

УДК 528.71

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-4-104-119

ФАКТОРЫ, КРИТЕРИИ И ТРЕБОВАНИЯ К ИЗОБРАЗИТЕЛЬНОМУ КАЧЕСТВУ МАТЕРИАЛОВ АЭРОФОТОСЪЕМКИ, ПОЛУЧАЕМОЙ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Ирина Александровна Аникеева

АО «Роскартография», 109316, Россия, г. Москва, Волгоградский проспект, 45, стр. 1, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, тел. (499)177-50-00, e-mail: ia.anikeeva@roscartography.ru

Оценка изобразительного качества материалов аэрофотосъемки, получаемых для целей картографирования, представляет сегодня актуальную проблему. Целью данной статьи является разработка системы критериев изобразительного качества топографических аэрофотоснимков и требований к ним. В статье рассмотрен набор факторов, определяющих изобразительное качество снимков, – естественные (природные) условия съемки, технические и технологические условия и параметры. Проведен анализ влияния перечисленных факторов на материалы аэрофотосъемки, показаны вызванные ими основные дефекты снимков – нерезкость (смаз), дымка, потеря информации в светах и тенях, высокий уровень случайного шума, нарушение цветового баланса. Определены способы выявления данных дефектов и оценки степени их влияния на изобразительное качество аэроснимков как визуальными, так и автоматическими методами. Показано, что оценку изобразительного качества необходимо проводить в части структурометрических и градационных (фотографических) характеристик снимков. Также показано, что, кроме приведенных характеристик, на изобразительное качество аэроснимков могут оказывать влияние случайные факторы, появление которых не поддается прогнозированию. Вызванные данными факторами дефекты выявляются при визуальном контроле оператора. Приведены требования к части критериев изобразительного качества, которые позволяют установить данный этап исследования.

Ключевые слова: аэрофотоснимки, изобразительное качество, нерезкость снимка, дымка, потеря информации в светах и тенях, случайный шум, цветовой баланс, гистограмма, структурометрические характеристики, градационные (фотографические) характеристики

Введение

В настоящее время широкий спектр крупномасштабных картографических материалов (карты и планы, ортофотокарты и ортофотопланы, трехмерные модели местности, текстурированные фотореалистичным изображением, стереоскопические модели местности) создается на основе материалов аэрофотосъемки. По этой причине к аэрофотоснимкам, получаемым для целей картографирования, предъявляются высокие требования в ча-

сти измерительных свойств. Однако, качество получаемой продукции зависит не только от измерительных свойств снимков, на него в равной степени оказывает влияние их изобразительное качество. Очевидно, что даже при высокоточной геодезической привязке снимка, обладающего низким изобразительным качеством (например, нерезкий), и, как следствие, плохими дешифровочными свойствами, выполнить по нему точные измерения не представляется возможным ни в ручном, ни в автоматическом режимах.

В настоящее время единственным нормативным документом, регламентирующим качество материалов аэрофотосъемки, получаемых для целей картографирования, в части фотограмметрических и фотографических характеристик, является ГКИНП-09-32-80 «Основные положения по аэрофотосъемке, выполняемой для создания и обновления топографических карт и планов». Устанавливаемые этим документом требования к качеству относятся к материалам, получаемым аналоговыми аэрофотоаппаратами, и если в части фотограмметрических характеристик (углы наклона снимков, перекрытия, «елочка» и пр.) они не утратили своей актуальности и для снимков, получаемых современными цифровыми аэросъемочными камерами, то в части изобразительных свойств эти требования к цифровым аэрофотоснимкам не применимы.

В связи с этим проблема оценки изобразительного качества топографических аэрофотоснимков приобретает сегодня особую актуальность.

Целью данной статьи является разработка системы критериев изобразительного качества материалов аэрофотосъемки, получаемой для целей картографирования, формулировка требований к ним.

Для этого необходимо решение следующих задач:

- анализ факторов, влияющих на изобразительное качество материалов аэрофотосъемки;
- определение дефектов изобразительного качества снимков, возникающих вследствие влияния данных факторов;
- определение способов выявления данных дефектов и оценки степени их влияния на изобразительное качество аэроснимков.

Основная часть

Факторы, влияющие на изобразительное качество аэрофотоснимков

Изобразительное качество аэрофотоснимка определяется следующими основными факторами [1, 2]:

1) естественными (природными) условиями съемки, основными из которых являются освещенность и состояние атмосферы;

2) техническими условиями съемки – эволюциями носителя во время выполнения аэрофотосъемки, техническими особенностями съемочной камеры (наличие/отсутствие компенсации сдвига изображения, тип затвора и пр.);

3) техническими параметрами съемки, такими как время выдержки, настройка светочувствительности матрицы и др.;

4) технологическими параметрами первичной обработки снимков – радиометрической коррекции, преобразования гистограммы и пр.

Влияние перечисленных факторов при их тесной взаимосвязи может приводить к ухудшению изобразительного качества снимков. Ниже приведены основные дефекты материалов аэрофотосъемки, вызванные влиянием перечисленных факторов.

1. Нерезкость (смаз) на аэроснимках

Линейные и угловые перемещения носителя во время выполнения съемки приводят к нерезкости и смазам на изображении. Данная проблема особенно актуальна в связи со все более активным применением в практике аэрофотосъемочных работ комплексов на базе беспилотных воздушных судов (БВС). БВС обладают небольшой массой, что не позволяет им сохранять стабильность своего положения при выполнении аэросъемочных работ. Кроме того, наиболее широко применяющиеся аэросъемочные комплексы оборудованы нетопографическими камерами, в которых отсутствует компенсация сдвига изображения. Ограничения полезной нагрузки БВС также не позволяют устанавливать на борту гиростабилизирующие платформы.

Данные факторы приводят к тому, что границы контуров объектов на аэроснимках представляют собой не четкие контрастные линии, а размытые переходные полосы.

Общая размытость границ контуров определяется как резкость аэрофотоизображения, размытость деталей – как его четкость. Резкость и четкость изображения снижаются с увеличением светочувствительности матрицы, что особенно следует иметь в виду при крупномасштабной топографической аэросъемке (ГКИНП-02-121-79. Руководство по дешифрированию аэроснимков при топогра-

фической съемке и обновлении планов масштабов 1 : 2 000 и 1 : 5 000).

На рис. 1 приведены два фрагмента аэро-снимков, полученных с БВС. Несмотря на то,

что снимки получены при одних и тех же условиях (за один вылет при одинаковой высоте фотографирования), они обладают визу-ально различной резкостью (четкостью).



Рис. 1. Пример фрагментов аэрофотоснимков различной резкости (четкости): резкость (четкость) правого снимка заметно ниже, чем левого снимка

Для раздельного восприятия на аэроснимках изображений смежных объектов пограничная переходная полоса (или пограничный переход) между ними не должна превышать трети аэрофотоизображения каждого из объектов (ГКИНП-02-121-79).

Визуально нерезкость снимка можно оценить по изображению резких краев объектов – при сильном увеличении должна быть видна пикселизация. Пограничный переход – это участок изображения в виде строки / столбца, содержащий резкое изменение тона (значений)

пикселей от светлого к темному на сравнительно небольшом пиксельном интервале (несколько пикселей) [3, 4]. Для снимков, обладающих визуальной высокой резкостью (четкостью), длина пограничного перехода не превышает 5 пикселей. Если длина пограничного перехода пять и более пикселей, снимок выглядит нерезким, что снижает его дешифровочные и информационные свойства, а также приводит к ошибкам в опознавании и измерениях как в ручном, так и в автоматическом режимах (ухудшение работы коррелятора) (рис. 2).



Рис. 2. Пример изображения резкого края и пограничного перехода: а) на резком снимке; б) на нерезком снимке

Если на снимке имеются области засветки, на них также возникают пограничные переходы (рис. 3). Однако, такие пограничные переходы относятся к артефактам изображения и не могут быть использованы для оценки резкости (четкости) снимка.



Рис. 3. Пример пограничных переходов в областях засветки, использование их при оценке резкости снимков не допускается

Смаз является частным случаем нерезкости снимка. Он характерен нерезкостью в каком-либо направлении, как правило, в направлении движения камеры и возникает вследствие ее перемещения во время экспозиции. В результате смаза возникают двоения границ объектов съемки, нарушение геометрии (например, расположенные рядом равные объекты, такие как автомобили, бордюрный камень, дорожная разметка и т. п., имеющие одинаковый размер и форму, на снимке отображаются в виде объектов разного размера и площади в зависимости от ориентации данных объектов относительно оси аэросъемочного маршрута) (рис. 4).

Численно резкость изображения можно оценить с помощью градиентной характеристики пограничного перехода по формуле:

$$g_{\text{norm}} = \frac{\delta D}{L} \cdot \frac{3}{G-1}, \quad (1)$$

где δD – разность максимального и минимального значения пикселей пограничного перехода; L – длина пограничного перехода в пикселях; G – максимально возможное число градаций цветового тона; для изображения с радиометрическим разрешением 8 бит/пиксель, $G = 256$.

Градиентный показатель резкости g_{norm} является нормированной величиной, значение которой меняется в пределах от 0 до 1.

Чем ближе значение g_{norm} к 1, тем выше фотографическая резкость изображения и, соответственно, чем ближе оно к 0, тем изображение более нерезкое (или смазанное).

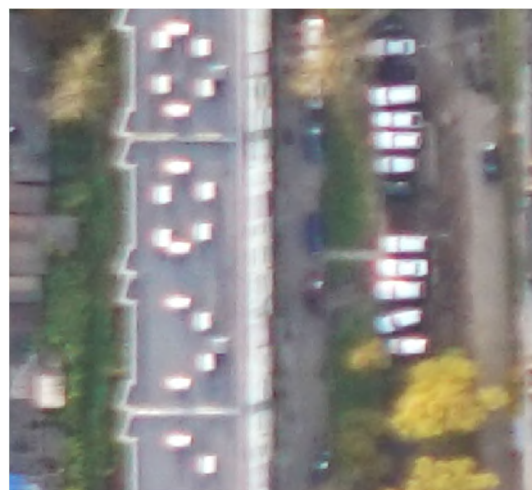


Рис. 4. Пример двоения изображения границ объектов местности и нарушения геометрии, вызванные смазом

Для оценки показателя резкости выбираются снимки с высокой контурной нагрузкой – застроенная территория, промышленные зоны – на таких снимках присутствуют изображения резких краев. Наибольшим градиентом обладают пограничные переходы, ориентированные вдоль строк или столбцов изображения. Кроме того, резкость изображения по данным направлениям также может быть неодинакова – например, в случае смаза, когда резкость изображения вдоль оси движения воздушного судна ниже, чем резкость в перпендикулярном направлении. Поэтому показатель резкости нужно вычислять по двум направлениям – вдоль строк $g_{\text{norm } x}$ и вдоль столбцов $g_{\text{norm } y}$ изображения.

Оценку резкости снимка можно выполнять как в ручном, так и в автоматическом режимах. На снимке выбирается статистически представительное число пограничных переходов. В случае оценки резкости в ручном режиме число пограничных переходов должно быть не менее 60 (не менее 30 ориентированных вдоль строк изображения и не менее 30 – вдоль столбцов). При автоматической оценке число пограничных переходов должно быть увеличено в зависимости от размера изобра-

жения (например, число пограничных переходов можно сделать кратным ширине изображения). Алгоритм автоматического поиска пограничных переходов, обладающих максимальным градиентом, описан в [3, 4]. В случае численной оценки резкости в ручном режиме пограничные переходы выбираются визуально при большом увеличении.

По каждому пограничному переходу по формуле (1) вычисляется нормированный показатель резкости, отдельно вдоль строк $g_{norm\ x}$ и вдоль столбцов $g_{norm\ y}$ изображения. Общее значение резкости вдоль строк и вдоль столбцов снимка вычисляется (2) как среднее из всех $g_{norm\ x}$ и $g_{norm\ y}$:

$$\bar{g}_{norm} = \frac{1}{n_{x,y}} \sum g_{norm_{x,y}}, \quad (2)$$

где n_x и n_y – число пограничных переходов вдоль строк и вдоль столбцов изображения соответственно.

Если значения $\bar{g}_{norm\ x}$ и $\bar{g}_{norm\ y}$ различаются несущественно (различие во втором знаке после запятой), то на снимке присутствует общая нерезкость. Если значения $\bar{g}_{norm\ x}$ и $\bar{g}_{norm\ y}$ различаются в первом знаке после запятой, значит на снимке присутствует смаз, направленный вдоль оси, по которой показатель резкости максимален.

Для резких снимков показатели $\bar{g}_{norm\ x}$ и $\bar{g}_{norm\ y}$ превышают значение 0,5.

В случае автоматической оценки резкости изображения по найденным пограничным переходам одновременно выполняется и оценка

фактической разрешающей способности – линейных размеров наименьшего объекта, различимого на снимке, выражающихся как в пикселях, так и в метрах. Алгоритм автоматической оценки фактической разрешающей способности снимка подробно описан в [3, 4].

2. Наличие дымки.

Воздействие воздушной дымки на аэро съемку выражается, главным образом, в сокращении интервала яркостей ландшафтов, а, следовательно, и возможностей четкого раздельного воспроизведения на аэроснимках топографических объектов (особенно темных) (рис. 5). Для нейтрализации этого явления летно-съемочные работы должны выполняться, когда дымка визуально не воспринимается, а горизонтальная метеорологическая дальность видимости не менее 10 км (Руководство по дешифрированию аэроснимков при топографической съемке и обновлении планов масштабов 1 : 2 000 и 1 : 5 000).

Наличие дымки на снимке может определяться визуально как присутствие общего светлого фона и понижение контраста. Также присутствие дымки однозначно определяется по гистограмме идущими подряд нулевыми значениями в области малых яркостей пикселей (рис. 6). Выявление дымки по гистограмме может производиться как визуально, так и автоматически путем реализации простейших алгоритмов в любых программных средах, позволяющих строить гистограмму изображения и выполнять с ней математические действия – MathCad, MATLAB, Python и др.



Рис. 5. Пример влияния атмосферной дымки на дешифровочное качество аэроснимка

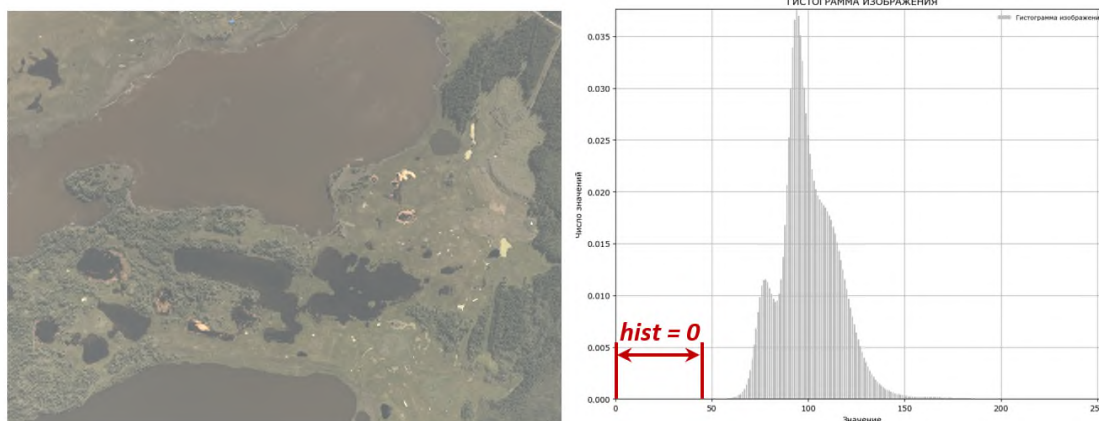


Рис. 6. Пример аэроснимка с дымкой и его гистограмма с нулевыми значениями в области малых яркостей пикселей

3. Потеря информации в светах и тенях.

Неправильный подбор экспозиции, ограничения динамического диапазона светочувствительной матрицы, а также некорректная постобработка аэроснимков являются причинами возникновения областей засветок и глубоких теней.

Области засветки на изображении проявляются в виде полигонов пикселей с максимальной яркостью и свидетельствуют о потере информации в светах. На рис. 7 приведен пример потери информации в светах в виде отсутствия текстуры крыш зданий.

Присутствие больших областей засветок на аэроснимках недопустимо. В качестве исключения допускаются единичные случаи, неизбежно возникающие в ясную солнечную погоду в результате прямого отражения сол-

нечных лучей от гладких поверхностей (крыш зданий, поверхностей водоемов). Такие области должны занимать небольшую площадь, носить локальный характер и не мешать дешифрированию объектов. Объекты в области светов должны быть отображены на снимках без потери структурных и текстурных характеристик.

Потеря информации в тенях проявляется в виде присутствия на аэроснимках глубоких теней, препятствующих дешифрированию попавших в них объектов (рис. 8). Присутствие подобных областей на снимках недопустимо.

Снимки должны обладать хорошей проработкой в тенях, т. е. объекты, попадающие в область теней высотных объектов, должны хорошо дешифрироваться (рис. 9).



Рис. 7. Пример областей засветки на аэроснимках



Рис. 8. Пример глубоких теней на аэроснимках, препятствующих дешифрированию попавших в них объектов



Рис. 9. Пример хорошей проработки деталей аэроснимка в тенях

Потери информации в светах/тенях могут быть выявлены путем визуальной оценки. Однако, наиболее надежный результат дает анализ гистограммы. Потери в светах/тенях определяются как наличие значений гистограммы для минимальных или максимально возможных значений пикселей. При достаточном радиометрическом разрешении [5] гистограмма имеет выброс в значении минимальной или максимальной яркости пикселя

(или в обоих сразу при наличии потери информации в светах и тенях одновременно). На рис. 10 приведен пример снимка, на котором имеются области засветки и потери в тенях и характерные выбросы значений гистограммы данного снимка в минимальном и максимальном значении пикселя. По гистограмме также однозначно определяется наличие дымки на данном снимке – нулевые значения ($hist = 0$) в области малых яркостей пикселей.

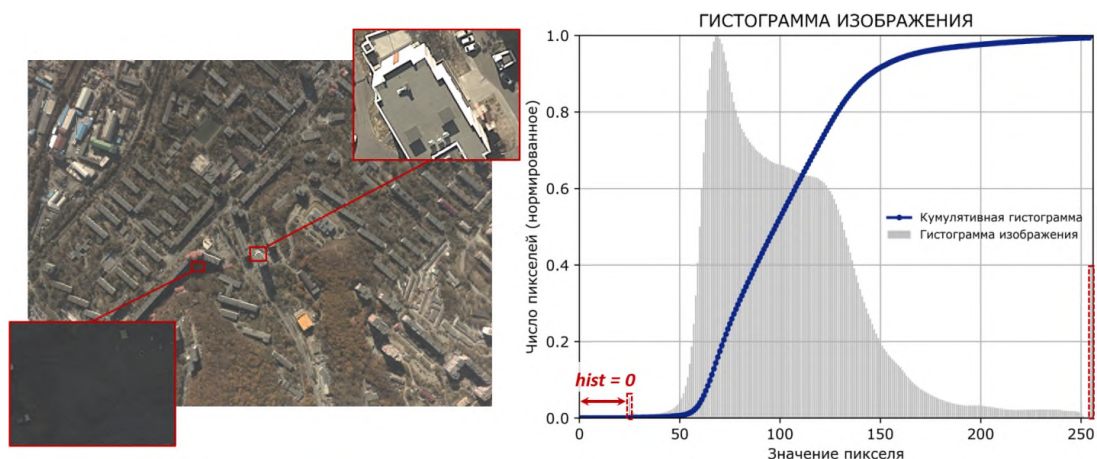


Рис. 10. Пример аэроснимка, на котором присутствуют области засветки, потери в тенях и дымка, и его гистограмма, имеющая характерные выбросы при минимальном и максимально возможном значении пикселя; присутствующая на снимке дымка также определяется по гистограмме наличием нулевых ее значений в области малых яркостей пикселей

Численно потерю информации в сетях/тенях можно оценить в процентном соотношении к общему числу пикселей изображения, т. е. процент потери в тенях – это отношение числа пикселей минимального значения (при наличии выброса гистограммы на этом значении пикселя, см. рис. 10) к общему числу пикселей изображения, а процент потери в светах – это отношение числа пикселей с максимально возможным значением, обеспечиваемым радиометрическим разрешением изображения (255 для радиометрического разрешения 8 бит/пиксель), к общему числу пикселей снимка.

Например, размер снимка на рис. 10 составляет $9\,000 \times 6\,732$ пикселя, соответственно, об-

щее количество пикселей – 60 588 000. Число пикселей минимального значения – 32 657, число пикселей со значением 255 – 374 676. Соответственно, процент потери в тенях для данного снимка составит $\approx 0,05\%$, а потеря в светах $\approx 0,62\%$. Из рис. 10 видно, что даже очень малый процент потери информации, как в тенях, так и в светах, приводит к существенному ухудшению дешифровочных свойств снимка.

В случае нехватки радиометрического разрешения гистограмма имеет вид усеченной фигуры в минимальном или максимальном значении яркости пикселя (или в обоих сразу) (рис. 11).

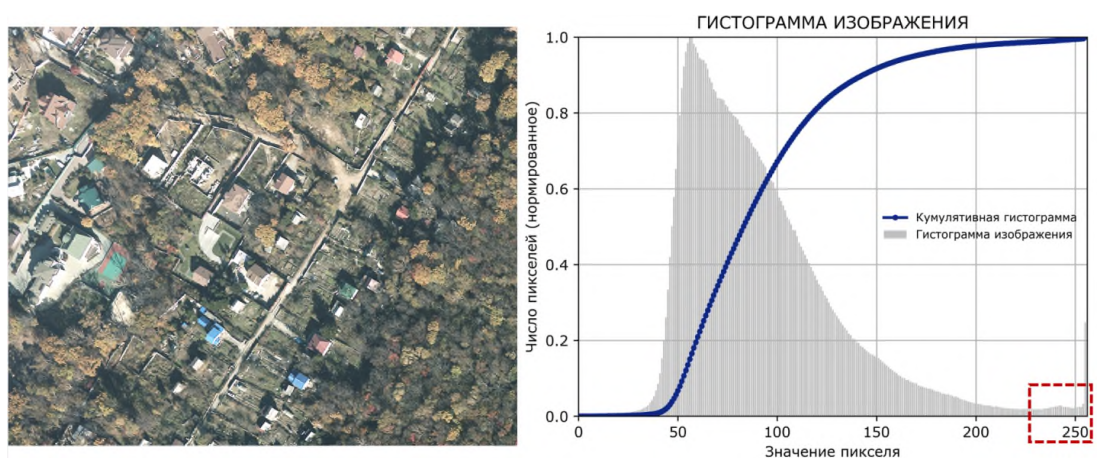


Рис. 11. Пример нехватки радиометрического разрешения снимка в области максимальных значений пикселей

4. Оценка наличия шума.

Недостаток освещенности снимаемой поверхности приводит к увеличению времени выдержки системой автоматического регулирования экспозиции камеры и повышению настроек светочувствительности матрицы, что может вызвать появление глубоких теней и повышение уровня случайного шума на снимке, ухудшающего его информационные (исчезновение деталей) и дешифровочные свойства (рис. 12).

Цифровой (случайный) шум на изображении – это случайно расположенные пиксели, значительно отличающиеся по яркости или цвету от средних яркостей или цвета соседних пикселей [6, 7]. Наличие цифрового шума на изображении можно оценить визуально

при большом увеличении участков с ровной однородной поверхностью (вода, ровные плоские крыши), а также областей теней, например, от многоэтажных домов и других высотных объектов (рис. 13).

При наличии технических возможностей, оценку шума предпочтительно выполнять автоматически с помощью специализированных программных средств, реализующих соответствующие алгоритмы [7–15]. В частности, для оценки уровня шума цифрового изображения хорошо зарекомендовал себя метод гармонического анализа, предложенный Е. М. Лапшенковым [7, 9]. Данный метод позволяет с высокой точностью определить уровень случайного шума (среднеквадратическое отклонение – СКО – N_{rms}) по снимку [16].



Рис. 12. Пример снижения информационного и дешифровочного качества аэроснимка из-за глубоких теней и высокого уровня случайного шума



Рис. 13. Пример случайного шума на аэрофотоснимке, заметного при сильном увеличении: а) на участке водной поверхности; б) в области тени от многоэтажного дома

При благоприятных условиях и корректных параметрах аэросъемки уровень шума для снимков с радиометрическим разрешением 8 бит/пиксель в среднем составляет $N_{rms} = 2,5$ (в числе тонов яркости пикселей). Данный результат является обобщенным для полноформатных топографических камер (DMCII, DMCIII, ADS100), для снимков, полученных среднеформатными топографическими камерами (RCD30, PhaseOne), а также неметрических камер, установленных на легких беспилотных воздушных судах (Sony RX, Canon 5D ProMark), без существенного различия для какой-либо из перечисленных групп камер.

Присутствие случайного шума не должно мешать дешифрированию мелких малоcontrastных деталей на изображении, а также объектов в области теней.

5. Оценка правильности цветопередачи.

Снимки должны отображать подстилающую поверхность в естественных цветах. Ис-

кажения цветов отдельных объектов, отображившихся на снимке (рис. 14), или преобладание какого-либо из цветовых тонов (рис. 15) не допускаются.

Правильность цветопередачи (цветовой баланс) можно оценить вручную путем сравнения цветовых компонент пикселей на участках снимка, которые должны иметь серый цвет (асфальтовое покрытие, серые крыши и пр.). Измерение компонент серых пикселей можно выполнять в любом графическом редакторе (например, Adobe Photoshop и др., имеющих данный функционал).

Цветовые компоненты пикселей серых участков снимка должны быть равны между собой: $R = G = B$. В случае, если это равенство не выполняется, на снимке имеется цветовой перекос в сторону цветовой компоненты, значение которой максимально.



Рис. 14. Пример нарушения правильности цветопередачи – искажение цветов объектов



Рис. 15. Пример нарушения правильности цветопередачи – перекос цвета снимка в область одного тона

При наличии технической возможности правильность цветопередачи (цветовой баланс) можно оценивать автоматически с помощью программного обеспечения, реализующего соответствующие алгоритмы [17–19]. Один из таких алгоритмов применительно к материалам аэрофотосъемки описан в работе [20].

Допустимое значение цветового разбаланса определяется визуальным восприятием изображения, т. е. снимок может иметь перекоп в сторону какой-либо из цветовых компонент на такое число тонов, которое не воспринимается при визуальной оценке снимка. Экспериментально было выяснено, что для изображения с радиометрическим разрешением 8 бит/пиксель нарушение цветового баланса становится визуально заметным при преобладании одной из цветовых компонент, начиная от 10 тонов по сравнению с остальными, т. е. для серых пикселей изображения

выполняется одно из условий:

$$\begin{cases} |R - G| \geq 10, \\ |R - B| \geq 10, \\ |B - G| \geq 10. \end{cases} \quad (3)$$

Выполнение любого из условий (3) соответствует величине вектора цветового разбаланса Δ , вычисленной согласно формуле по алгоритму [20], равной 3:

$$|\bar{\Delta}| = \Delta = \sqrt{\Delta R^2 + \Delta G^2 + \Delta B^2} \geq 3, \quad (4)$$

где ΔR , ΔG и ΔB – отклонение от серого красной, зеленой и синей цветовой компоненты соответственно.

На рис. 16 приведен пример снимка с нарушением цветового баланса (рис. 16, а) и с правильной цветопередачей (рис. 16, б), восстановленной по алгоритму [20].

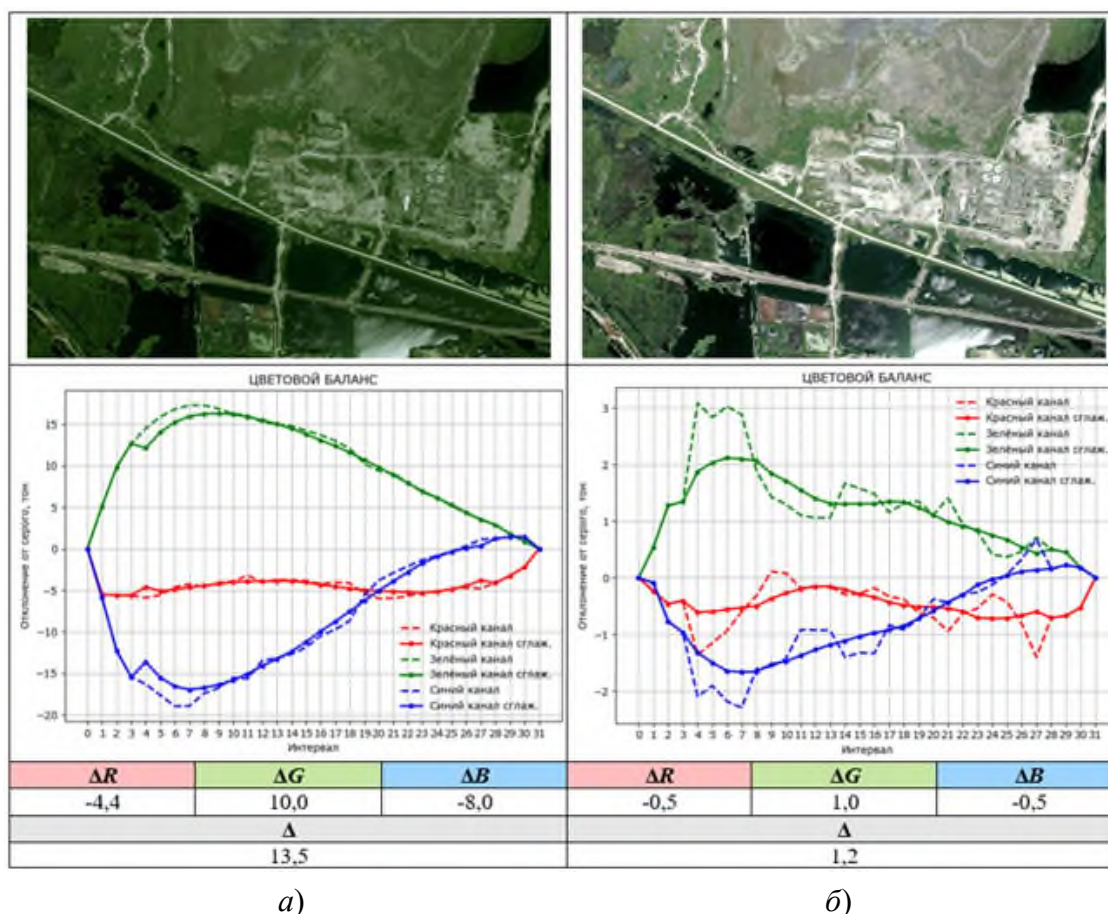


Рис. 16. Оценка правильности цветопередачи и восстановление баланса цветов:

а) аэроснимок с нарушением цветового баланса; б) аэроснимок с правильной цветопередачей, восстановленной по алгоритму [20]; ниже приведены графики цветового баланса по каждой из цветовых компонент – красной (R), зеленой (G) и синей (B) (выделены соответствующим цветом), а также значения цветового разбаланса отдельно по каждой цветовой компоненте ΔR , ΔG и ΔB и величина общего цветового разбаланса по всем каналам Δ для данных снимков

Графики показывают нарушение цветового баланса в интервалах значений пикселей по каждой из цветовых компонент (выделены соответствующим цветом). На рис. 16 также приведены значения цветового разбаланса отдельно по каждой цветовой компоненте ΔR , ΔG и ΔB , а также величина общего цветового разбаланса по всем каналам Δ .

6. Оценка наличия иных артефактов.

Перечисленные выше дефекты материалов аэрофотосъемки, как следствие влияния соответствующих факторов, являются наиболее типичными и прогнозируемыми. Однако на снимках могут присутствовать дефекты случайного характера, обусловленные спецификой применяемого конкретного оборудования (сбои в ра-

боте камеры во время съемки), программного обеспечения постобработки материалов аэрофотосъемки (некорректная работа программ постобработки при выводе изображений) или иными случайными факторами (например, загрязнение стекла аэросъемочного люка или непосредственно объектива камеры брызгами воды, керосина, грязи и пр.). Как следствие, на снимках возникают соответствующие артефакты в виде пятен, полос, локальных областей нерезкости и пр. (рис. 17). Наличие таких дефектов не поддается прогнозированию и автоматическому выявлению, поскольку неизвестно где, когда и каким образом они проявятся. Выявить эти дефекты позволяет лишь визуальная оценка.

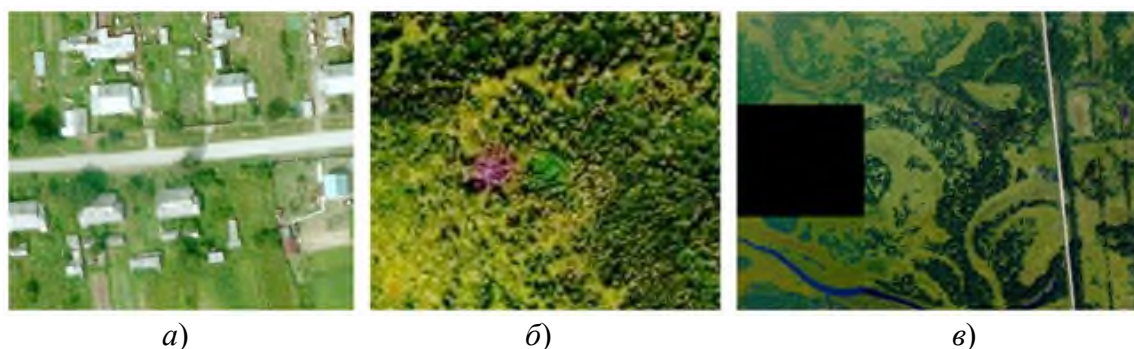


Рис. 17. Примеры дефектов аэрофотоснимков, вызванных влиянием случайных факторов:

- а) локальные области нерезкости, являющиеся следствием попадания капель воды на объектив камеры;
- б) артефакты, возникшие вследствие программного сбоя при синтезе единого цветного изображения из отдельных спектральных каналов;
- в) артефакты, вызванные сбоем программного обеспечения при создании единого аэрофотоснимка из составного кадра

Критерии изобразительного качества материалов аэрофотосъемки, получаемой для целей картографирования, и требования к ним.

Приведенный анализ факторов, влияющих на изобразительные свойства материалов аэрофотосъемки, и возникающих вследствие этого дефектов, позволяет сформулировать набор критериев изобразительного качества снимков. Разработка и обоснование полного набора требований к критериям изобразительного качества материалов аэрофотосъемки, в особенности к их численным показателям, является темой отдельного исследования, выходящего за рамки данной статьи. Поэтому ниже приведены требования лишь к части критериев изобразительного качества, которые позволяет установить данный этап исследования.

Аэрофотоснимки должны обладать высокими показателями изобразительного качества, к которым относятся структурометрические и градационные (фотографические) характеристики [2].

1. *Структурометрические* характеристики определяют возможность воспроизведения мелких деталей на изображении. К ним относятся:

- а) фотографическая резкость (четкость) снимка – для снимков, обладающих визуальной высокой резкостью (четкостью), длина пограничного перехода не превышает 5 пикселей, при численной оценке значение нормированного показателя фотографической резкости (четкости) снимка $\bar{g}_{\text{norm } x,y}$ должно составлять не менее 0,5;

б) фактическая разрешающая способность – оценивается с применением автоматизированных алгоритмов.

2. *Градационные (фотографические)* характеристики позволяют оценить воспроизведение яркостных различий объекта съемки. К градационным характеристикам относятся:

а) правильность цветопередачи – нарушение цветового баланса становится визуально заметным в случае преобладания одной из цветовых компонент, начиная от 10 тонов по сравнению с остальными (для снимка с радиометрическим разрешением 8 бит/пиксель), т. е. отклонение любой из цветовых компонент для серого пикселя изображения не должно превышать 10 единиц цветового тона (см. условие (3)) или величина общего цветового разбаланса Δ [20] не должна превышать 3;

б) показатели уровня случайного шума – присутствие случайного шума не должно мешать дешифрированию мелких мало контрастных деталей на изображении, а также объектов, находящихся в области теней, где случайный шум имеет наибольшее влияние на изображение;

в) характеристики радиометрического разрешения – диапазон фактического радиометрического разрешения снимка должен максимально охватывать диапазон номинального радиометрического разрешения, однако предпочтительно, чтобы он был слегка меньше номинального значения, так как наличие на изображении пикселей минимального и максимального значения диапазона номинального радиометрического разрешения свидетельствует о присутствии на снимках потерь в тенях и светах соответственно;

г) показатели полноты информации – процент потери информации в светах/тенях.

3. *Дефекты аэрофотоснимков*, вызванные влиянием случайных непрогнозируемых факторов, – на снимках не должно присутствовать артефактов в виде пятен, полос, локальных областей нерезкости и пр., обусловленных некорректной работой применяемого аэросъемочного оборудования, программного обеспечения постобработки материалов аэрофотосъемки или иными случайными факторами.

Заключение

Проблема оценки изобразительного качества материалов аэрофотосъемки, получа-

емых для целей картографирования, в настоящее время приобретает особую актуальность.

К основным факторам, влияющим на изобразительное качество аэрофотоснимков, относятся естественные (природные) условия, технические и технологические параметры аэрофотосъемки и первичной обработки получаемых материалов. Каждый из этих факторов в отдельности и их совокупность определенным образом влияют на изобразительное качество снимков.

Оценку изобразительного качества необходимо проводить в части структурометрических и градационных (фотографических) характеристик.

К структурометрическим характеристикам относятся:

- фотографическая резкость (четкость);
- фактическая разрешающая способность.

К градационным характеристикам относятся:

- правильность цветопередачи;
- показатели уровня случайного шума;
- показатели радиометрического разрешения;
- показатели полноты информации – потеря в светах/тенях.

Кроме перечисленных показателей, на изобразительное качество аэроснимков могут оказывать влияние случайные факторы, появление которых не поддается прогнозированию. Вызванные данными факторами дефекты выявляются при визуальном контроле оператора.

Разработка и обоснование набора требований к числовым показателям изобразительного качества материалов аэрофотосъемки является темой широкого исследования, результаты которого будут опубликованы в отдельной статье.

В заключение следует отметить, что приведенные требования и система критериев изобразительного качества справедливы и могут быть применены не только к материалам аэрофотосъемки, но и к материалам космической съемки, а также к любой картографической продукции, предусматривающей наличие фотореалистичного изображения – ортофотопланы, ортофотокарты, 3D-модели местности, текстурированные фотографическим изображением, и пр.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Srivastava G. S. An Introduction to Geoinformatics. – McGraw-Hill Education, 2014. – 278 p.
2. Кучко А. С. Аэрофотография. Основы и метрология. – М. : Недра, 1974. – 272 с.
3. Аникеева И. А., Кадничанский С. А. Оценка фактической разрешающей способности аэро- и космических фотоснимков по пограничной кривой // Геодезия и картография. – 2017. – Т. 78, № 6. – С. 25–36. doi: 10.22389/0016-7126-2017-924-6-25-36.
4. Аникеева И. А. Обоснование допустимых размеров пикселя на местности и параметров сжатия аэро- и космических изображений, получаемых для целей картографирования // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 2. – С. 109–130. doi: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-109-130.
5. Чандра А. М., Гош С. К. Дистанционное зондирование и географические информационные системы. – М. : Техносфера, 2008. – 312 с.
6. Хрящев Д. А. Об одном методе определения наиболее подходящей для анализируемого цифрового изображения модели аддитивного шума // Изв. Волгоградского государственного технического университета. – 2011. – № 3 (76). – С. 24–31.
7. Лапшенков Е. М. Неэталонная оценка уровня шума цифрового изображения на основе гармонического анализа // Компьютерная оптика. – 2012. – Т. 36, № 3. – С. 439–447.
8. Зотов П. В. Цифровой шум изображения и его прикладное значение в криминалистике // Вестник Саратовской государственной юридической академии. – 2015. – № 6. – С. 175–179.
9. Лапшенков Е. М. Реализация методов оценки уровня шума изображения в среде Matlab // Вестник Московского государственного университета приборостроения и информатики. Серия: приборостроение и информационные технологии. – 2013. – № 44. – С. 96–106.
10. Комар В. Г. Количественные критерии качества изображения для оценки кинематографических систем // Техника кино и телевидения. – 2000. – № 10.
11. Ghazal M., Amer A., Ghrayeb A. Structure-Oriented Spatio-Temporal Video Noise Estimation // Proc. IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP). – Toulouse, France, 2006 – P. 845–848.
12. Сурин В. А., Тырсин А. Н. Исследование свойств цифрового шума в контрастных изображениях // Изв. вузов. Физика. – 2016. – Т. 59, № 8-2. – С. 93–96.
13. Самойлин Е. А. Алгоритмы оценивания импульсного шума в задачах цифровой фильтрации оптических изображений // Оптический журнал. – 2006. – Т. 73, № 12. – С. 42–46.
14. Miao C. Research on denoising processing of computer video electromagnetic leakage reduction image based on fuzzy degree // EURASIP Journal on Image and Video Processing. – 2019. – Vol. 2019. – Article number 9. doi: 10.1186/s13640-018-0405-4 <https://doi.org/10.1186/s13640-018-0405-4>.
15. Chen M., Zhang H., Han Q., Huang C. C. A convex nonlocal total variation regularization algorithm for multiplicative noise removal // EURASIP Journal on Image and Video Processing. – 2019. – Vol. 2019. – Article number 28. doi: 10.1186/s13640-019-0410-2 <https://doi.org/10.1186/s13640-019-0410-2>.
16. Аникеева И. А. Оценка уровня сигнал/шум аэро- и космических изображений [Электронный ресурс]. – 2019. – Режим доступа: <https://www.roscartography.ru/wp-content/uploads/2019/11/rakurs-2019-anikeeva.pdf>.
17. Ancuti C. O., Ancuti C., De Vleeschouwer C., Bekaert P. Color Balance and Fusion for Underwater Image Enhancement // IEEE Transactions on Image Processing. – 2018. – Vol. 27, No. 1. – P. 379–393. doi: 10.1109/TIP.2017.2759252.
18. Hussain M. A., Akbari A. S. Color Constancy Adjustment Using Sub-Blocks of the Image // IEEE Access. – 2018. – Vol. 6. – P. 46617–46629. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2866792.
19. Ancuti C. O., Ancuti C., De Vleeschouwer C., Sbert M. Color Channel Compensation (3C): A Fundamental Pre-Processing Step for Image Enhancement // IEEE Transactions on Image Processing. – 2020. – Vol. 29. – P. 2653–2665. doi: 10.1109/TIP.2019.2951304.
20. Аникеева И. А. Метод и алгоритм автоматической оценки качества цветопередачи цифровых аэро- и космических фотоснимков // Геодезия и картография. – 2018. – Т. 79, № 7. – С. 45–56. doi: 10.22389/0016-7126-2018-937-7-45-56.

Получено 28.07.2020

© И. А. Аникеева, 2020

FACTORS, CRITERIA AND REQUIREMENTS FOR FINE QUALITY OF AERIAL IMAGERY, OBTAINED FOR MAPPING PURPOSES

Irina A. Anikeeva

JSC «Roskartography», 45-1, Volgogradskiy Prospect, Moscow, 109316, Russia, Ph. D., Senior Researcher, phone: (499)177-50-00, e-mail: ia.anikeeva@roscartography.ru

Fine image quality assessment of aerial imagery, obtained for mapping purposes, is a relevant problem today. The purpose of this article is development the criteria system of fine image quality assessment of aerial topographic imagery and set requirements to them. The article discusses a set of factors that determine the fine image quality - natural surveying conditions, its technical and technological conditions and parameters. The article carries out the analysis of how these factors influence on aerial imagery and shows the main defects of images caused by them – such as blurring, haze, loss of information in highlights and shadows, high random noise, color disbalance. The article defines the ways for identifying these defects and assessing their influence on the fine quality of aerial imagery both visual and automatic methods. It is shown that image fine quality assessment must be carried out in terms of structural and gradation (photographic) characteristics. It is also shown that, in addition to the above characteristics, fine quality of aerial images can be influenced by random factors, the appearance of which cannot be predicted. Defects caused by these factors are revealed by operator's visual inspection. The requirements for several fine image quality criteria, which allow to establish this research phase, are given.

Keywords: aerial imagery, fine image quality, blurring, haze, loss of information in highlights and shadows, random noise, color balance, histogram, structural characteristics, gradation (photographic) characteristics

REFERENCES

1. Srivastava, G. S. (2014). *An Introduction to Geoinformatics*. McGraw-Hill Education, 278 p.
2. Kuchko, A. S. (1974). *Aerofotografiya. Osnovy i metrologiya [Aerial photography. Fundamentals and Metrology]*. Moscow: Nedra Publ., 272 p. [in Russian].
3. Anikeeva, I. A., & Kadnichanskiy, S. A. (2017). Evaluation of the actual resolution of digital aerial and satellite imagery using an edge profile curve. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 78(6), 25–36. doi: 10.22389/0016-7126-2017-924-6-25-36.
4. Anikeeva, I. A. (2019). The substantiation of ground sampling interval and compression options of aerial and space imagery, obtained for mapping purposes. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(2), 109–130. doi: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-109-130.
5. Chandra, A. M., & Gosh, S. K. (2008). *Distantsionnoe zondirovanie i geograficheskie informatsionnye sistemy [Remote sensing and geographic information systems]*. Moscow: Technosphere Publ., 312 p. [in Russian].
6. Khryashchev, D. A. (2011). About one method for determining the additive noise model most suitable for the analyzed digital image. *Izvestiya volgogradskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Volgograd State Technical University]*, 3(76), 24–31 [in Russian].
7. Lapshenkov, E. M. (2012). Non-reference assessment of digital image noise based on harmonic analysis. *Komp'yuternaya optika [Computer Optics]*, 36(3), 439–447 [in Russian].
8. Zotov, P. V. (2015). Digital image noise and its applied value in forensic science. *Vestnik Saratovskoy gosudarstvennoy yuridicheskoy akademii [Bulletin of the Saratov State Law Academy]*, 6(107), 175–179 [in Russian].
9. Lapshenkov, E. M. (2013). Implementation of methods for estimating the image noise in matlab. *Vestnik moskovskogo gosudarstvennogo universiteta priborostroeniya i informatiki. Seriya: priborostroenie i informatsionnye tekhnologii [Bulletin of the Moscow State University of Instrumentation and Informatics. Instrumentation and Information Technology]*, 44, 96–106 [in Russian].
10. Komar, V. G. (2000). Image quality quantitative criteria for cinematic systems assessment. *Tekhnika kino i televideniya [Film and Television Technology]*, 10 [in Russian].
11. Ghazal, M., Amer, A., & Ghayeb, A. (2006). Structure-Oriented Spatio-Temporal Video Noise Estimation. *Proc. IEEE Int. Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP)* (pp. 845–848). Toulouse, France.

12. Surin, V. A., & Tyrsin, A. N. (2016). Property research of digital noise in contrast images. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Fizika [Bulletin of Higher Educational Institutions. Physics]*, 59(8-2), 93–96 [in Russian].
13. Samoilin, E. A. (2006). Algorithms for impulse noise assessment in tasks of optical images digital filtering. *Opticheskiy zhurnal [Optical Magazine]*, 73(12), 42–46 [in Russian].
14. Miao, C. (2019). Research on denoising processing of computer video electromagnetic leakage reduction image based on fuzzy degree. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2019, Article number 9. doi: 10.1186/s13640-018-0405-4 <https://doi.org/10.1186/s13640-018-0405-4>.
15. Chen M., Zhang, H., Han, Q., & Huang, C. C. (2019). A convex nonlocal total variation regularization algorithm for multiplicative noise removal. *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, 2019, Article number: 28. doi: 10.1186/s13640-019-0410-2 <https://doi.org/10.1186/s13640-019-0410-2>.
16. Anikeeva, I. A. (2019). Estimation of the signal / noise level of aerial and space images. Retrieved from <https://www.roscartography.ru/wp-content/uploads/2019/11/rakurs-2019-anikeeva.pdf> [in Russian].
17. Ancuti, C. O., Ancuti, C., De Vleeschouwer, C., & Bekaert, P. (2018). Color Balance and Fusion for Underwater Image Enhancement. *IEEE Transactions on Image Processing*, 27(1), 379–393. doi: 10.1109/TIP.2017.2759252.
18. Hussain, M. A., & Akbari, A. S. (2018). Color Constancy Adjustment Using Sub-Blocks of the Image. *IEEE Access*, 6, 46617–46629. doi: 10.1109/ACCESS.2018.2866792.
19. Ancuti, C. O., Ancuti, C., De Vleeschouwer, C., & Sbert, M. (2020). Color Channel Compensation (3C): A Fundamental Pre-Processing Step for Image Enhancement. *IEEE Transactions on Image Processing*, 29, 2653–2665. doi: 10.1109/TIP.2019.2951304.
20. Anikeeva, I. A. (2018). Method and algorithm of automatic color rendition quality assessment of digital aerial and space photos. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 79(7), 45–56. doi: 10.22389/0016-7126-2018-937-7-45-56 [in Russian].

Received 28.07.2020

© I. A. Anikeeva, 2020