

## СИСТЕМЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА ИЗОБРАЖЕНИЙ

УДК 528.727.831 : 681.518

В. К. Злобин, В. В. Еремеев, А. Е. Кузнецов

(Рязань)

### СОВМЕСТНАЯ ОБРАБОТКА СПЕКТРОЗОНАЛЬНЫХ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ИХ ДЕШИФРИРУЕМОСТИ

Рассмотрены две информационные технологии комплексирования спектрально-зональных спутниковых изображений с целью увеличения их дешифрируемости. Показано, что первая технология обеспечивает формирование панхроматического снимка повышенной детальности на основании субпиксельного геометрического совмещения и радиометрического объединения изображений, полученных в нескольких спектральных диапазонах, а вторая позволяет сформировать спектрально-зональное изображение высокого пространственного разрешения путем совместной обработки панхроматического снимка высокого разрешения и спектрально-зональных снимков низкого разрешения.

**Введение.** Спектрально-зональный принцип съемки основан на интегрировании отраженной от поверхности Земли лучистой энергии в нескольких обычно соприкасающихся спектральных диапазонах:

$$\mathbf{B}_i = \int_{\lambda_i^-}^{\lambda_i^+} L(\lambda) S_i(\lambda) d\lambda, \quad i = \overline{1, \Lambda}, \quad (1)$$

где  $\mathbf{B}_i = [b_i(m, n)]$  – дискретное изображение  $i$ -го спектрального канала ( $m, n$  – соответственно номера столбца и строки изображения:  $m = \overline{0, M-1}$ ,  $n = \overline{0, N-1}$ );  $L(\lambda)$  – коэффициент спектральной яркости наблюдаемой сцены;  $S_i(\lambda)$  – спектральная чувствительность датчика в диапазоне  $[\lambda_i^-, \lambda_i^+]$ . Спектрально-зональное разделение наблюдаемой сцены приводит к уменьшению пространственной разрешающей способности датчиков в каждом спектральном канале по сравнению с той, которая могла быть получена при панхроматической съемке во всем спектральном диапазоне  $[\lambda_1^-, \lambda_\Lambda^+]$ . С другой стороны, различные природные объекты в зависимости от спектральной яркости излучения совершенно по-разному представляются на спектрально-зональных снимках, что создает предпосылки для автоматизации процесса их дешифрирования [1].

Большой практический интерес вызывает исследование и обратной задачи, связанной с получением по спектрально-зональным снимкам некоего нового

изображения, обладающего повышенной дешифрируемостью. Здесь необходимо решение двух задач, которые определим как задачи комплексирования:

– получение панхроматического изображения, объединяющего информацию из различных спектральных каналов с более четким отображением всех объектов;

– синтезирование спектральнональных изображений высокого разрешения на основе панхроматического изображения высокого разрешения и спектральнональных снимков низкого разрешения.

Задачи комплексирования имеют два аспекта: геометрический и радиометрический. Геометрическое комплексирование состоит в субпиксельном совмещении видеоданных из различных спектральных зон в единой системе координат. Целью радиометрического комплексирования является объединение разнозональных данных с тем, чтобы с возможно максимальной четкостью передать на синтезируемом изображении все объекты, отображенные на разнозональных снимках.

**Геометрическое комплексирование спектральнональных данных.** Технология определения параметров субпиксельного геометрического совмещения предполагает многоэтапную обработку изображений  $\mathbf{B}_i, i = \overline{1, \Lambda}, [2]$  и может быть представлена следующей схемой:

$$\mathbf{B}_i \xrightarrow{R_C} \mathbf{Q}_i \xrightarrow{R_F} \mathbf{F}_i \xrightarrow{R_y} \mathbf{T}_i \xrightarrow{R_p} \mathbf{P}_i, \quad i = \overline{1, \Lambda} \quad (2)$$

Вначале с помощью оператора Собела  $R_C$  формируются контурные представления изображений  $\mathbf{Q}_i = [q_i(m, n)]$ ,  $q_i(m, n) = \sqrt{\nabla_m^2 + \nabla_n^2}$ , где  $\nabla_m, \nabla_n$  – горизонтальный и вертикальный градиенты яркости соответственно. Здесь используется важное свойство этого оператора – инвариантность к так называемым инверсным областям разнозональных изображений, на которых знаки производных противоположны.

Далее  $\mathbf{Q}_i, i = \overline{1, \Lambda}$ , разбиваются на прямоугольные фрагменты, одно из изображений принимается в качестве базового, и для всех пар изображений вычисляются множества  $F_i$  плоскопараллельных смещений  $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$  фрагментов  $i$ -го спектрального канала по отношению к базовому  $\mathbf{Q}_v, 1 \leq v \leq \Lambda$ , путем поиска максимума взаимно корреляционной функции (оператор  $R_F$ ):

$$\rho(\alpha_{ij}, \beta_{ij}) = \frac{1}{\sigma_{ij} \sigma_{vj}} \times$$

$$\times \left[ \frac{1}{M_F N_F} \sum_{m=0}^{M_F-1} \sum_{n=0}^{N_F-1} q_{vj}(m, n) q_{ij}(m + \alpha_{ij}, n + \beta_{ij}) - \bar{q}_{vj} \bar{q}_{ij} \right] = \max,$$

где  $\sigma_{ij}, \sigma_{vj}$  и  $\bar{q}_{vj}, \bar{q}_{ij}$  – СКО и средние значения яркости для  $j$ -й пары фрагментов изображений соответственно;  $M_F, N_F$  – размеры фрагментов.

В результате для всех пар фрагментов устанавливается координатное соответствие одноименных элементов изображений с точностью до одного пиксела, что является недостаточным для высокоточного совмещения разнозональных снимков. Поэтому на следующем шаге с помощью оператора  $R_y$  (2) выполняется уточнение найденных величин  $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$ . Для этого по значе-

ниям корреляционной функции в окрестности точки  $(\alpha_{ij}, \beta_{ij})$  с помощью метода наименьших квадратов строится куполообразная поверхность

$$R(\alpha, \beta) = \gamma_{00} + \gamma_{10}\alpha + \gamma_{01}\beta + \gamma_{11}\alpha\beta + \gamma_{20}\alpha^2 + \gamma_{02}\beta^2,$$

где  $\gamma_{sp}$  – коэффициенты аппроксимирующего полинома. Значения  $(\alpha_{ij}^*, \beta_{ij}^*)$ , для которых  $R(\alpha, \beta) = \max$ , принимаются за уточненные:

$$\alpha_{ij}^* = \alpha_{ij} + \frac{\gamma_{01}\gamma_{11} - 2\gamma_{10}\gamma_{02}}{4\gamma_{20}\gamma_{02} - \gamma_{11}^2},$$

$$\beta_{ij}^* = \beta_{ij} + \frac{\gamma_{10}\gamma_{11} - 2\gamma_{01}\gamma_{20}}{4\gamma_{20}\gamma_{02} - \gamma_{11}^2}.$$

Затем выполняется проверка и отбраковка величин  $(\alpha_{ij}^*, \beta_{ij}^*)$  с использованием четырех статистических критериев.

*СКО отсчетов яркости пары идентифицируемых фрагментов.* При малых значениях СКО, что соответствует неизменяющемуся сюжету (например, водная поверхность), измерения по этим фрагментам бракуются.

*Экссесс автокорреляционной функции фрагментов.* Этот критерий позволяет не рассматривать фрагменты с мелкой стохастической текстурой (например, лес, луг и т. п.) и основан на экспериментально установленном факте, что автокорреляционная функция таких фрагментов имеет ярко выраженный пикообразный характер.

*СКО корреляционной функции фрагментов двух изображений в окрестности точки максимума.* Этот критерий позволяет отбраковать фрагменты, дающие размытый пик корреляционной функции.

*Отношение пикового значения корреляционной функции к ее наиболее близкому значению в некоторой окрестности.* Этот критерий позволяет исключить вероятные ошибки в выборе пика корреляционной функции.

В результате фильтрации из множества  $F_i$  образуется множество  $T_i$ , по которому строится полиномиальная модель трансформации  $i$ -го снимка относительно базового (оператор  $R_p$ ):

$$P_{im}(m) = \sum_{j=0}^J a_{ij} m^j, \quad P_{in}(m) = \sum_{j=0}^J c_{ij} m^j, \quad (3)$$

где  $a_{ij}, c_{ij}$  – коэффициенты, а  $J$  – степень полиномов.

Наконец, с помощью выражения (3) выполняется трансформирование изображения  $\mathbf{B}_i$  в плоскость базового  $\mathbf{B}_v$ :

$$b_i^*(m, n) = \text{Int}[b_i(x, y)],$$

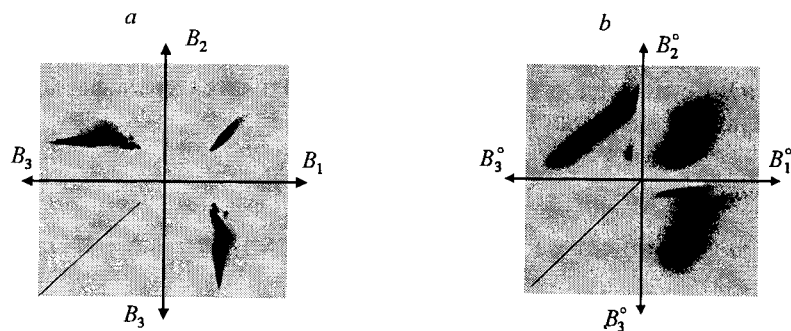
$$x = m + P_{im}(m), \quad y = n + P_{in}(m), \quad m = \overline{0, M-1}, \quad n = \overline{0, N-1}, \quad i \neq v, \quad (4)$$

где  $\mathbf{B}_i^* = [b_i^*(m, n)]$  – изображение  $i$ -го спектрального канала после геометрического совмещения; Int – оператор яркостной интерполяции.

Важно отметить, что повысить четкость спектрзонального изображения на этом этапе обработки можно либо за счет устранения расфокусировки цветного снимка, либо за счет устранения расфокусировки и увеличения его разрешающей способности. Во втором случае вначале базовое изображение  $\mathbf{V}_v$  с помощью процедуры яркостной интерполяции представляется в более частой пространственной решетке, а затем с помощью соотношений (4) с ним совмещаются изображения оставшихся спектральных каналов  $\mathbf{V}_i^*$ ,  $i=1, \Lambda, i \neq v$ .

**Радиометрическое комплексирование.** Основная трудность решения задачи радиометрического комплексирования геометрически совмещенных изображений  $\mathbf{V}_i^*$ ,  $i=1, \Lambda$ , связана с явлением инверсного отображения отдельных объектов в различных зонах спектра, которое подробно изучено в работе [3]. Это явление не дает возможности использовать известные методы статистического выравнивания и яркостной интерполяции. Другая трудность связана с наличием на исходных изображениях радиометрических искажений, обусловленных структурным шумом: изменением темнового сигнала и чувствительности фотоприемных элементов сканирующего устройства. Алгоритмы устранения подобных искажений описаны в работах [4, 5]. Будем считать, что представленные для радиометрического комплексирования изображения «очищены» от структурного шума.

Пусть для определенности  $\mathbf{V}_i^* = \{\mathbf{V}_1^*, \mathbf{V}_2^*, \mathbf{V}_3^*\}$  – трехзональное изображение, которое отображается в трехмерном пространстве с осями координат  $B_1, B_2$  и  $B_3$  в некоторую замкнутую область. Для случая, когда все три изображения совершенно одинаковы, т. е.  $\mathbf{V}_1^* = \mathbf{V}_2^* = \mathbf{V}_3^*$ , в трехмерном пространстве все точки отображаются на линии, наклоненной к каждой из трех координатных плоскостей под углом  $45^\circ$ . Проекция этих точек на координатные плоскости располагаются на биссектрисах. Чем больше отличаются яркости одноименных элементов в различных спектральных каналах, тем больше удаляются точки от этих биссектрис. Реальные многозональные данные отображаются на координатных плоскостях в виде компактных областей (см. рисунок, *a*). Чем больше плотность точек, тем темнее отображается область координатных пространств. Отклонения точек от биссектрисы можно рассматривать как степень отличия отражательной способности точек наблюдаемой сцены в конкретных зонах спектра. Следовательно, удаляя точки



Отображение наблюдаемой сцены в спектрзональном пространстве: исходное (*a*) и преобразованное (*b*) изображения

от биссектрисы, усиливаем спектрональные различия изображений, тем самым повышаем их информативность (см. рисунок, *b*).

Алгоритм, основанный на этой идее, реализуется в виде последовательности действий. В результате усиления спектрональных различий из  $\mathbf{V}_1^*$ ,  $\mathbf{V}_2^*$  и  $\mathbf{V}_3^*$  формируются изображения  $\mathbf{V}_1^\circ$ ,  $\mathbf{V}_2^\circ$ ,  $\mathbf{V}_3^\circ$ :

$$\mathbf{V}_i^\circ = \mathbf{k} \otimes \mathbf{V}_i^* + \frac{1}{3}(\mathbf{1} - \mathbf{k}) \otimes \sum_{j=1}^3 \mathbf{V}_j^*, \quad i = \overline{1,3}, \quad (5)$$

где  $\mathbf{k} = [\chi(x, y)]$  – матрица коэффициентов, определяющих степень усиления различий в изображениях;  $\mathbf{1}$  – матрица размером  $X \times Y$ , все элементы которой равны 1;  $\otimes$  – операция поэлементного умножения. Эти коэффициенты вычисляются для каждой точки в трехмерном пространстве яркостей изображений обратно пропорционально ее расстоянию до центральной оси  $O$ , образующей равные углы с координатными осями  $B_1$ ,  $B_2$  и  $B_3$ :

$$\chi(x, y) = \frac{\chi_{\max} \ell_{\max}}{\ell_{\max} + \ell(x, y) \left( \frac{\chi_{\max}}{\chi_{\min}} - 1 \right)}, \quad (6)$$

где  $\chi_{\max}$ ,  $\chi_{\min}$  – максимальное и минимальное значения коэффициента усиления соответственно;

$$\ell(x, y) =$$

$$= \sqrt{\frac{1}{3} [(b_1^*(x, y) - b_2^*(x, y))^2 + (b_3^*(x, y) - b_2^*(x, y))^2 + (b_3^*(x, y) - b_1^*(x, y))^2]}$$

– отклонение обрабатываемой точки в трехмерном пространстве от оси  $O$ ;  
 $\ell_{\max}$  – максимальное отклонение от оси  $O$ .

Результирующее панхроматическое изображение  $\mathbf{D}$  образуется путем поэлементного взвешенного суммирования  $\mathbf{V}_1^\circ$ ,  $\mathbf{V}_2^\circ$ ,  $\mathbf{V}_3^\circ$  по формуле

$$\mathbf{D} = \alpha_1 \otimes \mathbf{V}_1^\circ + \alpha_2 \otimes \mathbf{V}_2^\circ + \alpha_3 \otimes \mathbf{V}_3^\circ,$$

где

$$\alpha_i = [\alpha_i(x, y)], \quad i = \overline{1,3}, \quad \alpha_1(x, y) = \frac{\Delta_{12}(x, y) + \Delta_{13}(x, y)}{\Delta(x, y)},$$

$$\alpha_2(x, y) = \frac{\Delta_{12}(x, y) + \Delta_{23}(x, y)}{\Delta(x, y)}, \quad \alpha_3(x, y) = \frac{\Delta_{13}(x, y) + \Delta_{23}(x, y)}{\Delta(x, y)};$$

$$\Delta(x, y) = \Delta_{12}(x, y) + \Delta_{13}(x, y) + \Delta_{23}(x, y),$$

$$\Delta_{12}(x, y) = |b_1^\circ(x, y) - b_2^\circ(x, y)|,$$

$$\Delta_{13}(x, y) = |b_1^\circ(x, y) - b_3^\circ(x, y)|, \quad \Delta_{23}(x, y) = |b_2^\circ(x, y) - b_3^\circ(x, y)|.$$

Таким образом, последовательное выполнение процессов субпиксельного геометрического и радиометрического комплексирования позволяет сформировать панхроматическое изображение повышенного пространственного разрешения, на котором с высокой степенью четкости отображаются все объекты, по-разному представленные на спектрональных снимках.

**Раскраска панхроматического изображения.** Будем полагать, что для одной и той же сцены получены при одинаковых условиях съемки панхроматический снимок высокого разрешения:  $\mathbf{D} = [d(x, y)]$ ,  $x = 0, X-1$ ,  $y = 0, Y-1$ , и спектрональное изображение  $\mathbf{V}$  худшего пространственного разрешения. Используя рассмотренную выше технологию, устраним субпиксельные координатные рассогласования на спектрональном снимке, а затем с помощью алгоритма, изложенного в работе [6], выполним его геометрическое совмещение с изображением  $\mathbf{D}$ . В результате трансформированные снимки  $\mathbf{V}_i^+ = [b_i^+(x, y)]$ ,  $i = \overline{1, \Lambda}$ , будут представлены в той же системе координат и в том же масштабе, что и панхроматический. Рассмотрим несколько вариантов радиометрического комплексирования изображений  $\mathbf{D}$  и  $\mathbf{V}_i^+$ .

**А л г о р и т м 1.** В данном базовом алгоритме используется схема определения искомым RGB-компонентов по известной яркости результирующего снимка, противоположная схеме в работе [7]. В этом случае составляющие  $\mathbf{D}_i$ ,  $i \in \{R, G, B\}$ , рассчитываются по принципу модуляции яркости изображения  $\mathbf{D}$  в соответствии с параметрами спектронального снимка:

$$\mathbf{D}_R = \mathbf{k} \otimes \mathbf{V}_R^+, \quad \mathbf{D}_G = \mathbf{k} \otimes \mathbf{V}_G^+, \quad \mathbf{D}_B = \mathbf{k} \otimes \mathbf{V}_B^+,$$

где  $\mathbf{k} = 3\mathbf{D}/(\mathbf{V}_R^+ + \mathbf{V}_G^+ + \mathbf{V}_B^+)$ , знак «/» обозначает операцию поэлементного деления матриц.

Нетрудно понять, что данный алгоритм жестко связан со спектрональными характеристиками изображения  $\mathbf{V}_i$  и не позволяет управлять параметрами синтеза цветного снимка. Поэтому рассмотрим два других более универсальных подхода. Они основаны на восстановлении спектральной яркости наблюдаемой сцены  $L(\lambda)$  и позволяют сформировать спектрональные изображения от виртуального датчика с заданными характеристиками спектральной чувствительности.

Найдем вначале приближение функции  $L(\lambda)$  для каждой точки снимка  $\mathbf{V}_i^+$  в виде полинома

$$\widehat{L}(\lambda) = \sum_{k=0}^{\Lambda} s_k \lambda^k.$$

Поскольку эта операция одинакова для всех точек снимка, то их координаты для простоты опустим. Для определения коэффициентов  $s_k$ ,  $k = \overline{0, \Lambda-1}$ , составим на основании выражения (1) систему линейных уравнений

$$\mathbf{V}_i^+ = \int_{\lambda_i^-}^{\lambda_i^+} \left( \sum_{k=0}^{\Lambda-1} s_k \lambda^k \right) S_i(\lambda) d\lambda, \quad i = \overline{1, \Lambda}. \quad (7)$$

Будем считать, что функции  $S_i(\lambda)$ ,  $i = \overline{1, \Lambda}$ , получены по данным предполетной калибровки и заданы таблицами отсчетов  $(\lambda_{ij}, S_{ij})$ ,  $j = \overline{1, J_i}$ . Тогда, используя формулу трапеций для численного интегрирования, приведем выражение (7) к виду

$$\mathbf{B}_i^+ = \sum_{k=0}^{\Lambda-1} s_k \times \sum_{j=1}^{J_i-1} \left[ \frac{\lambda_{i,j+1}^{k+2} - \lambda_{ij}^{k+2}}{\lambda_{i,j+1} - \lambda_{ij}} \frac{S_{i,j+1} - S_{ij}}{k+2} + \frac{\lambda_{i,j+1}^{k+1} - \lambda_{ij}^{k+1}}{\lambda_{i,j+1} - \lambda_{ij}} \frac{S_{ij} \lambda_{i,j+1} - S_{i,j+1} \lambda_{ij}}{k+1} \right], \quad i = \overline{1, \Lambda}. \quad (8)$$

Решив систему (8) относительно коэффициентов  $s_k$ ,  $k = \overline{0, \Lambda-1}$ , для каждой точки изображения  $(x, y)$ , получим оценку коэффициента спектральной яркости  $\hat{L}(\lambda)$ . Экспериментальные расчеты показали, что для большинства природных объектов земной поверхности даже параболическое представление  $\hat{L}(\lambda)$ , найденное по трем разнозональным снимкам, обеспечивает относительную точность приближения порядка 2–4 %.

Рассмотрим два алгоритма получения искомым спектрозональных компонентов  $\mathbf{D}_i$ ,  $i = \overline{1, \Lambda}$ , основанные на восстановлении  $\hat{L}(\lambda)$  по спектрозональным данным.

**А л г о р и т м 2.** На основе  $\mathbf{B}_i^+$ ,  $i = \overline{1, \Lambda}$ , оценим спектральную яркость наблюдаемой сцены  $\hat{L}(\lambda)$ . Затем, используя механизм модуляции сигналом  $\mathbf{D}$  спектрозональной компоненты, определяемой  $\hat{L}(\lambda)$ , получим:

$$\mathbf{D}_i = \mathbf{D} \frac{\int_{\lambda_i^-}^{\lambda_i^+} \hat{L}(\lambda) d\lambda}{\frac{1}{\Lambda} \int_{\lambda_1^-}^{\lambda_\Lambda^+} \hat{L}(\lambda) d\lambda} = \mathbf{D} \frac{\sum_{k=0}^{\Lambda-1} \left( s_k \frac{(\lambda_i^+)^{k+1} - (\lambda_i^-)^{k+1}}{k+1} \right)}{\frac{1}{\Lambda} \left( \sum_{k=0}^{\Lambda-1} s_k \frac{(\lambda_\Lambda^+)^{k+1} - (\lambda_1^-)^{k+1}}{k+1} \right)}, \quad i = \overline{1, \Lambda}. \quad (9)$$

Здесь выражение в знаменателе влияет на распределение энергетической яркости по диапазонам пропорционально соотношению энергетической яркости в спектрозональных сигналах  $\mathbf{B}_i^+$ ,  $i = \overline{1, \Lambda}$ .

**А л г о р и т м 3.** По изображениям  $(\mathbf{D}, \mathbf{B}_2^+, \dots, \mathbf{B}_\Lambda^+)$  оценим  $\hat{L}_1(\lambda) = \sum_{k=0}^{\Lambda-1} s_{1k} \lambda^k$ , после чего по формуле (9) получим первую компоненту  $\mathbf{D}_1$ . По изображениям  $(\mathbf{B}_1^+, \mathbf{D}, \mathbf{B}_3^+, \dots, \mathbf{B}_\Lambda^+)$  оценим  $\hat{L}_2(\lambda) = \sum_{k=0}^{\Lambda-1} s_{2k} \lambda^k$ , после чего рассчитаем  $\mathbf{D}_2$ . Далее по аналогии сформируем  $\mathbf{D}_3, \mathbf{D}_4, \dots, \mathbf{D}_\Lambda$ , т. е. в данном под-

ходе для формирования спектрозональной компоненты  $D$ , используется  $\hat{L}(\lambda)$ , полученная по изображениям  $B_j^+$ ,  $i \neq j$ , и изображению  $D$ , которое выступает вместо  $B_j$ .

**Заключение.** Рассмотренные алгоритмы и технологии комплексирования были апробированы с широким привлечением спектрозональных изображений от датчиков МСУ-Э и МСУ-СК ИСЗ «Ресурс-О1» № 3, 4 и «Метеор-3М» № 1. В результате исследований алгоритмов субпиксельного геометрического совмещения данных МСУ-Э установлено, что исходные пространственные рассогласования, достигающие 1,5 пикселей для ИСЗ «Ресурс-О1» № 3 и 1,3 пикселей для «Ресурс-О1» № 4, удается измерить со среднеквадратической точностью  $\sim 0,2$  пиксела. При этом использование перечисленных статистических критериев отбраковки уменьшает долю ложных идентификаций в 4–5 раз [2].

Предложенный алгоритм радиометрического комплексирования спектрозональных данных позволяет получать панхроматические снимки улучшенной дешифрируемости за счет усиления отличительных признаков одноименных объектов различных спектральных зон. Комплексное использование алгоритмов геометрического и радиометрического комплексирования обеспечивает повышение на 10–20 % разрешающей способности результирующего панхроматического снимка по отношению к черно-белому изображению от самого информативного спектрального канала.

Технологии синтезирования спектрозональных изображений высокого разрешения на основе панхроматического снимка высокого разрешения и разнозональных изображений низкого разрешения (т. е. цветовая раскраска панхроматического изображения) исследовались на изображениях от датчиков МСУ-Э и МСУ-СК, имеющих соответственно разрешение на местности 35 и 150 м, а также на черно-белых фотоизображениях с разрешением 2 м и спектрозональных изображениях от датчика МСУ-Э. В результате установлено, что вновь формируемые спектрозональные изображения близки по разрешающей способности к панхроматическому снимку. Это позволило реализовать в рамках геоинформационной системы Normsat технологию получения новых информационных продуктов – раскрашенных панхроматических снимков высокого разрешения.

Образцы изображений, которые получены в результате комплексирования спектрозональных видеоданных от космических систем «Ресурс-О1» и «Метеор-3М», представлены в работах [8, 9].

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Селиванов А. С., Гектин Ю. М., Новиков М. В., Кузнецов А. Е. Эффект сверхразрешения в спектрозональных системах дистанционного зондирования // Исслед. Земли из космоса. 2001. № 2. С. 3.
2. Zlobin V. K., Eremeyev V. V., Kurbasov M. V. Automatic image identification in the tasks of remote sensing of the earth // Abstracts of the 4th Open Russian – German Workshop “Pattern Recognition and Image Understanding”. Valday, Russia, 1996. P. 157.
3. Злобин В. К., Еремеев В. В., Васильев В. М. Стохастическая модель спутниковых изображений и ее использование для сегментации природных объектов // Автотметрия. 2001. № 2. С. 41.



4. **Еремеев В. В., Злобин В. К.** Статистические алгоритмы радиометрической коррекции видеоинформации от многоэлементных сканирующих систем // *Автометрия*. 1995. № 3. С. 78.
5. **Злобин В. К., Еремеев В. В., Новоселов В. Г.** Алгоритм высокоточного фотометрического совмещения разновременных космических изображений // *Автометрия*. 2000. № 3. С. 71.
6. **Кузнецов А. Е., Пресняков О. А.** Модели геометрического соответствия совмещаемых изображений // *Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка*. 2002. № 2. С.119.
7. **Бочко В. А.** Методы обработки и классификации цветных изображений // *Зарубеж. радиоэлектрон*. 1992. № 6. С. 10.
8. **Злобин В. К., Еремеев В. В., Кузнецов А. Е. и др.** Системы и технологии приема, обработки и распространения данных дистанционного зондирования Земли Росавиакосмоса // *Исслед. Земли из космоса*. 2001. № 6. С. 31.
9. **Злобин В. К., Урличич Ю. М., Еремеев В. В., Кузнецов А. Е.** Проблемы комплексирования разнозональной спутниковой информации. Примеры обработки // *Тр. 3-й Междунар. науч.-техн. конф. «Космонавтика. Радиоэлектроника. Геоинформатика»*. Рязань: Изд-во РГРТА, 2000. С. 261.

*Рязанская государственная радиотехническая академия,  
E-mail: gislab@org.etr.ru*

*Поступила в редакцию  
3 июля 2002 г.*