

УДК 778.03:528.93

МЕТОДИКА РАСЧЕТА РЕЗУЛЬТИРУЮЩЕЙ РАЗРЕШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ МАТЕРИАЛОВ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

*О.О. УСОВА, канд. техн. наук, доц. А.А. МИХЕЕВА
(Полоцкий государственный университет)*

Производится поиск методики расчета разрешающей способности материалов, полученных в результате космических съемок.

В настоящее время для получения информации о земной поверхности и ее оперативной обработке большое распространение получили данные космических съемок земной поверхности [1].

Характеристики некоторых камер приведены в таблице 1 [2, 3].

Таблица 1

Основные характеристики камер

Камера	Средняя высота фотографирования, км	Фокусное расстояние, мм	Разрешение, м
МК-4	270	300	10
КАТЭ- 200	270	200	15
КФА-1000	270	1000	5
КФА- 3000	270	3000	3
ТК-350	210	350	10
КВР- 1000	210	1000	2
МСУ-Э	650	350	32
HRV	820	1000	10

При съемке с космических летательных аппаратов разрешающая способность фотоматериала будет снижена за счет влияния различных факторов. Рассмотрим влияние основных факторов [5]: объектива, атмосферы и сдвига изображения.

Разрешающая способность фотоматериала R_{ϕ} зависит от вида применяемой фотопленки, которая фиксирует изображение (для пленочных фотокамер), и от размера пикселя линейки ПЗС (для сканеров). Разрешающая способность пленок известна, что нельзя сказать о размере пикселя линейки ПЗС. Но у нас есть информация о размерах пикселя для двух сканеров МСУ-Э (спутник Ресурс-О) и HRV (SPOT). Для них и будем производить расчеты [4].

Разрешающая способность $(R_{\phi})^1$ связана с размером пикселя на линейке ПЗС l следующей зависимостью:

$$R_{\phi} = \frac{1}{2l} \quad (1)$$

Как уже было отмечено, на результирующую разрешающую способность оказывает влияние объектив фотокамеры. Для того чтобы оценить величину этого влияния, найдем его разрешающую способность $R_{об}$ по формуле [6]:

$$R_{об} = \frac{1}{1,22\lambda n} \quad (2)$$

Как видно из формулы (2), для того чтобы рассчитать разрешающую способность объектива, необходимо знать величину его относительного отверстия n и длину световой волны λ .

¹ Результирующая разрешающая способность материалов получена нами в работе «Оценка пригодности материалов космических съемок для обновления топографических карт» (2005).

Для определения суммарной разрешающей способности системы объектив – фотопленка $R_{об,ф}$ авторами различных работ [4, 6] предлагаются две формулы: точная (3) и приближенная (4):

$$R_{об,ф} = R_{\phi} \left(1 - e^{-\frac{R_{об}}{R_{\phi}}} \right); \quad (3)$$

$$R'_{об,ф} = \frac{1}{R_{\phi}} + \frac{1}{R_{об}}. \quad (4)$$

Результаты расчетов приведены в таблице 2.

Таблица 2

Расчет разрешающей способности

Разрешающая способность, мм ⁻¹	МК-4	КВР-1000	МСУ-Э	HRV
R_{ϕ}	143	400	39	42
$R_{об}$	337	369	352	352
$R_{об,ф}$	129	241	39	42
$R'_{об,ф}$	98	182	33	35
Процент ошибки, %	24	25	15	16
$R_{об,ф,а}$	94	178	29	31
$R_{об,ф,а,с}$	52	30	29	30
$R'_{об,ф,а,с}$	38	25	26	25
Процент ошибки, %	27	17	11	17
R_p	42	25	24	26
S_{min}	14	4	38	15

По результатам вычислений, с использованием формул (3) и (4), можно сделать следующие выводы:

1) разрешающая способность системы объектив – фотослой ниже, чем разрешающая способность как объектива, так и фотоматериала, и чем больше разрешающая способность фотоматериала, тем быстрее падает суммарная разрешающая способность;

2) разрешающая способность системы объектив – фотослой, рассчитанная по приближенной формуле, имеет ошибку порядка 20 % и может использоваться лишь для оценочного определения разрешающей способности системы, но не может применяться для строгих вычислений, подразумевающих наличие соответствующей точности.

При фотографировании с космических летательных аппаратов между объектом съемки и фотоаппаратом находится слой атмосферы, который, несомненно, повлияет на результирующую разрешающую способность $R_{об,ф,а}$.

Значение разрешающей способности с учетом влияния атмосферы можно рассчитать по формуле [6]:

$$R_{об,ф,а} = R_{об,ф} T_H, \quad (5)$$

где T_H – коэффициент прозрачности атмосферы. Вычисляется по формуле [6]:

$$T_H = e^{-\tau_H}. \quad (6)$$

В формуле (6) τ_H – оптическая толщина атмосферы.

Результаты расчетов по формуле (5) см. таблицу 2.

Разрешающая способность продолжает падать, в среднем она уменьшилась на 30 %.

Причины сдвига изображения во время съемки заключается в том, что фотоаппарат во время экспонирования фотопленки совершает совместно с летательным аппаратом линейные перемещения относительно фотографируемой местности [4].

Для учета влияния сдвига изображения на разрешающую способность системы объектив – фотопленка – атмосфера авторами различных работ предлагаются также две формулы [4, 6]: строгая (7) и приближенная (8):

$$R_{об.ф.а.с} = \frac{R_{об.ф.а}}{\sqrt{1 + (R_{об.ф.а} \cdot \sigma_w)^2}} ; \tag{7}$$

$$R_{об.ф.а.с} = \frac{R_{об.ф.а}}{1 + R_{об.ф.а} \cdot \sigma_w} , \tag{8}$$

где σ_w – величина сдвига изображения, которая определяется как [6]:

$$\sigma_w = \frac{W}{m} t . \tag{9}$$

По произведенным вычислениям (см. табл. 2), с использованием формул (7), (8), можно сделать следующие выводы:

- 1) разрешающая способность системы объектив – фотопленка – атмосфера падает;
- 2) разрешающая способность системы объектив – фотослой, рассчитанная по приближенной формуле, имеет ошибку порядка 20 % и может использоваться для оценочного определения разрешающей способности системы и не может применяться для строгих вычислений, подразумевающих наличие соответствующей точности.

Влияние светофильтра, движение Земли и других факторов учтем введением коэффициента 0,80. Результирующая разрешающая способность приведена в таблице 2.

Для того чтобы проверить правильность предложенной нами методики, рассчитаем минимальный размер объекта, воспроизводимого данной съемочной системой по формуле [7]:

$$S_{min} = \frac{m}{2R_p} . \tag{10}$$

Результаты расчетов по формуле (10) приведены в таблице 2.

Зная данную величину, найдем размер объекта на местности, который на снимке будет дешифроваться с вероятностью 75 % [8]:

$$P = \exp \left[- \left(B \frac{S_{min}}{D} \right)^2 \right] . \tag{11}$$

В формуле (11) D – геометрический размер распознаваемого объекта на местности; B – коэффициент распознавания объекта, его средняя величина равна 1,62 [8].

Результаты расчетов приведены в таблице 3.

Таблица 3

Размер объекта D, распознаваемого с вероятностью 75 %

Камера	МК-4	КВР-1000	МСУ-Э	HRV
D	42	12	114	45

В нашем распоряжении есть данные [9], полученные по результатам дешифрирования снимков Ухтинского объекта, с камер МСУ-Э и HRV, с которыми мы можем сравнить полученные нами результаты.

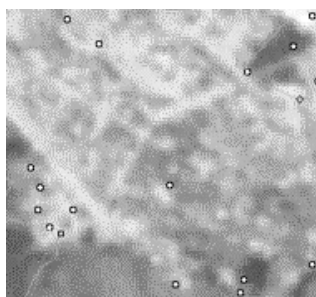


Рис. 1. Городская и промышленная территория (съемка)

Изучим материал по Ухтинскому объекту касательно камеры МСУ-Э. Для этого приведем некоторые снимки, сделанные со сканера МСУ-Э, по которым производилась работа авторами статьи [9].

На снимке (рис. 1) изображена городская и промышленная территория. Отметим, что границы застройки видны отчетливо, что нельзя сказать о конкретных элементах территории (зданиях и сооружениях). Просматриваются главные улицы. Отличить городскую территорию от промышленной практически не возможно.

Авторы работы [9] отмечают затруднительное распознавание проселков, объектов городских территорий, точечных объектов и других мелких элементов, размеры которых менее 100...120 м.

Легко дешифрируются контуры городской территории, озера, контуры лесов и другие площадные объекты, охватывающие значительную территорию. Это можно проследить по следующему ряду снимков (рис. 2 – 3) [8].

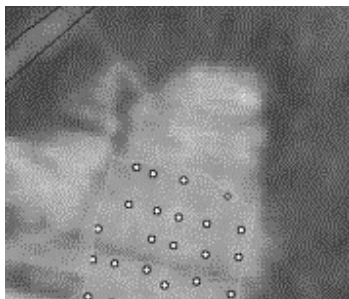


Рис. 2. Контур леса (съемка)

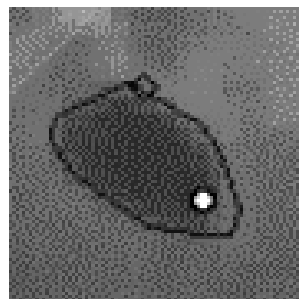


Рис. 3. Контур озер (съемка)

На снимке (см. рис. 2) хорошо виден контур леса.

На другом снимке (см. рис. 3) хорошо виден контур озера.

Как видно, выводы авторов статьи [9] близки к расчетам сделанным нами (см. табл. 3).

Рассмотрим данные по дешифрированию снимков, полученных с камеры HRV (рис. 4 – 6). Для этого также приведем ряд снимков, полученных этим сканером [9].



Рис. 4. Контур леса (съемка)

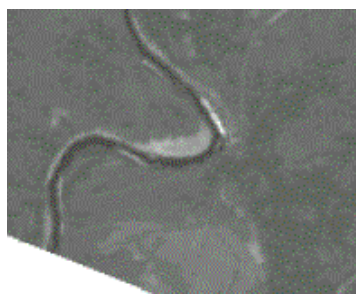


Рис. 5. Река (съемка)

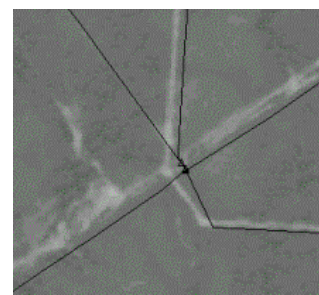


Рис. 6. Инженерные коммуникации (съемка)

По снимку (см. рис. 4) видим, что хорошо дешифрируется не только контур городской территории, но и система улиц, видны даже наиболее крупные строения.

По снимку (см. рис. 5) видим, что хорошо дешифрируется река, ширина которой около 64 м [9].

Инженерные коммуникации (см. рис. 6) дешифрируются по сопровождающим просекам.

Авторы работы [9] отмечают, что хорошо дешифрируются проселки, отдельные элементы квартальных просек, городская территория и ее крупные элементы (крупные строения, главные улицы, зоны озеленения), дороги с улучшенным покрытием, большие реки и каналы, озера, контуры лесов. Затруднено дешифрирование точечных объектов, величиной до 40...50 м [9].

Сопоставляя отмеченные размеры с данными (см. табл. 3) для сканера HRV, видим, что выводы, сделанные в работе [9], во многом совпадают с расчетами, выполненными нами.

Значит, мы можем сделать вывод о том, что наши расчеты с определенной долей вероятности верны. И в дальнейшем мы можем рекомендовать этот способ поиска результирующей разрешающей способности к использованию в космической съемке.

ЛИТЕРАТУРА

1. Лаврова Н.Л., Стеценко А.Ф. Аэрофотосъемка. Аэрофотосъемочное оборудование. – М.: Недра, 1981 – 371 с.
2. [Electronic resource]. – Mode of access: www.beloma.by/rus/1_1raz.html.
3. [Electronic resource]. – Mode of access: www.data+.ru.
4. Павлов И.М., Якубов Н.Т. Аэрофотография: Учеб. для вузов. – М.: Недра, 1991. – 335 с.
5. Кучко А.С. Аэрофотография. – М.: Недра, 1974. – 272 с.
6. [Electronic resource]. – Mode of access:

www.geomatica.Kiev.ua/training/DataCapture/Remotesensing/chapter103.html.

7. Живичин А.Н., Соколов В.С. Дешифрирование фотографических изображений.– М.: Недра, 1980. – 260 с.
8. [Electronic resource]. – Mode of access: [www. Untitled Document.html](http://www.Untitled Document.html).