

**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).

<sup>1</sup> 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 экстенда 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

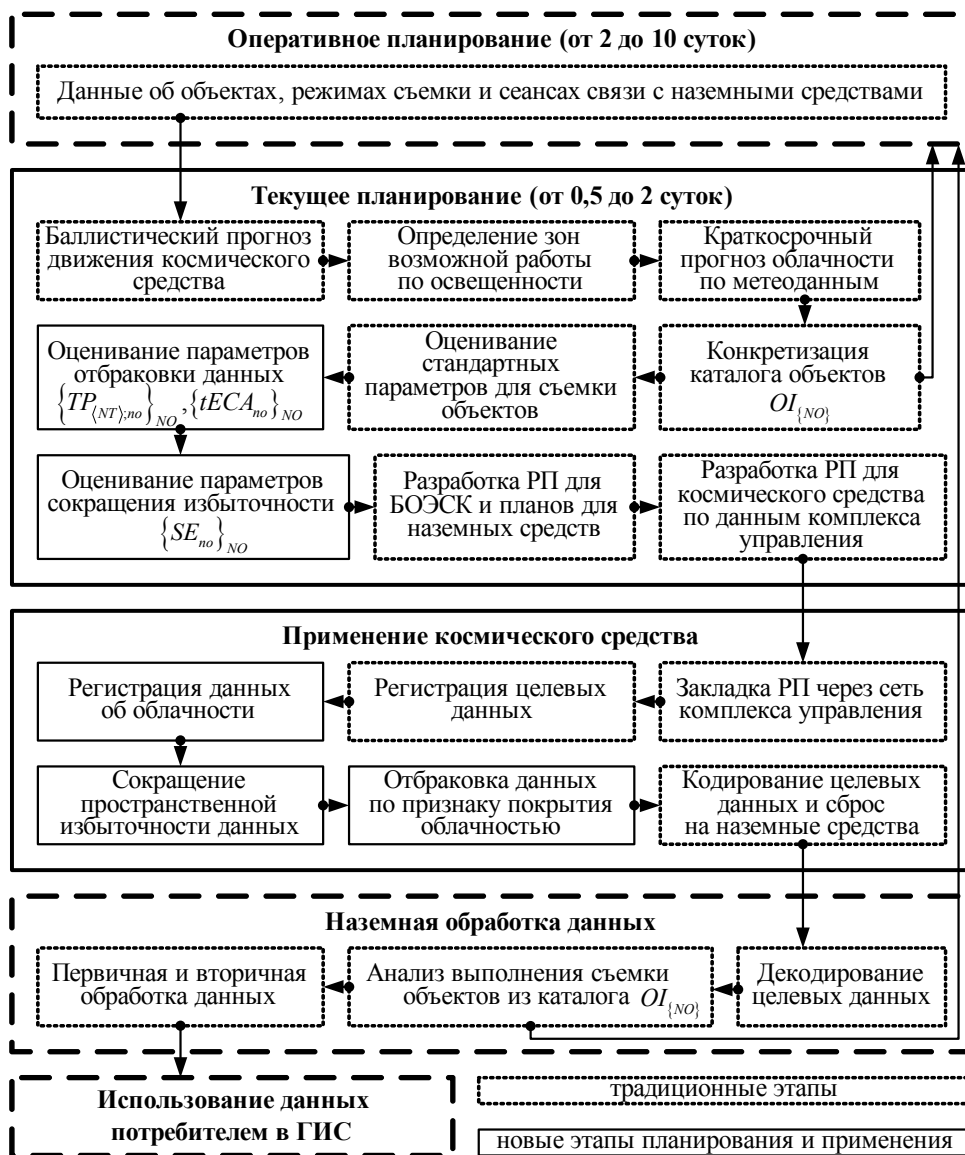


Рис. 1. Схема методики планирования и применения космического средства с возможностями расширенной бортовой обработки данных

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.