

УДК 620.783: 550.388.2-533.9

СТРУКТУРА ПАРАМЕТРОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ОКОЛОЗЕМНОЙ СРЕДЕ. ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНЦЕПЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

Асташкин А.А., Буров В.А., Журавлев С.В., Карелин А.В., Лапшин В.Б., Пулинец С.А.,
Твердохлебова Е.М., Шувалов В.А., Яковлев А.А.

Поступила в редакцию 08 сентября 2015 г.

Представлена структура параметров геофизических процессов в околоземной среде, которые определяют текущее состояние геофизической обстановки и позволяют сформировать сценарий развития «космической погоды». Параметры геофизических процессов являются исходными данными для разработки Концепции перспективной системы мониторинга геофизической обстановки, включающей четыре группировки КА, два отдельных КА и наземный центр приема и распространения космической информации. Разработанные основные принципы Концепции могут служить основой перспективной Программы создания космических геофизических средств, система которых будет выполнять роль измерительного инструмента для получения регулярной и достоверной количественной информации о состоянии и изменчивости околоземной космической среды.

Ключевые слова: ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ПАРАМЕТРЫ, ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ СРЕДА, ИОНОСФЕРА, МАГНИТОСФЕРА, МАГНИТНОЕ ПОЛЕ, СОЛНЦЕ, СОЛНЕЧНЫЙ ВЕТЕР, ВЕРХНЯЯ АТМОСФЕРА, КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ, ПРИБОРЫ, КОНЦЕПЦИЯ, МОНИТОРИНГ, ГРУППИРОВКА КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

ВВЕДЕНИЕ

Повышенная изменчивость окружающей природной среды, ставшая особенно заметной в последние два-три десятилетия, и связанная с этим возрастающая последовательность негативных явлений (землетрясения, наводнения, тайфуны, цунами и т.д.) требует от специалистов поиска механизмов и причин этих изменений, построение обновленных (или усовершенствованных) моделей природных процессов и адекватных объяснений наблюдаемых изменений с целью разработки инструментов и методов для прогнозирования разрушительных событий, оценки масштабов ущерба, разработки средств противодействия опасным явлениям. Такие процессы как изменение температуры в полярных областях, изменение грозовой активности, тектоническая активность, динамика магнитных полюсов, антропогенные воздействия, локальные образования в верхней атмосфере и др. уже длительное время являются предметами обсуждения и споров. Однако причины, вызывающие масштабные изменения хода естественных процессов пока не имеют однозначного объяснения [например, 1-3].

Для решения перечисленных вопросов требуются количественные данные и ассимилятивные модели, усваивающие эти данные, то есть необходимо организовать регулярные и согласованные наблюдения параметров ключевых геофизических процессов, а именно, создание системы мониторинга геофизической обстановки, которая будет выполнять роль измерительного инструмента. Наличие такого инструмента позволит организовать систему «штормового предупреждения», а также установить соответствующие механизмы воздействия на окружающую среду и закономерности. Проблемы, связанные с изменчивостью геофизических сред, необходимо решать в околоземном косми-

Асташкин Александр Алексеевич, e-mail: astashkin@tsniimash.ru тел.: +7 (495) 513-55-87

Карелин Александр Витальевич, e-mail: avkarelin@mail.ru тел.: +7 (495) 513-54-01

Твердохлебова Екатерина Михайловна, e-mail: katya.tverdokhlebova@gmail.com тел.: +7 (495) 513-42-24

Шувалов Вячеслав Александрович, e-mail: vashuvalov@tsniimash.ru; s5134146@yandex.ru тел.: +7 (495) 513-41-46

Яковлев Александр Александрович, e-mail: aayakovlev@tsniimash.ru; s5134146@yandex.ru тел.: +7 (495) 513-47-44

Буров Вячеслав Анатольевич, к.ф.-м.н., ФГБУ «ИПГ»

Журавлев Сергей Владимирович, ФГБУ «ИПГ», к.ф.-м.н., szhuravlev-iag@ya.ru

Лапшин Владимир Борисович, д.ф.-м.н., ФГБУ «ИПГ»

Пулинец Сергей Александрович, д.ф.-м.н., ФГБУ «ИПГ»

ческом пространстве, где процессы, как известно, являются более чувствительными к воздействиям различной природы, и в этом направлении ведутся практические работы [4, 5].

Как выяснилось в последние несколько лет, оценка параметров ионизирующих излучений, выполненная по моделям радиационных поясов Земли, построенным в конце 70-х годов прошлого века (как в нашей стране, так и в США модели были очень близки) дают результат в 10–15 раз отличающийся от расчетов по новой модели, созданной и принятой в США в 2009 г. на основе измерений параметров этой среды космическими средствами последних десятилетий. Заметные изменения в характере протекающих процессов наблюдаются не только по радиационным поясам, но и по другим геофизическим явлениям («полярный ветер», уплотнение верхней атмосферы, динамика новообразований в мезосфере, движение магнитных полюсов и др.). Таким образом необходима полномасштабная космическая система мониторинга геофизической обстановки в околоземном космическом пространстве, включающая наблюдение Солнца и солнечного ветра и которая (как измерительный инструмент) позволит регулярно поставлять количественную информацию для уточнения и корректировки моделей геофизических процессов и, таким образом, отображать характер природных изменений и прогнозировать их развитие [6, 7].

Целью данной статьи является разработка основных принципов концепции информационной космической системы глобального мониторинга гелиогеофизической обстановки, определение характера воздействий на геофизические среды, прогнозирование изменчивости околоземной среды и развитие катастрофических явлений природного и антропогенного характера.

СТРУКТУРА ПАРАМЕТРОВ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Основы концепции космической системы мониторинга (как и любой космической системы) разрабатывается исходя из её назначения – регулярного определения характеристик околоземной космической среды, Солнца и солнечной активности. На рисунке 1 представлена схема параметров геофизических объектов и процессов, количественные характеристики которых позволяют получить необходимую информацию о текущем состоянии геофизической обстановки.

Первичным источником возмущений являются вариации солнечного излучения, а перенос возмущений осуществляется волнами и частицами в межпланетной среде, магнитосфере и ионосфере Земли. Прежде всего, эти возмущения сказываются на тех процессах, в которых существенную роль играет установившееся равновесие электрических токов и магнитных полей. Возмущения, нарушающие это равновесие, могут привести к возникновению различных нештатных ситуаций не только в системах навигации, связи, электроэнергетики, но и таких, на первый взгляд слабо связанных отраслей, как перекачка нефти по трубопроводам или здравоохранение.

Исследования показали [8, 9], что изображённая на рисунке 1 структура параметров геофизических процессов является достаточно полной, с точки зрения формирования информации о глобальной геофизической обстановке в околоземной космической среде. Количественные характеристики геофизических параметров в околоземном пространстве, в солнечном ветре и на Солнце дают исчерпывающую информацию о «космической погоде», её текущем состоянии в конкретный момент, позволяют разработать прогнозные оценки развития геофизических событий и определить тренды изменчивости параметров геофизических сред. Таким образом, структурная схема представляет исходные данные для разработки концепции перспективной системы мониторинга геофизической обстановки.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ КОНЦЕПЦИИ ПЕРСПЕКТИВНОЙ КОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

1 Общие положения

1.1 Разработка настоящей концепции вызвана необходимостью определения целей, задач и принципов создания и функционирования космической системы мониторинга изменчивости геофизической обстановки, связанной с природными и антропогенными процессами,

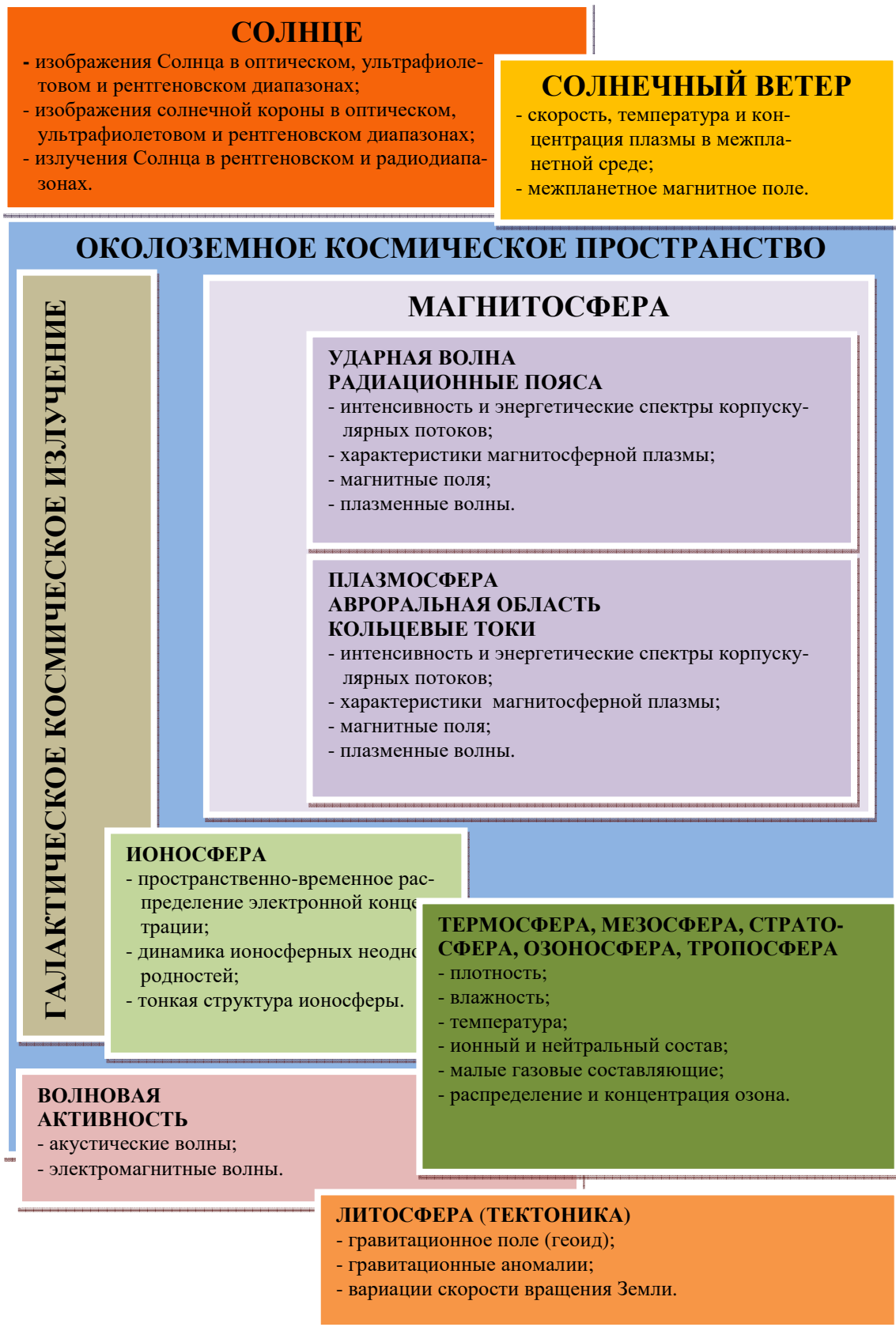


Рис. 1. Структура параметров геофизических процессов в околоземной среде

прогнозирования места и времени наступления катастрофических событий природного и антропогенного характера, формирования облика и требований к развитию информационной космической системы нового поколения, определение порядка межведомственного взаимодействия исходя из приоритетности национальных интересов и обеспечения национальной безопасности.

1.2 Потребность в достоверной информации о текущем состоянии геофизических сред (атмосферы, ионосферы и ОКП), обнаружение признаков кризисных явлений в окружающей среде и предвестников катастрофических событий требуют использования возможностей космической техники, позволяющей получить информацию, недоступную для других средств.

Приборный комплекс разрабатываемой информационной космической системы будет включать в свой состав активную и пассивную аппаратуру диагностики геофизической обстановки в широком спектральном диапазоне и нацелен на измерения количественных параметров фоновых и возмущенных состояний геофизических сред, определение типа и пространственно-временных характеристик источников воздействия, оценку признаков кризисных явлений и регистрацию предвестников катастрофических событий.

Концепция космической системы мониторинга кризисных изменений геофизической обстановки и обнаружения предвестников катастрофических событий природного и антропогенного характера в геофизических средах определяет:

— цели, задачи и функционально-организационную структуру космической информационной системы, отвечающей требованиям национальной безопасности, обороны, экономики, науки, развития ракетно-космической техники и технологий РФ;

— состав наблюдаемых геофизических сред, явлений процессов;

— структуру измеряемых параметров, количественную характеристику диапазонов измерений;

— состав целевой аппаратуры космических аппаратов, требования к размещению приборов;

— состав и структуру баллистического построения космической системы;

— систему связи и передачи информации;

— структуру радиолинии непосредственной передачи информации;

— структуру наземного комплекса приема и обработки информации;

— требования к наземному комплексу управления;

— порядок получения и распространения информации, определение взаимоотношений Роскосмоса с заинтересованными организациями;

— основные направления работ и перечень основных технологий для создания информационной космической системы мониторинга;

— основные программные мероприятия;

— ожидаемые результаты.

1.3 Предпосылки для разработки концепции развития и создания усовершенствованной информационной космической системы мониторинга:

— ограниченный состав объектов мониторинга и низкий уровень качества отечественной космической информации о состоянии и изменениях геофизической обстановки в различных геофизических средах;

— создаваемый в настоящее время КК «Ионозонд» (в таблице 1 показано баллистическое построение, на рисунке 2 приборный состав КК «Ионозонд») имеет комплекс целевой аппаратуры [10], состав которого в силу возрастающих требований к измеряемым параметрам, функциональным характеристикам приборов и метрологическим свойствам, проектным параметрам КА целесообразно расширить, и, следовательно, рассматриваемый проект является логическим развитием системы «Ионозонд»;

— наличие задела по целевой аппаратуре измерения параметров гелиогеофизических сред нового поколения, основанной на более совершенных принципах создания измерительных средств, компонентной базе и технологических достижениях;

— необходимость глобальной диагностики и контроля изменений параметров окружающей среды и обнаружения предвестников катастрофических событий и кризисных явлений природного и антропогенного происхождения, а также прогнозирования пространственно-временных характеристик реализации этих событий;

Таблица 1. Баллистическое построение КА в космической системе «Ионозонд»

	КА «Ионосфера» № 1 и № 2	КА «Ионосфера» № 3 и № 4	КА «Зонд»
Высота на экваторе	820 км		600 – 650 км
Период	101,3 мин.		98 мин.
Наклонение	98,68°		97°
Эксцентриситет	0,00124		
Местное время	21.00	15.09	6.00 (18.00)

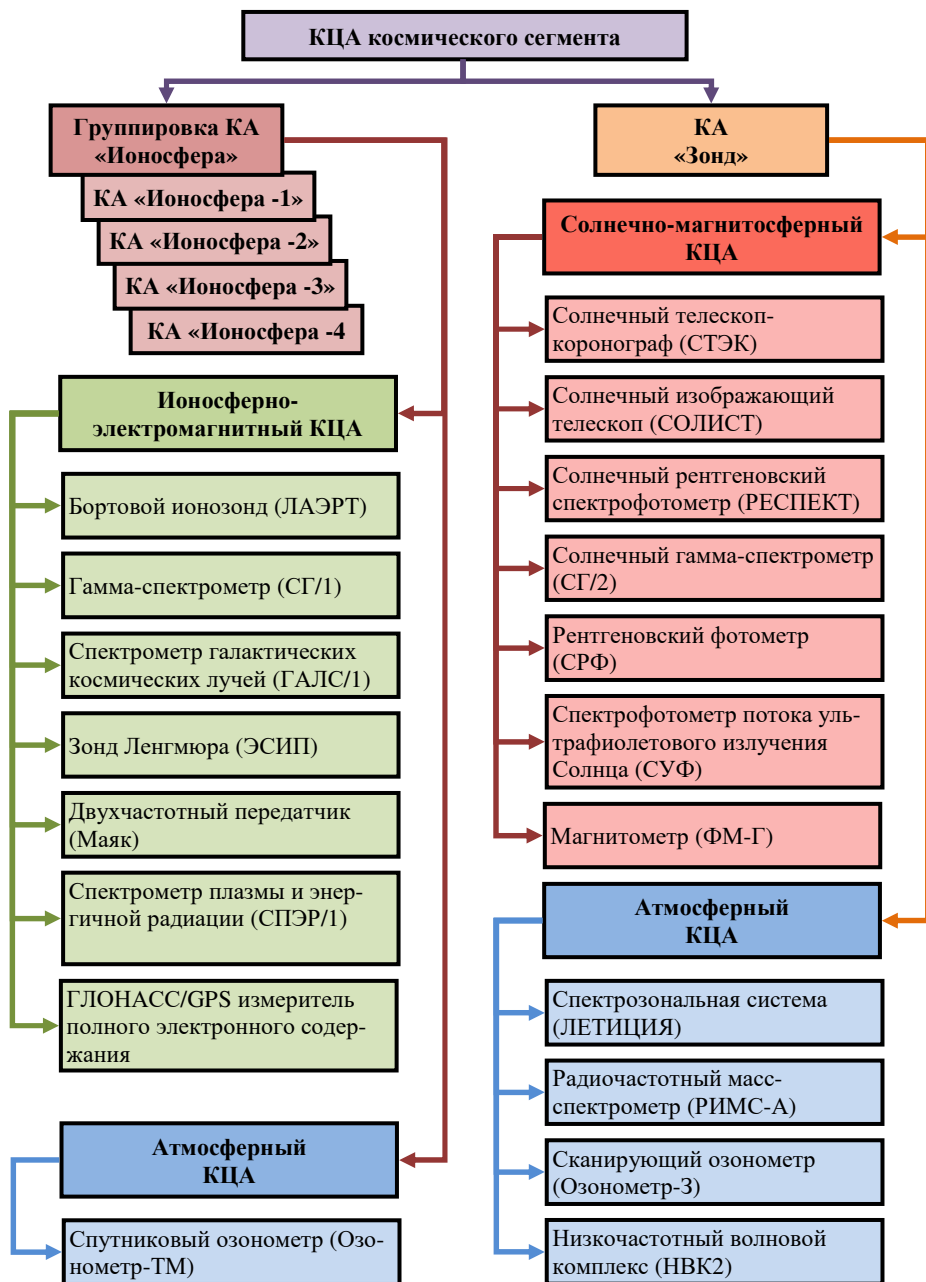


Рис. 2. Схема распределения целевых приборов по КА в космической системе «Ионозонд»

— наличие научного, технического и технологического заделов в различных организациях Роскосмоса и других министерствах и ведомствах РФ в части проектирования, создания и эксплуатации КА, оснащения их измерительно-диагностической аппаратурой;

— возможность активного участия Роскосмоса в создании и развитии информационной сети приема, обработки и распространения результатов мониторинга, а также обобщения результатов мониторинга и формирования базы данных по антропогенным и природным воздействиям на геофизические среды, позволяющие идентифицировать источник воздействия;

— активизация практических действий государства и различных организаций по разработке, созданию и применению наукоемких технико-технологических систем.

1.4 Настоящие основные принципы концепции являются основой для формирования программ и координации усилий государственных организаций по разработке и созданию информационной космической системы мониторинга признаков кризисных явлений в геофизических средах и предвестников катастрофических событий природного и антропогенного характера.

2 Основные понятия

2.1 В настоящей концепции используются следующие основные понятия:

Геофизическая среда – пространственная оболочка планеты материальное наполнение, структура и состав которой подчиняется определенным, характерным для этой части пространства закономерностям.

Катастрофическое событие – радикальное изменение состояния окружающей среды, вызывающее крупные негативные последствия.

Кризисные явления – изменение параметров окружающей среды, указывающее на возможные радикальные изменения ее состояния.

Природное воздействие – направленное воздействие природных сил на геофизические среды, связанное с высвобождением энергии.

Антропогенное воздействие – направленное энергетическое воздействие на геофизические среды, связанное с источником искусственного происхождения.

Возмущение геофизической среды – изменение структурных, физических, химических, энергетических параметров среды относительно медианного состояния и вызванное воздействиями различной природы.

3 Назначение, области применения, цели, задачи и функции информационной космической системы мониторинга изменчивости геофизической обстановки, обнаружения предвестников кризисных явлений и предвестников катастрофических событий природного и антропогенного характера

3.1 Космическая система предназначена обеспечить получение согласованной, синхронизированной и регулярной измерительной информации о различных параметрах геофизических процессов в атмосфере, ионосфере, ОКП; идентификацию источников естественных и антропогенных воздействий, их селекцию и анализ геофизических процессов для построения надежного прогноза последствий выявленных воздействий.

3.2 Космическая система мониторинга создается как инструмент обеспечения достоверной информацией структуры государственных и региональных органов власти, различных учреждений и организаций о состоянии окружающей среды, возникновении признаков кризисных явлений и катастрофических событий для:

— разработки программ и планов обеспечения безопасности населения РФ на основе прогнозирования наступления катастрофических событий, их последствий и масштабов;

— обоснования принимаемых решений;

— создания предпосылок и условий промышленного, научно-технического, интеллектуального и экономического развития России.

3.3 Целью создания информационной космической системы для глобального мониторинга геофизической обстановки и прогноза катастрофических событий природного и антропогенного характера является формирование информационного пространства о состоянии и изменении окружающей природной среды и антропогенной обстановки, эффективного обнаружения различных воздействий, оценки степени опасности и предупреждения.

3.4 Основная задача космической системы – измерение параметров физико-химических процессов и явлений в атмосфере, ионосфере, ОКП, регистрация возмущений в геофизических средах, диагностика антропогенной деятельности, передача информации на приемные пункты, трансляция ее в центр обработки и распространения, что позволит контролировать и прогнозировать:

- природные явления и процессы верхней атмосферы, ионосферы, магнитосферы, литосферы;
- антропогенные процессы (направленные потоки электромагнитного излучения, пучки заряженных и нейтральных частиц, индустриальные выбросы и др.);
- солнечную активность (потоки СКЛ и ГКЛ, УФ, рентгеновского, видимого, радиодиапазона, солнечные пятна, корону, солнечный ветер);
- волновые процессы в ОКП.

3.5 Космическая система должна обеспечить решение следующих задач.

3.5.1 Мониторинг состояния ионосферы, в том числе:

— оперативный глобальный и непрерывный мониторинг пространственно-временной структуры и параметров ионосферы методом радиозондирования с борта КА для получения фонового состояния ионосферной плазмы;

— контроль пространственного распределения электронной концентрации ионосферы, недоступной для зондирования с поверхности Земли;

— регистрацию неоднородностей в ионосфере и магнитосфере и ионосферно-магнитных возмущений;

— оперативное определение условий распространения радиоволн в околоземном космическом пространстве и прогнозирование дальнейшего протекания этих процессов;

— регистрация и контроль физических явлений и изменений в ионосфере;

— мониторинг пространственного и временного распределения электромагнитных полей в околоземном космическом пространстве в плазменном диапазоне частот;

3.5.2 Наблюдение и контроль Солнца и солнечной активности:

— картирование активных областей солнечного диска;

— регистрация корональных явлений;

— измерение потоков солнечных космических лучей, магнитосферных и ионосферных возмущений;

— регистрация солнечного рентгеновского, УФ- и гамма излучений;

— регистрация вспышечной активности и геоэффективных возмущений в межпланетной среде;

— измерение параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля.

3.5.3 Наблюдение и контроль верхней атмосферы:

— контроль свечения верхней атмосферы (оптические характеристики);

— регистрация волновой активности верхней атмосферы;

— контроль динамики границ авроральной области высыпания энергичных частиц;

— контроль состава нейтральной составляющей верхней атмосферы;

— измерения плотности и физического состава.

3.5.4 Контроль состояния магнитосферы:

— состояние радиационной обстановки в спокойных и возмущенных условиях;

3.5.5 Контроль волновой активности (электромагнитные, акустические волны):

— регистрация электромагнитных полей в ОКП, ионосфере и верхней атмосфере;

— контроль развития ансамбля внутренних гравитационных волн;

— регистрация акустической волновой активности.

3.5.6 Диагностика корпускулярных ионизирующих излучений:

— регистрация спектров и потоков протонов и электронов;

— регистрация потоков галактического космического излучения;

3.5.7 Диагностика состояния озона, (определение планетарного распределения озона):

— полное содержание озона;

— спектральные характеристики.

3.5.8 Мониторинг термосферы и мезосферы:

— газовый состав и его параметры;

— аэрозоли и малые газовые составляющие;

— серебристые облака;

— процессы ионизации и рекомбинации;

- определение температуры;
- процессы переноса в средах.

3.5.9 Мониторинг долгопериодных вариаций состояния литосферы:

- определение структуры поля силы тяжести;
- динамика гравитационных аномалий;
- динамика движения тектонических плит.

3.6 Решение основной задачи космической системой мониторинга, измерение текущих параметров окружающей среды, позволит:

- определять, контролировать и прогнозировать состояние геофизической обстановки в различных геофизических средах;
- определять и контролировать солнечную активность;
- разработать адекватные модели геофизических процессов и состояния текущих параметров, рассчитывать количественные изменения параметров геофизических сред на моделирующих стендах;
- регистрировать зарождение кризисных явлений и появление предвестников катастрофических событий, определять их пространственно-временные и структурные характеристики;
- получать первичную количественную информацию о состоянии геофизической обстановки (в интересах решения задач двойного назначения);
- снабжать исходными данными государственный многофункциональный информационно-управляющий контур, формирующий управляющие команды;
- контролировать результаты управляющих воздействий;
- моделировать механизмы энергообменных процессов в ОКП, их взаимосвязь с процессами в литосфере, гидросфере и атмосфере;
- создать информационный источник для формирования базовых данных по геофизической обстановке в различных средах и эффективный доступ к этим данным;
- оптимизировать затраты на оказание информационных услуг, развитие, поддержание и эксплуатацию системы мониторинга.

3.7 Комплекс целевой аппаратуры информационной космической системы должен измерять параметры геофизических объектов и процессов.

3.7.1 Литосфера:

- гравитационные аномалии (второй производной от гравитационного потенциала) на уровне 0,001 Этвеш (Этвеш= 10^{-9} с⁻²).

3.7.2 Тропосфера:

- локальные тепловые неоднородности;
- локальные неоднородности содержания влаги в атмосфере.
- потоки уходящего инфракрасного излучения (в диапазоне 2-15 мкм) на высоте верхней кромки облаков;
- грозвые разряды и электрическую поляризацию облаков.

3.7.3 Верхняя атмосфера и термосфера:

- вариации интенсивности оптических атмосферных эмиссий в линиях 557,7 и 630,0 нм свечения атомарного кислорода и в полосе гидроксила ОН 728,0 нм, вариации спектрального распределения интенсивности свечения гидроксила ОН в полосе длин волн 727–1103 нм, измеренные в направлении лимба Земли;
- содержание аэрозолей в диапазоне 270–280 нм, 1–3 мкм и малых газовых составляющих в субмиллиметровом диапазоне 300–1000 мкм в приземной атмосфере, их состав и концентрация;
- скорость ветра в стратосфере и мезосфере до 300 м/с;
- фотометрия серебристых облаков в диапазонах 0,4–0,8 мкм, 1,1–3 мкм и 4–12 мкм;
- регистрация акустических и внутренних гравитационных волн
- регистрация грозовой активности;
- регистрация пылевой компоненты в размерном диапазоне 0,01÷10 мкм.

3.7.4 Ионосфера и волновые процессы:

- концентрация электронов в ионосфере, включая вертикальные профили электронной концентрации, модификации высотного профиля электронной концентрации и характеристики мелко-масштабных неоднородностей в ионосфере; значения максимальной концентрации заряженных частиц N_{max} и высоту максимума n_e в слое F_2 ионосферы $h(N_{max})$;

— параметры ионосферной плазмы (скорости дрейфа ионов в диапазоне 0,2–5,0 км/с, концентрация ионов в диапазоне 10^5 – 10^6 см³, температура ионов в диапазоне 300–10000 К, возмущения ионного состава, колебания плотности ионов в диапазоне частот 0,5 Гц – 1 кГц;

— КНЧ и ОНЧ излучения, волновая форма электромагнитных колебаний в диапазоне частот 0,1 Гц – 5 кГц, спектральная плотность электромагнитных колебаний в диапазоне частот 1 Гц – 15 кГц (в том числе вистлеры, свисты и др.);

— три взаимно перпендикулярные компоненты вектора магнитной индукции с диапазоном измерения магнитной индукции по каждому каналу от ± 60 мкТл; спектр колебаний электромагнитного поля в диапазоне частот 15 кГц – 15 МГц;

— вектор квазистационарного электрического поля в диапазоне 10 мкВ – 100 мВ.

3.7.5 Магнитосфера:

— потоки частиц и их энергетические спектры, питч-угловые и временные характеристики потоков СКЛ, ГКЛ и радиационных поясов Земли; регистрация высокоэнергичных электронов (0,3 – 30 МэВ) и протонов (1 – 100 МэВ);

— электрические и магнитные поля.

3.7.6 Солнце, солнечная активность:

— потоки УФ, рентгеновского и видимого излучений;

— радиоизлучения Солнца в диапазоне 10,7 МГц;

— портретирование короны и солнечного диска;

— картирование магнитного поля на Солнце.

3.7.7 Солнечный ветер:

— потоки частиц и их энергетические спектры, питч-угловые и временные характеристики потоков СКЛ;

— концентрация и состав нейтральной компоненты;

— вектор магнитной индукции.

4 Структура, состав и баллистическое построение комической системы мониторинга геофизической обстановки

4.1 Структура космической системы строится по схеме подсистем с открытой архитектурой, то есть она может дополняться новыми компонентами, изменять расположение, модернизироваться, включать объекты и системы различной ведомственной принадлежности в процессе функционирования системы мониторинга.

В состав системы мониторинга геофизической обстановки должны входить:

1) специализированные КА, оснащенные комплексами целевой аппаратуры для обнаружения, регистрации и селекции возмущений геофизической обстановки;

2) космические объекты и системы, создаваемые в рамках ФКП России, а именно:

— космические объекты, системы и средства дистанционного зондирования Земли, фундаментальных космических исследований, космической связи, включающие в свой приборный комплекс аппаратуру измерения гелиогеофизических параметров ОКП, ионосферы и верхней атмосферы и создаваемые в рамках ФКП России и других ФЦП (например, «Метеор М», «Канопус», «Электрон»);

— космические объекты и системы, разрабатываемые в рамках ФКП России и допускающие дооснащение гелиогеофизической датчиковой аппаратурой;

— группировка спутников-ретрансляторов для сбора и оперативной передачи регистрируемой информации на пункты приема;

— пункты приема информации, центр сбора, анализа, и передачи данных потребителям;

— центры оперативного управления, наблюдения и информационного обеспечения.

4.2 Состав космического комплекса системы мониторинга включает четыре группировки космических аппаратов и два специализированных КА. Каждый КА в группировке системы мониторинга оснащается единым комплексом аппаратуры.

4.2.1 Характеристика группировок космического комплекса:

— ионосферная (рис. 3), состоящая из 8 КА, массой 300–350 кг, на околополярных орбитах высотой 600–800 км, размещенных в восьми плоскостях; КА ионосферной группировки предназначены для контроля параметров ионосферы и верхней атмосферы; КА ионосферной группировки должны

иметь средства передачи данных непосредственно на Землю и через ретранслятор на геостационарной и/или высокоэллиптической орбите;

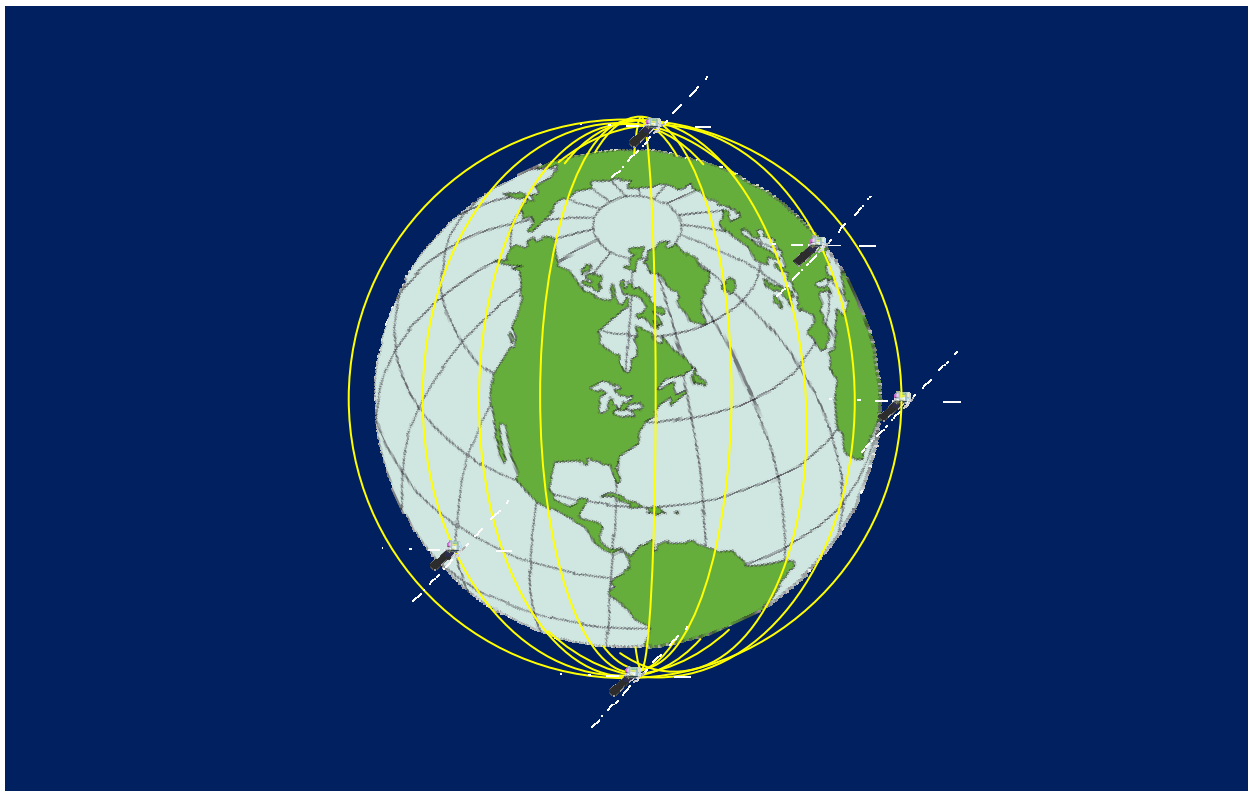


Рис. 3. Ионосферная группировка

— полярная (рис. 4), включающая три КА массой ~ 800 кг, расположенных на трех околополярных орбитах высотой 800-1000 км, развернутых на 120° ; КА полярной группировки предназначены для контроля параметров верхней и средней атмосферы, волновой активности, магнитных и электрических полей, потоков ионизирующей радиации, потоков заряженных и нейтральных частиц; КА полярной группировки снабжены абонентскими средствами связи со спутниками-ретрансляторами; накопленные повитковые данные передают непосредственно на Землю, а в случае штормового предупреждения — через спутники-ретрансляторы;

— магнитосферная (рис. 5), состоящая из трех КА:

– два КА, массой ~ 800 кг, расположены на высокоэллиптической орбите 1470×38900 км с наклоном $63,4^\circ$ (типа «Молния»), размещены в одной плоскости таким образом, чтобы угол между радиус-векторами КА составлял $\sim 180^\circ$; данные КА предназначены для контроля основных параметров полярной ионосферы, верхней атмосферы, магнитосферы, электромагнитных излучений природного и антропогенного характера, а также обзора авроральной области в УФ, видимом и ИК диапазонах, а также ретрансляции данных на Землю с немагнитосферного КА и низкоорбитальных КА;

– один КА, массой ~ 800 кг, расположен на высокоэллиптической орбите 500×71000 км с наклоном $62,8^\circ$ (типа «Тундра»); данные КА предназначены для контроля основных параметров магнитосферы, включая магнитопаузу, полярной ионосферы, электромагнитных излучений природного и антропогенного характера;



Рис. 4. Полярная группировка

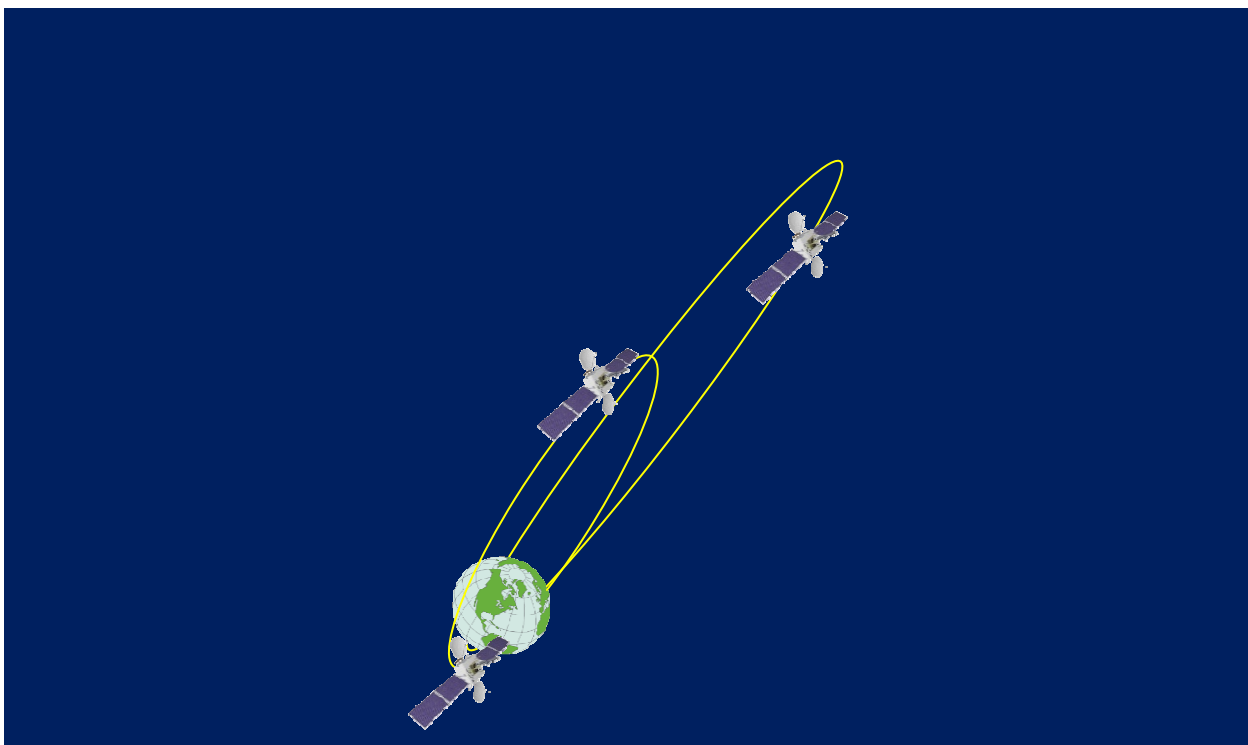


Рис. 5. Магнитосферная группировка.

— геостационарная (рис. 6), включающая три КА, установленных в точках стояния – 95° в.д., 85° з.д. и $150-160^\circ$ в.д., массой ~ 2000 кг; КА геостационарной группировки предназначены для обеспечения передачи в реальном времени данных низкоорбитальных КА и внемагнитосферного КА в Геофизический ситуационный центр в Европейской части России, а также для контроля солнечной активности и потоков заряженных и нейтральных частиц;

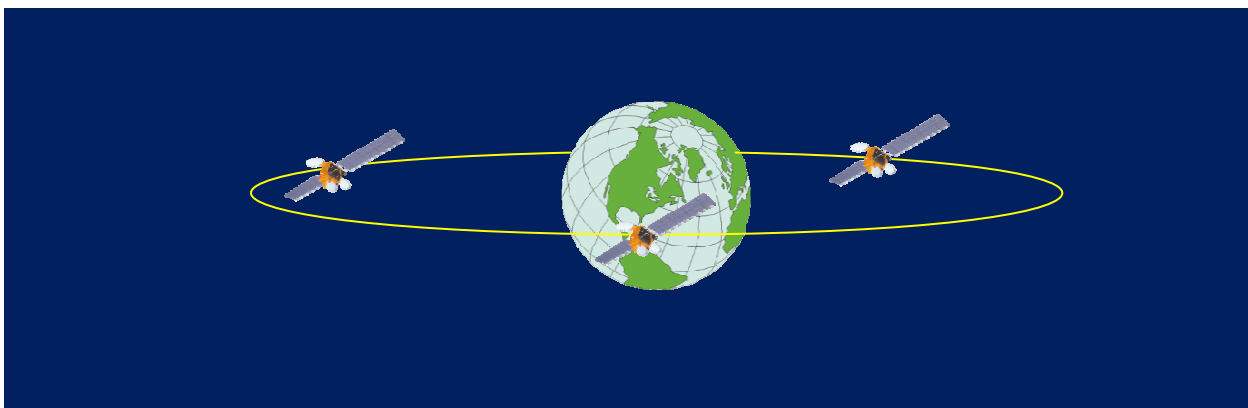


Рис. 6. Геостационарная группировка

4.2.2 Характеристика специализированных КА космического комплекса:

— внемагнитосферный КА (рис. 7), массой ~ 800 кг, размещенный в точке либрации (точке Лангранжа) L_1 системы Солнце-Земля, предназначенный для контроля Солнца и солнечной активности, посредством прямых измерений параметров солнечного ветра, потоков энергичных частиц от Солнца и межпланетного магнитного поля; внемагнитосферный КА накопленную передает информацию в непрерывном режиме посредством КА геостационарной или магнитосферной группировок;

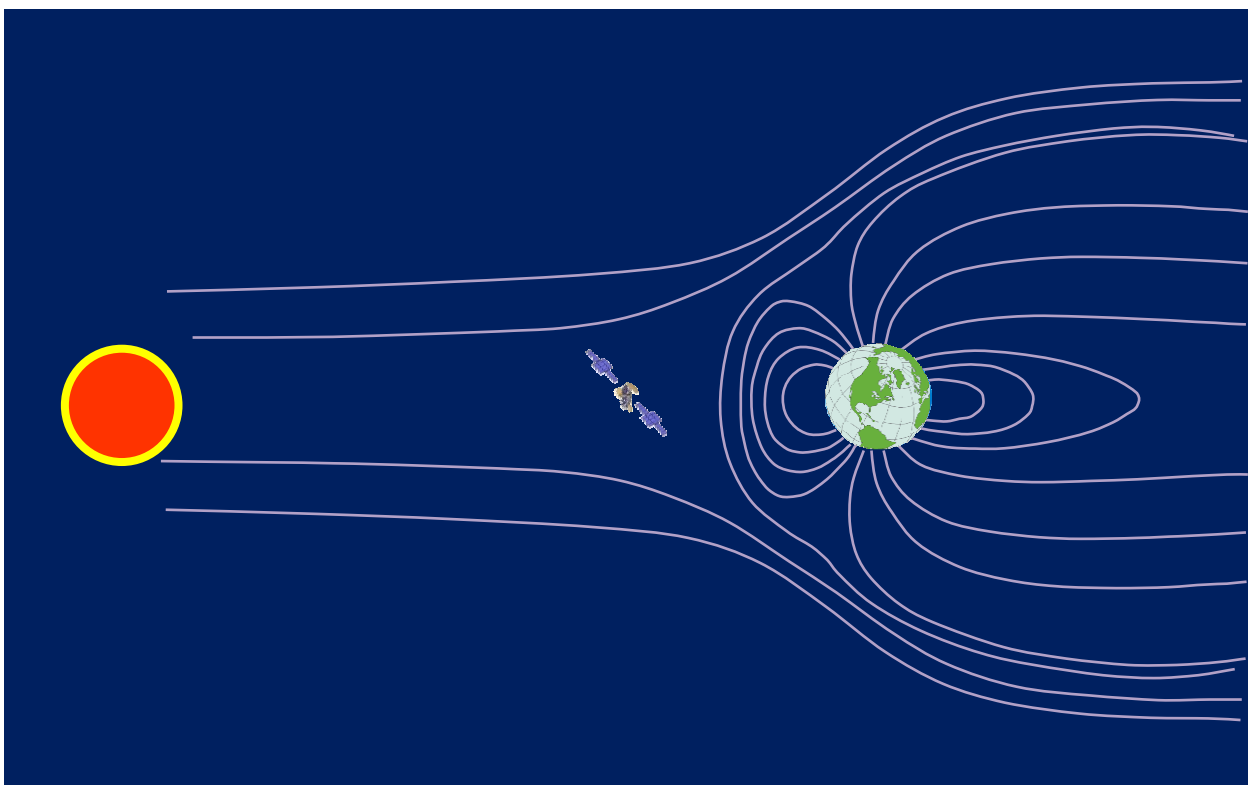


Рис. 7. Внемагнитосферный КА.

— гравитационный КА (рис. 8), массой ~ 100 кг, на околополярной круговой орбите высотой ~ 650 км, предназначенный для высокоточных измерений параметров гравитационного поля Земли, контроля гравитационных аномалий и геомагнитного поля, потоков нейтральных частиц; гравитационный КА накопленные повитковые данные передает непосредственно на Землю.



Рис. 8. Гравитационный КА.

4.3 Приборный состав космических аппаратов

4.3.1 Ионосферный КА:

— адаптивный ионозонд с диапазон частот от 0,5 до 30 МГц и дискретным шагом перестройки частот от 1 кГц при длительности импульса 1-1000 мкс для корректировки глобальной трехмерной модели ионосферы и определения ее текущего состояния, а также границы основных структурных образований в ионосфере (экваториальной аномалии, главного ионосферного провала, полярных шапок и др.);

— зонд Ленгмюра для калибровки, определения начальных условий распространения радиосигналов ионозонда и для локальных измерений электронной концентрации и температуры частиц в точке нахождения КА;

— ГЛОНАСС/GPS/Galileo измеритель полного электронного содержания по данным радиозатменных измерений амплитудных и фазовых задержек сигналов КА глобальных навигационных систем;

— передатчики временных задержек;

— все КА группировки снабжаются аппаратурой для передачи данных на спутник-ретранслятор.

4.3.2 Полярный КА:

— гелиогеофизический аппаратный комплекс:

- спектрометры энергичных частиц;

- векторный магнитометр;

— радиочастотный масс-спектрометр для измерения ионного и нейтрального состава атмосферы, а также пылевой компоненты атмосферы в диапазоне 0,01-10 мкм;

— озонометр для глобального и непрерывного измерения содержания озона в атмосфере Земли на основе спектроскопических измерений по двум сильным полосам поглощения — полосе Хартли (полоса поглощения озоном в диапазоне 200–300 нм с максимумом около 255 нм) и полосе Хьюгинса (система полос поглощения с чередующимися минимумами и максимумами в диапазоне 300–360 нм), а также более слабой полосе Шапшюи (диапазоне 450–650 нм), позволяющей изучать газовый состав атмосферы. По ультрафиолетовому и видимому спектру рассеянного излучения Солнца определять концентрации других важных газовых составляющих: NO, NO₂, NO₃, SO₂, BrO, H₂CO и других, имеющих полосы поглощения в исследуемом диапазоне.

— оптическая спектральная система;

— аппаратура радиотехнического контроля электромагнитных излучений искусственного и естественного происхождения:

– широкополосная аппаратура определения характеристик электромагнитного излучения антропогенного происхождения ионосферы и магнитосферы в диапазоне частот от 0,8 Гц до 200 МГц;

– ВЧ приемник-анализатор (радиочастотный анализатор спектра) для измерения спектра высокочастотных шумов естественного и искусственного происхождения в диапазоне частот 0,1–48 МГц, оснащенный резонансным импедансным зондом для измерения плазменного резонанса вдоль орбиты КА и параметров плазменных неоднородностей;

– радиоспектрометр УКВ излучений для локализации природных и антропогенных очагов шумовых электромагнитных излучений, установления их широтно-долготных распределений, а также для выявления пространственно-временных вариаций счета потоков радиоимпульсов над областями прогнозируемых глобальных катастроф, работающий в диапазонах частот 41–53 МГц и 75–92 МГц;

– низкочастотный волновой комплекс для определения состояния магнитосферно-ионосферной плазмы и выявления воздействий естественного и антропогенного происхождения, а также регистрации квазипостоянных электрических полей с рабочей полосой частот входных сигналов магнитного и электрического датчиков — 1 Гц – 20 кГц;

— все КА группировки снабжаются аппаратурой для передачи данных на спутник-ретранслятор.

4.3.3 Магнитосферный КА

— спектрометры энергичных частиц ГКЛ, СКЛ и РПЗ;

— векторный магнитометр для определения компонент геомагнитного поля ± 65 мкТл с точностью не хуже 0,05 нТл;

— аппаратура радиотехнического контроля электромагнитных излучений искусственного и естественного происхождения:

– широкополосная аппаратура определения характеристик электромагнитного излучения антропогенного происхождения ионосферы и магнитосферы в диапазоне частот от 0,8 Гц до 200 МГц;

– ВЧ приемник-анализатор (радиочастотный анализатор спектра) для измерения спектра высокочастотных шумов естественного и искусственного происхождения в диапазоне частот 0,1–48 МГц, оснащенный резонансным импедансным зондом для измерения плазменного резонанса вдоль орбиты КА и параметров плазменных неоднородностей;

– радиоспектрометр УКВ излучений для локализации природных и антропогенных очагов шумовых электромагнитных излучений, установления их широтно-долготных распределений, а также для выявления пространственно-временных вариаций счета потоков радиоимпульсов над областями прогнозируемых глобальных катастроф, работающий в диапазонах частот 41–53 МГц и 75–92 МГц;

– низкочастотный волновой комплекс для определения состояния магнитосферно-ионосферной плазмы и выявления воздействий естественного и антропогенного происхождения, а также регистрации квазипостоянных электрических полей с рабочей полосой частот входных сигналов магнитного и электрического датчиков — 1 Гц – 20 кГц;

— авровизор, работающий в вакуумном ультрафиолете и видимой областях спектра, в диапазонах 120–135 нм, 427,8 нм, 486,1 нм, 630 нм, позволяющий картографировать мгновенные состояния энергетических и электродинамических характеристик ионосферы, в том числе границ аврорального овала;

— все КА группировки снабжаются аппаратурой для передачи данных на спутники-ретрансляторы КА и на Землю (высокоширотные НКПОР).

4.3.4 Геостационарный КА:

- спектрометры энергичных частиц;
- векторный магнитометр;
- блок солнечных телескопов и спектральных приборов;
- прибор контроля солнечной постоянной;
- измеритель пылевой компоненты;
- аппаратура ретрансляции данных для организации связи с низкоорбитальными КА, позволяющая обслуживать до 12 КА одновременно;
- аппаратура ретрансляции данных для организации связи с внемагнитосферным КА.

4.3.5 Внемагнитосферный КА:

- блок солнечных телескопов и спектральных приборов:
 - многоканальный солнечный телескоп на длины волн 171 А (корона), 304 А (переходный слой) и 132 А (вспышечная плазма) высокого временного и пространственного разрешения для получения изображений Солнца, мониторинга и прогнозирования развития солнечной активности;
 - сверхчувствительный рентгеновский спектрофотометр диапазона 1-10 А для регистрации и каталогизации солнечных вспышек;
 - коронограф белого света с полем зрения 1–5 радиусов Солнца для детектирования событий выброса корональной плазмы в межпланетное пространство и исследования пространственного распределения геоэффективных потоков быстрого солнечного ветра;
 - детектор солнечных радиовсплесков в диапазоне 40 - 250 кГц.
- блок регистрации параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля:
 - быстрый векторный магнитометр для определения компонент межпланетного магнитного поля солнечного ветра в диапазоне 4-60 нТл с разрешением до 0,01 нТл;
 - быстрый монитор частиц для измерения состава низкоэнергичной компоненты солнечного ветра с определением скорости потока частиц в диапазоне от 100 до 1000 км/сек и плотности потока в диапазоне от 0,1 до 10 электронов/протонов на см³.
- блок регистрации энергичных частиц и потоков жесткого излучения:
 - спектрометр электронов в диапазоне 0,2–4,0 МэВ;
 - спектрометр протонов в диапазоне 4–80 МэВ;
 - спектрометр ионов в диапазоне 6–15 МэВ на нуклон;
 - поток и спектр жесткого рентгеновского излучения 20–600 кэВ;
 - поток и спектр гамма излучения 0,3–2000 МэВ.
- КА снабжается аппаратурой для передачи данных на геостационарные КА и на Землю.

4.3.6 Гравитационный КА:

- сейсмогравиметр с предельным разрешением $\sim 10^{-8} м/с^2$;
- высокоточный гравиметр, контролирующий гравитационные аномалии (вторую производную от гравитационного потенциала) на уровне 0,001 Этвеш ($10^{-12} с^{-2}$);
- векторный феррозондовый магнитометр;
- измеритель пылевой компоненты;
- КА снабжается аппаратурой для передачи данных на спутники-ретрансляторы КА и на Землю.

4.4 Наземный комплекс приема и обработки информации и система связи.

Наземный комплекс приема, обработки и хранения информации является комбинированным и включает традиционную распределенную систему приема (Росгидромета и Роскосмоса) и сосредоточенную, связанную с космическими ретрансляторами.

4.4.1 Распределенная наземная система приема космической информации включает региональные центры Росгидромета в городах Хабаровске, Новосибирске, Москве. Для повышения оперативности сбора информации и организации связи с КА магнитосферной группировки требуется задействование высокоширотных НКПОР: Северо-Западного в г. Мурманске (НКПОР-Р/СЗ), Северного в г. Дудинка (НКПОР-Р/СВ), Северо-Восточного в г. Анадырь (НКПОР-Р/СВст). Информация прини-

мается в региональных центрах и после предварительной обработки и сжатия передается в Геофизический ситуационный центр.

4.4.2 Система ретрансляции и связи представляет собой системообразующую основу управления в реальном времени орбитальными группировками и КА, передачи информации целевого назначения с любого участка орбиты каждого КА системы мониторинга, ретрансляции служебной и целевой информации. В состав системы ретрансляции входит геостационарная группировка. Информационное взаимодействие осуществляется по следующей схеме:

— прямой канал: ЦУП – контрольно-измерительная станция (КИС) – спутник-ретранслятор – КА;

— обратный канал: КА – спутник-ретранслятор – КИС – ЦУП.

4.4.3 Геостационарная группировка из трех КА обеспечивает связь с низкоорбитальными КА на всей траектории, а также с внемагнитосферными КА.

4.4.4 Информация спутников-ретрансляторов принимается наземными средствами, обрабатывается в Геофизическом ситуационном центре, где остается на хранении и передается другим потребителям для анализа составления сводок, прогнозов, моделирования и распространения.

4.4.5 Оценочный объем передаваемой космической информации будет составлять 300-400 Гбайт/сут. Требуемая максимальная скорость передачи информации ~180-200 Мбит/с.

4.5 При решении задач приема, обработки и обмена информацией обеспечивается информационная безопасность. Регламент информационного взаимодействия устанавливается с учетом положений законодательства, нормативных правовых актов РФ в области защиты информации и других руководящих документов.

4.6 Должна быть предусмотрена возможность информационного взаимодействия объектов космического сегмента и различных подсистем мониторинга геофизической обстановки. Структурным элементом, связывающим космическую систему и другие составляющие системы мониторинга должен стать специальный центр федерального уровня.

5 Технологические предпосылки создания космической системы мониторинга геофизической обстановки

5.1 Космическая система мониторинга создаётся на базе заделов отечественных космических технологий.

5.2 Технологическая структура космической системы мониторинга будет состоять из следующих отдельных производственных комплексов.

5.2.1 Ионосферная группировка включает восемь малых КА типа «Ионосфера» (до 350 кг каждый), основным прибором которых является ионозонд (радиолокатор коротковолнового диапазона, 1–30 МГц). Подобные КА создаются в настоящее время организацией АО «Корпорация «ВНИИЭМ» в рамках ОКР «Ионозонд», следовательно, основа технологической базы создана. Более того, изготовление восьми одинаковых КА является серийным производством. Приборный состав КА ионосферной группировки ограничивается тремя приборами, перечисленными в п. 4.3.1. Потребуется доработка технологии в части средств передачи информации через спутник-ретранслятор.

5.2.2 Полярная группировка включает три одинаковых КА типа «Метеор», масса каждого из них ~ 800 кг. Технология производства таких КА создана в организации АО «Корпорация «ВНИИЭМ». Потребуется доработка технологии в части средств передачи информации через спутник-ретранслятор.

5.2.3 Магнитосферная группировка включает три одинаковых КА на высокоэллиптической орбите массой ~800 кг. Аналогами КА магнитосферной группировки являются создаваемые в настоящее время КА «Арктика-М», производство которых развернуто в ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина». Технологическая база существует, и КА могут создаваться серийно. КА магнитосферной группировки должны снабжаться абонентской аппаратурой связи и ретрансляции данных для КА всей космической системы мониторинга.

5.2.4 Геостационарная группировка состоит из трёх одинаковых КА, масса каждого ~1500 кг. КА «Электро» являются аналогами КА этой группировки. Производство геостационарных КА осуществляется на технологической базе ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина». Доработки будут связаны с установкой и отработкой абонентской аппаратуры связи и ретрансляции данных для всех КА геофизической системы мониторинга.

5.2.5 Внемагнитосферный КА массой ~1000 кг выводится и устанавливается в точке Лагранжа L1 системы «Солнце – Земля». Технологические основы для создания внемагнитосферного КА имеются в ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», на технологической базе КА типа «Спектр». Технологические доработки будут связаны с аппаратурой связи, передачи данных, управления КА и баллистического обеспечения.

5.2.6 Гравитационный КА массой ~100 кг. Технологическая база для создания этого КА имеется в АО «Корпорация «ВНИИЭМ» и ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина».

5.2.7 Наземный комплекс приёма, обработки и распространения информации является территориально–распределённым. Он должен быть дополнен техническими средствами приёма и аппаратно-программным комплексом для обработки данных, поступающих со всех спутников системы. Кроме того, технология должна быть дополнена в связи с созданием единого центра приёма космических данных непосредственно со спутника.

5.2.8 Технология создания комплекса целевой геофизической аппаратуры объединяет технологические возможности ряда предприятий: ИКИ РАН, ФИАН им. П.Н. Лебедева, ОАО «НПК «СПП», АО «Российские космические системы», НИИЯФ МГУ, АО «Корпорация «ВНИИЭМ» и др.

5.2.9 Технологические предпосылки для вывода и развёртывания КА имеются в России в полном объёме.

5.3 Отечественные технологии позволяют создать космическую систему мониторинга геофизической обстановки в полномасштабном составе.

6 Технико-экономическая оценка и требуемые ресурсы

Укрупнённая оценка стоимости создания, развёртывания и эксплуатации космической системы получена по аналогии с близкими проектами по массе, габаритам, функциональному назначению и баллистическому построению в соответствии с [11].

Стоимостные характеристики затрат ресурсов на создание КА и системы выведения (в млн. руб.):

— ионосферная группировка, 8 малых КА массой 300–350 кг каждый, на орбитах 600–800 км	— 6400;
— полярная группировка, 3 КА массой ~800 кг каждый, на орбитах 800–1000 км	— 7100;
— магнитосферная группировка, 3 КА массой ~800 кг каждый, на орбитах типа «Молния» и «Гундра»	— 8200;
— геостационарная группировка, 3 КА массой ~1500 кг каждый	— 10200;
— внемагнитосферный КА (в точке Лагранжа L1) массой ~800 кг	— 3800;
— гравитационный КА массой ~100 кг на орбите ~600 км	— 1400.

Общая стоимость проекта создания в течение 8-10 лет (2021-2030 гг.) информационной космической системы для глобального мониторинга геофизической обстановки и прогноза катастрофических событий природного и антропогенного характера с учетом создания Геофизического ситуационного центра, который включает однопунктовый центр управления и наземный комплекс приема, обработки и распространения информации, выводом КА на орбиты и летными испытаниями составит ~60 000 млн. руб. в ценах 2015 г.

7 Основные принципы построения космической системы мониторинга возмущений геофизических сред

7.1 Органом, осуществляющим общую координацию работ по построению космической системы является Роскосмос, при котором могут быть созданы дополнительные органы, выполняющие различные задачи экспертного, организационно-технического и информационного обеспечения.

7.2 Космическая система создается как федеральная система, обеспечивающая национальные интересы РФ и функционирующая с необходимым уровнем автономности.

7.3 Создание космической системы мониторинга возмущений геофизических сред исходит из следующих принципов:

- приоритетное использование отечественных разработок;
- использование системы в интересах задач двойного назначения;
- регламентированного обмена данными в рамках федеральной системы мониторинга;
- эффективного использования научных и технических ресурсов различных ведомств и организаций;
- многофункциональность и модульность построения бортовой служебной и целевой аппаратуры;
- возможность наращивания и модернизации;
- возможности коммерческого использования.

7.4 Определяется возможность и необходимость международного сотрудничества.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Разработаны основные принципы концепции перспективной информационной космической системы мониторинга геофизических объектов, процессов и явлений, количественные характеристики которых определяют состояние глобальной геофизической обстановки в околоземном космическом пространстве. Создание и развертывание такой системы позволит поставить под контроль геофизические процессы, определяющие «солнечно-земные» связи. В работе обоснованы технологические предпосылки и возможности создания космической системы мониторинга геофизической обстановки, а также технико-экономическое обоснование затрат. Представленные основные принципы концепции могут служить основой для разработки Программы создания перспективной космической системы мониторинга геофизической обстановки.

THE STRUCTURE PARAMETERS OF GEOPHYSICAL PROCESSES IN THE NEAR-EARTH ENVIRONMENT. THE BASIC PRINCIPLES OF THE CONCEPT ADVANCED SPACE MONITORING SYSTEM OF GEOPHYSICAL CONDITIONS

Astashkin A.A., Burov V.A., Zhuravlyov S.V., Karelin A.V., Lapshin V.B., Pulinets S.A., Tverdokhlebova E.M., Shuvalov V.A., Yakovlev A.A.

In this paper, the structure of the parameters of geophysical processes in the near-Earth environment, which define the current state of the geophysical conditions and allow to form a scenario of "space weather". Options of geophysical processes are the initial data for the development of the Concept of promising geophysical situation monitoring system, comprising four groups of spacecraft, two separate satellites and ground center of receiving and distribution of space information. The basic principles of the Concept could be the basis of perspective Program of development of space geophysical tools, this system will serve as a measuring instrument for a regular and reliable quantitative information on the state and variability of the near-Earth space environment.

KEY WORDS: GEOPHYSICAL PARAMETERS, THE GEOPHYSICAL ENVIRONMENT, IONOSPHERE, MAGNETOSPHERE, MAGNETIC FIELD, THE SUN, THE SOLAR WIND, UPPER ATMOSPHERE, SPACECRAFTS, EQUIPMENT, CONCEPT, MONITORING, GROUP OF SPACECRAFTS.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пудовкин М.И., Распопов О.М. Физический механизм воздействия солнечной активности и других геофизических факторов на состояние нижней атмосферы, метеопараметры и климат. – Успехи физических наук, 1993, вып. 7 (163), с. 113-116.
2. Елисеев А.В., Мохов И.И. Влияние внесезонных факторов на климат: возможные механизмы воздействия и результаты моделирования. – Фундаментальная и прикладная климатология, 2015, т. 1, с. 119-132.
3. Логинов В.Ф. Радиационные факторы и доказательная база современных изменений климата. – Минск, Беларуская наука, 2012, 266 с.

4. Авдюшин С.И., Габбасов М.З., Головкин А.В., Журавлев С.В., Селин В.А., Шувалов В.А., Яковлев А.А. Космический сегмент системы мониторинга геофизической обстановки. – Космонавтика и ракетостроение, 2010, вып. 2 (59), с. 64-69.
5. DSCOVR: Deep Space Climate Observatory. Интернет-ресурс: <http://www.nesdis.noaa.gov/DSCOVR/index.html>
6. Габбасов М.З., Шувалов В.А., Яковлев А.А. Принципы построения космических средств диагностики и контроля гелиогеофизических процессов. – Труды XXVII Всероссийского симпозиума «Радиолокационное исследование природных сред», ВКА имени А.Ф. Можайского, 2012, вып. 9, т. 2., с. 147-155.
7. Шальнов М.П., Шувалов В.А., Яковлев А.А. Наблюдение изменчивости природной среды и концепция перспективной космической системы мониторинга геофизической обстановки. – Труды III Всероссийской научной конференции «Проблемы военно-прикладной геофизики и контроля состояния природной среды», ВКА им. А.Ф. Можайского, 2014, т. 2, с. 427-431.
8. Буров В.А., Журавлев С.В., Лапшин В.Б., Сыроешкин А.В., Шувалов В.А., Яковлев А.А. Программа наблюдения геофизических процессов и технология построения космических средств перспективной системы мониторинга геофизической обстановки. – Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ, 2014, том 142, № 5, с. 53-59.
9. Писанко Ю.В., Пугачев В.П., Шувалов В.А., Яковлев А.А. Обоснование проектно-баллистических параметров внемагнитосферного космического аппарата для мониторинга Земли, Солнца и межпланетной среды. – Тезисы докладов третьей международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли», ОАО «Корпорация ВНИИЭМ», 2015, с. 29-31.
10. Габбасов М.З., Шувалов В.А., Яковлев А.А. Состав и характеристика целевой аппаратуры космического сегмента системы мониторинга геофизической обстановки. – Космонавтика и ракетостроение, 2013, вып. 4 (73), с. 139-147.
11. «Положение об определении начальной (максимальной) цены государственного контракта, а также цены государственного контракта, заключаемого с единственным поставщиком (подрядчиком, исполнителем), при осуществлении закупок товаров, работ, услуг по государственному оборонному заказу» от 28 апреля 2015 г. № 407, «Методические рекомендации, учитывающие особенности производства ракетно-космической техники по расчету начальной цены при размещении государственного заказа».