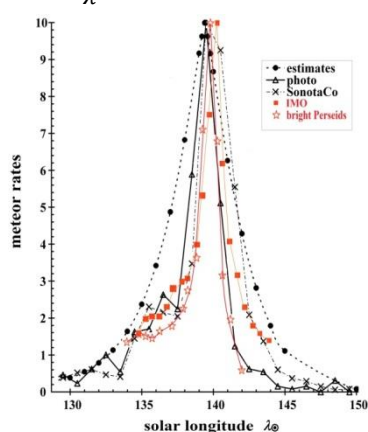


Рис. 11. График результатов мониторинга ярких Персеид 2007-2013 гг. в сравнении с данными других наблюдений и модельными расчетами

Нормированные результаты мониторинга ярких Персеид в 2007-2013 гг. приведены на рис. 11 в сравнении с данными ИМО.

Здесь показаны числа, характеризующие активность потока для фотографических и ТВ-наблюдений (*SonotaCo*), а также модельные расчеты (*estimates*). В этой же шкале приведены наши усредненные результаты (*bright Perseids*) за 2007-2013 гг. и усредненные данные Международной метеорной организации по визуальным наблюдениям Персеид в этот же период.

Для оценки меры опасности для космической техники от метеороидов метеорных потоков, имеющих блеск ярче 0^m , разработана математическая модель метеороидного риска в околоземном пространстве.

В нее входит расчет общего количества соударений метеороидов с КА за время $T=t_2-t_1$ по интегралу

$$N = \int_{t_1}^{t_2} k \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot F(t) \cdot dt, \quad (15)$$

где $F(t)$ – поток опасных метеороидов, зависящий от времени, и определяемый из астрономических наблюдений; k, K_1, K_2, K_3 - некоторые специальным образом рассчитываемые действительные коэффициенты, при этом K_1 учитывает координаты метеорного потока и время его действия; K_2 учитывает ориентацию КА относительно направления на радиант потока; K_3 учитывает ориентацию орбиты КА относительно Земли.

Кроме экспериментальных данных мониторинга модель метеороидного риска включает в себя следующие составляющие: 1) классификацию опасных метеороидов; 2) опасные направления, то есть распределение метеорных потоков и спорадических метеоров в пространстве; 3) распределение метеорных потоков по временам года и внутри этих времен по продолжительности действия; 4) распределение метеорных потоков по скоростям и массам метеоров; 5) пространственное распределение метеорных частиц внутри самого потока; 6) эффект гравитационного притяжения метеорных частиц Землей; 7) эффект затенения метеороидов Землей от наблюдателя; 8) ориентацию всего КА, а также элементов его конструкций относительно направления прихода метеороидов; 9) время пребывания КА на орбите и время действия метеорного потока на КА.

Для оценки метеороидной опасности разработана методика, позволяющая достаточно просто, в отличие от других известных методик, провести общую оценку метеороидного риска в системе координат, связанной с движущимся по орбите КА.

Например, для модели сферического КА, обращающегося вокруг Земли по круговой орбите, количество соударений определяется только плотностью потока $F(\lambda_{\odot})$, площадью полусферы КА, обращенной к радианту, временем пребывания в тени от Земли, экранирующей поток, и временем T .

Профиль потока опасных метеороидов задавался распределением вида:

$$F = F_0 \exp\{-B|\lambda_{\odot} - \lambda_0|^2\}, \quad (16)$$

в котором F_0 – это максимальное значение потока вблизи солнечной долготы λ_0 , B – фактор, эмпирически определяемый из наблюдений для периода до максимума потока и после него.

На небесной сфере КА в спутникоцентрической системе координат (рис. 12) диск Земли движется по экватору системы, а радиант метеорного потока описывает малый круг, плоскость которого параллельна его плоскости. Здесь R, E, \odot, Υ - направления на радиант метеорного потока, Землю, Солнце и точку весеннего равноденствия; b – эклиптическая широта; ϕ - спутникоцентрическая широта; $\Pi_{КО}$ и ϱ - полюс и восходящий узел орбиты КА. То есть в данной системе координаты Земли характеризуются положением КА на орбите.

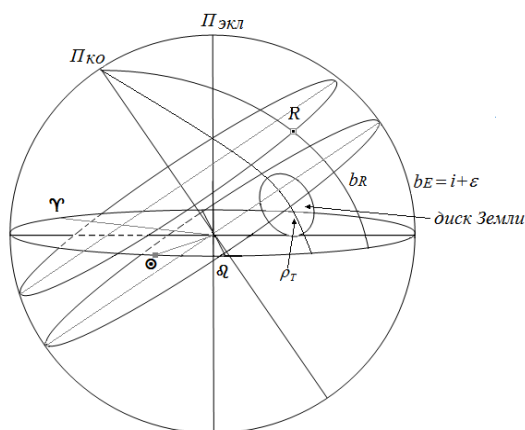


Рис. 12. Небесная сфера в спутникоцентрической системе координат

Условие затенения потока Землей: расстояние между центром видимого диска Земли и радиантом потока не должно превышать радиуса видимого диска Земли ρ_E плюс толщина слоя атмосферы до высоты сгорания метеоров – 100 км.

Спутникоцентрические широты центра диска Земли и радианта можно определить из соотношений:

$$\begin{cases} \phi_R = b_R - i - \varepsilon, \\ \phi_E = 0 \end{cases} \quad (17)$$

где i – наклон орбиты спутника к эклиптике; $\varepsilon=23^\circ 27'$ наклон эклиптики к экватору. Тогда условие попадания КА в тень от Земли описывается неравенством

$$b_R - i - \varepsilon \leq \rho_E, \quad (18)$$

где ρ_E – видимый с КА угловой радиус Земли.

Угловые размеры тени от Земли для метеоров, падающих на КА, определяются из соотношения

$$\sin \rho_E = \frac{R_m}{R_E + h}, \quad (19)$$

где R_m – радиус Земли с учетом толщины слоя атмосферы, в котором сгорают метеоры (~100 км), h – высота орбиты КА; радиус Земли без учета толщины слоя атмосферы $R_E=6400$ км.

На рис. 13 представлены результаты расчета потока опасных метеороидов в Персеидах 2007-2013 гг. на поверхность КА сферической формы для случая, когда радиант потока ($\delta_R=58^\circ$) лежит в плоскости его орбиты $\phi_R = \phi_E = 0$ в период 3-х суток вблизи максимума потока. Разность солнечных долгот примерно соответствует примерно 3° , так как скорость движения Солнца по эклиптике $\Delta \lambda_\odot = 0,9863^\circ \text{сут}^{-1}$.

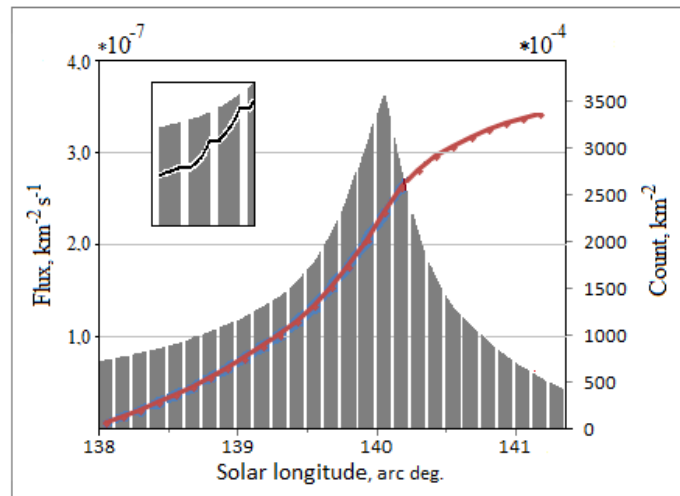


Рис. 13. График распределения потока опасных метеороидов роя Персеиды в период максимума его активности 2007-2013 гг. при воздействии на КА сферической формы с наклоном орбиты, равным наклону орбиты метеорного роя

Эффект гравитационного притяжения для данной орбиты КА и скорости метеоров в Персеидах выражен весьма слабо и его поправочный коэффициент близок к 1.

Заштрихованные участки на рис. 13 – это зоны, во время пребывания в которых КА подвергался бомбардировке метеороидами. В промежутках между ними КА был заслонен от метеороидов Землей.

Расчеты, основанные на результатах мониторинга, показали, что в период максимума Персеид поток опасных частиц достигал мгновенного значения $F=(3,8 \pm 1,1) \cdot 10^{-7} \text{ км}^{-2} \text{ с}^{-1}$, а общее число соударений N за расчетный период оказалось близким к $0,35 \text{ км}^{-2}$, то есть примерно 0,1 соударение в сутки на промежутке $\Delta \lambda_\odot = 3,2^\circ$.

На базе разработанной модели риска проведен расчет потока опасных метеороидов и метеороидного риска для основных метеорных потоков в году: Quadrantids-2014 (январь), Eta Aquariids-2013 (май), Perseids-2014 (август), и Geminids-2014 (декабрь). Вблизи максимумов метеороидный риск составляет:

Quadrantids-2014. За $0,25^d$ $R=1,2 \cdot 10^{-2} \text{km}^{-2}$ - 1 соударение на 1km^2 в среднем за 21^d $R=0,01$.

Eta Aquariids-2013. За $1,0^d$ $R=5 \cdot 10^{-2} \text{km}^{-2}$ - 1 соударение на 1km^2 в среднем за 20^d $R=0,05$.

Perseids-2014. За $1,0^d$ $R=1,2 \cdot 10^{-2} \text{km}^{-2}$ - 1 соударение на 1km^2 в среднем за 80^d , $R=0,01$.

Geminids-2014. За $0,25^d$ $R=1 \cdot 10^{-2} \text{km}^{-2}$ - 1 соударение на 1km^2 в среднем за 25^d , $R=0,01$.

Таким образом, для КА с площадью миделя 10m^2 риск в эти периоды составляет $R=(1-5) \cdot 10^{-7}$. Это представляет заметную опасность, если учесть, что предельный допустимый риск определяется как $R_{пред.}=10^{-6}$, и такая опасность нуждается в учете.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

В работе решена крупная научно-техническая проблема, связанная с повышением эффективности функционирования экспертных систем мониторинга объектов в околоземном пространстве оптическими средствами для обеспечения безопасности космических полетов, прогнозирования чрезвычайных ситуаций, контроля экологического состояния ближнего космоса.

Созданы методические основы мониторинга объектов в околоземном пространстве, поиска, обнаружения и распознавания тел различного происхождения в околоземном космическом пространстве (в том числе опасных космических тел) оптическими средствами, оценки метеороидного риска в ближнем космосе.

1. Разработаны методические основы мониторинга околоземного пространства для повышения эффективности обнаружения и идентификации объектов в околоземном пространстве оптическими средствами.

2. Выполнен системный анализ проблемы мониторинга загрязнений околоземного пространства оптическими средствами.

Получен ряд новых важных результатов в области получения, анализа и обработки экспертной информации методами фотометрического мониторинга космических объектов оптическими системами.

Решена прямая задача фотометрии безатмосферных тел Солнечной системы и искусственных космических объектов в околоземном пространстве. В решении учитываются взаимные затенения элементов естественных поверхностей или конструкций КО, строение самих поверхностей и их фотометрические характеристики. Оценен ожидаемый блеск космического мусора, опасных космических тел, метеорных явлений, вызываемых метеороидами различной массы и скорости входа в атмосферу.

Разработана методика фотометрического мониторинга искусственных космических объектов и оптического мониторинга пролета метеорных частиц в атмосфере.

3. Представлена строгая математическая постановка основной задачи спектрофотометрии космических объектов, предложены направления ее решения. Реализована методика разработки каталога расчетных моделей блеска геостационарных КО. Представлена модель оценки ожидаемого блеска астероидов-троянецов на орбите Земли.

4. Разработана и реализована методика физического моделирования фотометрического мониторинга объектов в околоземном пространстве.

5. Создан банк данных об оптических свойствах поверхностей космических объектов, основанный на результатах реализации методики их физического моделирования, для использования в системах идентификации космических объектов оптическими средствами.

6. Разработана методика сравнительного анализа, позволяющая идентифицировать объекты и поверхности космического мусора по сравнительному анализу результатов моделирования и оптического мониторинга.

5. Разработана методика широкоугольного ПЗС-мониторинга опасных метеороидов в метеорных потоках. Получены экспериментальные оценки средней пространственной плотности опасных метеороидов в метеорном потоке Персеиды в период действия этого потока на протяжении длительного промежутка времени.

6. Разработана модель метеороидного риска в околоземном пространстве, позволяющая спрогнозировать и оценить метеороидную опасность для космической техники.

ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основные работы, опубликованные в изданиях ВАК и в изданиях с международным цитированием

1. Муртазов А.К. Лабораторная фотометрия ярких диффузных цилиндров [Текст] / А.К. Муртазов // Известия вузов СССР. Физика. – М: ВИНТИ 1983. № 6178. - 8 с.
2. Муртазов А.К. Моделирование фотометрических характеристик астрономических объектов [Текст] / В.И. Курышев, А.К. Муртазов, С.И. Верещагин // Известия вузов СССР. Приборостроение. - 1985. т. XXVIII. - С. 81-85.
3. Муртазов А.К. Методы расчета блеска ИКО (обзор) [Текст] / В.И. Курышев, А.К. Муртазов // Астрономический вестник. - М: ВИНТИ. 1986. № 6851. - 27 с.
4. Муртазов А.К. Физическое моделирование фотометрических характеристик ИСЗ [Текст] / В.И. Курышев, А.К. Муртазов // Наблюдения искусственных небесных тел. Астросовет АН СССР. – 1987. № 83. С. 39-44.
5. Муртазов А.К. Изучение рассеяния излучения образцами покрытий космических аппаратов [Текст] / В.И. Курышев, А.К. Муртазов, Л.И. Пранис-Проневич // Ракетно-космическая техника. - 1988, серия 2. – С. 44-48.
6. Муртазов А.К. Изучение спектров рассеяния излучения образцами покрытий СКО [Текст] / В.И. Курышев, А.К. Муртазов, Л.И. Пранис-Проневич // Ракетно-космическая техника. - 1989, серия 2.
7. Муртазов А.К. Физическое моделирование полей рассеяния ГСС [Текст] / В.И. Курышев, А.К. Муртазов // Наблюдения ИНТ. Астросовет АН СССР. – 1989. № 85. - С. 28-32.
8. Муртазов А.К. Измерения спектрального состава излучения, рассеянного покрытиями ГСС [Текст] / А.К. Муртазов // Наблюдения ИНТ. Астросовет АН СССР. – 1989. № 85. - С. 43-46.
9. Муртазов А.К. Физическое моделирование спектральных характеристик астрономических тел [Текст] / В.И. Курышев, А.К. Муртазов / Наблюдения ИНТ. Астросовет АН СССР. – 1990. № 87. - С. 103-112.
10. Муртазов А.К. Фотометрические измерения яркости геостационарного спутника в полосах В, V, R в момент изменения его ориентации [Текст] / А.К. Муртазов, Н.Н. Носова, В.В. Прокофьева // Ракетно-космическая техника. - 1991. серия 2. – 15 с.
11. Муртазов А.К. Определение ориентации и деталей конструкции геостационарного спутника по фотометрическим измерениям блеска [Текст] / А.К. Муртазов, Н.Н. Носова, В.В. Прокофьева // Ракетно-космическая техника. - 1991. серия 2. – 16 с.
12. Муртазов А.К. Моделирование на ЭВМ спектральных кривых блеска геостационарных спутников [Текст] / А.В. Белошенко, В.В. Куприянов, А.К. Муртазов // Ракетно-космическая техника. – 1991. Сер. 15. Вып. 6. – С. 27-33.
13. Муртазов А.К. Определение спектральных альбедо покрытий компонент КО по его спектральным кривым блеска [Текст] / А.В. Белошенко, В.В. Куприянов, А.К. Муртазов // Ракетно-космическая техника. – 1991. Сер. 15. Вып. 6. – С. 49-51.
14. Муртазов А.К. Создание каталога кривых блеска «типичных» моделей ГСС методом моделирования на ЭВМ [Текст] / А.В. Белошенко, В.В. Куприянов, А.К. Муртазов // Наблюдения ИНТ. Астросовет АН СССР. – 1994. № 88. - С. 54.

15. Муртазов А.К. Автоматизированная система для получения пространственных спектральных индикатрис рассеяния излучения поверхностей [Текст] / Г.Н. Волков, В.В. Куприянов, А.К. Муртазов, В.Г. Остяков // Наблюдения ИНТ. Астросовет АН СССР. - 1994. № 88. - С. 53.
16. Муртазов А.К. Эйконалная модель спектральных коэффициентов яркости шероховатых диэлектрических поверхностей ИСЗ [Текст] / В.В. Куприянов, А.К. Муртазов, А.В. Яковенко // Наблюдения ИНТ. Астросовет АН СССР. - 1994. № 88. - С. 56.
17. Муртазов А.К. Результаты исследования оптических свойств покрытий ИНТ [Текст] / А.К. Муртазов // Наблюдения ИНТ. Астросовет АН СССР. - 1994. № 88. - С. 54.
18. Murtazov A.K. Ecology and Circumterrestrial Space [Текст] / A.K. Murtazov // *Astronomical&Astrophysical Transactions*. - 2003. V. 22. N4-5. - PP. 651-656.
19. Муртазов А.К. Прямая задача фотометрии при оптическом мониторинге космических объектов в околоземном пространстве [Текст] / А.К. Муртазов // Известия ВУЗов. Физика. – 2006, № 11. – С. 67-71.
20. Murtazov A.K. Direct photometric problem of optical monitoring of objects in circumterrestrial space [Текст] / A.K. Murtazov // *Russian Physics Journal*. – NY: Springer, 2006. V. 49, N 11. - PP. 1224-1229.
21. Муртазов А.К. Экологический мониторинг загрязнения околоземного пространства оптическими методами [Текст] / А.К. Муртазов, А.В. Воскресенский, Д.В. Колосов, П.В. Титов // Экологические системы и приборы. – 2007. № 3. – С. 24-26.
22. Муртазов А.К. Температура Земли и метеорные потоки [Текст] / А.К. Муртазов // Известия ВУЗов. Физика. – 2007, №4. – С. 95-97.
23. Murtazov A.K. Ground Temperature and Meteor Showers [Текст] / A.K. Murtazov // *Russian Physics Journal*. – NY: Springer, 2007. V. 50, N 4. - PP. 409-411.
24. Муртазов А.К. Перспективы развития исследований в области экологического мониторинга космоса [Текст] / А.К. Муртазов // Российский научный журнал. – 2007, №1. - С. 153-156.
25. Муртазов А.К. Современные проблемы экологии околоземного пространства [Текст] / А.К. Муртазов, Е.С. Иванов // Вестник РУДН. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2008, №1. – С. 80-86.
26. Murtazov A.K. Bright Perseids in 2007 [Текст] / A.K. Murtazov, A.V. Efimov, D.V. Kolosov // *WGN. The Journal of International Meteor Organization*. – 2008, V. 36. N 4. - PP. 77-78.
27. Муртазов А.К. Мониторинг естественного загрязнения околоземного пространства опасными метеорными телами [Текст] / А.К. Муртазов // Экологические системы и приборы. – 2008. № 6. С. 8-10.
28. Муртазов А.К. Организация системы оптического мониторинга загрязнения околоземного пространства [Текст] / А.К. Муртазов // Экологические системы и приборы. – 2009. № 1. – С. 28-32.
29. Муртазов А.К. Мониторинг загрязнений околоземного пространства оптическими средствами [Текст] / А.К. Муртазов // Вестник РУДН. Экология и безопасность жизнедеятельности. – 2010. № 5. - С. 23-28.
30. Муртазов А.К. Загрязнение околоземного пространства метеорными телами потока Персеиды в 2007-2009 гг. [Текст] / А.К. Муртазов // Экологические системы и приборы. – 2010. № 11. С. 8-15.
31. Муртазов А.К. Метеорные исследования как метод оценки экологического состояния околоземного пространства [Текст] / А.К. Муртазов // Российский научный журнал. – 2010. № 6 (19). - С. 238-247.
32. Murtazov A.K. Wide-Angle TV-Observations of Bright Perseids in 2007 – 2009 and Risk in Space: Proceedings of the International Meteor Conference (IMC-2010) and Radio Meteor School / Ed. by D.J. Asher, A.A. Christou, P. Atreya and G. Barentsen. - Armagh: Northern Ireland, UK. 2011. – PP. 72-75.
33. Муртазов А.К. Естественное загрязнение околоземного пространства как экологический фактор [Текст] / А.К. Муртазов // Экологические системы и приборы. – 2011. № 8. – С. 8-13.
34. Муртазов А.К. Организация комплексных телевизионных метеорных наблюдений на астрономической обсерватории Рязанского госуниверситета [Текст] / А.К. Муртазов // Вестник СибГАУ. – 2011. № 6(39). - С. 109-112.
35. Murtazov A.K., Efimov A.V., Titov P.V. Double-Station Meteor Observations in Ryazan, Russia: Proceedings of the International Meteor Conference. La Palma, Canary Islands, Spain, 20–23 September, 2012. - International Meteor Organization, Mattheessensstraat 60, 2540 Hove, Belgium. – 2013. – PP. 192-196.

36. Murtazov A. K. Physical simulation of space objects' spectral characteristics for solving the reverse problem of their photometry / A.K. Murtazov // American Journal of Modern Physics. – Science PG, 2013, V 2(n 6). - PP. 282-286.
37. Муртазов А.К. Модели естественного загрязнения околоземного пространства [Текст] / А.В. Багров, А.К. Муртазов // Экологические системы и приборы. – 2013. № 1. – С. 28-34.
38. Муртазов А.К. Использование эйкональной модели спектрального альbedo шероховатых покрытий космических объектов для решения прямой задачи их фотометрии [Текст] / А.К. Муртазов // Известия вузов. Физика. – 2014. № 6. – С. 57-60.
39. Murtazov A.K. Bright Perseids 2007-2013 and Artificial Earth Satellites Collision Risk Assessment [Текст] / A.K. Murtazov // WGN. The Journal of the International Meteor Organization. – 2014. V. 42, n. 2 - PP. 65-67.
40. Murtazov A.K. Using the eikonal model of rough surfaces' spectral albedo for solving their photometry direct problem [Текст] / A.K. Murtazov // Russian Physics Journal. – 2014. Vol. 57, No 6, October. - PP. 768-771.
41. Murtazov A. Assessing risk from dangerous meteoroids in main meteor showers [Текст] / A.K. Murtazov // Proceedings of the International Meteor Conference. Mistelbach, Austria, 27–30 August 2015. International Meteor Organization. Ed. Jean-Louis Rault, Paul Roggemans. PP. 155-156.
42. Муртазов А.К. Модель метеорного риска в околоземном пространстве [Текст] / В.В. Миронов, А.К. Муртазов // Космические исследования. – 2015. № 6. – С. 469-475.
43. Murtazov A.K. Model of meteoroid risk in near-Earth space [Текст] / V.V. Mironov, A.K. Murtazov // Cosmic Research. – 2015. n. 6. – PP. 430-436.
44. Муртазов А.К. Анализ методов определения орбит метеоров по данным базисных ПЗС-наблюдений [Текст] / А.К. Муртазов // Российский научный журнал. – 2015. № 4(47). – С. 318-327.
45. Муртазов А.К. Оптические свойства малых тел Солнечной системы и их моделирование в лаборатории [Текст] / А.К. Муртазов // Российский научный журнал. – 2015. № 6 (49). – С. 72-87.
46. Murtazov A.K. Measurements of CCD optical linearity for magnitude determination during meteor observations [Текст] / A.K. Murtazov, A.V. Efimov // Proceedings of the International meteor conference IMC-2016. Egmond, the Netherlands, June 2-5. - PP. 202-204.

Статьи и материалы конференций

47. Муртазов А.К. Модели для ожидаемого блеска СКО [текст] / С.И. Верещагин, А.К. Муртазов, С.И. Ярошевский // Научно-методические материалы. - М.: в/ч 03444, 1983. № 1. - 12 с.
48. Муртазов А.К. Физическое моделирование оптических характеристик геостационарных ИСЗ с целью решения основной задачи их фотометрии [текст] / А.К. Муртазов // Наблюдения и динамика небесных тел. Межвузовский сборник научных и научно-методических трудов. – Рязань–Ярославль, 1999. - С. 38-52.
49. Муртазов А.К. Техногенная деятельность в космосе и ее воздействие на биосферу [текст] / А.К. Муртазов // Инженерная география. Экология урбанизированных территорий: материалы международной конференции– Ярославль, 1999. - С. 125-129.
50. Муртазов А.К. Околоземное пространство как составная часть окружающей среды: [текст] / А.К. Муртазов // Рук. деп. в ВИНТИ РГПУ. 2000. №302-ВОО. - 27 с.
51. Муртазов А.К. Оптические свойства поверхностей ИКО и техногенных отходов в космосе [текст] / А.К. Муртазов // Околоземная астрономия и проблемы изучения малых тел Солнечной системы. – М.: Космосинформ, 2000. - С. 262-268.
52. Муртазов А.К. Распознавание космического мусора по результатам его оптических наблюдений [текст] / А.К. Муртазов // Космическая защита Земли-2000: материалы международной конференции. – Евпатория, 2000. - С. 84-85.
53. Муртазов А.К. Космический мусор в околоземном пространстве [текст] / А.К. Муртазов // Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика: материалы 3 международной научно-технической конференции. – Рязань, 2000. - С. 87.
54. Murtazov A.K. Identification of Circumterrestrial Space Natural and Technogenic Debris by Its Optical Properties [текст] / A.K. Murtazov // Comets. Asteroids. Meteors. Meteorites. Astroblesmes. Craters: proceedings of International Conference/ Ed. by Prof. K.I. Churyumov. – Vinnytsia, 2003. – PP. 325-328.

55. Муртазов А.К. Загрязненность околоземного пространства в период действия метеорных потоков [текст] / А.К. Муртазов // Околоземная астрономия - 2003. – СПб: ВВМ, 2004. Т. 1. – С. 248-251.
56. Муртазов А.К. Экология околоземного космического пространства [текст] / А.К. Муртазов. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2004. – 304 с.
57. Муртазов А.К. Астероиды в лагранжевых точках орбиты Земли [текст] / А.К. Муртазов // Астрономия 2005 - современное состояние и перспективы развития»: тезисы международного симпозиума – М.: Труды ГАИШ, 2005. Т. LXXVIII. -С. 22.
58. Муртазов А.К. Исследование параметров ПЗС-систем для оптического мониторинга загрязнения околоземного пространства [текст] / А.К. Муртазов, А.В. Воскресенский, А.В. Ефимов, Д.В. Колосов, П.В. Титов // Всероссийские чтения К.Д. Ушинского: материалы всероссийской конференции. - Ярославль: ЯГПУ, март, 2008. – С. 27-34.
59. Муртазов А.К. Оценка величины метеорной фракции в теле Тунгусского болида [текст] / А.В. Багров, Г.Т. Болгова, В.А. Леонов, А.К. Муртазов // 100 лет Тунгусскому феномену: прошлое, настоящее, будущее»: тезисы международной конференции. – М: 26-28 июня 2008. С. 18-19.
60. Муртазов А.К. Тунгусский метеорит и астероидная опасность [текст] / А.В. Багров, А.К. Муртазов, В.И. Фельдман // 100 лет Тунгусскому феномену: прошлое, настоящее, будущее»: тезисы международной конференции. – М: 2008. С. 165-166.
61. Муртазов А.К. Экология космоса как синтез наук о Земле и современной астрофизики [текст] / Е.С. Иванов, А.К. Муртазов // «Актуальные проблемы космонавтики (астрономии) и общества». Сборник научных работ всероссийской конференции, посвященной 45-летию полета в космос первой женщины-космонавта В.В. Терешковой. - Ярославль: Издатель Александр Рутман, 2008. – С. 27-35.
62. Муртазов А.К. Исследование возможностей камеры КРС-650ВН для мониторинга околоземного пространства [текст] / А.К. Муртазов // Радиотехнические тетради. - № 36, - 2008. - С. 61-63.
63. Murtazov A.K. Analysis of Large Perseids Monitoring Data [текст] / A.K. Murtazov // International Conference "САММАС-2008". Vinnytsia, Ukraine, 2008. - PP. 32-33.
64. Муртазов А.К. Экологический мониторинг загрязнения околоземного пространства средствами университетских обсерваторий [текст] / А.К. Муртазов, А.В. Воскресенский, А.В. Ефимов, П.В. Титов // Современная экология – наука XXI века: международная научно-практическая конференция. – Рязань. 17.10.2008. – С. 102-110.
65. Муртазов А.К. Исследование распределения опасных метеороидов в потоке Персеиды [текст] / А.К. Муртазов, А.В. Ефимов // Near Earth Astronomy-2009: International Conference. – Kazan, Russia, august, 24-27, 2009. – PP. 111-112.
66. Муртазов А.К. Мониторинг околоземного пространства оптическими средствами. Монография [текст] / А.К. Муртазов. – Рязань: РГУ имени С.А. Есенина, 2010. – 248 с.
67. Муртазов А.К. Опасные метеороиды в потоке Персеиды [текст] / А.К. Муртазов, А.В. Ефимов, В.С. Жабин // Околоземная астрономия-2009. Сб. трудов. – М.: Геос, 2010. - С. 251-257.
68. Муртазов А.К. Естественное загрязнение околоземного пространства как экологический фактор [текст] / А.К. Муртазов // Экологические системы, приборы и чистые технологии: V международная конференция. – М.: 18-21 апреля 2011.
69. Murtazov A.K. Bright meteors and bolides magnitude CCD determination [текст] / A.K. Murtazov // International Meteor Conference. 22 - 25 August 2013, Poznan, Poland.
70. Муртазов А.К. Оценка риска столкновения с опасными метеороидами в околоземном пространстве [текст] / А.К. Муртазов, А.В. Воскресенский, А.В. Ефимов, П.В. Титов // Инновации в науке, производстве и образовании: Сб. трудов II научно-практической конференции с международным участием. – Рязань: 14-16 октября 2013. – С. 262-266.
71. Муртазов А.К. Цифровые технологии в метеорных исследованиях [текст] / А.К. Муртазов, А.В. Воскресенский, А.В. Ефимов, П.В. Титов // Актуальные проблемы астрономии и астрономического образования: всероссийская научная конференция. - Н. Новгород. НГПУ, 12-13 ноября 2013 г. - С. 26-35.
72. Murtazov A.K. Bright Perseids 2007-2012 statistics. Estimation of collision risks in circumterrestrial space [текст] / A.K. Murtazov // European Planetary Science Congress 2013. University College London, 2013, London, UK. - EPSC Abstracts. Vol. 8, EPSC2013-346-1.

73. Муртазов А.К. Статистика широкоугольных ПЗС-наблюдений ярких Персеид в 2007-2013 гг. [текст] / А.К. Муртазов, А.В. Ефимов, П.В. Титов // V Бредихинские чтения: Сб. трудов международной конференции / Под ред. М. Е. Сачкова, А. П. Карташовой, В. В. Емельяненко. - М.: 2014, Изд. Янус-К. – 6 с.
74. Муртазов А.К. Оценка риска соударений в околоземном пространстве с опасными Персеидами в 2007-2013 гг. [текст] / А.К. Муртазов // V Бредихинские чтения: Сб. трудов международной конференции / Под ред. М. Е. Сачкова, А. П. Карташовой, В. В. Емельяненко. - М.: 2014, Изд. Янус-К. – 6 с.
75. Муртазов А.К., Ефимов А.В. Моделирование оптических свойств поверхностей безатмосферных тел Солнечной системы [текст] / А.К. Муртазов, А.В. Ефимов // Инновации в науке, производстве и образовании: Материалы III международной научно-практической конференции. Рязань, 12-14.10. 2014. С. 119-123.
76. Murtazov A.K. Cosmic reason of great glaciation [текст] / A.V. Bagrov, A.K. Murtazov // The 40th COSPAR Scientific Assembly. - Moscow, August, 2-10, 2014. - A1.1-0176-14.
77. Murtazov A.K. Comparison between space debris and asteroids' photometric properties [текст] / A.K. Murtazov // Asteroids, Comets, Meteors: International Conference. Helsinki, 2014. June 30-July 4 (Abstr. 9463) / Book of abstracts/. – p. 400.
78. Муртазов А.К. Фотометрические свойства поверхностей малых тел Солнечной системы [текст] / А.К. Муртазов // Астрономия от ближнего космоса до космологических далей: тезисы международной конференции в рамках очередного съезда Астрономического Общества. М.: ГАИШ МГУ, май 2015 г.
79. Murtazov A.K. Laboratory measurements of volcanic lava spectra in comparison with spectra of meteoroids [текст] / A.K. Murtazov, A.V. Efimov // Meteoroids-2016. International Conference. Noordwijk, the Netherlands, 6-10 June, 2016.
80. Муртазов А.К. Модель блеска земных астероидов-троянец и возможность мониторинга лагранжевых точек земной орбиты [текст] / А.К. Муртазов // Российский научный журнал. – 2016. № 2.– С. 37-43.

МУРТАЗОВ Андрей Константинович

**МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ
МОНИТОРИНГА ОКОЛОЗЕМНОГО ПРОСТРАНСТВА
ОПТИЧЕСКИМИ СРЕДСТВАМИ**

А в т о р е ф е р а т

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Подписано в печать --.--- г. Формат бумаги 60 × 84 1/16.
Бумага ксероксная. Печать ризографическая. Усл. печ. л. 2,0.
Уч.- изд. л. 2,0. Тираж 100 экз. Заказ

Рязанская государственная радиотехническая академия.
390005, Рязань, ул. Гагарина, 59/1.
Участок оперативной полиграфии МУП ИКЦ.
390046, Рязань, ул. Введенская, 107.