

УДК 004.942  
DOI: 10.15827/0236-235X.129.061-070

Дата подачи статьи: 09.09.19  
2020. Т. 33. № 1. С. 061–070

## **Программный комплекс оценки факторов определения качества информации дистанционного зондирования Земли**

*Т.В. Калинин*<sup>1</sup>, к.т.н., профессор

*Д.В. Хрестинин*<sup>1</sup>, преподаватель, [diivtaaarik@mail.ru](mailto:diivtaaarik@mail.ru)

*А.О. Жуков*<sup>2</sup>, д.т.н., доцент

<sup>1</sup> Военно-космическая академия им. А.Ф. Можайского,  
г. Санкт-Петербург, 197082, Россия

<sup>2</sup> Военная академия Ракетных войск стратегического назначения  
им. Петра Великого, г. Балашиха, 143900, Россия

Для решения задач дистанционного зондирования Земли используются панхроматические и многоспектральные системы наблюдения видимого и ближнего инфракрасного диапазонов. На их долю приходится более половины решаемых задач. С развитием элементной базы и совершенствованием ракетно-космической техники все большая роль отводится исследованию факторов, определяющих качество получаемой информации (изображений). К этим факторам относятся технические характеристики оптико-электронных приборов и информационные параметры изображений.

На основе анализа характеристик оптико-электронных приборов космических аппаратов дистанционного зондирования Земли определены основные направления создания программного комплекса оценки факторов, влияющих на качество информации дистанционного зондирования – отношение сигнал/шум и информативность спектральных каналов бортовой аппаратуры космических аппаратов.

В статье рассматривается программный комплекс оценки факторов, определяющих качество информации дистанционного зондирования Земли. Программная реализация комплекса осуществлена в кроссплатформенном фреймворке Qt для разработки ПО на языке программирования C++.

Программная реализация комплекса содержит модули в соответствии с логикой работы. Модуль расчета отношения сигнал/шум оптико-электронной аппаратуры космических аппаратов с учетом параметров оптической системы и шумов электронного тракта оптико-электронной системы космических аппаратов определяет отношения сигнал/шум в отдельных спектральных каналах и в целом в аппаратуре. Второй программный модуль позволяет рассчитывать оптимальный набор спектральных каналов для отображения по индексу Optimum Index Factor.

Для удобства работы пользователей программа представляет собой приложение с графическим интерфейсом с возможностью проводить исследования и с сохранением результатов в отдельный файл.

**Ключевые слова:** программный комплекс, дистанционное зондирование, отношение сигнал/шум, информативность изображения, спектральный канал, алгоритм.

Построение и исследование эффективных систем дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) невозможно без использования методов математического моделирования. Сутью математического моделирования систем (средств) ДЗЗ являются описания физических процессов формирования сигнальной информации, приема сигналов и их обработка для определения координатных и некоординатных признаков наблюдаемых объектов, а также процессов распознавания на основе получаемой модельной апостериорной информации на языке математики: формул, аналитических соотношений, уравнений и алгоритмов. Результатом подобных описаний является построение комплекса математических моделей, представляющего

собой инструмент для организации исследований, основанных на проведении целенаправленных математических экспериментов [1].

Поскольку число факторов, влияющих на качество изображений, велико, целесообразно ограничиться разработкой алгоритмов для расчета отношения сигнал/шум (как фактор оптико-электронного тракта) и оценки информативности спектральных каналов (как фактор восстановленного изображения).

Цель – разработка алгоритмов оценки факторов, влияющих на качество информации аэрокосмических систем ДЗЗ, и их программная реализация.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- анализ факторов, влияющих на качество спутниковых изображений;
- анализ особенностей построения существующих оптико-электронных систем *космических аппаратов* (КА) ДЗЗ;
- разработка *программного модуля* (ПМ) определения отношения сигнал/шум бортовой аппаратуры КА ДЗЗ;
- разработка ПМ оценки информативности спектральных каналов.

Бортовые *оптико-электронные приборы* (ОЭП) КА ДЗЗ обладают рядом технических характеристик, основными из которых являются следующие [2]:

- пространственное разрешение (то есть разрешение на местности);
- радиометрическое разрешение (характеризует число градаций яркости на космических снимках или чувствительность приборов ДЗЗ);
- спектральное разрешение или количество спектральных каналов;
- периодичность обзора (перерывы между повторениями наблюдений одних и тех же местностей);
- размах полос захвата (в случае возможности отклонения съемочной аппаратуры);
- ширина полосы обзора, в пределах которой в текущий момент фиксируется полоса захвата;
- производительность (определяется по площади съемок за различный период, например, за год).

Конкретные значения указанных характеристик существенно изменяются в зависимости от целевой задачи КА ДЗЗ. При этом особое внимание уделяется качеству получаемых спутниковых изображений [3], которое определяется не только разрешающей способностью ОЭП, но и влиянием множества других факторов:

- погрешность измерительных и прогнозных по времени данных о положении на орбите и об угловых движениях в пространстве главной оптической оси и осей фотоприемного устройства ОЭП во время съемки поверхности Земли;
- погрешность задания расчетных программных угловых движений осей КА;
- погрешность реализации системы координат, в которых задано движение осей КА;
- погрешность приборных систем координат;
- влияние на геометрию формируемого изображения вращения, кривизны Земли, рельефа, рефракции и турбулентности атмосферы;

– погрешность обработки бортовыми системами заданных движений осей КА и ОЭП при компенсации нестабильности размеров конструкций или ее отсутствии, отклонениях и дрейфах в работе соответствующих бортовых навигационных приборов и оборудования, в том числе взаимной временной привязки;

– отклонения в величинах оптических, фотограмметрических и геометрических параметров оптико-механического модуля ОЭП относительно номинальных или калиброванных значений, которые используются в соответствующих бортовых и наземных алгоритмах;

– несоответствие фактических векторов скорости движения изображения по полю многоэлементного фотоприемного устройства заданным режимам его функционирования в связке с *аналогово-цифровым преобразователем* (АЦП), обычно входящим в состав оптико-электронных преобразователей ОЭП и служащим для формирования первичных видеоданных, из которых в результате обработки сэмплируется и восстанавливается изображение.

На качество изображения влияют также

– возможные вибрации (несанкционированные и относительно быстрые движения конструкции посадочных мест фотоприемного устройства ОЭП);

– бортовые алгоритмы обработки и формирования навигационно-временных данных, которые входят в сопроводительную бортовую целевую информацию к данным и получены по измерениям средствами ориентации, бортовой аппаратуры спутниковой навигации и др.;

– алгоритмы обработки целевой информации при восстановлении изображения, а также величины погрешностей самих измерений данных величин и их временной привязки;

– алгоритмы кодирования, передачи сформированной целевой информации с КА в наземный специальный комплекс и атмосферные и иные помехи в тракте передачи-приема во время сеанса связи и при декодировании и т.д.;

Перечисленные выше факторы влияют на функцию рассеивания точки на конкретных фотоприемниках, функцию передачи модуляции соответствующих составляющих информационного канала (в том числе погрешности в расчете отношения сигнал/шум), на функцию получения изображения Земли с помощью малых космических аппаратов и средств наземного комплекса.

В целом ОЭП КА ДЗЗ состоит из двух частей – объектива и фотоприемного устройства.

Поскольку развитие технологий для каждой из частей разное, технологические скачки происходят относительно независимо. Так, в качестве первых фотоприемных устройств использовались пленки и фоточувствительные пластины (от названия пленки «панхром» пошло в дальнейшем название спектрального диапазона и для других типов фотоприемников).

### Алгоритм определения отношения сигнал/шум

Отношение сигнал/шум характеризует качество работы системы самостоятельно, а также в составе других показателей. Оно учитывает внешние и внутренние шумы, влияние изменений полезного излучения и различного рода помехового.

Расчет отношения сигнал/шум требует определенных сведений и знаний по фотометрии [4–6]. Однако зачастую используются два определения сигнала/шума – для немодулированного и модулированного в пространстве сигналов. В первом случае иногда говорят о сигнале/шуме на нулевой пространственной частоте. Во втором – обязательно необходимо указать, на какой пространственной частоте определяется отношение сигнал/шум [4, 6, 7].

В общем виде на первом этапе определяется величина сигнала в заданных условиях наблюдения. При этом условия наблюдения могут включать в себя различные параметры, описывающие подстилающую поверхность (как объект наблюдения) и ее освещенность. К параметрам, характеризующим подстилающую поверхность [5], обычно относятся коэффициент отражения (альбедо)  $\rho$ , контраст объекта  $K_T$ , пространственная частота  $f_{img}$ .

К характеристикам освещенности относятся спектральная освещенность  $E(\lambda)$  и коэффициент пропускания атмосферы  $\tau_{атм.}$ .

Также должны учитываться параметры оптической системы и фотоприемника.

Для оптической системы учитываются параметры: диаметр объектива  $D$ , фокусное расстояние  $f$ , коэффициент пропускания оптической системы  $\tau_{опт.}$ , коэффициент экранирования для зеркальных объективов с центральным экранированием  $\mu$ .

Для фотоприемника учитываются следующие параметры: чувствительность, квантовая эффективность  $\eta$ , время накопления  $t_H$  и шумы фотоприемника, как собственные, так и фотонные.

С учетом перечисленных параметров величина накопленного сигнала *прибора с зарядовой связью* (ПЗС), выраженная в количестве накопленных в ячейке электронов, при отсутствии пространственной модуляции равна:

$$N_e = \frac{E_{0sun} \cdot \tau_{атм.}^2 \cdot \tau_{опт.} \cdot \rho \cdot \sin(h_0) D^2}{4 f^2} \times (1 - \mu^2)^a \frac{H^{na^2}}{h\nu}, \quad (1)$$

где  $a$  – размер фотоприемного элемента;  $E_{0sun}$  – облученность единицы поверхности от Солнца на входе излучения в атмосферу при перпендикулярном падении лучей.

Следует иметь в виду, что формула (1) учитывает далеко не все факторы, например, спектральный состав излучения и спектральную чувствительность. В данном случае для упрощения в (1) используются средние значения спектральных параметров, а при более точном расчете необходимо проводить интегрирование по длине волны  $\lambda$ . Также желательно учитывать отраженное и рассеянное излучение от атмосферы, которое изменяется при изменении высоты Солнца над горизонтом.

Анализ формулы (1) и расчеты по ней дают большой объем информации для оценки качества проектируемой оптико-электронной системы ДЗЗ. Во-первых, необходимо сравнить полученную величину сигнала  $N_e$  с максимальной сигнальной зарядом используемого приемника ПЗС (сигналом насыщения)  $N_{sat}$ . Если величина сигнала превышает насыщение, то необходимо принять меры для его уменьшения. Это может быть уменьшение времени накопления или диаметра объектива. Последнее в большинстве случаев предпочтительнее, так как приведет к уменьшению массы аппаратуры, что особенно важно при разработке аппаратуры для малых КА. И наоборот, если величина сигнала недостаточная, может потребоваться увеличение диаметра объектива со всеми вытекающими из этого последствиями. По аналогичной схеме можно проанализировать влияние всех входящих в формулу (1) параметров.

Величина отношения сигнал/шум на нулевой пространственной частоте [5, 6] определяется по формуле

$$SNR_0 = \frac{N_0}{\sqrt{N_e + N_0^2}}, \quad (2)$$

где  $N_0$  – суммарное значение шумов электронной аппаратуры, выраженное в количестве

электронов на один отчет (пиксел). Эта величина включает шумы ПЗС, видеоусилителей, АЦП и т.д. В реальности приходится учитывать большое количество источников собственных шумов. Тогда общий шум вычисляется по формуле

$$N_0 = \sqrt{\sigma_1^2 + \dots + \sigma_n^2}, \quad (3)$$

где  $\sigma_1, \dots, \sigma_n$  – различные шумы ПЗС и электронной аппаратуры.

Необходимо учитывать следующее: несмотря на то, что собственные шумы оптико-электронной системы малы (например, темновой ток) [8], отношение сигнал/шум все равно будет пропорционально величине накопленного сигнала  $\sqrt{N_e}$ . Следовательно, если возникает необходимость в большом значении отношения сигнал/шум, то используется приемник излучения с максимально возможной зарядовой емкостью.

#### Методы решения задачи определения отношения сигнал/шум

В настоящее время существуют два подхода, которые были апробированы на бортовой оптико-электронной аппаратуре КА ДЗЗ. Первый подход заключается в том, что сигнал с элемента приемника

$$C_1 = \frac{\pi \cdot t_n \cdot d_{det}^2 \cdot K_э}{4z^2} \times \int_{\lambda_{min}}^{\lambda_{max}} \frac{L(\lambda) \cdot \tau_{opt}(\lambda) \cdot \tau_{cf}(\lambda) \cdot S_{det}(\lambda)}{E_\Phi}, \quad (4)$$

где  $t_n$  – время накопления;  $K_э$  – квантовая эффективность приемника;  $z$  – светосила;  $\lambda_{max}$ ,  $\lambda_{min}$  – границы рабочего спектрального диапазона;  $L(\lambda)$  – модельный уровень *спектральной плотности энергетической яркости* (СПЭЯ) на входном зрачке объектива (как правило, определено в техническом задании);  $\tau_{opt}(\lambda)$  – коэффициент пропускания оптической системы;  $\tau_{cf}(\lambda)$  – коэффициент пропускания светофильтров;  $S_{det}(\lambda)$  – относительная спектральная чувствительность;  $E_\Phi(\lambda) = h \cdot \frac{c}{\lambda} = 1.9863 \cdot 10^{-19} \lambda^{-1}$  – энергия фотона;  $n$  – число шагов накопления.

Суммарный шум на элементе приемника:

$$\Pi_n = \sqrt{C_1 \cdot n + n \cdot \sigma_i^2 + \sigma_{АЦП}^2}, \quad (5)$$

где  $\sigma_1, \dots, \sigma_{АЦП}$  – различные шумы ПЗС и электронной аппаратуры.

В шум различных приемников излучения входят следующие составляющие:

- тепловая (при глубоком охлаждении приемника излучения ее можно не учитывать);
- радиационная (фотонный шум), вызванная флуктуациями количества фотонов, излученных источником и принятых ОЭП;
- генерационно-рекомбинационная; имеет схожесть с дробовым шумом электровакуумных приборов, связанным с флуктуациями процессов генерации и рекомбинации зарядов, и обусловлена фоновой засветкой;
- геометрическая, вызванная неоднородностью параметров элементов приемника излучения, а также шум коммутации, шум фотоэлектрических связей;
- вносимая схемой считывания;
- избыточная, спектр мощности которой обратно пропорционален частоте излучения.

При необходимости обнаружения низкотемпературного излучения основным компонентом будет фотонный шум.

В общем значение шума вклад шумовых составляющих удобно рассматривать с помощью общей трехмерной модели шума [9].

На первом этапе анализа функционирования можно рассматривать упрощенную модель ОЭП, на вход которого поступает смесь полезного сигнала и шума. Тогда сигнал/шум на элементе приемника определяется следующим образом:

$$\Psi = \frac{c_n}{\Pi_n} = \frac{n \cdot C_1}{\Pi_n}. \quad (6)$$

Для высокого качества решаемых задач необходимо как можно более высокое отношение сигнал/шум.

При втором подходе считается, что, поскольку оптико-электронная аппаратура КА ДЗЗ предназначена для непосредственного получения многоспектральных изображений поверхности Земли в светлое время суток (по местному времени), для определения количества накопленных электронов для заполнения потенциальной ямы при выбранных параметрах оптической системы и требуемом для получения заданного геометрического разрешения времени накопления целесообразно использовать следующую формулу:

$$N_{el} = \frac{D_{вх} \cdot d^2 t \sum \lambda L_\lambda \lambda \tau_\lambda q_\lambda \Delta \lambda \tau_{атм.\lambda}^2 \tau_{cf,\lambda}}{h c f^2}, \quad (7)$$

где  $D_{вх}$  – площадь входного зрачка;  $\tau_\lambda$  – коэффициент пропускания оптической системы на длине волны  $\lambda$ ;  $q_\lambda$  – квантовая эффективность

фотоприемного устройства  $\lambda$ ;  $t$  – время накопления;  $h$  – постоянная Планка;  $c$  – скорость света;  $\lambda$  – длина волны;  $L_\lambda$  – СПЭЯ на верхней границе атмосферы на длине волны  $\lambda$ ;  $\Delta\lambda$  – спектральный диапазон усреднения;  $d$  – размер пикселя;  $f$  – фокусное расстояние;  $\tau_{\text{атм.}\lambda}$  – коэффициент пропускания атмосферы на длине волны  $\lambda$ ;  $\tau_{\text{сф.}\lambda}$  – коэффициент пропускания светофильтров на длине волны  $\lambda$ .

На основании изложенного отметим, что формула (7) предназначена для линзовых систем, в которых отсутствует экранирование. С учетом наличия экранирования выражение (7) будет иметь вид:

$$N_{el} = \frac{D_{\text{вх.}} d^2 t (1 - \mu^2) \sum \lambda L_\lambda \lambda \tau_\lambda q_\lambda \Delta\lambda \tau_{\text{атм.}\lambda} \tau_{\text{сф.}\lambda}}{h c f^2}, \quad (8)$$

где  $\mu$  – коэффициент экранирования для зеркальных объективов.

### Модуль расчета отношения сигнал/шум оптико-электронной аппаратуры КА

Программный модуль «Расчет отношения сигнал/шум оптико-электронной аппаратуры КА» работает под управлением Windows.

Модуль обладает возможностями ввода параметров оптической системы, шумов электронного тракта оптико-электронной системы КА или его моделирования, расчета отношения сигнал/шум в отдельных спектральных каналах и расчета отношения сигнал/шум в целом по оптико-электронной аппаратуре КА при вводе интегрального файла данных характеристик оптико-электронной аппаратуры.

Для расчета отношения сигнал/шум в соответствующие поля ввода графического интерфейса необходимо ввести исходные значения.

В ПМ могут быть загружены следующие файлы:

- шумы тракта, представляющие собой текстовый файл, содержащий две колонки данных, разделенных пробелами;
- характеристики оптико-электронной аппаратуры, позволяющие рассчитать значение отношения сигнал/шум на основе единого файла данных, содержащего пять колонок данных, разделенных пробелами.

Выходная информация отображается в соответствующих полях вывода:

- результирующее значение собственных шумов (вкладка «Параметры ОС»);
- расчетное значение отношения сигнал/шум в спектральных каналах (вкладка «Каналы»);

– расчетное значение сигнал/шум (вкладка «Полный расчет»).

Также выходная информация может быть сохранена в текстовом файле.

Параметры, входящие в (8), задаются в графическом интерфейсе пользователя. Графический интерфейс ПМ представляет собой окно, содержащее три вкладки: «Параметры ОС», «Каналы», «Полный расчет» (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2020-1/2020-1-dop/7.jpg>).

Вкладка «Параметры ОС» позволяет задать общие параметры оптической системы: площадь входного зрачка, размер пикселя, время накопления, фокусное расстояние, коэффициент экранирования.

Согласно (3), суммарное значение шумов электронной аппаратуры, выраженное количеством электронов на один отчет (пиксел), включает шумы элементов электронного тракта. Шумы тракта могут быть заданы с помощью либо текстового файла, либо генератора шумов.

Для загрузки файла необходимо в диалоговом окне выбрать файл, формат которого соответствует указанному выше примеру. Содержимое отобразится в таблице (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2020-1/2020-1-dop/8.jpg>).

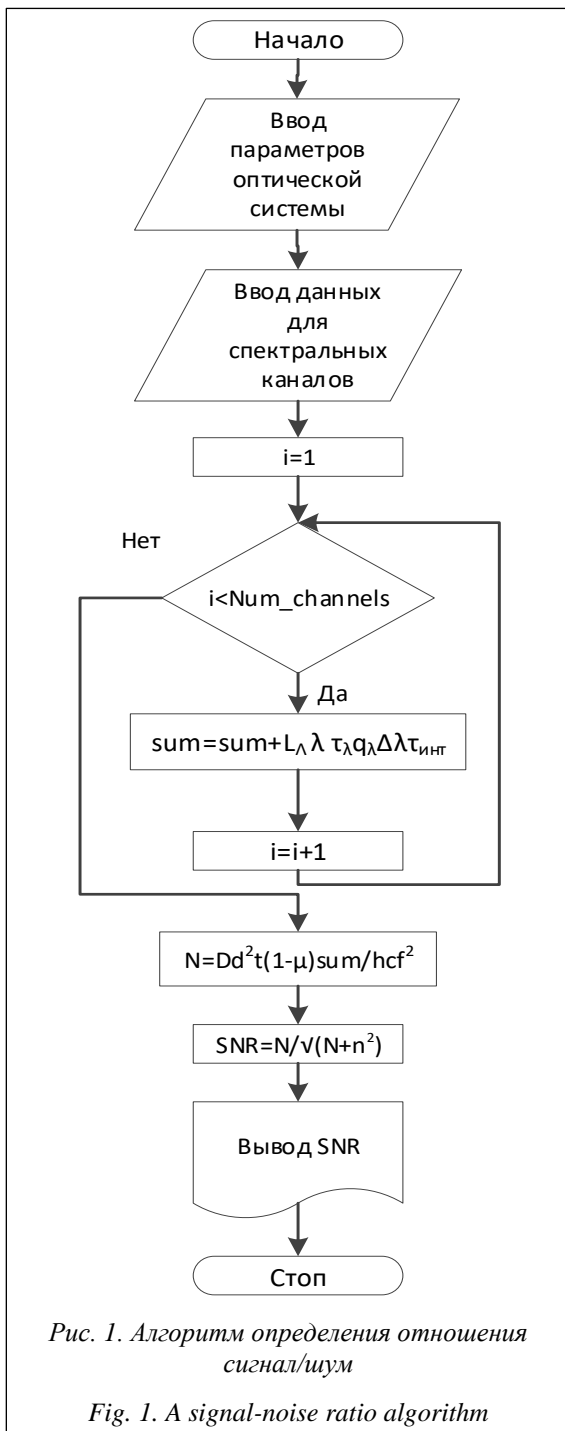
После загрузки данных автоматически будет рассчитана величина суммарного значения шумов электронной аппаратуры, которое выводится в поле «Результирующее значение собственных шумов».

При использовании генератора шумов в поле «Число элементов» необходимо задать количество элементов электронного тракта и нажать кнопку «Генератор шума», после чего в таблице будут отражены наименования элементов и их значения, полученные случайным образом. При этом значение шума каждого элемента определяется случайным образом в диапазоне [1.0; 100].

Также будет выведено результирующее значение собственных шумов в соответствующее поле вывода (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2020-1/2020-1-dop/9.jpg>).

На вкладке «Каналы» (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2020-1/2020-1-dop/10.jpg>) для расчета отношения сигнал/шум в различных спектральных каналах необходимо задать следующие параметры: длина волны, коэффициент пропускания, СПЭЯ, спектральный диапазон усреднения, квантовая эффективность, интегральный коэффициент пропускания.

Разработанный алгоритм определения отношения сигнал/шум представлен на рисунке 1.



В целом расчет отношения сигнал/шум для отдельного спектрального канала оптико-электронной аппаратуры КА ДЗЗ выполняется соответствующей функцией на языке программирования C++. При этом необходимо учесть, что для выполнения расчета следует определить собственные шумы во вкладке «Параметры ОС».

На вкладке «Полный расчет» необходимо загрузить текстовый файл, содержащий пять

колонок данных (см. <http://www.swsys.ru/uploaded/image/2020-1/2020-1-dop/11.jpg>), и нажать кнопку «Рассчитать».

Выходными значениями, отображаемыми в соответствующих полях графического интерфейса пользователя, являются результирующее значение собственных шумов (вкладка «Параметры ОС»), расчетное значение (вкладка «Каналы», для каждого канала свое), расчетное значение сигнал/шум (вкладка «Полный расчет»).

Формат выходного файла ПМ расчета отношения сигнал/шум представляет собой совокупность исходных данных и рассчитанных значений, содержащую параметры оптической системы, собственные шумы ОЭП, данные по трем спектральным каналам (синий, зеленый, красный), результаты полного расчета.

### Алгоритм оценки информативности изображения

Во всем мире ENVI известно как лидер в части анализа и обработки мультиспектральных и гиперспектральных спутниковых изображений. Оно содержит спектральные библиотеки и инструменты для выполнения спектрального и топографического анализа, анализа растительности и классификации спутниковых изображений.

Отличительными особенностями программного комплекса ENVI являются открытая архитектура и наличие языка программирования IDL (Interactive Data Language), с помощью которого можно существенно расширить функциональные возможности программы для решения специализированных задач: автоматизировать существующие алгоритмы, а также создавать собственные и выполнять пакетную обработку данных [10].

Язык IDL является кроссплатформенным языком программирования, что позволяет создавать приложения на различных платформах в различных ОС, таких как Microsoft Windows, Linux и др. [11–13].

В ПК ENVI отсутствует возможность автоматического отображения спектральных каналов, за исключением самых распространенных случаев: натуральная цветопередача (красный–зеленый–синий), ложная цветопередача (ближний инфракрасный–красный–зеленый). Поэтому целесообразно разработать ПМ, позволяющий рассчитывать оптимальный набор спектральных каналов для отображения по индексу *Optimum Index Factor* (OIF) [14, 15].

OIF – статистическая величина, которая используется для выбора оптимальной комбинации трех спектральных каналов спутникового изображения при создании цветного композита. Оптимальная комбинация спектральных каналов формируется из всех возможных трехканальных комбинаций с наибольшим количеством информации, которое оценивается по наибольшей сумме стандартных отклонений, и с наименьшим количеством повторной информации, характеризующим наименьшим значением коэффициента корреляции среди пар каналов.

Алгоритм расчета индекса OIF состоит из перечисленных далее шагов [16].

1. Определяется число возможных трехканальных комбинаций *count*, которое вычисляется по формуле  $count = \frac{N!}{(3!) \cdot (N-3)!}$ , где *N* – число спектральных каналов изображения.

2. Вычисляется значение OIF по формуле  $OIF = \frac{\sigma_i + \sigma_j + \sigma_k}{|r_{ij}| + |r_{ik}| + |r_{jk}|}$ , где  $\sigma_i, \sigma_j, \sigma_k$  – стандартное отклонение в спектральных каналах *i, j, k* соответственно;  $r_{ij}$  – значение коэффициента корреляции между каналами *i* и *j*;  $r_{ik}$  – значение коэффициента корреляции между каналами *i* и *k*;  $r_{jk}$  – значение коэффициента корреляции между каналами *j* и *k*.

3. Выполняется сортировка вычисленных индексов OIF и соответствующих им каналов. Высокое значение индекса OIF говорит о том, что данные содержат много информации (высокое значение стандартного отклонения), и о низкой корреляции между данными в рассматриваемых спектральных каналах.

Алгоритм определения информативности спектральных каналов приведен на рисунках 2 и 3.

Данный ПМ оформлен в IDL как отдельная подпрограмма, в которой выполняется ряд действий:

- чтение и загрузка анализируемого изображения;
- расчет числа комбинаций спектральных каналов, статистических характеристик для каждой комбинации спектральных каналов;
- вывод полученных значений, упорядоченных по возрастанию.

**Результаты оценки информативности спектральных каналов различных КА ДЗЗ**

Далее приведены результаты разработанного ПМ оценки информативности спектральных каналов для данных различных КА ДЗЗ.

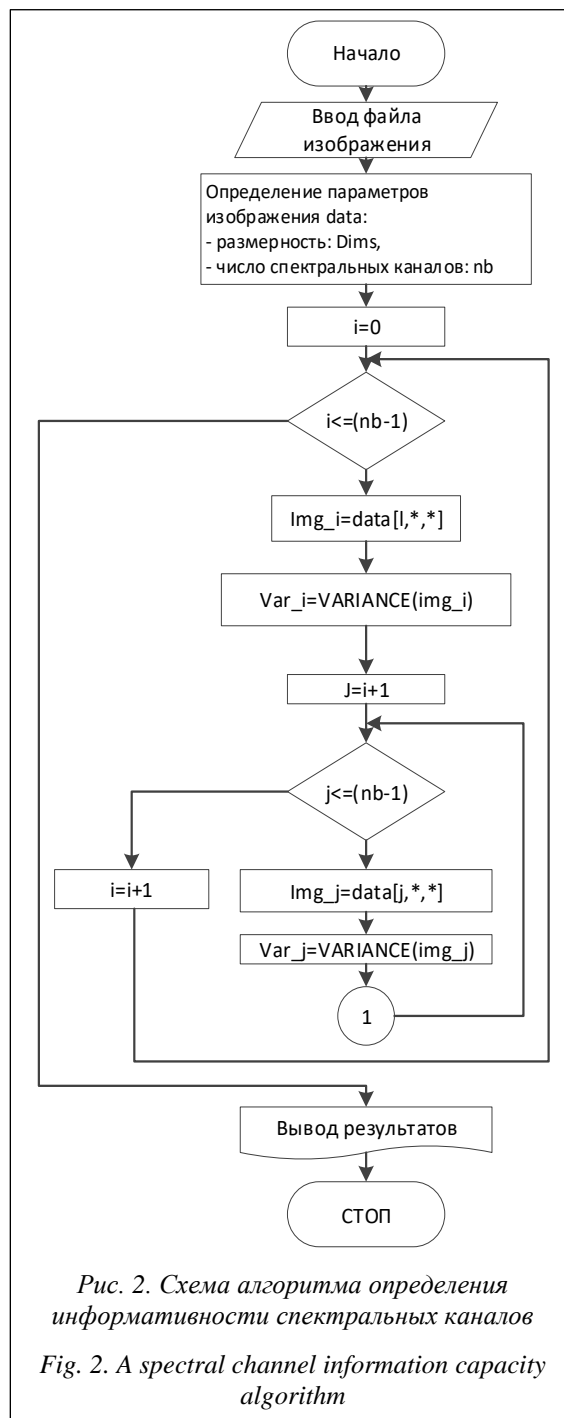


Рис. 2. Схема алгоритма определения информативности спектральных каналов  
Fig. 2. A spectral channel information capacity algorithm

На рисунке 4 приведен исходный одиночный снимок в натуральной цветопередаче КА Quickbird.

В таблице 1 отражены полученные значения коэффициентов корреляции для мультиспектрального снимка КА Quickbird.

На рисунке 5 приведены значения коэффициента корреляции для мультиспектрального снимка КА Quickbird, приведенного на рисунке 4.

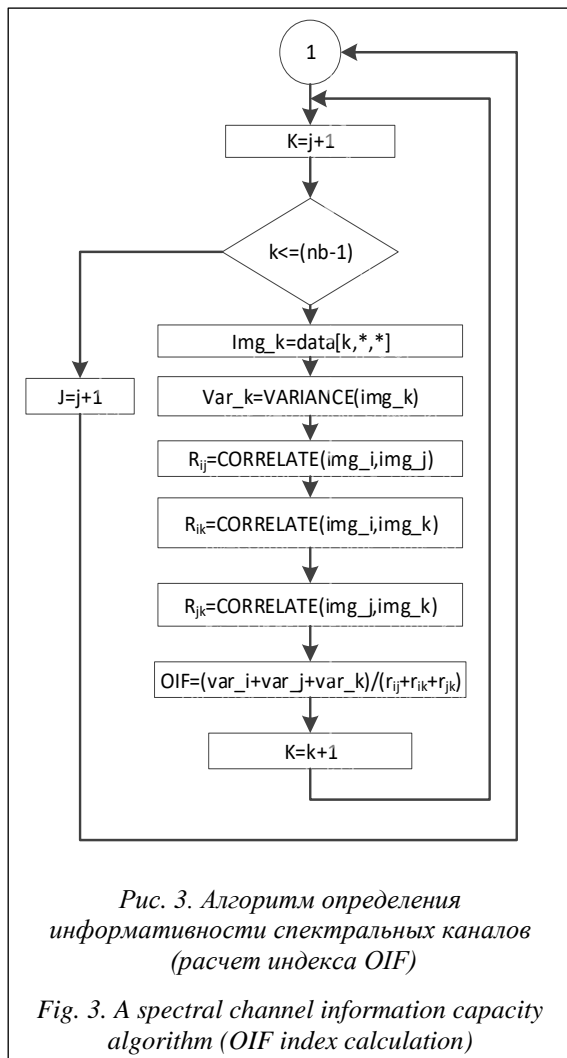


Рис. 3. Алгоритм определения информативности спектральных каналов (расчет индекса OIF)

Fig. 3. A spectral channel information capacity algorithm (OIF index calculation)

Таблица 1

Значения коэффициентов корреляции для мультиспектрального снимка КА Quickbird (4 спектральных канала)

Table 1

Correlation index values for Quickbird spacecraft multispectral image (4 spectral channels)

Канал	Коэффициент корреляции			
	Канал 1	Канал 2	Канал 3	Канал 4
Канал 1	1.00	0.99	0.99	0.95
Канал 2	0.99	1.00	0.99	0.96
Канал 3	0.99	0.99	1.00	0.96
Канал 4	0.95	0.96	0.96	1.00

В таблице 2 отражены полученные индексы информативности спектральных каналов.

Как видно, наиболее информативной является комбинация каналов 2, 3 и 4, что подтверждается данными из рисунка 5.

Таблица 2

Значения индексов информативности для мультиспектрального снимка КА Quickbird

Table 2

Information capacity values for Quickbird spacecraft multispectral image

Номер комбинации спектр. каналов	R	G	B	OIF
1	Канал 1	Канал 2	Канал 3	5429.6
3	Канал 1	Канал 2	Канал 3	13114.6
4	Канал 1	Канал 3	Канал 4	14183.3
2	Канал 2	Канал 3	Канал 4	15351

Таким образом, разработанный ПМ для программного комплекса ENVI позволяет оценить информативность спектральных каналов мультиспектральных изображений ДЗЗ. Полученные авторами результаты согласуются с другими опубликованными работами [17, 18].

Недостатком разработанного модуля является большая вычислительная сложность при оценке информативности гиперспектральных



Рис. 4. Фрагмент изображения КА Quickbird

Fig. 4. Quickbird spacecraft image fragment

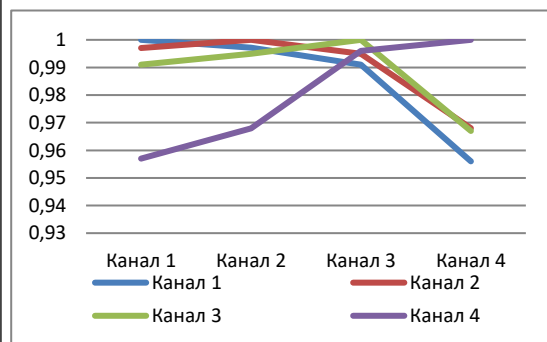


Рис. 5. Значения коэффициента корреляции для мультиспектрального снимка КА Quickbird

Fig. 5. Correlation index values for Quickbird spacecraft multispectral image



изображений. Кроме того, полученные результаты для других снимков и других КА в определенной степени будут зависеть от условий проведения съемки: район, сезон и т.д.

В дальнейшем необходимо исследовать возможность адаптации разработанного ПМ с учетом отдельных диапазонов спектральных каналов гиперспектральной аппаратуры КА ДЗЗ.

### Литература

1. Горелик А.Л., Барабаш Ю.Л., Кривошеев О.В., Эпштейн С.С. Селекция и распознавание на основе локационной информации. М., 1990. 240 с.
2. Владимиров В.М., Дмитриев Д.Д., Дубровская О.А. Дистанционное зондирование Земли. Красноярск: Изд-во СФУ, 2014. 196 с.
3. Макриденко Л.А., Волков С.Н., Геча В.Я., Жилнев М.Ю., Казанцев С.Г. Основные источники снижения качества изображений Земли, получаемых при орбитальной оптической съемке с борта МКА // Вопросы электромеханики. Тр. ВНИИЭМ. 2017. № 5. С. 3–19.
4. Елизаренко А.С., Соломатин В.А., Якушенков Ю.Г. Оптико-электронные системы в исследованиях природных ресурсов. М., 1984. 216 с.
5. Бакланов А.И. Системы наблюдения и мониторинга. М., 2009. 234 с.
6. Якушенков Ю.Г. Теория и расчет оптико-электронных приборов. М., 2004. 472 с.
7. Савиных В.П., Соломатин В.А. Оптико-электронные системы дистанционного зондирования. М., 2014. 432 с.
8. Захаров А.И., Прохоров М.Е., Тучин М.С., Евенко А.В., Жуков А.О., Гладышев А.И., Шахов Н.И., Харламов Ю.Г., Жукова Н.А. Метод учета темнового тока в ПЗС с переносом кадра и в режиме временной задержки и накопления // Технология производства и оборудование в приборостроении. 2019. № 1. С. 43–49.
9. Тарасов В.В., Якушенков Ю.Г. Инфракрасные системы «смотрящего типа». М., 2004. 444 с.
10. Скрипачев В.О., Болсуновский М.А. Что такое IDL? // Геопрофи. 2006. № 4. С. 25–26.
11. Kling R. IDL Primer. Kling research and Software, 2007. 135 p.
12. Fanning D. IDL programming techniques. Second edition. Fort Collins: Fanning Software Consulting Publ., 2000, 439 p.
13. Kling R. Navigating the IDL Workbench. KRS, 2007, 75 p.
14. Chavez P.S., Berlin G.L., Sowers L.B. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. J. of Applied Photographic Engineering, 1982, vol. 8, no. 1, pp. 23–30.
15. Plaza A., Benediktsoon J.A., Boardman J.W., Brazile J., Bruzzone L., Camps-Valls G., Chanusott J., Fauvel M., Gamba P., Gualtieri A., Marconcini M., Tilton J.C., Trianni G. Recent advances in techniques for hyperspectral image processing. Rem. Sens. Env., 2009, vol. 113, pp. S110–S112. DOI: 10.1016/j.rse.2007.07.028.
16. Qaid A.M., Basavarajappa H.T. Application of optimum index factor technique to landsat-7 Data for Geological Mapping of North East of Hajjah. Yemen. J. of Scientific Research, 2008, vol. 3, no. 1, pp. 84–91.
17. Chavez P.S., Guptill S.C., Bowell J.A. Image processing techniques for thematic mapper data. Proc. ASPRS-ACSM Tech. Paper, 1994, vol. 2, pp. 728–742.
18. Beaudemin M., Fung K.B. On statistical band selection for image visualization. Photogramm. Eng. Rem. S., 2001, vol. 67, no. 5, pp. 571–574.

### Software suite for assessing the factors that determine the quality of Earth remote sensing information

**T.V. Kalinin**<sup>1</sup>, Ph.D. (Engineering), Professor

**D.V. Khrestinin**<sup>1</sup>, Lecturer, diiimaarik@mail.ru

**A.O. Zhukov**<sup>2</sup>, Dr.Sc. (Engineering), Associate Professor

<sup>1</sup>A.F. Mozhaysky Military Space Academy, St. Petersburg, 197082, Russian Federation

<sup>2</sup>The Military Academy of Strategic Rocket Troops after Peter the Great, Balashikha, 141210, Russian Federation

**Abstract.** To complete problems of the Earth remote sensing (ERS), apply panchromatic and multispectral imaging systems for observing visible and near-infrared optical ranges. They have more than half of resolving problems. As hardware components go forward and rocket and space equipment improves, an increasing role is to the study of factors determining the quality of the information (images) received. These factors include both technical characteristics of optoelectronic devices and image information parameters.

There are the main directions of creating a software suite for assessing the factors affecting the quality of remote sensing information based on the characteristic analysis of ERS spacecraft optoelectronic devices. These include signal-to-noise ratio (s/n) and the spectral channels informativeness of the spacecraft onboard equipment.

The article presents the software suite for assessing the factors that determine the quality of the Earth remote sensing information.

The software suite is in the cross-platform framework Qt to develop the software in the C++ programming language.

The software suite implementation contains the appropriate modules, in accordance with the program logic. The calculating module of the s/n ratio of the spacecraft optic-electronic equipment taking into account the parameters of the optical system and the noise of the electronic path of the spacecraft optic-electronic system determines the s/n ratios in every spectral channel and in the whole equipment. The second software module allows you to calculate the optimal set of spectral channels for display using the Optimum Index Factor (OIF).

For users' convenience, the program has a graphical interface and supports conducting research with the memorization in a file.

**Keywords:** software suite, remote sensing, signal-to-noise ratio, image informativeness, spectral channel, algorithm.

### References

1. Gorelik A.L., Barabash Yu.L., Krivosheev O.V., Epshtein S.S. *Selection and Recognition Based on Radar Information*. Moscow, 1990, 240 p.
2. Vladimirov V.M., Dmitriev D.D., Dubrovskaya O.A. *Earth Remote Sensing*. Krasnoyarsk, SFU Publ., 2014, 196 p.
3. Makridenko L.A., Volkov S.N., Gecha V.Ya., Zhilenyev M.Yu., Kazantsev S.G. Main sources of decrease in the quality of Earth images taken during the on-orbit imaging and downlinked from a small satellite. *Electromechanical Matters. VNIIEM Studies*. 2017, vol. 160, no. 5, pp. 3–19 (in Russ.).
4. Elizarenko A.S., Solomatin V.A., Yakushenkov Yu.G. *Optoelectronic Systems in Natural Resource Research*. Moscow, 1984, 216 p.
5. Baklanov A.I. *Surveillance and Monitoring Systems*. Moscow, 2009, 216 p.
6. Yakushenkov Yu.G. *Theory and Calculation of Optoelectronic Devices*. Moscow, 2004, 472 p.
7. Savinykh V.P., Solomatin V.A. *Optoelectronic Remote Sensing Systems*. Moscow, 2014, 432 p.
8. Zakharov A.I., Prokhorov M.E., Zhukova N.A. etc. Method of accounting for dark current in a CCD with frame transfer mode time delay and accumulation. *Production Technology and Equipment in Instrumentation*. 2019, no. 1, pp. 43–49 (in Russ.).
9. Tarasov V.V., Yakushenkov Yu.G. *Looking Type Infrared Systems*. Moscow, 2004, 444 p.
10. Skripachev V.O., Bolsunovsky M.A. What is IDL? *Geoprofi*. 2006, no. 4, pp. 26–26 (in Russ.).
11. Kling R. *IDL Primer*. Kling Research and Software. 2007, 135 p.
12. Fanning D. *IDL Programming Techniques*. Fort Collins: Fanning Software Consulting Publ., 2000, 439 p.
13. Kling R. *Navigating the IDL Workbench*. KRS, 2007, 75 p.
14. Chavez P.S., Berlin G.L., Sowers L.B. Statistical method for selecting Landsat MSS ratios. *J. of Applied Photographic Engineering*. 1982, vol. 8, no. 1, pp. 23–30.
15. Plaza A., Benediktsson J.A., Boardman J.W., Brazile J., Bruzzone L., Camps-Valls G., Chanasott J., Fauvel M., Gamba P., Gualtieri A., Marconcini M., Tilton J.C., Trianni G. Recent advances in techniques for hyperspectral image processing. *Rem. Sens. Env.* 2009, vol. 113, pp. S110–S112. DOI: 10.1016/j.rse.2007.07.028.
16. Qaid A.M., Basavarajappa H.T. Application of optimum index factor technique to Landsat-7 data for geological mapping of North East of Hajjah, Yemen. *J. of Scientific Research*. 2008, vol. 3, no. 1, pp. 84–91.
17. Chavez P.S., Guptill S.C., Bowell J.A. Image processing techniques for thematic mapper data. *Proc. ASPRS-ACSM Tech. Paper*. 1994, vol. 2, pp. 728–742.
18. Beaudemin M., Fung K.B. On statistical band selection for image visualization. *Photogramm. Eng. Rem. S.* 2001, vol. 67, no. 5, pp. 571–574.

### Для цитирования

Калинин Т.В., Хрестинин Д.В., Жуков А.О. Программный комплекс оценки факторов определения качества информации дистанционного зондирования Земли // Программные продукты и системы. 2020. Т. 33. № 1. С. 061–070. DOI: 10.15827/0236-235X.129.061-070.

### For citation

Kalinin T.V., Khrestinin D.V., Zhukov A.O. Software suite for assessing the factors that determine the quality of Earth remote sensing information. *Software & Systems*. 2020, vol. 33, no. 1, pp. 061–070 (in Russ.). DOI: 10.15827/0236-235X.129.061-070.