

**МЕТОДИКА ТЕКУЩЕГО ПЛАНИРОВАНИЯ
И ПРИМЕНЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ
СРЕДСТВ ПРИ УПРАВЛЕНИИ СИСТЕМОЙ
ДИСТАНЦИОННОГО ЗОНДИРОВАНИЯ
ЗЕМЛИ****THE TECHNIQUE OF ROUTINE PLANNING
AND APPLICATION OF THE SPACE MEANS
IN THE MANAGEMENT OF THE REMOTE
SENSING SYSTEM**

Предметом исследования является комплекс процедур по планированию и применению космических средств дистанционного зондирования Земли, оборудованных модифицированными бортовыми оптико-электронными специальными комплексами. Задачей работы является разработка методики планирования и применения космических средств. Цель исследования состоит в повышении результативности ведения съемки наземных объектов.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, космические и наземные средства, автоматические и автоматизированные вычислительные комплексы, планирование и применение, бортовая обработка, отбраковка данных, сокращение избыточности, пространственные данные, географическая информационная система.

The subject of the research is a set of procedures for planning and application of space means of Earth remote sensing equipped with modified onboard optoelectronic special complexes. The task of the research is to develop a methodology of planning and application of space means. The purpose of research is to improve the efficiency of the ground targets survey.

Keywords: remote sensing, space and ground means, automatic and automated computing complexes, planning and application, onboard processing, data culling, reducing of redundancy, spatial data, geographic information system.

Введение

Система дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) обеспечивает получение и обработку данных о подстилающей поверхности. При этом завершающий этап интерпретации данных посвящен созданию информационной продукции о некотором объекте или явлении на местности или в приземном слое атмосферы. Сбор данных – снимков местности – ведется в сложных внешних и внутренних для системы условиях, в частности – с борта космических средств. Одним из существенных ограничений при съемке является облачность, практически всегда покрывающая большую часть планеты.

Сегодня преобладающее количество данных регистрируется с помощью бортовых оптико-электронных специальных комплексов (БОЭСК).

¹ Кандидат технических наук, докторант кафедры оптико-электронных средств, Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского.

В силу использования адаптированных к условиям съемки методов регистрации изображений о распределенных объектах и явлениях, получаемые данные являются пространственными. Для практического использования данных оптико-электронной космической съемки в России и зарубежных странах развит и внедрен специализированный класс информационных систем – географических информационных систем (ГИС), в общем сочетающих возможности представления, обработки и анализа пространственных данных.

Традиционно считается, что информационной основой современной ГИС некоторого уровня (глобального, федерального, регионального и т.п.) являются базовые слои данных, часто разрабатываемые на основе данных космической съемки. В этом случае не всегда удается использовать данные, полученные в близкие отсчеты времени, и к разработке принимаются архивы за

предыдущие периоды времени. Базовые слои в зависимости от области применения обладают свойством актуальности, которое определяется периодом от единиц до десятка лет. В ходе многолетней практики технология получения базовых слоев, включающая этапы планирования и применения средств, является отработанной и повсеместно внедрена. При решении отдельных задач по оперативному мониторингу малоразмерных объектов при природных и техногенных катастрофах указанная технология не обеспечивает высокой результативности применения космической системы ДЗЗ.

Анализ проблемной ситуации

Получение исходных данных для построения базовых слоев выполняется с существующей методикой планирования и применения космических средств [1], применяемой отечественным оператором космических систем ДЗЗ – Научным центром оперативного мониторинга Земли. Методика включает основные этапы: предварительное, долгосрочное, оперативное и текущее планирование. Эти мероприятия выполняются на периоды в один год, на 30 суток, на 2–10 суток и на 0,5–2 суток соответственно. На этапах долгосрочного, оперативного и текущего планирования по многолетним климатическим данным и средне-/краткосрочным метеопрогнозам учитывается вероятность наличия облачности в моменты выполнения съемки. Аналогичные технологии используются и в зарубежных странах, имеющих собственные системы ДЗЗ.

Объективно существует нестационарная и сложнопрогнозируемая оптическая помеха – облачность, способная экранировать изображения объектов на получаемых снимках. Оправданность краткосрочных прогнозов облачности, характеризующихся обобщенностью и разрабатываемых для крупных однородных синоптико-климатических районов, при планировании космической съемки составляет примерно 80% [2]. Если принять, что ошибка прогноза имеет симметричное распределение, то около 10% получаемых данных будет непригодным для решения поставленных задач. Также при решении срочных задач мониторинга регистрация данных может выполняться и без учета прогнозируемой метеобстановки, что снижает процент успешной съемки.

Кроме того, современные космические средства ДЗЗ высокого пространственного разрешения, например космический аппарат «Ресурс-П», регистрируют данные, покрывающие площадь шириной более 30 км и длиной до 100 км. Если целевые объекты съемки являются малоразмер-

ными с габаритами в единицы километров, то такие данные будут характеризоваться высокой пространственной избыточностью. Доля данных о малоразмерном объекте может составлять единицы процентов от общего объема зарегистрированных данных. Сегодня для решения конкретной задачи по малоразмерным объектам требуется ожидать передачи всего объема данных по космическим каналам связи с ограниченной пропускной способностью.

Частичная компенсация сложностей, связанных с передачей данных, не пригодных из-за покрытия объекта облачностью и характеризующихся пространственной избыточностью, достигается за счет применения бортовых методов и средств компрессии данных [3; 4]. При этом на практике для обеспечения получения качественных данных используют небольшие коэффициенты сжатия в 2–4 раза. Исходные параметры и содержание процесса бортовой компрессии инвариантны к условиям съемки и не требуют выполнения дополнительных процедур при планировании.

В настоящее время предлагается ряд методов бортовой обработки, обеспечивающих отбраковку данных по признаку покрытия объекта облачностью и сокращение пространственной избыточности данных при съемке малоразмерных объектов [5; 6]. Реализация данных методов требует, в первую очередь, частичной доработки и расширения возможностей БОЭСК, включающего оптико-электронную систему регистрации целевых данных и данных об условиях съемки, а также вычислительный комплекс аппаратно-программных средств бортовой обработки. Указанная задача является сложной, самостоятельной и требует проведения отдельных исследований.

Современная методика планирования и применения космических средств не способна обеспечить использование перспективных методов расширенной бортовой обработки для повышения результативности процесса ДЗЗ [1]. Для указанных методов при текущем планировании требуется оценивание определенного набора исходных данных на момент и район съемки каждого объекта. Таким образом, разработка новой методики текущего планирования и применения космических средств при управлении системой ДЗЗ является актуальной задачей, решение которой совместно с реализацией предлагаемых методов бортовой обработки [5; 6] обеспечит революционное развитие методов и средств ДЗЗ.

Предлагается подробно не рассматривать состав традиционных параметров ведения съемки,

содержащий моменты времени, режимы включения БОЭСК и опции бортового кодирования данных. При этом необходимо представить состав параметров, обеспечивающих отбраковку и сокращение избыточности данных в бортовом вычислительном комплексе.

Параметры бортовой отбраковки данных

Для текущего планирования на основе заявок от потребителей данных и информационной продукции систем ДЗЗ задается каталог объектов съемки $OI_{\{NO\}} = \{OI_{no}\}_{NO}$, $[no = 1(1)NO]$, где OI_{no} – отдельный объект съемки, no – индекс объекта, NO – общее число объектов. Этот каталог является результатом объединения каталогов площадных объектов $OI_{\{NO\}}^B$ и малоразмерных объектов $OI_{\{NO\}}^S$, то есть $OI_{\{NO\}} = OI_{\{NO\}}^B \cup OI_{\{NO\}}^S$.

Бортовая отбраковка данных по признаку покрытия снимка объекта no облачностью требует задания меры отбраковки $tECA_{no}$ и параметров оценивания облачности

$$TP_{\langle NT \rangle; no} = \left\langle (LT, UT)_{nt; no} \right\rangle_{NT}, [nt = 1(1)NT], (1)$$

где $(LT, UT)_{nt; no}$ – параметры пороговой обработки определенного nt бортового массива данных об облачности;

NT – общее число бортовых массивов данных об облачности.

Выполненные исследования показывают, что для определения облачности с высокой достоверностью достаточно массивов $NT = 3$ [5; 6], полученных при бортовой обработке данных от заданных спектральных каналов. Для оценивания параметров (1) целесообразно использовать обширные существующие архивы данных ДЗЗ или модели оптических свойств облачности.

Мера отбраковки $tECA_{no}$ является числом, соответствующим максимально допустимому проценту облачности на снимке объекта. В коммерческом ДЗЗ, когда отбраковка непригодных данных выполняется после приема в наземных средствах, значение $tECA_{no}$ задается, как правило, не более 25%. Таким образом, для отбраковки данных, регистрируемых в течение периода применения космического средства по признаку покрытия облачностью, необходимо знание множеств параметров $\{TP_{\langle NT \rangle; no}\}_{NO}$ и $\{tECA_{no}\}_{NO}$.

Параметры сокращения пространственной избыточности данных

Пространственную избыточность целевых данных следует сокращать в случае съемки малоразмерных объектов $OI_{\{NO^S\}}^S$. Предполага-

ется, что при съемке объекта no будет зарегистрирован одномерный массив целевых данных $L_{[IK_{O;no}]; no} = |L_{ik; no}|_{IK_{O;no}}$, $[ik = 1(1)IK_{O;no}]$, где $IK_{O;no}$ – размер массива, определяемый характеристиками и длительностью включения БОЭСК. Для извлечения данных о малоразмерном объекте no необходимо знать параметры децимации массива $L_{[IK_{O;no}]; no}$, а именно:

$$SE_{no} = (im_{no}^{\min}, in_{no}^{\min}; im_{no}^{\max}, in_{no}^{\max}), (2)$$

где $im_{no}^{\min}, in_{no}^{\min}; im_{no}^{\max}, in_{no}^{\max}$ – координаты, задающие положение пространственного экстента объекта no в пространстве целевых данных.

Параметры SE_{no} оцениваются по баллистическому прогнозу движения космического средства, данным о режимах и стохастических параметрах съемки объекта no . Множество $\{SE_{no}\}_{NO}$ является набором параметров, необходимых для сокращения пространственной избыточности целевых данных на борту в течение периода применения средства.

Методика планирования и применения космических средств

Общая схема разработанной методики приведена на рис. 1, где раскрывается содержание этапов текущего планирования и применения космического средства. Все этапы планирования космической съемки выполняются на автоматизированных вычислительных комплексах оператора системы ДЗЗ. Этапы применения реализуются на автоматических бортовых вычислительных комплексах, функционирующих строго в соответствии с полученной рабочей программой (РП) космического средства.

Инициализация этапа текущего планирования основывается на получении ориентировочного плана съемки, содержащего данные о пространственном положении объектов и требуемых параметров выполнения их съемки (пространственное разрешение, спектральные каналы, угол съемки и т.д.). Кроме того, на данном этапе требуется оценивание возможностей наземных средств по приему зарегистрированных данных с борта космического средства.

Согласно предложенной методике, непосредственно на этапе текущего планирования сначала выполняются традиционные этапы баллистического, экспонетрического и метеорологического прогнозов, по результатам которых производится уточнение каталога снимаемых объектов на период применения. Также активируется обратная связь с этапом оперативного планирования для определения возможного ряда объектов из ориентировочного плана, съемка которых не

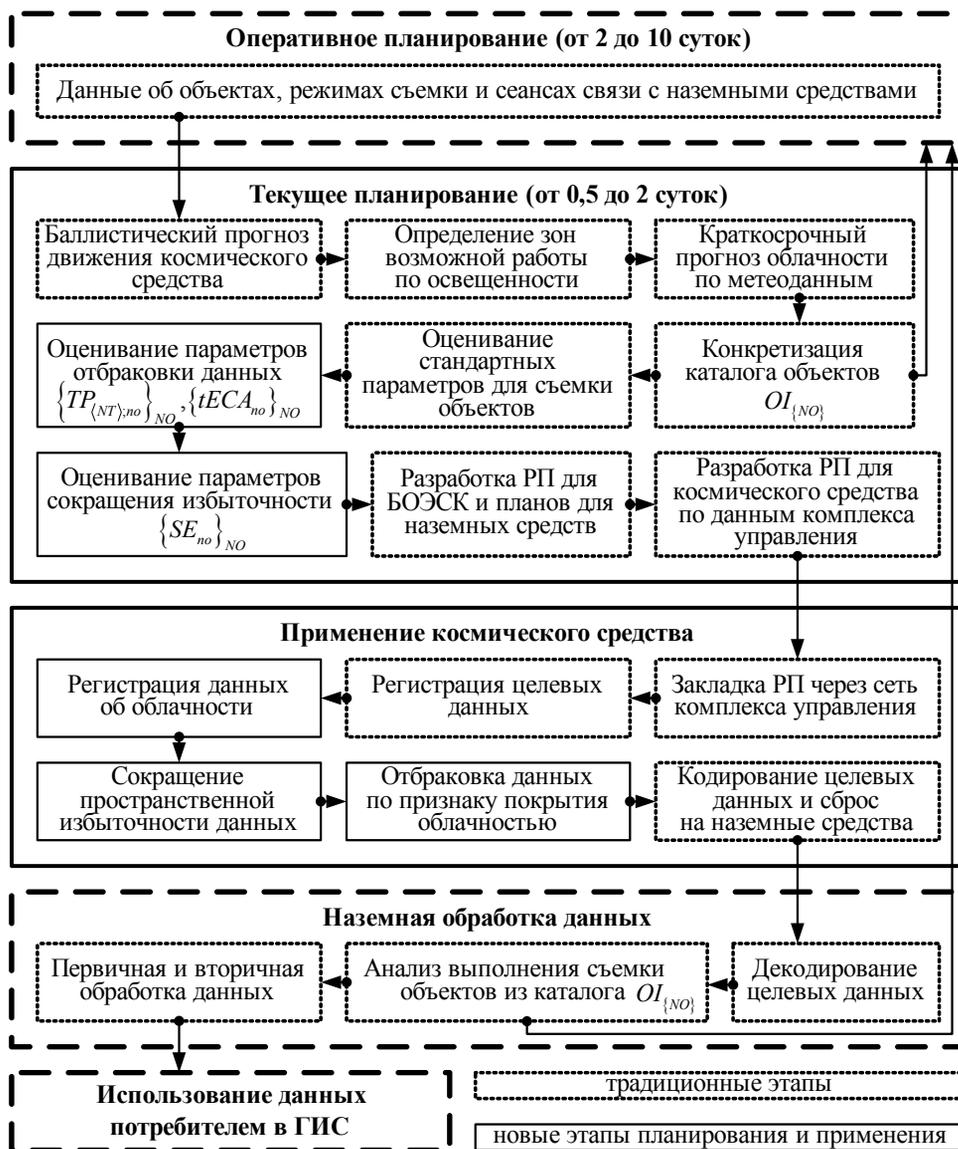


Рис. 1. Схема методики планирования и применения космического средства с возможностями расширенной бортовой обработки данных

может быть выполнена на планируемом этапе применения из-за существующих ограничений. Для объектов из уточненного каталога $OI_{\{NO\}}$ выполняется оценивание стандартных параметров съемки (углов разворота платформы, числа шагов накопления и т.д.). Далее оцениваются новые параметры съемки для бортовой отбраковки данных $\{TP_{(NT);no}\}_{NO}, \{tECA_{no}\}_{NO}$ и бортового сокращения избыточности данных $\{SE_{no}\}_{NO}$. Общая цель текущего планирования, выполняемого на вычислительных средствах оператора системы ДЗЗ, состоит в формировании конкретной РП БОЭСК, которая трансформируется в РП космического средства за счет добавления параметров работы других бортовых комплексов и плана работы наземных средств по приему данных.

Этап применения космического средства начинается с закладки РП на борт космического средства, в соответствии с которой автоматически выполняется регистрация целевых данных об объектах съемки. Синхронно с этими данными регистрируются данные о фактическом поле облачности над объектами съемки. Все данные сохраняются в бортовой памяти космического средства. В случае съемки малоразмерного объекта по параметрам (2) выполняется сокращение пространственной избыточности данных согласно следующему правилу децимации

$$n \cdot im_{no}^{\min} \leq ik \leq n \cdot im_{no}^{\max},$$

$$n = [im_{no}^{\min} (1) im_{no}^{\max}] \Rightarrow L_{[IK_{O,no}] ; no} \rightarrow L_{[\downarrow IK_{O,no}] ; no}, \quad (3)$$

где $L_{[\downarrow IK_{O,no}] ; no}$ – массив целевых данных с сокра-

щенной пространственной избыточностью, то есть $\downarrow IK_{O;no} < IK_{O;no}$.

По зарегистрированным данным об облачности выполняется оценивание покрытия облачностью объекта съемки в соответствии с параметрами (1). Результат оценивания для каждого объекта *no* представлен значением ECA_{no} , характеризующим покрытую полем облачности долю объекта. Отбраковка целевых данных, состоящая в удалении массивов из бортовой памяти, выполняется в случае выполнения критерия отбраковки

$$ECA_{no} \geq tECA_{no}. \quad (4)$$

По мере завершения процедур вычисления оценок ECA_{no} и отбраковки целевых данных для всех объектов съемки [$no = 1(1)NO$] данные об облачности удаляются из бортовой памяти. Неотбракованные полные и сокращенные целевые данные подвергаются обработке, состоящей в их компрессии и помехоустойчивом кодировании, передаются по высокоскоростной радиолинии на сеть наземных средств.

Получение целевых данных в наземных средствах определяет начало этапа наземной обработки с декодированием записанного потока. По составу полученных данных определяется перечень объектов, съемка которых была неудачной из-за покрытия облачностью. Перечень неснятых объектов доводится на средства оперативного планирования, где они при возникновении возможности будут включены в очередной план съемки. Целевые данные успешной съемки подвергаются процедурам первичной и вторичной обработки, направленным на получение информационной продукции, в частности – для использования в ГИС конечного потребителя.

Применение рассмотренной методики по средствам с расширенной бортовой обработкой позволит сократить долю непригодных или ненужных для решения прикладных задач данных. Этот факт позволяет высвободить определенный ресурс в каналах высокоскоростных радиолиний и использовать его для передачи дополнительных объемов качественных целевых данных, увеличивая таким образом результативность ведения космической съемки.

Заключение

В работе исследуется проблема использования результатов космической деятельности, реализуемой с применением космических оптоэлектронных средств. Современная технология дистанционного зондирования Земли не всегда обеспечивает высокую результативность съем-

ки объектов, так как процесс протекает в комплексе нестационарных внешних и внутренних условий. В исследовании на основе существующих предложений по модификации космических средств предлагается новая методика текущего планирования и применения, позволяющая априорно оценить параметры отбраковки и сокращения пространственной избыточности целевых данных на борту. Снижение общего объема целевых данных позволяет освободить ресурсы для съемки дополнительных объектов, повышая результативность процесса дистанционного зондирования.

Литература

1. Урличич Ю.М., Селин В.А., Емельянов К.С. О приоритетах практической реализации развития космической системы дистанционного развития Земли // *Аэрокосмический курьер*. – 2011. – № 6 (78). – С. 12–19.
2. Способ определения времени проведения спутниковой съемки при дистанционном зондировании: пат. 2231811 Рос. Федерация: МПК7 G01W1/00 / В.Д. Будовый, М.В. Бухаров; заявитель и патентообладатель НИЦ космической гидрометеорологии «Планета». – №2002117046/28, заявл. 27.06.2002; опубл. 27.06.2004.
3. Дудин Е.А., Карин С.А., Григорьев А.Н. Сжатие многоспектральных данных дистанционного зондирования Земли с использованием метода главных компонент // *Информация и космос*. – 2014. – № 4. – С. 77–81.
4. Григорьев А.Н., Дудин Е.А. Метод адаптивного сжатия спутниковых изображений земной поверхности // *Изв. вузов. Приборостроение*. – 2015. – Т. 58. – № 3. – С. 179–184.
5. Григорьев А.Н. Пути повышения производительности систем дистанционного зондирования подстилающей поверхности // *Тезисы докладов Двенадцатой Всероссийской открытой конференции «Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса»*. – М.: ИКИ РАН, 2014. – С. 153.
6. Григорьев А.Н., Дудин Е.А., Шабков Е.И., Октябрьский В.В. Перспективы развития методов бортовой обработки данных космических систем дистанционного зондирования Земли // *Тезисы докладов Третьей Международной научно-технической конференции «Актуальные проблемы создания космических систем дистанционного зондирования Земли»* – М.: ОАО «Корпорация «ВНИИЭМ»», 2015. – С. 126–128.