

Военно-космическая академия имени А.Ф. Можайского
Кафедра оптико-электронных средств контроля

Процедуры радиометрической коррекции тепловизионных снимков при формировании ортофотопланов местности

Зайцев В.В. (ктн)
Чебурков М.А.
Буканов Д.Р.
Лавров Л.Е.

Санкт-Петербург
2021

Цели и задачи исследования

Проблемная ситуация. Исследование объектов местности с использованием оборудованных малогабаритными тепловизионными камерами беспилотных летательных аппаратов (БЛА), в частности в рамках проведения подспутниковых экспериментов, производится по тепловизионным ортофотопланам, изображения которых имеют значительные радиометрические искажения.

Цель: повышение качества тепловизионных ортофотопланов, которые формируются из отдельных снимков, характеризующихся наличием радиометрических искажений.

Задачи: определение типовых радиометрических искажений тепловизионных снимков, регистрируемых на борту сверхлегкого БЛА, и разработка процедур устранения искажений с представлением результатов их прикладного использования для обработки реальных изображений.

Анализ факторов возникновения радиометрических искажений на тепловых снимках

1. Тепловизионные снимки могут содержать структурный (геометрический) шум. Такой шум возникает в результате влияния электромагнитных помех от других электронных бортовых систем носителя — БЛА (навигационная система, система бортового электропитания, система связи и пр.).
2. Для записи тепловых изображений с минимальными потерями в современных тепловизионных камерах используют автоматическую регулировку усиления (АРУ). В результате возникают значительные изменения уровня яркости фона при наличии объектов с резким перепадом температур.
3. Отдельные тепловизионные камеры оснащаются системой внутренней калибровки. В условиях значительных изменений температуры корпуса камеры уровень записываемого сигнала изменяется между калибровочными циклами, что приводит к изменениям среднего уровня регистрируемой температуры.

Примеры изображений ортофотопланов, сформированных по снимкам с разными радиометрическими искажениями

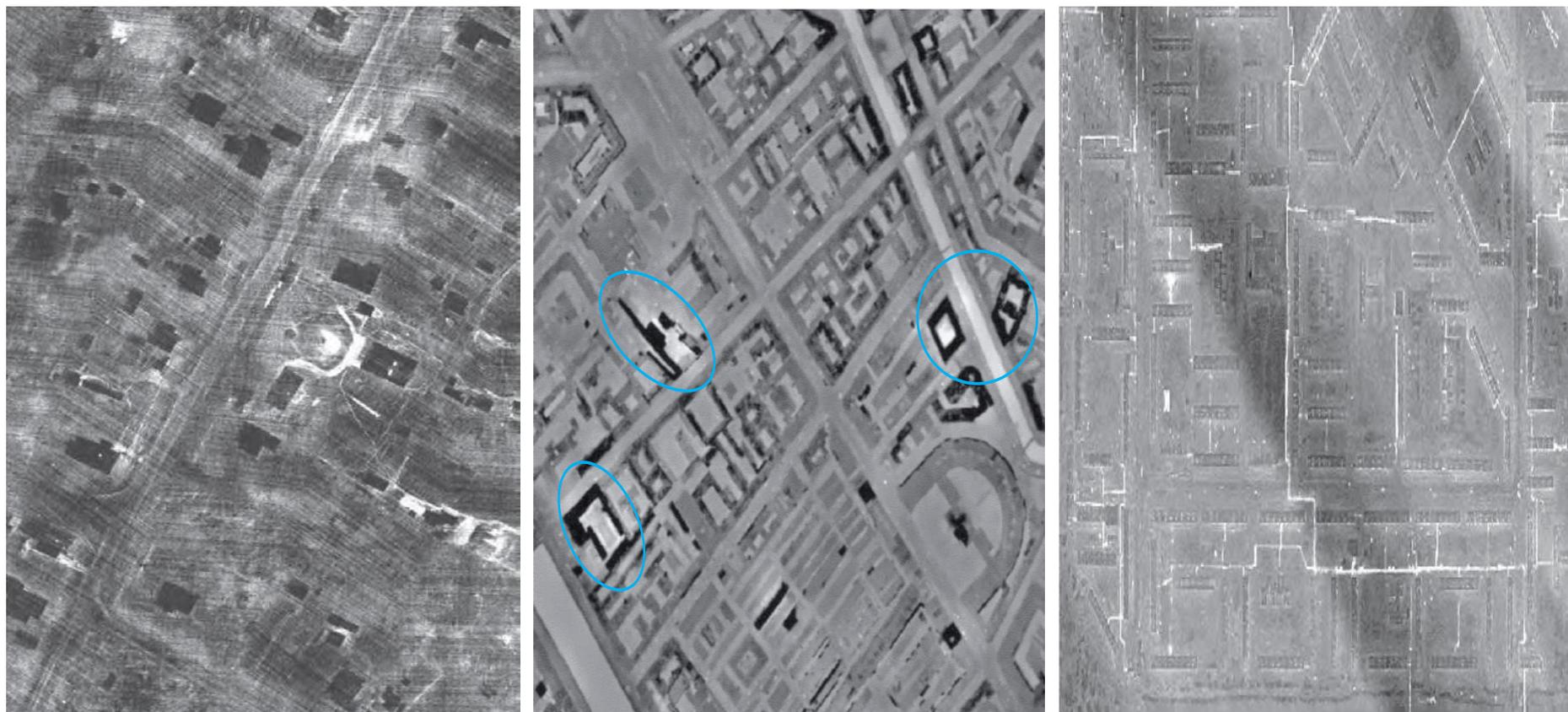


Рис. Проявление радиометрических искажений: структурного шума (слева), искажений в результате работы системы АРУ (в центре), помехи от системы внутренней калибровки (справа)

Модель тепловизионного матричного снимка

Для решения задачи используется линейная модель снимка

$T_i(x, y)$ с размерностью X, Y

$$T_z(x, y) = t_z(x, y)a_z(x, y) + b_z(x, y)$$

где t_z — значение радиояркостной температуры для каждого изображения на пересечении строки x и столбца y при отсутствии радиометрических искажений;

a_z, b_z — мультипликативная и аддитивная составляющие соответственно;

z — номер изображения из полного набора кадров Z .

Радиометрические искажения компенсируются путем учета аддитивной составляющей

$$\hat{T}_z(x, y) = T_z(x, y) + \hat{b}(x, y) \quad (1)$$

где $\hat{T}_i(x, y)$ — оценка температуры на выходе системы обработки каждого изображения;

$\hat{b}(x, y)$ — корректирующая переменная, которая зависит от типа искажений.

Процедура обработки для устранения структурного шума

1. Для каждого изображения z в последовательности применяется низкочастотная двумерная фильтрация с окном (K, Y)

$$T_{xz}^{нч} = \frac{1}{KY} \sum_{k=x-K/2}^{x+K/2} \sum_{y=1}^Y T_z(k, y)$$

2. Для каждого столбца по предварительно обработанным и исходным изображениям рассчитываются средние значения температуры

$$\bar{T}_x^{нч} = \frac{1}{Z} \sum_{z=1}^Z T_x^{нч}(z) \quad \bar{T}_x = \frac{1}{ZY} \sum_{z=1}^Z \sum_{y=1}^Y T_x(z, y)$$

3. Вычисляется средний уровень радиояркостной температуры

$$\bar{T} = \frac{1}{X} \sum_x \bar{T}^{нч}(x)$$

4. Определяется величина корректирующей переменной

$$\hat{b}(x) = \bar{T} - (\bar{T}(x) - \bar{T}^{нч}(x))$$

5. Значения температур для каждого элемента изображения корректируются по формуле (1).

Фрагменты ортофотопланов, сформированных по снимкам со структурным шумом

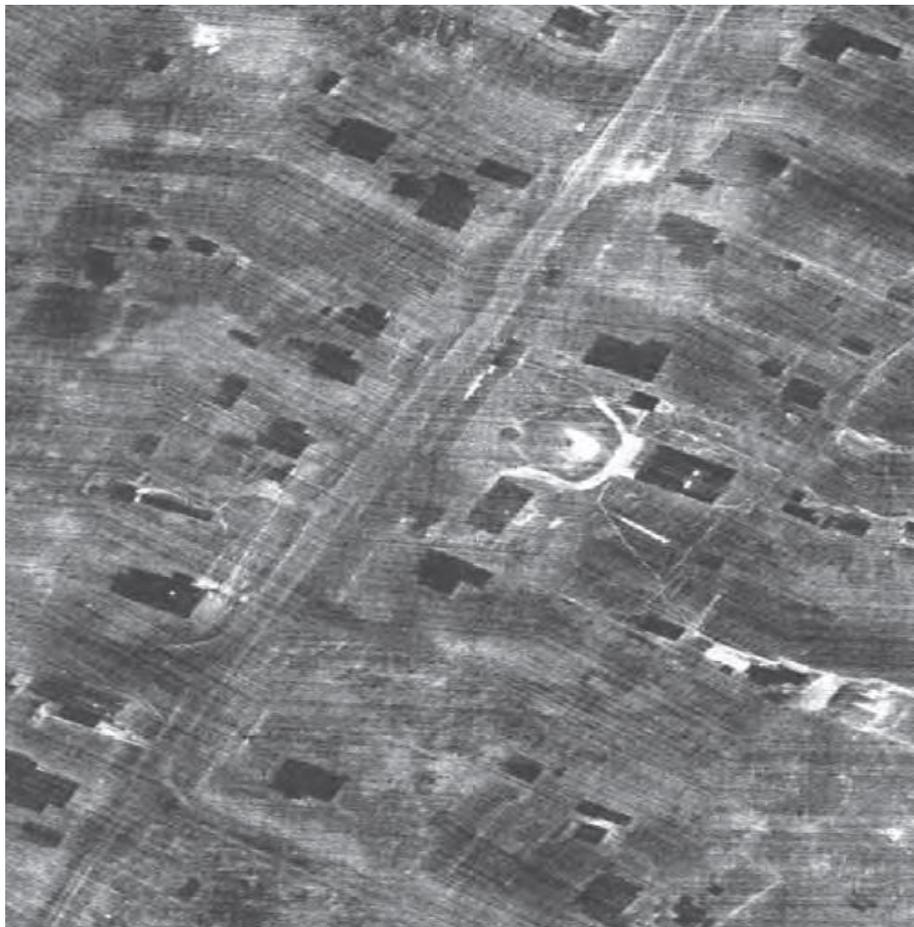


Рис. Изображения ортофотопланов, полученные по исходным необработанным снимкам (слева) и по обработанным снимкам (справа)

Процедура компенсации искажений от системы АРУ

1. Изображение разделяется на N, M фрагментов по координатам.
2. Для каждого фрагмента определяется среднее значение

$$\bar{T}_{nm} = \frac{nm}{XY} \sum_{x=1}^{X/N} \sum_{y=1}^{Y/M} T \left(x + \frac{(n-1)X}{N}, y + \frac{(m-1)Y}{M} \right) \quad (2)$$

3. Из значений составляется массив вариационного ряда $N \times M$
$$V = \{ \bar{T}_{nm} \} \quad (3)$$

4. Определяются постоянные значения фона, расположенные в средней части вариационного ряда в окрестности медианы

$$Me = V \left(\frac{N \times M}{2} \right) \quad (4)$$

5. Значения температур корректируются по формуле

$$\hat{T}_z(x, y) = T_z(x, y) + \bar{T} - Me_z$$

где \bar{T} — определяется по выборке из нескольких кадров перед началом обработки.

Фрагменты ортофотопланов, сформированных по снимкам с искажениями уровня сигнала вокруг «холодных» объектов в результате работы системы АРУ

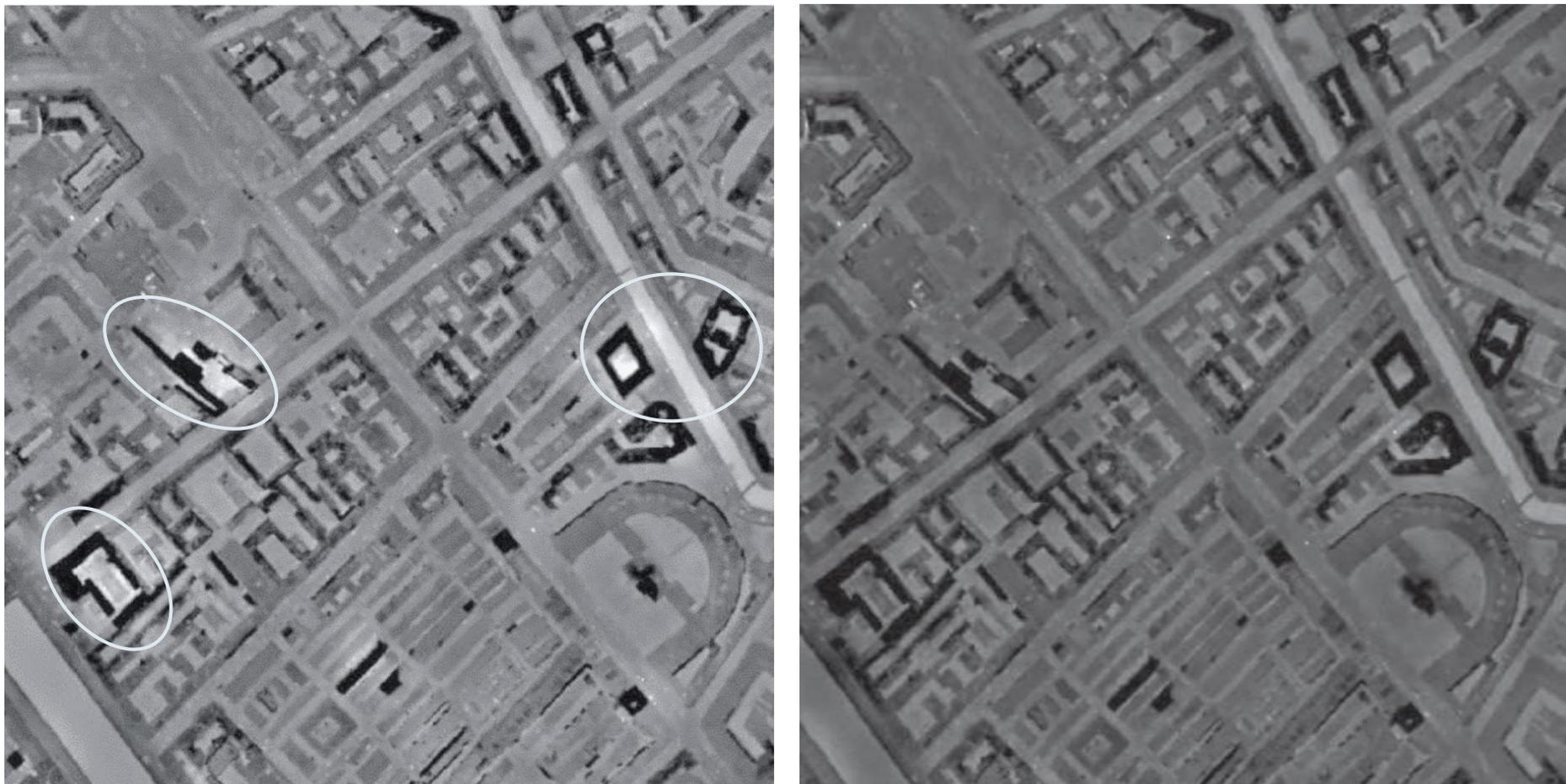


Рис. Изображения ортофотопланов, полученные по исходным необработанным снимкам (слева) и по обработанным снимкам (справа)

Процедура компенсации искажений от системы калибровки

1. Для каждого изображения на основе формул (2)–(4) определяется средний уровень фона Me_z
2. Для каждого калибровочного интервала j определяются постоянные значение температуры фона

$$\bar{T}_j = \frac{1}{Z_j} \sum_{z=1}^{Z_j} M_e(z)$$

где Z_j — количество изображений в калибровочном цикле.

3. Границы калибровочных циклов достаточно уверенно отделяются по последовательности снимков в автоматическом режиме по регистрируемому температурному перепаду. Значения температур для каждого снимка внутри каждого отдельного калибровочного цикла рассчитывается по формуле

$$\hat{T}_z(x, y) = T_z(x, y) + \bar{T} - \bar{T}_j$$

Фрагменты ортофотопланов, сформированных по снимкам с помехой от системы внутренней калибровки во время выполнения полета

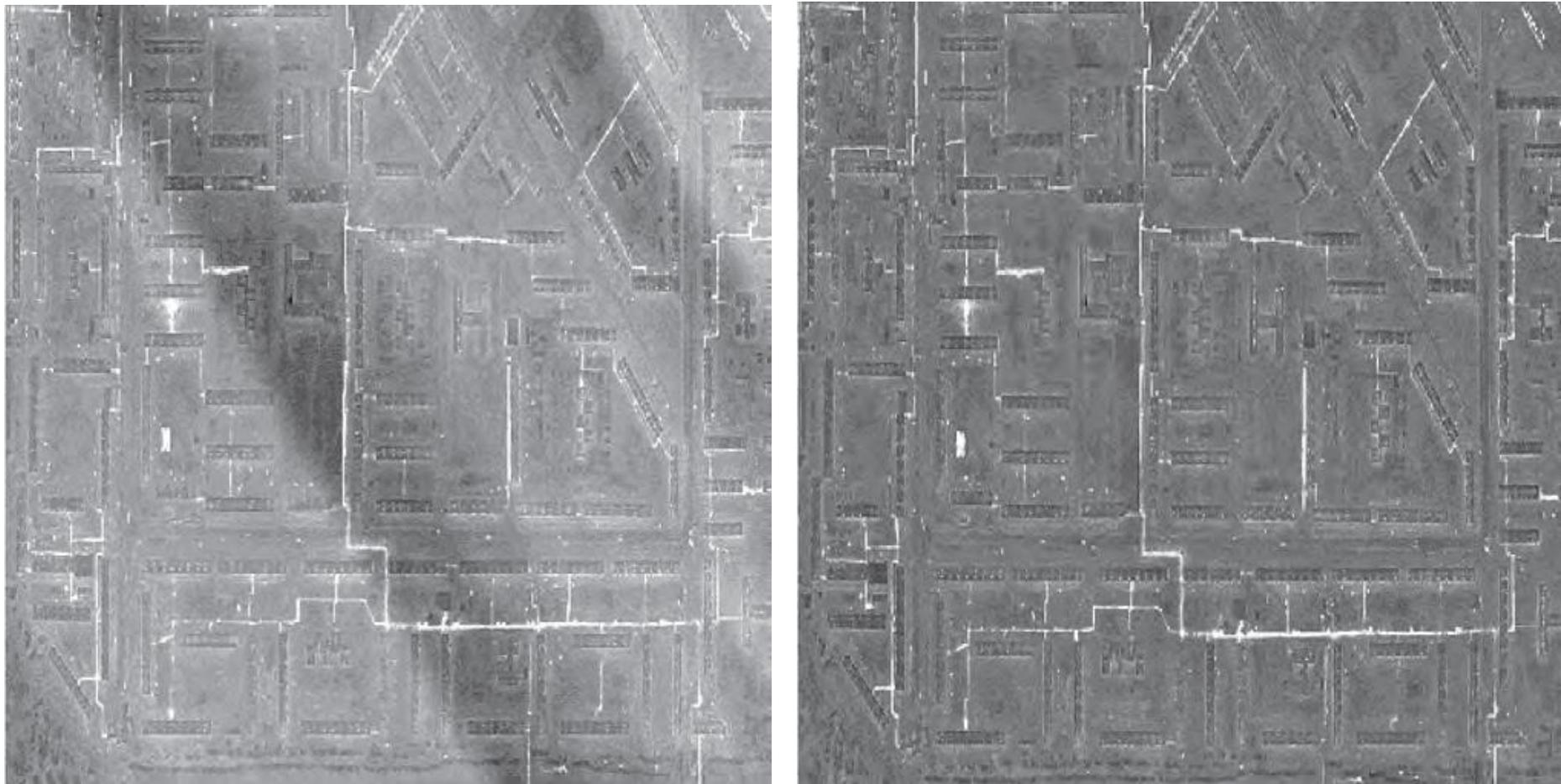


Рис. Изображения ортофотопланов, полученные по исходным необработанным снимкам (слева) и по обработанным снимкам (справа)

Литература

1. Зайцев В.В. Процедуры прикладной радиометрической коррекции тепловизионных снимков при формировании ортофотопланов местности по материалам аэросъемки // Изв. вузов «Геодезия и аэрофотосъемка». 2021. Т. 65. No 3. С. 282–291. DOI:10.30533/0536-101X-2021-65-3-282-291.
2. Григорьев А.Н., Дмитриков Г.Г., Попович Т.В., Пятицкий А.А., Смирнова О.В. Принципы и примеры использования технологии дистанционного зондирования в информационном обеспечении инфраструктур пространственных данных // Труды Военно-космической академии имени А.Ф.Можайского. 2018. No 664. С. 51–59.