

УДК: 620.783: 550.388.2-533.9

ПРОГРАММА НАБЛЮДЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ И ТЕХНОЛОГИЯ ПОСТРОЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИСТЕМЫ МОНИТОРИНГА ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ ОБСТАНОВКИ

В.А. Буров, С.В. Журавлёв, В.Б. Лапшин, А.В. Сыроешкин
(Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Институт прикладной геофизики имени академика Е.К. Фёдорова», г. Москва),
В.А. Шувалов, А.А. Яковлев
(Федеральное государственное унитарное предприятие
«Центральный научно-исследовательский институт машиностроения»,
г. Королев, Московская обл.)

Рассматривается возможность организации глобальных и регулярных наблюдений геофизической обстановки с помощью космических средств, что позволит получать исходную и количественную информацию, необходимую для разработки рабочих моделей протекающих процессов для прогнозирования направления изменений среды обитания. Приводится и обосновывается структура параметров и характеристики, которые требуется определить. Предлагается концепция информационной системы мониторинга геофизической обстановки, которая включает шесть группировок космических аппаратов, каждая из которых имеет специфическую целевую направленность и объединяется физически однородными задачами.

Ключевые слова: геофизическая обстановка, Солнце, околоземное космическое пространство, ионосфера, магнитосфера, космический аппарат, наблюдения.

Введение

Известно, что изменчивость окружающей среды и определение тенденций развития природных процессов является наиболее актуальной и востребованной информацией современного социума. Как следует из стратегии космической деятельности [1], целью дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) является создание глобальной информационной модели планеты как экосистемы, основанной на взаимодействии литосферы, океана, атмосферы и ионосферы и позволяющей в режиме реального времени решать оперативные задачи прогнозирования состояния среды обитания. Однако многочисленные исследования, например [2], показали, что информационная модель экосистемы будет недостаточно целостной без учёта влияния геофизической обстановки в окружающей космической среде (включая Солнце).

Таким образом, для построения полной и обоснованной модели Земли, как экосистемы, требуется регулярная и достоверная информация о закономерностях гелиогеофизических процессов в околоземном пространстве, которая может быть получена с помощью космических средств.

Отметим, что под геофизической обстановкой понимается комплекс явлений и процессов в верхней атмосфере, ионосфере, магнитосфере и околоземном космическом пространстве (ОКП), а приори-

тетной задачей системы мониторинга является определение начальной фазы процесса, регистрации воздействия и прогноз развития возмущений в ОКП, вызванных как природными, так и антропогенными причинами. Необходимо заметить, что физические процессы в ОКП взаимосвязаны и чувствительные к возмущениям, следовательно, любые изменения параметров геофизических сред являются источниками воздействий.

Исследования показали, что для формирования полномасштабной информационной модели планетарной экосистемы требуются регулярные, достоверные и синхронизированные количественные данные о состоянии и динамике параметров геофизических объектов и процессов, показанных на рис. 1.

Современное состояние геофизической службы России

Необходимость в реализации системы мониторинга геофизической обстановки, связана и с тем, что в настоящее время отечественные потребители (в первую очередь Росгидромет) получают гелиогеофизическую информацию в крайне ограниченном количестве, недостаточном для формирования прогноза «космической погоды», и тем более для создания информационной модели планетарной экосистемы. Сегодня отечественные наземные и космические средства позволяют лишь:

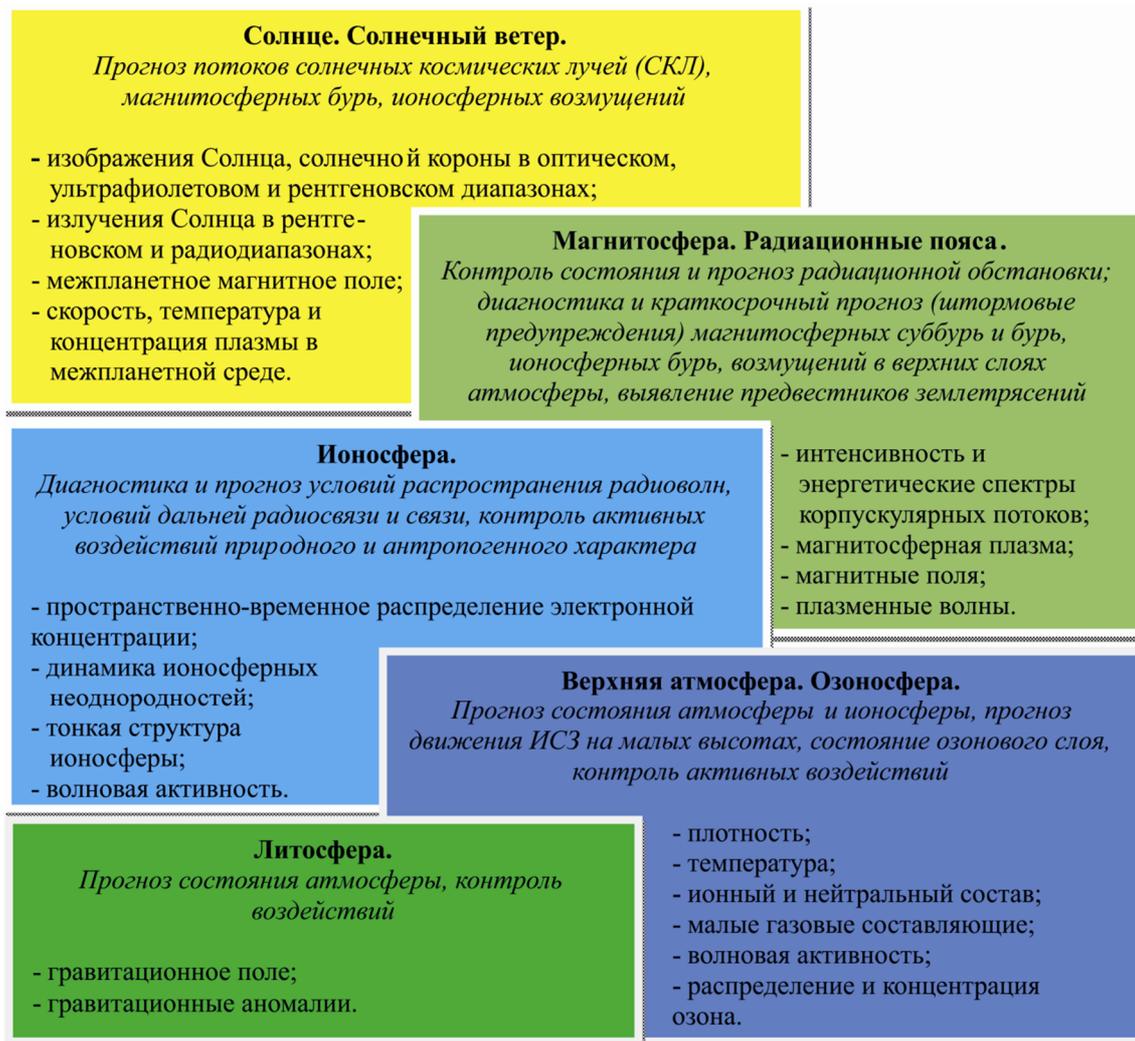


Рис. 1. Геофизические объекты и процессы, данные о которых необходимы для формирования модели планетарной экосистемы

– контролировать потоки частиц по измерениям гелиогеофизических аппаратурных комплексов (ГТАК), установленных на КА «Электро» и КА «Метеор» (однако поступающая от них информация низкого качества);

– контролировать вариации характеристик ионосферы наземными средствами всего в нескольких пунктах России;

– обнаруживать появление геоэффективных потоков протонов солнечных вспышек в околоземном пространстве на основе данных геостационарного КА «Электро»;

– рассчитывать характеристики прохождения радиоволн для различных регионов РФ и различных сезонов на базе климатической модели.

Причём, для расчёта характеристик прохождения радиоволн и определения даже отдельных ха-

рактеристик ионосферы отечественные потребители вынуждены использовать данные геостационарного КА GOES, КА ACE, расположенного в точке Лагранжа системы Солнце – Земля, и ряда других американских и европейских КА, а также данных предоставляемых Международной службой окружающей космической среды (ISES).

Создаваемые в настоящее время космические аппараты «Ионосфера» [3] в состоянии снять ряд проблем в части прогноза «космической погоды», но полностью удовлетворить потребителей в количестве и оперативности поставляемой информации разрабатываемая система не в состоянии.

Для полномасштабного решения стоящих задач (см. рис. 1) необходима информационная космическая система, позволяющая проводить глобальный мониторинг гелиогеофизической обстановки и пе-

редавать информацию в Геофизический ситуационный центр в режиме, близком к режиму реально-го времени.

Мониторимые параметры и расположение наблюдательных платформ

Для идентификации геофизических явлений и определения их природы (естественного или искусственного происхождения), формирования прогноза развития геофизической обстановки необходимо контролировать определенные характеристики окружающей космической среды (включая атмосферу) и разработать методику перехода от измеряемых характеристик к тем геофизическим параметрам, знание которых позволит получить информацию для принятия решений в оперативном режиме.

Это означает доставку вполне определенной информации в определенное время заранее согласованным способом. Такая информация может быть получена в результате обработки данных с помощью индивидуально сформированных наблюдательных программ на подобранных или специально изготовленных для этой цели инструментах. То есть должна быть реализована следующая цепочка: требования потребителей – требования к составу аппаратуры и качеству наблюдений – требования к средствам наблюдения (платформам).

Анализ требований, предъявляемых потребителями к получаемым данным, позволяет обозначить основные задачи системы мониторинга геофизической обстановки:

- мониторинг и прогноз геоэффективных вспышек с заблаговременностью 1 – 3 дня;
- мониторинг и прогноз геомагнитных бурь с заблаговременностью в 1 – 3 дня;
- мониторинг и прогноз ионосферных возмущений с заблаговременностью менее 1 ч;
- прогноз вариаций состава и плотности верхней атмосферы с заблаговременностью одни сутки.

Перечень параметров, мониторинг которых с помощью средств космического базирования обеспечит контроль состояния «космической погоды» и её изменений, которые порождают возмущения геофизических сред, определяется конкретными задачами, решаемыми в рамках данной проблемы. Рассмотрение каждой из задач позволяет не только выявить состав параметров, мониторинг которых следует обеспечить для её решения, но и определить баллистические параметры наблюдательной платформы и требования к целевой аппаратуре. Результаты такого анализа, т. е. мониторимые

параметры и соответствующее баллистическое построение платформ, представлены на рис. 2.

Предложения по структуре космических средств мониторинга

Перечисленные на рис. 2 потребности позволили сформировать структуру космических средств и разработать предложения в программу создания космической системы мониторинга гелиогеофизической обстановки, которая должна стать составной частью системы ДЗЗ.

Информационная система мониторинга геофизической обстановки должна включать шесть группировок КА, каждая из которых имеет специфическую целевую направленность и объединяется физически однородными задачами.

Солнечная группировка

Солнечная группировка состоит из одного КА, выведенного на гало-орбиту в окрестности точки либрации $L1$ (точки Лагранжа) системы Солнце–Земля. Она позволяет получать в реальном времени (или близко к реальному):

- изображения Солнца в линиях ультрафиолетового, рентгеновском и оптическом диапазонах;
- карту распределения магнитных полей в гелиосфере;
- плотность потоков энергичных частиц;
- характеристики магнитного поля и плазмы солнечного ветра;
- солнечные радиовсплески 3-го типа в диапазоне 40 – 250 кГц.

Масса солнечного КА оценивается в ~ 1000 кг. Комплекс целевой аппаратуры состоит из следующих приборов:

- блока солнечных телескопов и спектральных приборов;
- многоканального солнечного телескопа;
- рентгеновского спектрофотометра;
- коронографа;
- детектора солнечных радиовсплесков в диапазоне 40 – 250 кГц.
- блока регистрации параметров солнечного ветра и межпланетного магнитного поля:
- векторного магнитометра;
- монитора частиц низкоэнергичной компоненты солнечного ветра.
- блока регистрации энергичных частиц и потоков жёсткого излучения:
- спектрометра электронов в диапазоне 0,2–4,0 МэВ;

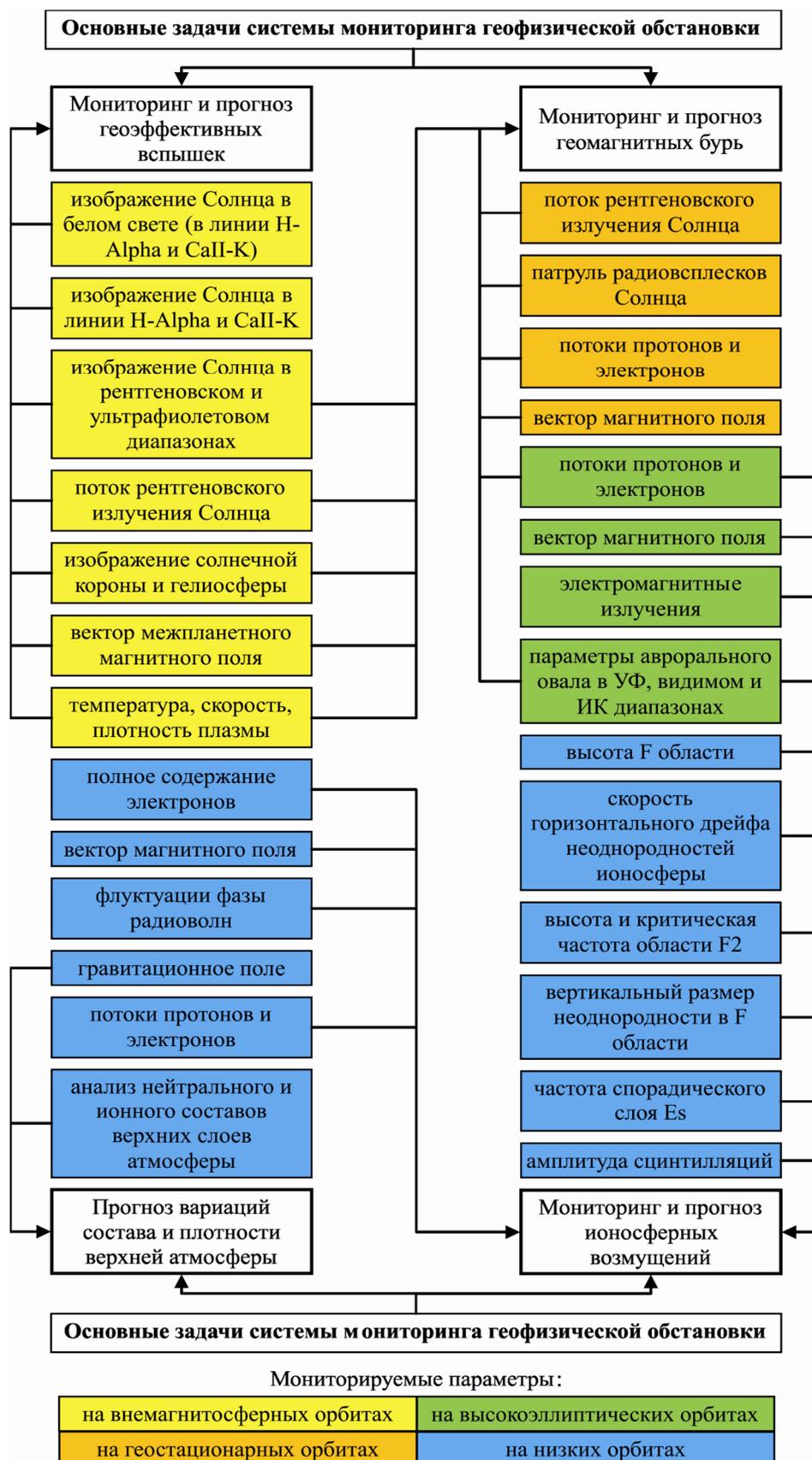


Рис. 2. Мониторируемые параметры и баллистическое построение наблюдательных платформ

- спектрометра протонов в диапазоне 4–80 МэВ;
- спектрометра ионов в диапазоне 6–15 МэВ на нуклон;
- спектрометров потока и спектра жёсткого рентгеновского излучения 20–600 кэВ;
- спектрометров потока и спектра гамма излучения 0,3 – 2000 МэВ;
- телескопа-радиометра для контроля альbedo Бонда.

Геостационарная группировка

Геостационарная группировка состоит из трёх КА, выведенных на геостационарную орбиту таким образом, что КА составляют вершины правильного треугольника и один из них расположен на $\sim 40^\circ$ в. д. Группировка обеспечивает передачу в реальном времени информации с других геофизических КА, а также осуществляет контроль солнечной активности и потоков заряженных и нейтральных частиц.

Масса КА геостационарной группировки оценивается в ~ 1000 кг. Комплекс целевой аппаратуры каждого из КА состоит из следующих приборов:

- гелиогеофизического аппаратурного комплекса:
- спектрометров и детекторов энергичных частиц;
- измерителя потока рентгеновского и ультрафиолетового излучения Солнца;
- векторного магнитометра;
- прибора контроля солнечной постоянной;
- блока солнечных телескопов и спектральных приборов;
- измерителя пылевой компоненты в диапазоне 0,01–10 мкм;
- аппаратуры ретрансляции данных для организации связи с низкоорбитальными КА и с солнечным КА.

Магнитосферная группировка

Магнитосферная группировка состоит из трёх КА, выведенных на высокоэллиптическую орбиту 1470×38900 км с наклоном $63,4^\circ$ (типа «Молния»), угол между радиус-векторами КА составляет $\sim 120^\circ$. Группировка предназначена для контроля потоков частиц и во внутреннем, и во внешнем радиационных поясах на различных L -оболочках, высотах и при различных величинах магнитного поля, электромагнитных излучений природного и антропогенного характера, а также для наблюдения авроральной области в УФ, видимом и ИК-диапазонах;

Масса КА магнитосферной группировки оценивается в ~ 800 кг. Комплекс целевой аппаратуры каждого из КА состоит из следующих приборов:

- аппаратуры радиотехнического контроля электромагнитных излучений искусственного и естественного происхождения;
- широкополосной аппаратуры определения характеристик электромагнитного излучения антропогенного происхождения ионосферы и магнитосферы в диапазоне частот от 0,8 Гц до 200 МГц;
- ВЧ приёмника-анализатора (радиочастотный спектр);
- радиоспектрометра УКВ-излучений для локализации природных и антропогенных очагов шумовых электромагнитных излучений;
- низкочастотного волнового комплекса для определения состояния магнитосферно-ионосферной плазмы и выявления источника возмущений;
- оптической спектральной системы (авровизора);
- гелиогеофизического аппаратурного комплекса:
- спектрометров и детекторов энергичных частиц;
- измерителя потока рентгеновского и ультрафиолетового излучения Солнца;
- векторного магнитометра;
- прибора измерения солнечной постоянной.

Полярная группировка

Полярная группировка состоит из трёх КА на околополярных орбитах высотой 800 – 1000 км развернутых на 120° (орбита типа «Метеор»). Группировка предназначена для контроля потоков энергичных частиц, волновой активности, магнитных и электрических полей, а также определения состава атмосферы с помощью спектральной аппаратуры.

Масса КА полярной группировки оценивается в ~ 800 кг. Комплекс целевой аппаратуры каждого из КА состоит из следующих приборов:

- оптической спектральной системы;
- радиочастотного масс-спектрометра;
- озонометра;
- гелиогеофизического аппаратурного комплекса:
- спектрометров и детекторов энергичных частиц;
- измерителя потока рентгеновского и ультрафиолетового излучения Солнца;
- векторного магнитометра;
- прибора контроля солнечной постоянной;

– аппаратуры радиотехнического контроля электромагнитных излучений искусственного и естественного происхождения;

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

– ВЧ приёмника-анализатора (радиочастотный спектр);

– радиоспектрометра УК-излучений для локализации природных и антропогенных очагов шумовых электромагнитных излучений;

– низкочастотного волнового комплекса для определения состояния магнитосферно-ионосферной плазмы и выявления воздействий.

Ионосферная группировка

Ионосферная группировка включает восемь КА на солнечно-синхронных околополярных орбитах высотой 600 – 800 км, которые расположены попарно в четырёх плоскостях: терминаторной, ортогональной терминатору, двух промежуточных под углом $\sim 45^\circ$ к терминаторной. Ионосферная группировка предназначена для контроля параметров ионосферы.

Масса КА ионосферной группировки оценивается в ~ 300 кг. Комплекс целевой аппаратуры каждого из КА состоит из следующих приборов:

- ионозонда;
- зонда Ленгмюра;
- ГЛОНАСС/GPS/Galileo измерителя полного электронного содержания.

Гравитационная группировка

Гравитационная группировка состоит из одного КА на околополярной круговой орбите высотой ~ 600 км. КА предназначен для высокоточных измерений характеристик гравитационного поля и определения структуры гравитационных аномалий.

Масса гравитационного КА оценивается в ~ 200 кг. Комплекс целевой аппаратуры КА состоит из следующих приборов:

- сейсмогравиметра;
- высокоточного гравиметра;
- векторного феррозондового магнитометра;
- измерителя пылевой компоненты в диапазоне 0,01 – 10 мкм;
- системы точного определения координат КА.

Схема передачи данных в реальном времени геофизических КА

Наличие геостационарной группировки из трёх КА, оснащённых абонентской аппаратурой для ре-

трансляции, обеспечит переход на ресурсосберегающую технологию малопунктного (в перспективе – однопунктного в виде Геофизического ситуационного центра) управления и связи КА космической системы мониторинга.

КА геостационарной группировки смогут получать информацию целевого назначения с любого участка орбиты каждого КА в реальном времени, а также обеспечат управление в реальном времени всей геофизической группировкой КА.

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

Варианты по снижению стоимости и ускорению создания системы мониторинга геофизической обстановки

Следует отметить, что космическая система мониторинга геофизической обстановки должна строиться по схеме подсистем с открытой архитектурой. Это означает, что в неё могут входить как специализированные КА, оснащённые комплексами целевой аппаратуры для обнаружения, регистрации и селекции возмущений геофизической обстановки, так и космические средства, включающие в свой приборный комплекс аппаратуру измерения гелиогеофизических параметров ОКП. Причём представляется целесообразным активно использовать космические объекты и системы, разрабатываемые в рамках ФКП России [4], и проводить их дооснащение гелиогеофизической датчиковой аппаратурой.

В этом случае в качестве КА полярной группировки можно использовать перспективные гидрометеорологические КА (типа «Метеор») или КА ДЗЗ, дооснащённые соответствующими приборами. В качестве трёх КА магнитосферной группировки возможно использовать КА на высокоэллиптических орбитах (например, «Арктика-М»), дооснащённых необходимыми приборами. Баллистические параметры и целевая аппаратура двух КА «Арктика-М» практически полностью решают задачи, возлагаемые на магнитосферную группировку. Состав целевой аппаратуры КА геостационарной группировки коррелирует с аппаратурой КА «Электро», следовательно, возможно использование информации с этих КА в интересах решения геофизических задач. При этом задачи связи и ретрансляции геофизической информации могут быть возложены на КА типа «Луч».

Заключение

Выполненная оценка технологических возможностей позволяет утверждать, что для реализации такой системы в космической промышленности России имеются предпосылки. Необходимо подчеркнуть, что представленная программа наблюдения геофизических процессов и технология построения космических средств перспективной системы мониторинга геофизической обстановки представляет собой программу исследований в области изучения окружающей природной среды.

Литература

1. Райкунов Г. Г., Любченко Ф. Н., Карелин А. В. Стратегия развития космического сегмента системы

дистанционного зондирования Земли в России до 2030 года // Космонавтика и ракетостроение. – 2012. – Вып. 3(68). – С. 5 – 20.

2. 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.

3. 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.

4. Официальный сайт Федерального космического агентства РФ. www.federspace.ru/115.

Поступила в редакцию 29.10.2014

***Вячеслав Анатольевич Буров**, канд. физ.-мат. наук, заведующий отделом, т. (499) 181-04-46.*

***Сергей Владимирович Журавлёв**, канд. физ.-мат. наук, заведующий отделом, т. (499) 181-04-46.*

***Владимир Борисович Лапшин**, д-р физ.-мат. наук, директор, т. (499) 181-04-46.*

***Антон Владимирович Сыроешкин**, д-р биол. наук, зам. директора, т. (499) 181-04-46.*

***Вячеслав Александрович Шувалов**, канд. техн. наук, начальник лаборатории, т. (495) 513-49-45, e-mail: VAShivalov@tsniimash.ru.*

***Александр Александрович Яковлев**, канд. техн. наук, начальник сектора, т. (495) 513-47-44, e-mail: AAJakovlev@tsniimash.ru.*