

Концептуальная и аналитическая модели ведения оптико-электронной съемки с априорной экспонетрией на борту космического аппарата

А.Н. Григорьев, Е.А. Дудин, Д.С. Коршунов, В.В. Октябрьский

*Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
Санкт-Петербург, 197198, Россия
E-mail: Grig-AN@ya.ru*

В статье представлены результаты исследований, выполненных с целью улучшения качества данных спутниковой многоспектральной съемки. В качестве объекта исследования рассматривается космическая оптико-электронная система дистанционного зондирования Земли. Предметом исследования являются процедуры выбора параметров регистрации изображений подстилающей поверхности. В статье предложена концептуальная модель ведения оптико-электронной съемки с априорной экспонетрией на борту космического аппарата. Указанная модель отличается от известных технологий за счет использования дополнительного бортового специального комплекса. Дополнительный бортовой специальный комплекс используется для измерения фактического восходящего потока излучения. Авторами разработана аналитическая модель показателя качества многоспектральных снимков при ведении съемки из космоса. Показателем качества выбрано значение линейного разрешения на местности. При расчете линейного разрешения учитываются характеристики основных звеньев оптико-электронного тракта и внешние условия оптико-электронной съемки. Указанная модель обеспечивает определение оптимальной экспозиции по заданным критериям. Приведены результаты вычислительного эксперимента, демонстрирующие зависимость линейного разрешения на местности от внешних условий съемки. Исследования показывают, что при одинаковой экспозиции в разных спектральных поддиапазонах регистрируются изображения с разным качеством. На основе полученных результатов сформулированы выводы о необходимости определения экспозиции индивидуально для каждого спектрального поддиапазона бортового оптико-электронного специального комплекса.

Ключевые слова: моделирование, экспозиция, линейное разрешение на местности, многоспектральная съемка

*Одобрена к печати: 21.03.2017
DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-128-138*

Введение

Использование обобщенных данных о внешних условиях наблюдения при планировании применения космических оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) ограничивает качество изображений, получаемых в узких спектральных диапазонах. Обоснованное планирование многоспектральной съемки предполагает учет внешних условий наблюдения и закономерностей их изменений для каждого спектрального поддиапазона. В частности, при ведении оптико-электронной съемки со сверхвысоким и высоким пространственным разрешением величина полосы захвата составляет единицы десятков километров. При этом сведения об интегральной отражательной способности подстилающей поверхности, используемые при планировании съемки для экспонетрического расчета, обобщены на участках, многократно превосходящих по размеру величину полосы захвата. Кроме того, в составе информационного обеспечения комплекса планирования отсутствуют данные об отражательной способности подстилающей поверхности в узких спектральных диапазонах, разработка которых требует затрат дополнительных ресурсов.

Улучшение качества полученных многоспектральных снимков потенциально обеспечивается за счет выбора оптимальных параметров съемки, в частности времени накопления заряда фотоприемным устройством бортового оптико-электронного специального комплекса (БОЭСК). Для решения этой задачи необходимы данные о фактическом восходящем потоке излучения над районом съемки, которые могут формироваться с применением дополнительного бортового специального комплекса (ДБСК). Наличие указанных данных обеспечивает оценивание качества изображений, регистрируемых в узких спектральных диапазонах, и выбор оптимальных параметров съемки непосредственно на борту космического аппарата (КА).

Таким образом, тема исследований, проводимых с целью улучшения качества данных многоспектральной съемки и включающих разработку моделей ведения оптико-электронной съемки с априорной экспонометрией на борту КА, является актуальной.

Концептуальная модель ведения оптико-электронной съемки с априорной экспонометрией на борту космического аппарата

Оптико-электронная съемка Земли из космоса выполняется в нестационарных по пространству и времени условиях, прогнозирование которых выполняется зачастую на основе обобщенных данных о заданных районах. В рамках настоящей работы предлагается повысить уровень автономизации КА ДЗЗ за счет анализа оптических условий съемки и параметров регистрации многоспектральных данных непосредственно на борту орбитального средства. Предлагаемая концепция решения указанной задачи состоит в модернизации бортовых аппаратных и программных средств.

Во-первых, комплекс целевой аппаратуры КА требует усовершенствования путем установки ДБСК, свойства которого обеспечивают анализ восходящего (отраженного заданным районом съемки) потока излучения. Обобщенный алгоритм использования ДБСК по автономному определению экспозиции для БОЭСК представлен на *рис. 1*. В первом приближении ДБСК представляет собой многоспектральный экспонометр, поле зрения которого ориентировано вперед по трассе КА. Путем управления КА при подлете к заданному району обеспечивается пересечение поля зрения ДБСК и интересующей территории, в результате которого регистрируются соответствующие экспонометрические данные. Указанные процедуры управления КА и использования ДБСК выполняются в соответствии с рабочими программами (РП) ДБСК и бортового обеспечивающего комплекса (БОК), заложенных на борт в составе РП КА ДЗЗ.

Во-вторых, вычислительный комплекс КА дополняется программными средствами, обеспечивающими анализ экспонометрических данных и вычисление оптимальной экспозиции для БОЭСК при съемке заданного района. При этом сущность решения задачи оптимизации состоит в определении зависимости показателя качества регистрируемых данных от изменений условий их регистрации, оцененных с учетом фактических

экспонетрических данных, и выборе параметров съемки, при которых указанное качество имеет максимальное значение. Естественно, что для получения высококачественных данных требуется увеличение интервала времени экспонирования. Однако в силу динамики орбитального полета и определенной нестабильности КА увеличение экспозиции ведет к снижению качества данных.

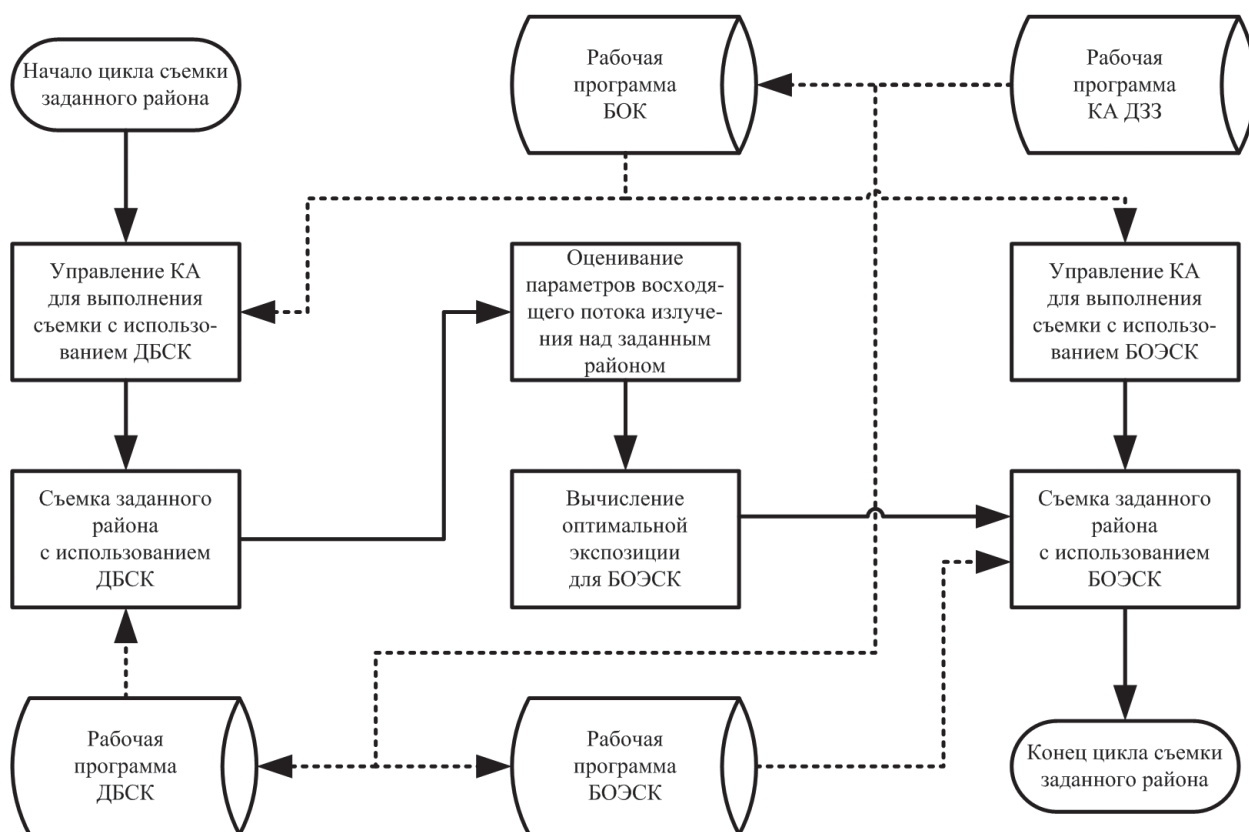


Рис. 1. Алгоритм выполнения цикла оптико-электронной съемки с борта КА с использованием экспонетрического ДБСК

Последующие процедуры съемки, в частности управление КА для выполнения целевой съемки заданного района и регистрация данных с использованием БОЭСК, являются традиционными и выполняются по параметрам, содержащимся в РП БОК и БОЭСК. Исключение составляет рассмотренная особенность, состоящая в использовании при регистрации данных о конкретном районе съемки результата априорного применения ДБСК – значения экспозиции для фотоприемного устройства.

Необходимо отметить, что одна из ключевых задач реализации предложенной концептуальной модели ведения оптико-электронной съемки состоит в выборе и исследовании показателя качества данных, позволяющего оценить влияние комплекса условий съемки на свойства получаемых изображений подстилающей поверхности.

Аналитическая модель показателя качества многоспектральных снимков при ведении съемки из космоса

Одним из распространенных подходов к оцениванию качества изображений, получаемых космическими средствами ДЗЗ, является расчет линейного разрешения на местности (ЛРМ). В общем, значение ЛРМ $L_{\text{ЛРМ}}$ характеризует предельный размер объекта, который может быть отображен на снимке. Значение указанного показателя рассчитывается по формуле (Григорьев, Коршунов, Беляев, 2010; Хартов, Ефанов, Занин, 2011; Веселов и др., 2013):

$$L_{\text{ЛРМ}} = \frac{D_{\text{Н}}}{2 \nu_{\text{ОЭК}}(\lambda) f}, \quad (1)$$

где $D_{\text{Н}}$ – наклонная дальность съемки; f – фокусное расстояние объектива БОЭСК; $\nu_{\text{ОЭК}}$ – разрешающая способность оптико-электронного комплекса в естественных условиях спутниковой съемки; λ – центральная длина волны спектрального диапазона.

Использование формулы (1) позволяет учесть влияние параметров БОЭСК системы ДЗЗ, спектральных оптических характеристик объектов и внешних условий наблюдения на качество полученного снимка. Существенные вариации значения ЛРМ при ведении съемки из космоса в узких спектральных диапазонах обуславливает изменение разрешающей способности $\nu_{\text{ОЭК}}$, значение которой соответствует предельному числу раздельно воспринимаемых линий на изображении тестового объекта (миры). В работах (Бакланов, 2009; Григорьев, Коршунов, Беляев, 2010; Веселов и др., 2013) предложены модели оценки разрешающей способности, основанные на расчете частотно-контрастной характеристики (ЧКХ) $T_{\text{ОЭК}}(\nu)$ звеньев информационного тракта БОЭСК, работающего, как правило, в панхроматическом режиме. Указанные модели при выполненной в рамках исследований доработке могут использоваться для моделирования ЧКХ многоспектральной аппаратуры наблюдения. Расчет результирующей ЧКХ в заданном спектральном канале БОЭСК предлагается вычислять по формуле:

$$T_{\text{ОЭК}}(\nu, \lambda) = T_{\text{А}}(\nu, \lambda) T_{\text{Об}}(\nu, \lambda) T_{\text{Сф}}(\nu) T_{\text{В}}(\nu) T_{\text{ФПУ}}(\nu) T_{\text{С}}(\nu),$$

где $T_{\text{А}}$ – ЧКХ атмосферы; $T_{\text{Об}}$ – ЧКХ объектива; $T_{\text{Сф}}$ – ЧКХ системы фокусировки; $T_{\text{В}}$ – ЧКХ вибрации оптико-электронной системы; $T_{\text{ФПУ}}$ – ЧКХ фотоприемного устройства; $T_{\text{С}}$ – ЧКХ сдвига изображения; ν – пространственная частота.

В свою очередь, формула для расчета ЧКХ атмосферы имеет вид:

$$T_{\text{А}}(\nu, \lambda) = \frac{\exp\left(-2(\pi f \sigma_{\text{Н}} \nu)^2\right)}{1 + 2\rho_{\text{Д}}(\lambda)},$$

где $\sigma_{\text{Н}}$ – коэффициент турбулентности атмосферы на высоте H ; $\rho_{\text{Д}}(\lambda)$ – коэффициент яркости атмосферной дымки.

Для вычисления значения ЧКХ объектива используется формула:

$$T_{\text{об}}(\nu, \lambda) = \frac{2}{\pi} \left(\arccos \left(\frac{\lambda f \nu}{d_{\text{вх}}} \right) - \frac{\lambda f \nu}{d_{\text{вх}}} \sqrt{1 - \left(\frac{\lambda f \nu}{d_{\text{вх}}} \right)^2} \right),$$

где $d_{\text{вх}}$ – диаметр входного отверстия объектива.

Учет влияния дефокусировки объектива БОЭСК обеспечивается за счет определения ЧКХ системы фокусировки:

$$T_{\text{сф}}(\nu) = \sin \left(\frac{\Delta f \sqrt{3}}{2f} d_{\text{вх}} \nu \right),$$

где Δf – ошибка фокусировки объектива.

Влияние вибрации оптико-электронной системы оценивается путем расчета соответствующей ЧКХ:

$$T_{\text{в}}(\nu) = \exp \left(-2(\pi f \sigma_{\text{в}} \nu)^2 \right),$$

где $\sigma_{\text{в}}$ – среднеквадратичное отклонение вибрации объектива.

Искажения, вносимые структурой приемника излучения, учитываются при вычислении ЧКХ фотоприемного устройства:

$$T_{\text{фпу}}(\nu) = \sin(a_{\text{пи}} \nu),$$

где $a_{\text{пи}}$ – размер элемента фотоприемного устройства.

Кроме того, ЧКХ сдвига изображения по направлению сканирования подстилающей поверхности определяется по формуле:

$$T_{\text{с}}(\nu) = \sin \pi H_{\text{с}} \nu / \pi H_{\text{с}} \nu,$$

где $H_{\text{с}}$ – величина сдвига изображения.

Искомое значение разрешающей способности соответствует предельному значению пространственной частоты штрихов миры $\nu_{\text{оэк}}$, для которой выполняется условие:

$$T_{\text{оэк}}(\nu, \lambda) = M,$$

где M – предельный контраст, регистрируемый БОЭСК.

Для оценивания разрешающей способности БОЭСК с учетом спектральных оптических свойств объекта съемки на заданном фоне целесообразно использовать доработанную формулу (Веселов и др., 2013):

$$\psi_{\text{оэк}} = \frac{8}{\pi^2} \cdot \frac{S T_{\text{оэк}}(\nu, \lambda)}{\sigma_{\text{ш}}} \cdot \sqrt{\frac{5}{4\nu^2 a_{\text{пи}}^2}}, \quad (2)$$

где $\psi_{\text{ОЭК}}$ – воспринимаемое наблюдателем отношение сигнала к шуму при обнаружении прямоугольных тест-объектов в узком спектральном диапазоне; S – величина сигнала в электронах; $\sigma_{\text{ш}}$ – среднеквадратичное отклонение шума информационного тракта БОЭСК.

При определении ЛРМ уравнение (2) решается относительно пространственной частоты ν при фиксированной величине контраста k между объектом и фоном в исследуемом спектральном диапазоне. Результатом решения является предельное значение пространственной частоты $\nu_{\text{ОЭК}}$, для которой выполняется условие:

$$\psi_{\text{ОЭК}}(L_{\text{ЛРМ}}, \lambda, k) = \psi_P(L_{\text{ЛРМ}}, \lambda, k), \quad (3)$$

где ψ_P – воспринимаемое наблюдателем отношение сигнала к шуму при обнаружении прямоугольных тест-объектов в узком спектральном диапазоне, соответствующее вероятности опознавания $P = 0,8$.

Величина полученного сигнала вычисляется по формуле:

$$S = \frac{2k}{1-k} N_e,$$

где N_e – число электронов, накопленных фотоприемным устройством БОЭСК.

Таким образом, в ходе вычислений учитываются оптические характеристики объектов, внешние условия съемки и параметры БОЭСК. К параметрам, характеризующим объект наблюдения, относятся коэффициент отражения ρ , контраст между объектом и фоном k , пространственная частота ν . Внешние условия наблюдения характеризуются угловой высотой Солнца h_0 , спектральной облученностью единицы поверхности на входе в атмосферу $E_0(\lambda)$ и коэффициентом пропускания атмосферы $\tau_{\text{атм}}(\lambda)$. Кроме того, к параметрам БОЭСК относятся диаметр входного зрачка $d_{\text{ВХ}}$, фокусное расстояние объектива f , коэффициент пропускания оптической системы $\tau_{\text{опт}}(\lambda)$, коэффициент экранирования объектива μ , квантовый выход фотоприемного устройства η , размер чувствительного элемента $a_{\text{ПИ}}$ и время накопления заряда $T_{\text{Н}}$. Число накопленных электронов с учетом перечисленных параметров вычисляется по формуле:

$$N_e(\lambda) = \frac{E_0(\lambda) \tau_{\text{атм}}^2(\lambda) \tau_{\text{опт}}(\lambda) \rho(\lambda) \sin(h_0)}{4} \cdot \frac{d_{\text{ВХ}}^2}{f^2} \cdot (1 - \mu^2) \cdot \frac{T_{\text{Н}} \eta a_{\text{ПИ}}^2}{h\nu}, \quad (4)$$

где $h\nu$ – энергия одного кванта излучения при заданной длине волны.

Значение разрешаемой пространственной частоты штрихов тестового объекта $\nu_{\text{ОЭК}}$, для которой выполняется условие (3), используется для вычисления ЛРМ по формуле (1). Из анализа формулы (4) следует, что в основном параметры съемки обуславливаются естественными условиями, и отсутствует возможность искусственного управления их значениями. Однако изменяемым параметром, определяющим величину сигнала и, как

следствие, воспринимаемое наблюдателем отношение сигнала к шуму, является время накопления заряда T_n . Варьирование значением указанного параметра обеспечивает управление разрешаемой пространственной частотой штрихов $\nu_{\text{ОЭК}}$, что позволяет изменять качество регистрируемого спектрального изображения. В первом приближении увеличение времени накопления заряда обеспечивает улучшение качества изображения, но при этом следует учитывать действие других факторов, ухудшающих свойства снимка. В частности, одно из условий съемки с борта КА состоит в том, что за выбранное время накопления смещение линии визирования на местности не должно превышать размер проекции фоточувствительного элемента на поверхности Земли в направлении сканирования (Бакланов, 2009; Хартов, Ефанов, Занин, 2011):

$$T_n \leq \frac{R}{V},$$

где R – размер проекции фоточувствительного элемента на поверхности Земли; V – скорость движения подспутниковой точки на поверхности Земли.

Предложенный математический аппарат, усовершенствованный для расчета значения ЛРМ в зависимости от условий съемки в заданном спектральном канале БОЭСК, позволяет реализовать разработанную концептуальную модель ведения оптико-электронной съемки с априорной экспонетрией на борту КА. В силу того, что особенность концептуальной модели состоит в использовании ДБСК для непосредственного определения параметров облучения БОЭСК в условиях орбитальной оптико-электронной съемки, в разработанной аналитической модели не требуется оценивать сигнал, накопленный фотоприемным устройством. Предполагается, что результаты разработки модели с учетом существующих ограничений по ведению оптико-электронной съемки из космоса обеспечат выполнение процедуры по вычислению оптимальной экспозиции для БОЭСК в конкретных условиях. При этом полученную аналитическую модель показателя качества многоспектральных снимков целесообразно использовать для исследования зависимости ЛРМ от внешних условий съемки.

Исследование качества результатов многоспектральной съемки в разных условиях наблюдения из космоса

Полученные в рамках работы результаты позволяют исследовать качество изображений, регистрируемых в отдельных спектральных каналах БОЭСК. Частные результаты такого исследования получены на основе исходных данных об условно-реальном БОЭСК, об оптических свойствах объектов съемки и условиях регистрации изображений (табл. 1–3). В качестве примеров объектов съемки использованы бетонные/асфальтовые дорожные покрытия, расположенные на заданном фоне, в частности на травянистой растительности в разных фенофазах, суглинке.

Таблица 1. Исходные данные для расчета значений ЛРМ

<i>Параметр оптико-электронной системы</i>	<i>Значение</i>
Фокусное расстояние объектива f , м	4
Диаметр входного отверстия объектива $d_{\text{вх}}$, м	0,5
Погрешность фокусировки объектива Δf , м	$3,5 \times 10^{-5}$
Среднеквадратичное отклонение вибрации объектива $\sigma_{\text{в}}$, рад	10^{-7}
Размер элемента фотоприемного устройства $a_{\text{пир}}$, мкм	12
Высота съемки H , км	500
Коэффициент турбулентности атмосферы $\sigma_{\text{н}}$, рад	10^{-7}

Таблица 2. Спектральные параметры и условия съемки

<i>Спектральный поддиапазон, мкм</i>	<i>Центр спектрального поддиапазона, мкм</i>	<i>Спектральная облученность на входе в атмосферу, Вт/м²</i>
0,43–0,51	0,47	54,425
0,51–0,58	0,545	26,066
0,60–0,70	0,65	18,515
0,70–0,90	0,80	16,674
0,80–0,90	0,85	6,28

Таблица 3. Примеры спектральных коэффициентов отражения объектов съемки

<i>Центр спектрального поддиапазона, мкм</i>	<i>Бетон</i>	<i>Асфальт</i>	<i>Суглинок</i>	<i>Вегетирующая трава</i>
0,47	0,1988	0,0569	0,0938	0,0429
0,545	0,2500	0,0708	0,1630	0,0938
0,65	0,3034	0,0862	0,2734	0,0594
0,80	0,3154	0,1012	0,3367	0,3879
0,85	0,3165	0,1097	0,3592	0,3770

На рис. 2 представлены результаты оценивания качества изображений объектов, регистрируемых при съемке в надир с борта КА ДЗЗ для отдельных сочетаний объекта съемки и фона. Исследования выполнены для наиболее благоприятных и неблагоприятных условий облученности района съемки, определяемых углом места Солнца над плоскостью местного горизонта h_0 (соответственно $h_0 = 90^\circ$ и $h_0 = 10^\circ$).

Результаты вычислений показывают, что при использовании одинаковой экспозиции для регистрации изображений в отдельных спектральных каналах получаемые данные характеризуются разным качеством по показателю ЛРМ. При этом явно прослеживается зависимость улучшения качества изображений от увеличения облученности района съемки в случаях, если объект и фон характеризуются высоким контрастом.

Например, при съемке бетонной дороги на фоне сухой травянистой растительности (рис. 2а) в благоприятных по облученности условиях в зависимости от спектрального канала значение ЛРМ варьируется в интервале от 1,6 до 2,5 м, а в неблагоприятных условиях – в интервале от 2,4 до 5 м. При этом наилучшие (наименьшие) значения ЛРМ достигаются в спектральном канале 0,7–0,8 мкм. Более значительный разброс значений ЛРМ имеет место при съемке бетонной дороги на фоне суглинка (рис. 2б). В благоприятных по облученности условиях ЛРМ изменяется от 1,5 до 7,6 м, а в неблагоприятных условиях – от 1,5 до 20 м. При этом наилучшим качеством характеризуются данные, регистрируемые в спектральном канале 0,43–0,51 мкм.

Таким образом, при получении многоспектральных данных в определенных условиях имеют место существенные различия в качестве изображений, регистрируемых в отдельных спектральных каналах БОЭСК. Выявленные особенности также проявляются при анализе результатов исследования для других пар объект/фон, в частности асфальтовое покрытие/вегетирующая травянистая растительность, асфальтовое покрытие/суглинок (рис. 2в, 2г).

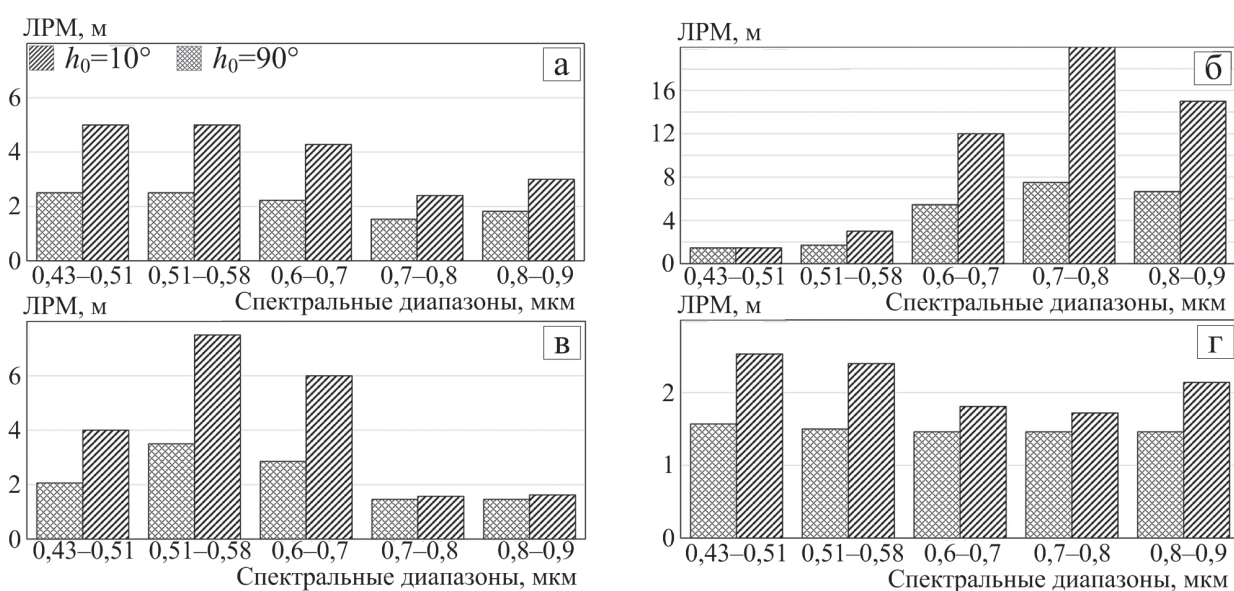


Рис. 2. Результаты прогнозирования ЛРМ для пар объект/фон: а) бетон/сухая трава; б) бетон/суглинок; в) асфальт/вегетирующая трава; г) асфальт/суглинок

При необходимости получения спектральных данных, характеризующихся однородным и высоким качеством независимо от конкретного спектрального поддиапазона, требуется манипулировать параметрами съемки с учетом фактических условий. В результате анализа аналитической модели показателя качества многоспектральных снимков выявлено, что в качестве изменяемого параметра может рассматриваться время накопления сигнала фотоприемным устройством. При этом фактические условия облученности района съемки могут определяться путем применения ДБСК, предложенного в рамках концептуальной модели ведения оптико-электронной съемки с априорной экспониметрией на борту КА.

Заключение

В результате выполненных исследований предложены концептуальная и аналитическая модели ведения оптико-электронной съемки с априорной экспонетрией на борту КА, использование которых отчасти обеспечивает оптимизацию параметров работы БОЭСК к фактическим условиям оптико-электронной съемки из космоса. В рамках концептуальной модели предложено модернизировать целевую аппаратуру КА для определения фактической облученности БОЭСК при съемке заданного района. Представленная аналитическая модель обеспечивает расчет значения ЛРМ, принятого в качестве показателя качества данных от спектрального канала БОЭСК, с полным учетом условий съемки. Исследование качества результатов многоспектральной съемки, получаемых в разных условиях наблюдения из космоса, показало, что спектральные изображения характеризуются существенным разбросом ЛРМ. При этом улучшение качества данных в отдельных спектральных каналах потенциально возможно за счет обоснованного оценивания оптимального времени экспозиции соответствующих фотоприемных устройств.

Продолжение исследований по рассмотренной тематике связано с проработкой вопросов по обоснованию облика и методики применения ДБСК, предназначенного для анализа параметров потока излучения над районом съемки непосредственно перед регистрацией целевых данных с использованием многоспектрального БОЭСК. Кроме того, предполагается доработка модели показателя качества многоспектральных снимков за счет учета особенностей современной оптико-электронной спутниковой съемки, выполняемой фотоприемными устройствами в режиме временной задержки и накопления. В частности, целесообразно оценить влияние остаточной угловой скорости, имеющей место при выполнении процедуры стабилизации носителя, на качество регистрируемого изображения.

Литература

1. *Бакланов А.И.* Системы наблюдения и мониторинга. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. 234 с.
2. *Веселов Ю.Г., Островский А.С., Сельвестюк Н.И., Красавин И.В.* Оценка предельного разрешения цифровых оптико-электронных систем дистанционного зондирования Земли с использованием теории линейных систем // Известия ЮФУ. Технические науки. 2013. № 3 (140). С. 84–89.
3. *Григорьев А.Н., Коршунов Д.С., Беляев А.С.* Прогнозирование качества космических снимков космических систем дистанционного зондирования // Труды Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского. 2010. № 629. С. 143–147.
4. *Хартов В.В., Ефанов В.В., Занин К.А.* Основы проектирования орбитальных оптико-электронных комплексов. М.: Издательство МАИ, 2011. 127 с.

The conceptual and analytical models of optoelectronic survey with prior exposure metering on board a spacecraft

A.N. Grigoriev, E.A. Dudin, D.S. Korshunov, V.V. Oktiabrskii

*Military-Space Academy, Saint Petersburg 197198, Russia
E-mail: Grig-AN@ya.ru*

The article presents the results of a research on improving the quality of data of satellite multispectral survey. The object of the research is space optical-electronic system for remote sensing of the Earth. The subject of investigation is parameter selection procedures of surface imaging. The paper presents the conceptual model of optoelectronic survey with prior exposure metering aboard the spacecraft. This model differs from the known techniques due to use of additional special onboard complex. This complex is used to measure the factual ascending radiation flux. We have developed the analytical model of quality indicator of multispectral satellite imagery. The indicator is the value of ground linear resolution. The calculation of linear resolution is based on considering characteristics of the main parts of the optoelectronic channel and external conditions of the optoelectronic survey. The model provides the optimal exposure definition based on specified criteria. The results of computational experiments demonstrate the dependence of ground linear resolution on external survey conditions. The research shows that images recorded at the same exposure in different spectral bands vary in quality. Proceeding from the results, we conclude that each band of the special optoelectronic complex requires individual exposure setting.

Keywords: modeling, exposure, linear ground resolution, multispectral survey

Accepted: 21.03.2017

DOI: 10.21046/2070-7401-2017-14-3-128-138

References

1. Baklanov A.I., *Sistemy nablyudeniya i monitoringa* (Observation and monitoring systems), Moscow: BINOM. Laboratoriya znaniy, 2009, 234 p.
2. Veselov Yu.G., Ostrovskii A.S., Sel'vesyuk N.I., Krasavin I.V., Otsenka predel'nogo razresheniya tsifrovyykh optiko-elektronnykh sistem distantsionnogo zondirovaniya zemli s ispol'zovaniem teorii lineinykh sistem (Estimation of the limiting resolution of digital optoelectronic systems for remote sensing using the theory of linear systems), *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki*, 2013, No. 3 (140), pp. 84–89.
3. Grigor'ev A.N., Korshunov D.S., Belyaev A.S., Prognozirovaniye kachestva kosmicheskikh snimkov kosmicheskikh sistem distantsionnogo zondirovaniya (Prediction of satellite images quality of remote sensing space systems), *Trudy Voenno-kosmicheskoi akademii imeni A.F. Mozhaiskogo*, 2010, No. 629, pp. 143–147.
4. Khartov V.V., Efanov V.V., Zanin K.A. *Osnovy proektirovaniya orbital'nykh optiko-elektronnykh kompleksov* (Basis of orbital optical-electronic complexes design), Moscow: Izdatel'stvo MAI, 2011, 127 p.