

КАРТОГРАФИЯ И ГЕОИНФОРМАТИКА

УДК 004.92:528.9

DOI: 10.33764/2411-1759-2019-24-2-109-130

ОБОСНОВАНИЕ ДОПУСТИМЫХ РАЗМЕРОВ ПИКСЕЛЯ НА МЕСТНОСТИ И ПАРАМЕТРОВ СЖАТИЯ АЭРО- И КОСМИЧЕСКИХ ИЗОБРАЖЕНИЙ, ПОЛУЧАЕМЫХ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ КАРТОГРАФИРОВАНИЯ

Ирина Александровна Аникеева

ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», 125413, г. Москва, ул. Онежская, 26, кандидат технических наук, начальник отдела аэрокосмосъемки и фотограмметрии, тел. (495)456-91-11, e-mail: anikeeva_ia@nsdi.rosreestr.ru

Поднимается проблема отсутствия нормативной регламентации требований к материалам аэро- и космической съемки, получаемым для целей картографирования. Рассматриваются вопросы обоснования допустимых размеров пикселя на местности аэро- и космических изображений и возможности применения алгоритмов сжатия изображения с потерей информации и его допустимого уровня для увеличения производительности процессов фотограмметрической обработки. Для обоснования допустимых размеров пикселя на местности аэро- и космических изображений приведены результаты исследований точности определения плановых координат контрольных точек на ортофотоплане с различным размером пикселя на местности, передаточных свойств ортофотопланов с различным размером пикселя на местности в части определения фактической разрешающей способности, рассчитан линейный размер изображения объекта местности, передающегося внемасштабным условным знаком для различных масштабов картографирования, проведена аналитическая оценка возможности применения материалов аэро- и космических съемок с разным размером пикселя на местности для картографирования различных масштабов. Для определения возможности применения алгоритмов сжатия изображения с потерей информации и его допустимого уровня к аэро- и космическим изображениям, получаемым для целей картографирования, выполнена оценка влияния коэффициента сжатия на точность определения плановых координат контрольных точек на ортофотоплане, оценка степени потери полезной информации на изображении в зависимости от коэффициента сжатия, оценка влияния коэффициента сжатия на фактическую разрешающую способность изображения, приведено обоснование возможности применения алгоритмов сжатия изображения с потерей информации и его допустимого уровня к аэро- и космическим снимкам с различным размером пикселя на местности.

Ключевые слова: размер пикселя на местности, сжатие изображения, точность определения плановых координат, фактическая разрешающая способность, материалы аэро- и космических съемок, потеря информации на изображении, контрольные точки, ортофотоплан, масштаб картографирования.

Введение

Допустимый размер пикселя на местности изображений, получаемых для целей картографирования, в настоящее время нормативной документацией не регламентирован.

Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов (ГКИНП (ГНТА)-02-036-02) [1] регламентирует величину элемента геометрического разрешения для *сканирования аналоговых снимков*. Величина элемента разрешения для обеспечения точности определения *плановых* координат:

$$P_s = \frac{M_k}{2 \cdot M_c} \cdot V_s, \quad (1)$$

где M_k – масштаб создаваемой карты (плана); M_c – масштаб аэро- и космических снимков; V_s – точность определения плановых координат $V_s = 0.2$ мм.

Для обеспечения разрешающей способности снимка:

$$P_r = \frac{0.4}{R}, \quad (2)$$

где R – разрешающая способность исходного снимка, $R \sim 30\text{--}40$ мм [1, 2].

В настоящее время активно обсуждается документ, предназначенный для того, чтобы заменить Инструкцию по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов (ГКИНП (ГНТА)-02-036-02). Это проект Требований к технологическим процессам выполнения фотограмметрических работ и их результатам при создании топографических карт и планов, регламентирующий рекомендуемый и максимальный допустимый размеры пикселя на местности, выдержки из которого даны в табл. 1.

Таблица 1

Рекомендуемый и максимальный допустимый размеры пикселя на местности для различных масштабов картографирования

Масштаб топографического плана или карты	Рекомендуемый размер пикселя на местности с учетом дешифрирования, см	Максимальный допустимый размер пикселя на местности для ортотрансформирования, см
1 : 2 000	14	18
1 : 10 000	35	70
1 : 25 000	50	100

Проект документа планируется для использования исполнителями работ по аэрофототопографической съемке, выполняемой для создания государствен-

ных топографических планов масштаба 1 : 2 000 и государственных топографических карт масштабов 1 : 10 000 и 1 : 25 000.

Рекомендуемые в проекте Требований размеры пикселя на местности изображений, получаемых для целей картографирования, подтверждены и другими расчётами (табл. 2) [2].

Таблица 2

Размер пикселя на местности в зависимости от масштаба карты (плана)

Масштаб карты (плана)	Номинально рекомендуемый размер пикселя, м	Максимально допустимый размер пикселя, м
1 : 500	0.07	0.09
1 : 1 000	0.11	0.14
1 : 2 000	0.17	0.22
1 : 5 000	0.33	0.42
1 : 10 000	0.45	0.60
1 : 25 000	0.80	1.00

В то же время в рамках выполнения работ по исследовательским испытаниям аэрофотосъёмочных комплексов на базе беспилотных летательных аппаратов (БЛА) [3–6] были получены результаты, позволяющие использовать аэрофотоснимки с размером пикселя на местности 17 см для создания ортофотопланов масштаба 1 : 500 (рис. 1).

Метрологическое качество, показатель	Высота фотогра- фирования (Нф), м	Значение показателя		Комментарий
		метр	относительная к Нф	
Наименьший размер объекта местности, который может быть отображен на снимке	900	0,198	1,16	Характеризует фактическую разрешающую способность аэрофотоснимков
Средняя погрешность определения планового положения маркированных контрольных точек уравниваемого блока фотограммуляции	900	0,110	1:8200	Характеризует точность фотограмметрических определений координат надежно опознаваемых четких контуров по перекрывающимся снимкам блока
Средняя погрешность определения высоты маркированных контрольных точек уравниваемого блока фотограммуляции	900	0,155	1:5800	
Средняя погрешность определения высот маркированных контрольных точек цифровой модели рельефа	900	0,493	1:1800	Характеризует точность цифровой модели рельефа
Средняя погрешность определения планового положения маркированных контрольных точек на ортофотоплане	900	0,214	1:4200	Характеризует точность ортофотоплана
Средняя квадратическая погрешность определения планового положения немаркированных точек границ объектов невидимости	900	0,191	1:4700	Характеризует точность фотограмметрических определений положения характерных точек границ объектов невидимости

Указанные метрологические качества (характеристики) установлены для следующих эксплуатационных параметров комплекса и условий испытаний:

Эксплуатационные параметры и условия испытаний	Значение показателя
Требуемая плотность опорных точек	Опорные точки не требуются
Количество маркированных контрольных точек:	118
Продольное перекрытие аэрофотоснимков (номинальное при проецировании АФС)	70%
Поперечное перекрытие аэрофотоснимков (номинальное при проецировании АФС)	60%
Скорость ветра допустимая	10 м/с на старте, 20 м/с в воздухе
Количество базовых станций	3
Удаление от базовой станции	3 км

Рекомендации

На основании полученных значений метрологических показателей (характеристик) можно утверждать, что данный программно-аппаратный комплекс цифровой аэрофотосъемки (АФС) и фотограмметрической обработки при значениях указанных выше эксплуатационных параметров (величины) и условий использования:

- создавать ортофотопланы, удовлетворяющие требованиям к точности планов масштаба 1:500 и мельче, при высоте фотографирования 900 м,
- создавать цифровые модели местности (поверхности) и цифровые модели рельефа (для открытых территорий) с точностью высот, характеризуемой средней погрешностью не более 0.5 м для высоты фотографирования 900 м,
- определять координаты маркированных характерных точек границ земельных участков на открытой местности, не застроенных заборами, ограждениями или иными возвышающимися над землей сооружениями, для всех категорий земель и разрешенных использования земельных участков, кроме земельных участков, отнесенных к землям населенных пунктов, фотограмметрическим методом в соответствии с требованиями Приказа Минэкономразвития России от 01.03.2016 N 90 "Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения и помещений" (далее – Приказ) при высоте фотографирования 900 м.

— создавать ортофотопланы, удовлетворяющие требованиям к точности планов масштаба 1:500 и мельче, при высоте фотографирования 900 м,

Рис. 1. Фрагмент акта, выдаваемого ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» по результатам исследовательских испытаний программно-аппаратного комплекса цифровой аэрофотосъемки и фотограмметрической обработки

Вопрос возможности применения сжатия с потерей информации к изображениям, получаемым для создания ортофотопланов, возник в связи со случаями представления к сдаче в Федеральный фонд пространственных данных (ФФПД) материалов некондиционного фотографического качества. Потеря качества стала следствием того, что для ускорения процессов фотограмметрической обработки ортофотопланы были сжаты с большим коэффициентом потери информации [7–9]. Впоследствии метка о сжатии была удалена и материалы предоставлялись в ФФПД как несжатые, хотя дешифровочное качество их было потеряно (рис. 2).



Рис. 2. Фрагменты ортофотопланов масштаба 1 : 25 000 некондиционного дешифровочного качества в результате сжатия, передаваемые для хранения в ФФПД, размер пикселя на местности – 2.1 м

Предъявлять претензии к качеству [10–11] передаваемых данных в таких случаях формально очень сложно, поскольку нормативное регулирование возможности применения алгоритмов сжатия изображения с потерей информации (JPEG, ДИКМ) и его допустимого уровня для увеличения производительности процессов фотограмметрической обработки отсутствует.

Цели и задачи исследования

Исследование проводилось с целью получения ответа на два вопроса.

Первый – это обоснование допустимых размеров пикселя на местности аэро- и космических изображений, получаемых для целей картографирования различных масштабов. Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

- оценка точности определения плановых координат контрольных точек на ортофотоплане с различным размером пикселя на местности;
- оценка передаточных свойств ортофотопланов с различным размером пикселя на местности в части определения фактической разрешающей способности;
- оценка линейного размера изображения объекта местности, передающегося внемасштабным условным знаком в зависимости от масштаба картографирования;
- оценка возможности применения материалов аэро- и космических съемок с разным размером пикселя на местности для целей картографирования различных масштабов.

Вторым вопросом было определение возможности применения алгоритмов сжатия изображения с потерей информации (JPEG, ДИКМ) и его допустимого уровня для увеличения производительности процессов фотограмметрической обработки. В рамках достижения данной цели были решены *задачи*:

- оценка влияния коэффициента сжатия на точность определения плановых координат контрольных точек на ортофотоплане;
- оценка степени потери полезной информации в части изображения объектов местности и их частей (наличие/отсутствие) на ортофотоплане в зависимости от коэффициента сжатия;
- оценка влияния коэффициента сжатия на фактическую разрешающую способность изображения;
- оценка возможности применения алгоритмов сжатия изображения с потерей информации и его допустимого уровня к аэро- и космическим снимкам с различным размером пикселя на местности.

Методы и материалы

В качестве материалов для исследования были созданы ортофотопланы [12, 13] на территорию Заокского геополигона МИИГАиК (рис. 3). Измеренные по ортофотоплану координаты контрольных точек (маркированных и немаркированных) сравнивались с каталогом эталонных координат, полученных путем высокоточных спутниковых определений.

Ортофотопланы были созданы с различным размером пикселя на местности [14–16] и с различным коэффициентом сжатия. Таким образом, для исследования было создано 100 ортофотопланов (табл. 3). Чем меньше коэффициент сжатия, тем больше потеря информации на изображении, т. е. при сжатии с коэффициентом 90 потери информации минимальны, а при сжатии 10 соответственно максимальны.

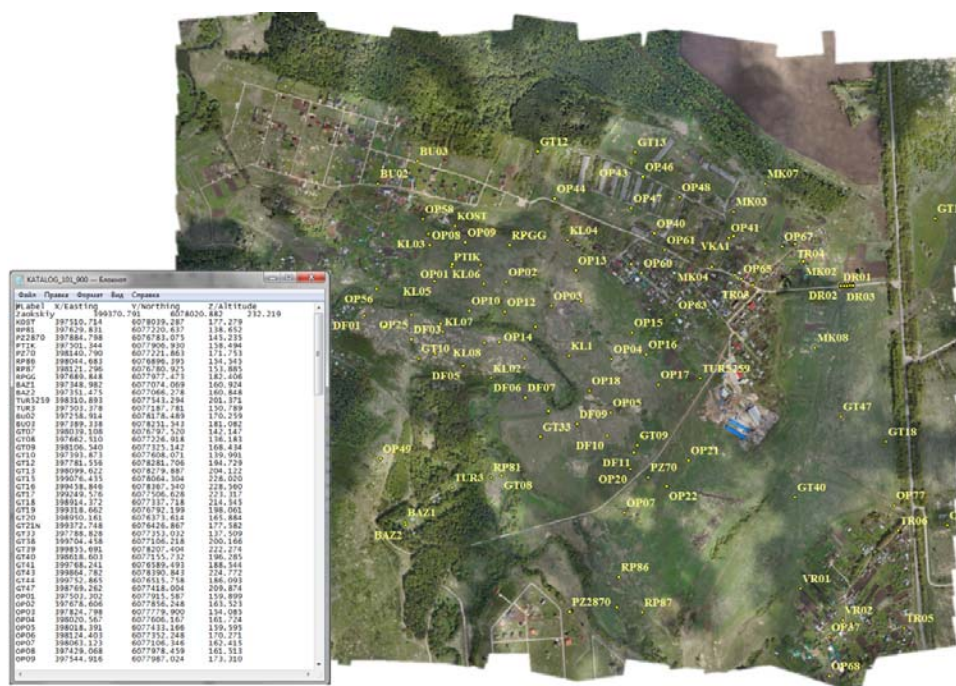


Рис. 3. Ортофотоплан на территорию Заокского геополгона МИИГАиК и фрагмент каталога эталонных координат контрольных точек

Таблица 3

Характеристики ортофотопланов в части размера пикселя на местности и коэффициента сжатия JPEG

Размер пикселя на местности, м	Коэффициент сжатия									
	-	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0.035	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.07	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
0.17	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
0.33	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
0.45	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
0.80	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП
	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
1.00	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП
	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
1.50	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП	ОФП
	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80

Размер пикселя на местности, м	Коэффициент сжатия									
	-	90	80	70	60	50	40	30	20	10
2.00	ОФП 81	ОФП 82	ОФП 83	ОФП 84	ОФП 85	ОФП 86	ОФП 87	ОФП 88	ОФП 89	ОФП 90
2.50	ОФП 91	ОФП 92	ОФП 93	ОФП 94	ОФП 95	ОФП 96	ОФП 97	ОФП 98	ОФП 99	ОФП 100

Один цикл измерений заключался в измерении контрольных точек на ортофотоплане с заданным размером пикселя на местности и заданным коэффициентом сжатия. Всего было выполнено 100 циклов измерений (по числу ортофотопланов). Число контрольных точек в одном цикле измерений составляло до 113. В общей сложности было выполнено 5 579 измерений контрольных точек.

Оценка точности результатов измерений производилась только в части оценки точности *планового* положения контрольных точек на ортофотоплане. Характеристикой точности планового положения служит величина ΔS , определяемая по формуле

$$\Delta S = \sqrt{\Delta X^2 + \Delta Y^2}, \quad (3)$$

где ΔX и ΔY – среднее абсолютное отклонение значений плановых координат, полученных в результате измерений на ортофотоплане, от значений из каталога.

Результаты

Результаты оценки точности определения плановых координат контрольных точек на ортофотоплане с различным размером пикселя на местности приведены в табл. 4 и на рис. 4.

Таблица 4

Оценка точности определения плановых координат контрольных точек на ортофотоплане с различным размером пикселя на местности

Размер пикселя на местности, м	ΔS , м
0.035	0.06
0.07	0.08
0.17	0.18
0.33	0.23
0.45	0.25
0.80	0.43
1.00	0.43
1.50	0.78
2.00	0.76
2.50	–

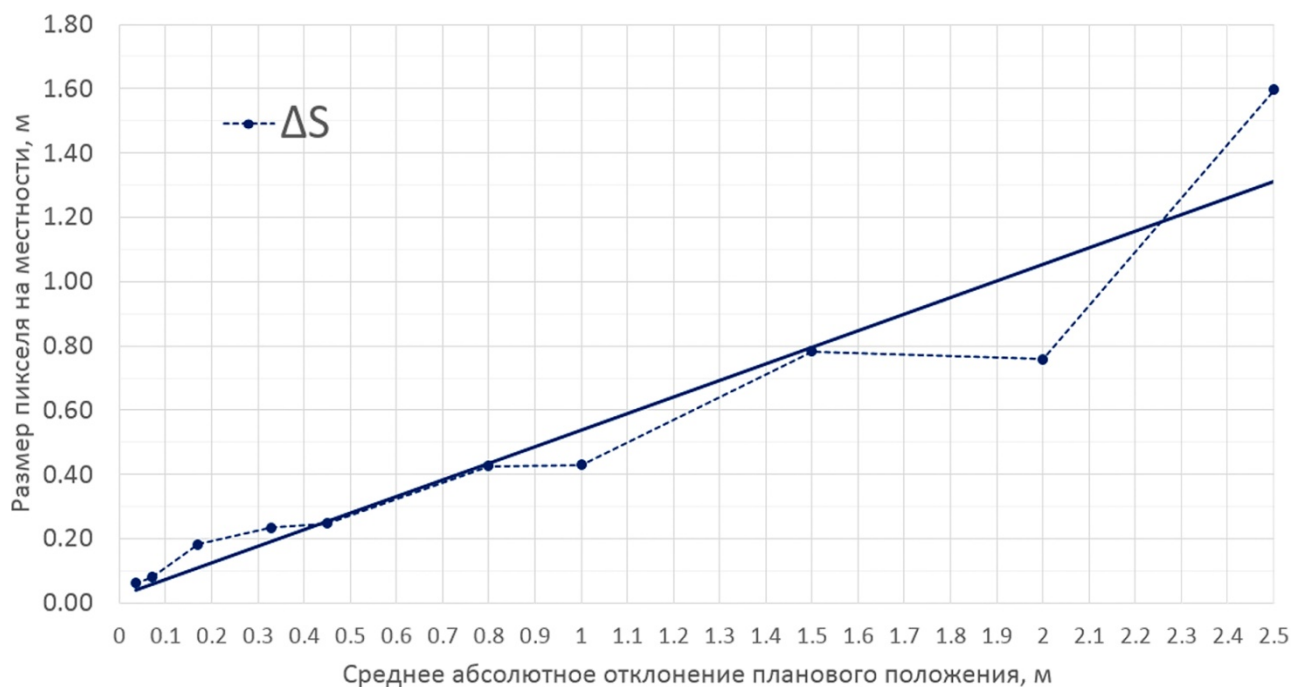


Рис. 4. График зависимости точности планового положения ΔS контрольных точек на ортофотоплане от размера пикселя на местности

Необходимо отметить, что ортофотопланы получены по материалам аэрофотосъемки, точность привязки которых (СКО центров фотографирования) составляет порядка 1–2 см.

На основании полученных результатов по точности определения плановых координат была выполнена оценка возможности применения материалов аэро- и космических съемок с разным размером пикселя на местности для целей картографирования различных масштабов согласно требованиям Инструкции по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов (ГКИНП (ГНТА)-02-036-02) (табл. 5).

Однако для определения возможности применения материалов аэро- и космических съемок определенного пространственного разрешения для целей картографирования, наряду с возможностью определения координат, необходимо учитывать и дешифровочные характеристики снимков, имеющие одинаково важное значение при составлении и обновлении карт. Дешифровочные характеристики изображения зависят, прежде всего, от фактической разрешающей способности, т. е. линейных размеров наименьшего объекта, различимого на снимке.

Таблица 5

Возможность применения материалов аэро- и космических съемок с разным размером пикселя на местности для целей картографирования различных масштабов по точности определения плановых координат

Масштаб M_k	$(0.5 \text{ мм} \times M_k)$, m^*	Размер пикселя на местности, м									
		0.035	0.07	0.17	0.33	0.45	0.80	1.00	1.50	2.00	2.50
1 : 500	0.25	+	+	+	+	-	-	-	-	-	нет данных
1 : 1 000	0.5	+	+	+	+	+	+	+	-	-	нет данных
1 : 2 000	1.0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	нет данных
1 : 5 000	2.5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	нет данных
1 : 10 000	5.0	+	+	+	+	+	+	+	+	+	нет данных
1 : 25 000	12.5	+	+	+	+	+	+	+	+	+	нет данных

*Расхождения по опорным и контрольным точкам на ортофотоплане.

Оценка фактической разрешающей способности исследуемых ортофотопланов выполнялась двумя способами – по расположенной на тестовом полигоне радиальной мере (рис. 5, а) и по пограничным переходам [17].

По радиальной мере определялась ширина штриха R , который передается раздельно на изображении:

$$R = \frac{\pi \cdot D}{2 \cdot n}, \quad (4)$$

где D – диаметр кружка нерезкости (измеряется на снимке/ортофотоплане); n – число сегментов радиальной меры ($n = 8$).

Оценка фактической разрешающей способности по пограничным переходам выполнялась с использованием специализированного программного обеспечения, реализующего методику, разработанную специалистами ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» (рис. 5, б). Детали такой методики описаны в [17].



Рис. 5. Оценка фактической разрешающей способности изображения:
 а) по радиальной мире; б) по пограничным переходам

Результаты оценки передаточных свойств ортофотопланов с различным размером пикселя на местности в части определения фактической разрешающей способности двумя способами приведены в табл. 6. Следует отметить, что при определении разрешающей способности по мире результат носит субъективный характер, связанный с особенностями зрительного восприятия оператора.

Таблица 6

Результаты оценки передаточных свойств ортофотопланов с различным размером пикселя на местности в части определения фактической разрешающей способности

Размер пикселя на местности	Разрешающая способность R				
	по мире		по пограничным переходам		
м	м	пикс.	X , пикс.	Y , пикс.	S , пикс.
0.035	не обеспечено параметрами миры		1.08	1.02	1.49
0.07	0.129	1.84	1.07	1.05	1.50
0.17	0.253	1.49	1.22	1.25	1.75
0.33	0.481	1.46	1.2	1.25	1.73
0.45	0.555	1.23	1.05	1.08	1.51
0.80	1.117	1.40	1.1	1.14	1.58
1.00	1.319	1.32	1.05	1.05	1.48
1.50	1.993	1.33	1.21	1.24	1.73
2.00	2.768	1.38	1.07	1.09	1.53
2.50	3.588	1.44	1.35	1.36	1.92
Среднее:		1.43			1.62

Далее выполним оценку линейного размера изображения объекта местности, передающегося немасштабным условным знаком в зависимости от масштаба картографирования. Из анализа условных знаков для топографических карт и планов [18–20] установлено, что немасштабными условными знаками на карте отображаются объекты, размеры которых меньше 1 мм в масштабе карты (плана).

Линейный размер изображения немасштабного объекта L (пикс.) с учетом разрешающей способности снимка/ортофотоплана определяется по формуле

$$L = \frac{1 \text{ мм} \cdot M_k}{pxl \cdot R}, \quad (5)$$

где M_k – знаменатель масштаба карты (плана); pxl – размер пикселя на местности, м; R – разрешающая способность снимка/ортофотоплана (пикс.).

В табл. 7 приведены результаты расчета линейного размера изображения объекта местности, передающегося немасштабным условным знаком в зависимости от масштаба картографирования.

Таблица 7

Линейный размер изображения объекта местности, передающегося немасштабным условным знаком в зависимости от масштаба картографирования

Масштаб M_k	$1 \text{ мм} \times M_k$ м	Размер пикселя на местности L , м									
		0.035	0.07	0.17	0.33	0.45	0.8	1.0	1.5	2.0	2.5
1 : 500	0.5	8.85	4.43	1.82	0.94	0.69	-	-	-	-	-
1 : 1 000	1	17.70	8.85	3.64	1.88	1.38	0.77	-	-	-	-
1 : 2 000	2	35.40	17.70	7.29	3.75	2.75	1.55	1.24	0.83	-	-
1 : 5 000	5	88.51	44.26	18.22	9.39	6.88	3.87	3.10	2.07	1.55	1.24
1 : 10 000	10	177.02	88.51	36.45	18.77	13.77	7.74	6.20	4.13	3.10	2.48
1 : 25 000	25	442.55	221.28	91.11	46.94	34.42	19.36	15.49	10.33	7.74	6.20
		Линейный размер изображения немасштабного объекта с учетом разрешающей способности снимка/ортофотоплана, пикс.									
> 1 пикс.	Точечные объекты в масштабе карты (плана) не отобразятся на снимке.										
1–2 пикс.	Точечные объекты в масштабе карты (плана) отобразятся точками на снимке.										
3–5 пикс.	Точечные объекты в масштабе карты (плана) дешифрируются неуверенно.										
< 5 пикс.	Точечные объекты в масштабе карты (плана) дешифрируются.										

Путем интерполяции результатов проведенных измерительных и аналитических работ получена табл. 8.

Таблица 8

Аналитическая оценка возможности применения материалов аэро- и космических съемок с разным размером пикселя на местности для целей картографирования различных масштабов в части дешифрирования

Масштаб M_K	$1\text{мм} \times M_K$, м	Размер пикселя на местности L , м																		
		0.01	0.05	0.1	0.15	0.2	0.25	0.3	0.35	0.4	0.45	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0	1.5	2.0	2.5
1 : 500	0.5 × 0.5	11 × 11	6 × 6	3 × 3	2 × 2	1 × 1	1 × 1	1 × 1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1 : 1 000	1 × 1	22 × 22	13 × 13	7 × 7	4 × 4	3 × 3	2 × 2	2 × 2	1 × 1	1 × 1	1 × 1	1 × 1	1 × 1	-	-	-	-	-	-	-
1 : 2 000	2 × 2	45 × 45	27 × 27	14 × 14	9 × 9	6 × 6	5 × 5	4 × 4	3 × 3	3 × 3	2 × 2	2 × 2	2 × 2	1 × 1	1 × 1	1 × 1	1 × 1	-	-	-
1 : 5 000	5 × 5			36 × 36	23 × 23	16 × 16	13 × 13	11 × 11	8 × 8	7 × 7	6 × 6	6 × 6	5 × 5	4 × 4	3 × 3	3 × 3	3 × 3	2 × 2	1 × 1	1 × 1
1 : 10 000	10 × 10				46 × 46	33 × 33	27 × 27	22 × 22	17 × 17	15 × 15	13 × 13	12 × 12	11 × 11	9 × 9	7 × 7	6 × 6	6 × 6	4 × 4	3 × 3	2 × 2
1 : 25 000	25 × 25								44 × 44	39 × 39	34 × 34	32 × 32	27 × 27	23 × 23	19 × 19	17 × 17	15 × 15	10 × 10	7 × 7	6 × 6
		Размер изображения немасштабного объекта с учетом разрешающей способности снимка/ортофотоплана, пикс.																		
> 1 пикс.		Точечные объекты в масштабе карты (плана) не отобразятся на снимке.															Невозможно			
1–2 пикс.		Точечные объекты в масштабе карты (плана) отобразятся точками на снимке.															Невозможно			
3–5 пикс.		Точечные объекты в масштабе карты (плана) дешифрируются не уверенно.															Возможно на пределе разрешения			
< 5 пикс.		Точечные объекты в масштабе карты (плана) дешифрируются.															Возможно			

Табл. 9 является итоговой таблицей возможности применения аэро- и космических изображений с разным размером пикселя на местности для целей картографирования различных масштабов в части дешифрирования. Как видно из табл. 9, полученный результат согласуется с нормативами, приведенными в Стандарте геометрической точности ASPRS для цифровых геопространственных данных [21].

Таблица 9

Сравнение полученных результатов со Стандартом геометрической точности ASPRS для цифровых геопространственных данных

Масштаб	Размер пикселя на местности, м	
	расчетный для дешифрирования точечных объектов	по Стандарту геометрической точности ASPRS*
1 : 500	< 0.10	0.063
1 : 1 000	< 0.15	0.13
1 : 2 000	< 0.25	0.25
1 : 5 000	< 0.60	0.61
1 : 10 000	< 1.00	0.89
1 : 25 000	< 2.50	2.08

*Цифры получены путем интерполяции для приведения к нужному масштабу картографирования данных таблицы B.4 [21] Examples on Horizontal Accuracy for Digital Orthoimagery Interpreted from ASPRS 1990 Legacy Standard.

Второй вопрос исследования посвящен возможности применения алгоритмов сжатия изображения с потерей информации (JPEG, ДИКМ) и его допустимого уровня для увеличения производительности процессов фотограмметрической обработки.

В табл. 10 и на рис. 6 приведены результаты оценки влияния сжатия изображения на точность определения координат контрольных точек по ортофотоплану.

Таблица 10

Оценка влияния коэффициента сжатия на точность определения плановых координат контрольных точек на ортофотоплане

Размер пикселя на местности, м	Сжатие изображения									
	нет	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0.035	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.06
0.07	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08	0.09	0.08
0.17	0.18	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.19	0.20	0.19	0.22

Размер пикселя на местности, м	Сжатие изображения									
	нет	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0.33	0.23	0.23	0.23	0.24	0.25	0.26	0.25	0.28	0.31	0.39
0.45	0.25	0.26	0.27	0.28	0.30	0.28	0.30	0.32	0.34	0.37
0.80	0.43	0.43	0.50	0.54	0.53	0.52	0.54	0.47	0.40	-
1.00	0.43	0.52	0.57	0.57	0.60	0.66	0.70	0.93	-	-
1.50	0.78	0.75	0.82	0.99	1.09	1.15	1.09	-	-	-
2.00	0.76	0.94	1.10	-	-	-	-	-	-	-
2.50	-	не видны контрольные точки								-
Среднее абсолютное отклонение планового положения, м										
Сжатие не оказывает влияния на точность измерений.										
Сжатие ухудшает точность измерений.										

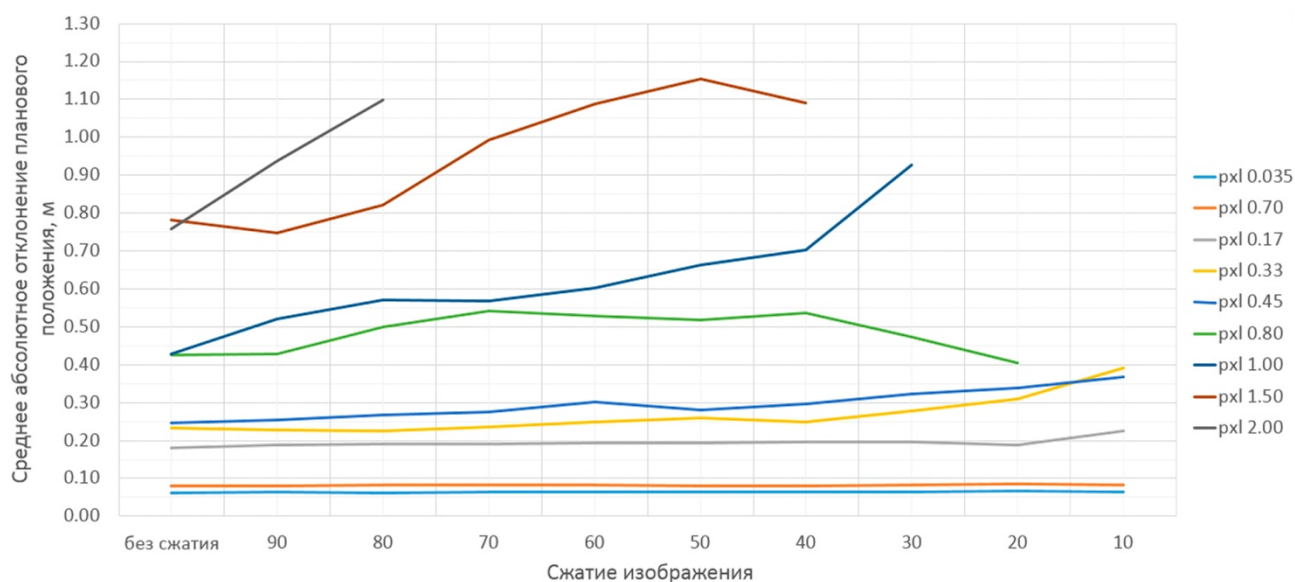


Рис. 6. Графики изменения точности определения плановых координат по ортофотоплану в зависимости от размера пикселя на местности и коэффициента сжатия изображения

Степень потери полезной информации в зависимости от коэффициента сжатия изображения оценивалась по числу опознаваемых контрольных точек по сравнению с несжатым ортофотопланом. Результаты оценки приведены в табл. 11 и на рис. 7.

Таблица 11

Оценка степени потери полезной информации в части отображения объектов местности и их частей (наличие/отсутствие) на ортофотоплане в зависимости от коэффициента сжатия

Размер пикселя на местности, м	Сжатие изображения									
	нет	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0.035	73	73	73	73	73	73	73	73	73	73
0.07	88	88	88	88	88	88	88	88	88	87
0.17	113	113	113	113	113	113	113	113	113	85
0.33	109	107	107	106	104	102	99	89	80	41
0.45	104	104	103	102	100	98	90	74	45	20
0.80	78	78	74	65	51	45	36	26	13	6
1.00	65	64	53	44	35	30	22	15	8	0
1.50	41	39	31	24	21	14	12	9	5	0
2.00	20	20	17	8	5	2	0	0	0	0
2.50	-	не	вид	ны	конт	роль	ные	точ	ки	-
Число измеренных контрольных точек										
Сжатие не вызывает потери полезной информации.										
Сжатие вызывает потерю полезной информации.										

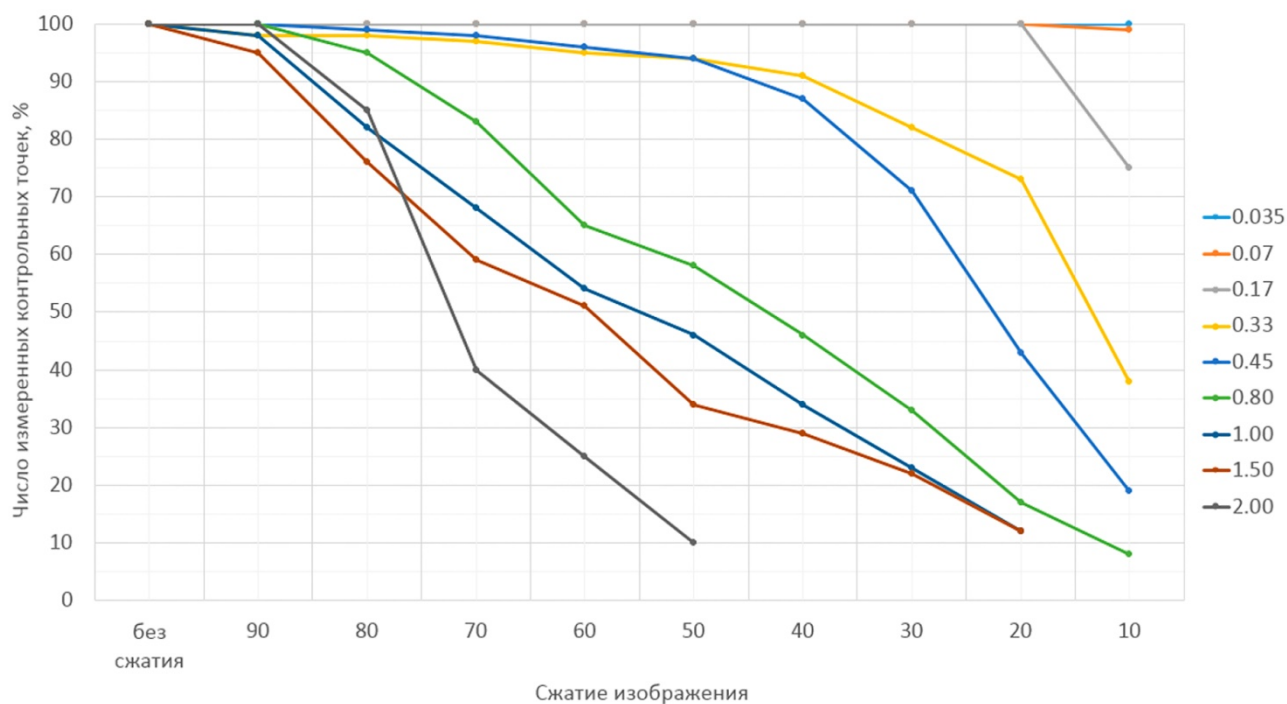


Рис. 7. Графики зависимости числа измеренных контрольных точек при различных коэффициентах сжатия изображения в процентах

Из табл. 10, 11 и рис. 6, 7 видно, что при размере пикселя на местности до 17 см даже большой коэффициент сжатия не вызывает ухудшение точности измерений плановых координат и потерю полезной информации.

Для оценки влияния коэффициента сжатия на фактическую разрешающую способность изображения применялся метод пограничных переходов. Результаты приведены в табл. 12 и на рис. 8.

Таблица 12

Оценка влияния коэффициента сжатия на фактическую разрешающую способность изображения

Размер пикселя на местности, м	Сжатие изображения									
	нет	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0.17	1.75	1.75	1.73	1.75	1.73	1.71	1.75	1.76	1.69	1.74
0.33	1.73	1.68	1.58	1.61	1.57	1.70	1.64	1.65	1.73	1.61
0.45	1.51	1.48	1.51	1.51	1.52	1.52	1.52	1.52	1.53	1.53
0.80	1.58	1.58	1.58	1.66	1.60	1.61	1.62	1.65	1.65	1.58
1.00	1.48	1.47	1.49	1.55	1.52	1.54	1.55	1.59	1.53	1.56
1.50	1.73	1.73	1.70	1.75	1.78	1.74	1.72	1.76	1.75	1.75
2.00	1.53	1.53	1.53	1.56	1.51	1.56	1.60	1.58	1.59	1.58
2.50	1.92	1.90	1.90	1.88	1.91	1.93	1.99	1.94	1.92	1.94
Фактическая разрешающая способность, пикс.										

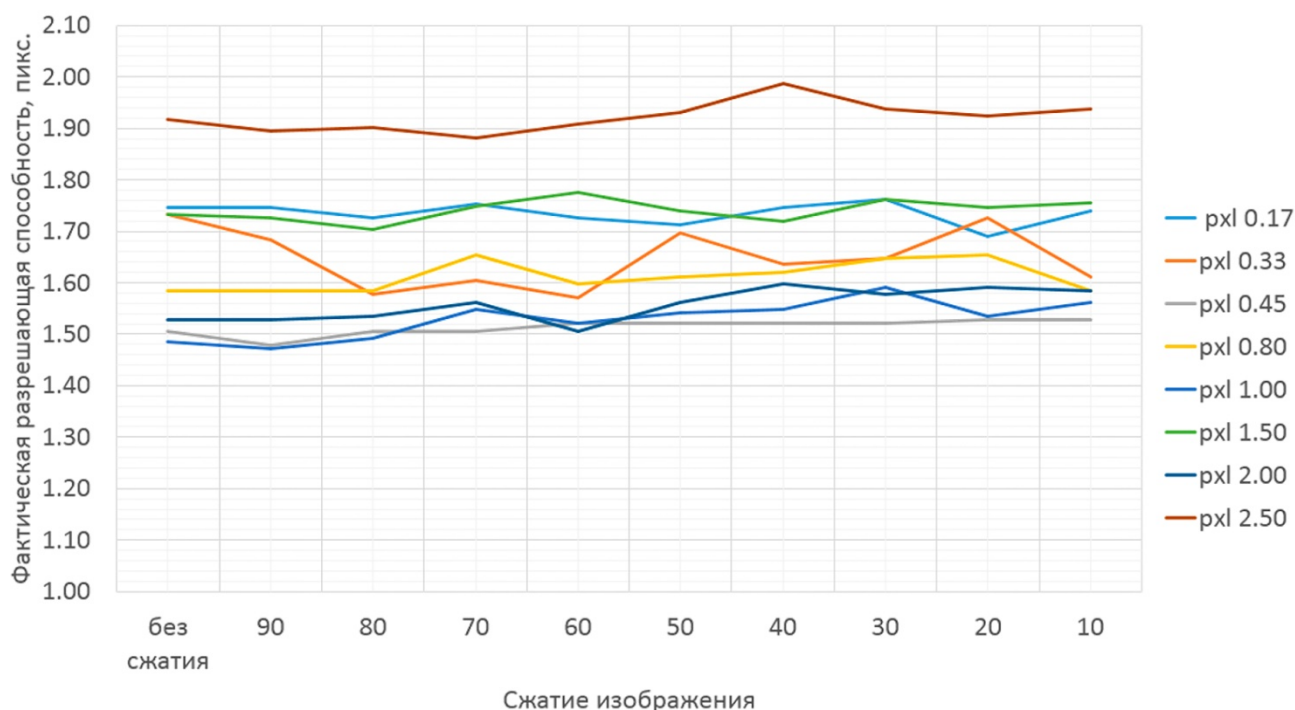


Рис. 8. Графики зависимости разрешающей способности изображения от коэффициента сжатия

Как видно из табл. 12 и рис. 8, сжатие не влияет на фактическую разрешающую способность изображения, однако оказывает влияние на дешифровочные его свойства, вызывая искажения – так называемые артефакты сжатия (рис. 9).



Рис. 9. Влияние коэффициента сжатия на дешифровочное качество изображения (при неизменной фактической разрешающей способности на изображении появляются артефакты сжатия)

На рис. 10 проиллюстрировано, что при малом размере пикселя на местности даже применение сжатия с большим коэффициентом потери информации не оказывает существенного влияния на дешифровочные свойства изображения. С увеличением размера пикселя на местности сжатие начинает оказывать закономерно более существенное влияние.

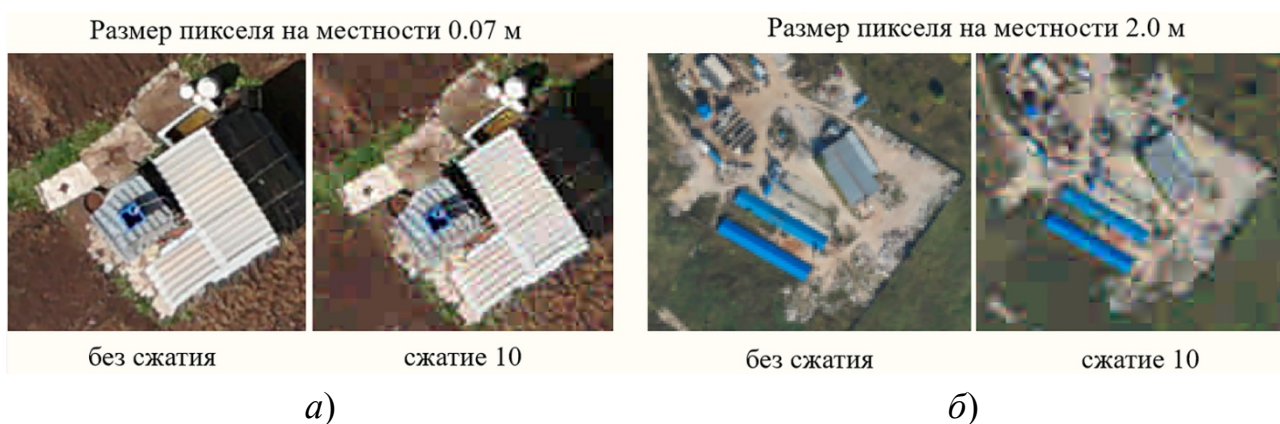


Рис. 10. Влияние сжатия на дешифровочное качество изображений:

- а) даже большой коэффициент сжатия не оказывает критичного влияния;
- б) сжатие оказывает сильное влияние

Обобщая вышесказанное, можно сделать вывод о возможности применения алгоритмов сжатия изображения с потерей информации и его допустимого уровня к аэро- и космическим снимкам с различным размером пикселя на местности. Табл. 13 содержит соответствующими рекомендации.

Таблица 13

Рекомендации относительно применения алгоритмов сжатия изображения с потерей информации

Размер пикселя на местности, м	Сжатие изображения									
	нет	90	80	70	60	50	40	30	20	10
0.035		+	+	+	+	+	+	+	+	-
0.07		+	+	+	+	+	+	+	+	-
0.17		+	+	+	+	+	+	+	+	-
0.33		-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.45		-	-	-	-	-	-	-	-	-
0.80		-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.00		-	-	-	-	-	-	-	-	-
1.50		-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.00		-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.50		-	-	-	-	-	-	-	-	-
+	Допустимо применение сжатия изображения.									
-	Сжатие изображения недопустимо.									

Выводы

1. Обоснование допустимых размеров пикселя на местности аэро- и космических изображений, получаемых для целей картографирования, является сложной задачей, требующей принципиально нового подхода к ее решению:

– цифровые аэро- и космические снимки должны рассматриваться как самостоятельный вид пространственных данных, и требования к ним следует предъявлять в соответствии с их возможностями, с учетом развития цифровых технологий, а не основываясь на переложении требований с материалов аналоговой фотосъемки;

– размер пикселя на местности аэро- и космических изображений, получаемых для целей картографирования, должен определяться минимальными размерами немасштабных объектов, регламентируемых к отображению на карте (плане) соответствующего масштаба, с учетом оптимизации затрат на производство аэро- и космической съемки и обработки ее результатов;

– для каждого масштаба картографирования необходимо определить состав и минимальные размеры таких объектов.

2. Применение сжатия изображений с потерей информации (JPEG, ДИКМ) неоднозначно сказывается на фотографическом и фотограмметрическом качестве снимков и очень связано с их пространственным разрешением (размером пикселя на местности). В ходе исследования была установлена возможность применения сжатия изображений к материалам аэро- и космической съемки;

– применение алгоритмов сжатия изображения с потерей информации (до уровня 20) допускается к изображениям с размером пикселя на местности не более 0.17 м, поскольку в данном случае оно не оказывает влияния на точность определения плановых координат объектов местности и не влечет потери полезной информации;

– при размере пикселя изображения на местности более 0.17 м, сжатие изображения оказывает влияние на точность определения плановых координат и влечет за собой потерю полезной информации, в связи с этим применение сжатия для этих изображений при их использовании для целей картографирования недопустимо.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. ГКИНП (ГНТА)-02-036-02. Инструкция по фотограмметрическим работам при создании цифровых топографических карт и планов. – М. : ЦНИИГАиК, 2002. – 48.
2. Кадничанский С. А. Сравнительный анализ материалов цифровой АФС и космической съемки для создания и обновления карт // *Геопрофи.* – 2009. – № 4. – С. 4–8.
3. Бабашкин Н. М., Нехин С. С. Состояние и перспективы развития топографической аэросъемки // *Геодезия и картография.* – 2015. – Спецвыпуск. – С. 107–110.
4. Береговой Д. В., Мустафин М. Г. Методика автоматизированного создания топографического плана на основе съёмки с беспилотного летательного аппарата // *Геодезия и картография.* – 2018. – Т. 79. – № 9. – С. 30–36. doi: 10.22389/0016-7126-2018-939-9-30-36.
5. Tsai H., Lin Y. C. An accelerated image matching technique for UAV orthoimage registration // *CISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.* – 2017. – Vol. 128. – P. 130–145.
6. Lightweight UAV with on-board photogrammetry and single-frequency GPS positioning for metrology applications / M. Daakir, F. Pichard, Y. Rabot, C. Thom, O. Martin and others // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.* – 2017. – Vol. 127. – P. 115–126.
7. Wallace G. K. The JPEG still picture compression standard // *IEEE Transactions on Consumer Electronics.* – 1992. – Vol. 38. – No. 1. – P. 18–34. doi: 10.1109/30.125072.
8. JPEG quantisation requires bit-shifts only / P. A. M. Oliveira, R. S. Oliveira, R. J. Cintra, F. M. Bayer, A. Madanayake // *Electronics Letters.* – 2017. – Vol. 53. – No. 9. – P. 588–590.
9. Error-free computation of 8-point discrete cosine transform based on the Loeffler factorisation and algebraic integers / D. F. G. Coelho, R. J. Cintra, S. Kulasekera, A. Madanayake, V. S. Dimitrov // *Signal Processing IET.* – 2016. – Vol. 10. – No. 6. – P. 633–640.
10. Комаров А. И. Оценка качества аэрокосмической информации: проблемы и пути их решения // *Геодезия и картография.* – 2010. – Т. 71. – № 6. – С. 47–50.
11. Yang B., Kim M., Madden M. Assessing optimal image fusion methods for very high spatial resolution satellite images to support coastal monitoring // *GIScience and Remote Sensing.* – 2012. – Vol. 49. – No. 5. – P. 687–710.
12. Алябьев А. А. Картографирование городских территорий, проблемы и решения // *Геодезия и картография.* – 2015. – Спецвыпуск. – С. 2–4.
13. Cheng G., Han J. A survey on object detection in optical remote sensing images // *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing.* – 2016. – Vol. 117. – P. 11–28.
14. Мышляев В. А. Влияние измерительных и изобразительных свойств космических снимков на масштаб создаваемых по ним ортофотопланов // *Геодезия и картография.* – 2014. – № 6. – С. 50–54. doi: 10.22389/0016-7126-2014-888-6-50-54.
15. Мышляев В. А., Воронов Г. Б. Изобразительные свойства космических снимков и их влияние на масштаб создаваемых ортофотопланов // *Геодезия и картография.* – 2012. – № 12 (спецвыпуск). – С. 109–111.

16. Syed S. A., Iqbal M. Z., Riaz M. M. Describing contrast across scales // ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing. – 2017. – Vol. 128. – P. 326–337.
17. 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.
18. ГКИНП-02-049-86. Условные знаки для топографических планов масштабов 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 и 1 : 500. – М. : ФГУП «Картгеоцентр», 2004. – 286 с.
19. Условные знаки для топографической карты масштаба 1 : 10 000. – М. : Недра, 1977. – 143 с.
20. ГКИНП-02-047-83. Условные знаки для топографических карт масштабов 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000. – М. : ВТУ ГШ, 1983. – 90 с.
21. ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data // Photogrammetric Engineering & Remote Sensing – 2015. – vol. 81. – No. 3. – P. A1–A26. doi: 10.14358/PERS.81.3.A1-A26.

Получено 08.04.2019

© И. А. Аникеева, 2019

THE SUBSTANTIATION OF GROUND SAMPLING INTERVAL AND COMPRESSION OPTIONS OF AERIAL AND SPACE IMAGERY, OBTAINED FOR MAPPING PURPOSES

Irina A. Anikeeva

FSBI «Center of Geodesy, Cartography and SDI», 26, Onezhskaja St., Moscow, 125413, Russia, Ph. D., Head of Department of Aerospace Imagery and Photogrammetry, phone: (495)456-91-71, e-mail: anikeeva_ia@nsdi.rosreestr.ru

The problem of requirement's normative regulation absence for aerial and space images, obtained for the mapping purposes, is raised. The problems of substantiation the permissible ground sampling interval of aerial and space images and the possibilities of image's lossy compression algorithm's application and its acceptable level for increasing the performance of photogrammetric processing are considered. In order to substantiate the permissible ground sampling interval of aerial and space images the results of plan coordinate's accuracy studies for control points, measured on orthophoto mosaics of various ground sampling interval, the results of various ground sampling interval orthophoto mosaic's transfer properties in terms of estimation the actual resolution are given, the linear size of the terrain object's image, transmitted by an out-of-scale conventional sign is calculated for various mapping scales, the analytical assessment of aerial and space images with various ground sampling interval application possibility for various mapping scales is carried out. In order to determine the application possibility of lossy compression algorithms and it's acceptable level to aerial and space images obtained for mapping purposes, the estimation of the compression ratio effect on the plan coordinates accuracy of control points measured on orthophoto mosaics, the estimation of the image's effective information degree loss depending on the compression ratio, the estimation of the compression ratio effect on the actual resolution of the image are carried out, the substantiation of the application possibility of lossy compression algorithms and it's acceptable level to aerial and space images is given.

Key words: ground sampling interval, image compression, plan coordinates accuracy, actual resolution, aerial and space images, loss of information in image, control points, orthophoto mosaic, mapping scale.

REFERENCES

1. *Instrukciya po fotogrammetricheskim rabotam pri sozdanii cifrovyyh topograficheskikh kart i planov [Instructions for photogrammetric work in creating digital topographic maps and plans]*. (2002). Moscow: TsNIIGAIK Publ., 48 p. [in Russian].
2. Kadnichansky, S. A. (2009). Comparative analysis of digital APS materials and space imagery for creating and updating maps. *Geoprofi [Geoprofi]*, 4, 4–8 [in Russian].
3. Babashkin, N. M., & Nekhin, S. C. (2015). State and prospects for the development of topographic aerial surveys. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, Special Issue, 107–110 [in Russian].
4. Beregovoy, D. V., & Mustafin, M. G. (2018). Methods of automated creation of topographic plan based on a survey from an unmanned aerial vehicle. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 79(9), 30–36. doi: 10.22389 / 0016-7126-2018-939-9-30-36.
5. Tsai, H., & Lin, Y. C. (2017). An accelerated image matching technique for UAV orthoimage registration. *CISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 128, 130–145.
6. Daakir, M., Pichard, F., Rabot, Y., Thom, C., Martin, O., & Others. (2017). Lightweight UAV with on-board photogrammetry and single-frequency GPS positioning for metrology applications. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 127, 115–126.
7. Wallace, G. K. (1992). The JPEG still picture compression standard. *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, 38(1), 18–34. doi: 10.1109/30.125072.
8. Oliveira, P. A. M., Oliveira, R. S., Cintra, R. J., Bayer, F. M., & Madanayake, A. (2017). JPEG quantisation requires bit-shifts only. *Electronics Letters*, 53(9), 588–590.
9. Coelho, D. F. G., Cintra, R. J., Kulasekera, S., Madanayake, A., & Dimitrov, V. S. (2016). Error-free computation of 8-point discrete cosine transform based on the Loeffler factorisation and algebraic integers. *Signal Processing IET*, 10(6), 633–640.
10. Komarov, A. I., (2010). Evaluation of the quality of aerospace information: problems and solutions. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 71(6), 47–50 [in Russian].
11. Yang, B., Kim, M., & Madden, M. (2012). Assessing optimal image fusion methods for very high spatial resolution satellite images to support coastal monitoring. *GIScience and Remote Sensing*, 49(5), 687–710.
12. Alyabyev, A. A. (2015). Mapping of urban areas, problems and solutions. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, Special Issue, 2–4 [in Russian].
13. Cheng, G., & Han, J., (2016). A survey on object detection in optical remote sensing images. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 117, 11–28.
14. Myshlyaev, V. A. (2014). Influence of measuring and pictorial properties of satellite images on the scale of orthophotomaps created on them. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 6, 50–54. doi: 10.22389 / 0016-7126-2014-888-6-50-54.
15. Myshlyaev, V. A., & Voronov, G. B. (2012). Visual properties of satellite images and their influence on the scale of orthophotomaps being created. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 12 (Special Issue), 109–111 [in Russian].
16. Syed, S. A., Iqbal, M. Z., & Riaz, M. M. (2017). Describing contrast across scales. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 128, 326–337.
17. Anikeeva, I. A., & Kadnichansky, S. A. (2017). Estimation of the actual resolution of aerial and space photographs from the boundary curve. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 78(6), 25–36. doi: 10.22389 / 0016-7126-2017-924-6-25-36.
18. *Uslovnye znaki dlya topograficheskikh planov masshtabov 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000 i 1 : 500. GKINP-02-049-86 [Symbols for topographic plans of scales 1 : 5 000, 1 : 2 000, 1 : 1 000*

and 1 : 500]. (2004). Moscow: Federal State Unitary Enterprise "Cardgeocentre", 286 p. [in Russian].

19. *Uslovnye znaki dlya topograficheskoy karty masshtaba 1 : 10 000 [Symbols for the topographic map of 1 : 10 000 scale]*. (1977). Moscow: Nedra Publ., 143 p. [in Russian].

20. *Uslovnye znaki dlya topograficheskikh kart masshtabov 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000. GKINP-02-047-83 [Symbols for topographic maps of scales 1 : 25 000, 1 : 50 000, 1 : 100 000]*. (1983). Moscow: VTU GSh Publ., 90 p. [in Russian].

21. ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. (2015). *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, 81(3), A1–A26. doi: 10.14358/PERS.81.3.A1-A26.

Received 08.04.2019

© I. A. Anikeeva, 2019