



УДК 621.396.01

## ОБ ИССЛЕДОВАНИИ СУБПОЛОСНЫХ СВОЙСТВ ИЗОБРАЖЕНИЙ ЗЕМНОЙ ПОВЕРХНОСТИ

### ABOUT RESEARCH OF EARTH SURFACE IMAGES SUBBAND PROPERTIES

**А.А. Черноморец, Е.В. Болгова**  
**A.A. Chernomorets, E.V. Bolgova**

*Белгородский государственный национальный исследовательский университет,  
 Россия, 308015, Белгород, ул. Победы, 85*

*Belgorod State National Research University, 85 Pobeda St, Belgorod, 308015, Russia*

*e-mail: chernomorets@bsu.edu.ru, bolgova\_e@bsu.edu.ru*

**Аннотация.** В статье приведены вычислительные эксперименты по оценке субполосных свойств изображений земной поверхности, которые показывают, что сосредоточенность энергии различных изображений может иметь существенно различающиеся значения. Проведенный анализ распределения долей энергий изображений в подобластях пространственных частот показывает, что имеются отдельные подобласти, в которых практически отсутствует энергия изображений, что может быть использовано в задачах обработки изображений.

**Resume.** The paper presents the computational experiments to evaluate subband properties of Earth surface images, which show that the energy concentration of different images can have significantly different values. The analysis of the distribution of images energies in subdomains of spatial frequencies shows that there are some subdomains in which there is practically no image energy that can be used in image processing tasks.

**Ключевые слова:** субполосная матрица, подобласть пространственных частот, изображения земной поверхности, доли энергии.

**Keywords:** subband matrix, subdomain spatial frequencies, earth's surface image, shares of energy

В настоящее время для решения различных экономических и научных задач требуется обработка изображений земной поверхности (ИЗП). Данные изображения используются при планировании работ в сельском хозяйстве, геологии, определении направлений деятельности в области охраны окружающей среды, предотвращения и ликвидации стихийных бедствий и др. Для обоснованного выбора методов обработки ИЗП следует предварительно изучить их свойства.

Опыт показывает, что для многих задач обработки изображений адекватной математической основой служат частотные представления [Р. Гонсалес, 2006; В.А. Соифер, 2003]

$$f_{ik} = \iint_{-\pi-\pi}^{\pi-\pi} F^\Phi(u, v) \exp(ju(i-1)) \exp(jv(k-1)) dudv / (4\pi^2), \quad (1)$$

где  $j$  – мнимая единица ( $j^2 = -1$ );  $F(u, v)$  – частотная характеристика, в качестве которой наиболее часто используется трансформанта Фурье  $F^\Phi(u, v)$ ,

$$F^\Phi(u, v) = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M f_{ik} \exp(-ju(i-1)) \exp(-jv(k-1)), \quad (2)$$

где  $f_{ik}$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $k = 1, 2, \dots, M$ , – значения изображения  $\Phi = \{f_{ik}\}$  в соответствующих пикселях;  $u, v$  – пространственные частоты (ПЧ).

При этом многие задачи анализа и синтеза можно решать, используя разбиение области определения трансформант Фурье

$$-\pi \leq u < \pi, \quad -\pi \leq v < \pi, \quad (3)$$

на ряд подобластей пространственных частот (ППЧ)  $V_{sr}$ ,  $s = 1, 2, \dots, S$ ,  $r = 1, 2, \dots, R$ , [Жилияков, Е.Г., 2010] так что (1) принимает вид

$$f_{ik} = \frac{1}{4\pi^2} \sum_{s=1}^S \sum_{r=1}^R \iint_{(u,v) \in V_{sr}} F^\Phi(u, v) \exp(ju(i-1)) \exp(jv(k-1)) dudv, \quad (4)$$

где

$$V_{sr} = \{ (u \in [-u_{s,2}, -u_{s,1}] \cup [u_{s,1}, u_{s,2}]) \cap (v \in [-v_{r,2}, -v_{r,1}] \cup [v_{r,1}, v_{r,2}]) \}, \quad (5)$$

$$s = 1, 2, \dots, S, \quad r = 1, 2, \dots, R,$$

$$u_{1,1} = 0, \quad u_{s,2} = \pi, \quad u_{s+1,1} = u_{s,2},$$

$$v_{1,1} = 0, \quad v_{R,2} = \pi, \quad v_{r+1,1} = v_{r,2}.$$

Совокупность величин  $|F^\Phi(u, v)|^2$  в области определения трансформант Фурье (3) принято называть [Р. Гонсалес, 2006] энергетическим спектром изображения.

В работе [Черноморец А.А., 2010] было введено понятие доли  $P_{sr}$  энергии изображения  $\Phi = (f_{ik})$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $k = 1, 2, \dots, M$ , в отдельной подобласти ПЧ  $V_{sr}$  вида (5),  $s = 1, 2, \dots, S$ ,  $r = 1, 2, \dots, R$ ,

$$P_{sr} = \frac{1}{4\pi^2} \iint_{(u,v) \in V_{sr}} |F^\Phi(u, v)|^2 dudv / \|\Phi\|^2, \quad (6)$$

где  $\|\Phi\|^2$  – энергия изображения  $\Phi$ .

Также в [Черноморец А.А., 2010] было показано, что используя равенство Парсеваля, можно вычислить точное значение доли  $P_{sr}$  энергии изображения  $\Phi = (f_{ik})$ ,  $i = 1, 2, \dots, N$ ,  $k = 1, 2, \dots, M$ , в отдельной подобласти ПЧ  $V_{sr}$  вида (5),  $s = 1, 2, \dots, S$ ,  $r = 1, 2, \dots, R$ , на основе следующего соотношения:

$$P_{sr} = \frac{tr(A_s \Phi B_r \Phi^T)}{tr(\Phi \Phi^T)}, \quad (7)$$

где  $\Phi$  – матрица исходного изображения, функция «tr» – след матрицы,  $A_s$  и  $B_r$  – соответствующие подобласти  $V_{sr}$  субполосные матрицы, размерности  $N \times N$  и  $M \times M$  соответственно, элементы которых вычисляются на основании соотношений, приведенных в [Жилияков Е.Г., 2009].

В работе [Черноморец А.А., 2011] для случая разбиения области ПЧ (3) на равновеликие подобласти вида (5) введено понятие частотной сосредоточенности  $C_m$  для доли  $m$  энергии изображения как отношение минимального количества  $l_m$  подобластей ПЧ, в которых сосредоточено  $m \cdot 100$  процентов энергии изображения, к общему числу подобластей ПЧ,

$$0 < m \leq 1, \quad (8)$$

$$C_m = \frac{l_m}{SR}. \quad (9)$$

Алгоритм определения указанного минимального количества  $l_m$  подобластей ПЧ приведен в [Черноморец А.А., 2011].

Обозначим,  $M_m$  – множество подобластей ПЧ, соответствующих указанному количеству  $l_m$ . Подобласти ПЧ, входящие в множество  $M_m$ , в работе [Жилияков Е.Г., 2011] названы информационными подобластями пространственных частот.

Применение указанных понятий позволяет построить процедуры анализа субполосных свойств изображений земной поверхности, под которыми будем понимать характерные особенности в распределении долей энергий изображений в подобластях ПЧ, которые можно использовать при решении различных задач обработки изображений, например, при внедрении данных.

Размерность анализируемых изображений выбрана равной  $256 \times 256$  пикселей, разбиение области ПЧ было осуществлено на  $64 \times 64$  подобласти ПЧ. Выбор указанных параметров не снижает общности полученных результатов.

Анализ разбиения осуществлен на основании значений элементов матрицы долей энергий изображений в соответствующих подобластях ПЧ, а также на основании графиков, отображающих значения элементов матрицы долей энергий, которые расположены на различных строках, столбцах и диагоналях данной матрицы.

Экспериментальные исследования распределения значений долей энергии изображения, приведенного на рис. 1, выполнены с целью демонстрации наличия подобластей ПЧ, соответствующих относительно большим значениям долей энергии изображений, и подобластей ПЧ, которым соответствуют доли энергии значительно меньшие по значению, и которыми при решении различных задач обработки изображений можно пренебречь. Анализируемые изображения были выбраны так, чтобы соответствующие частотные сосредоточенности (9) энергии имели существенно различные значения.

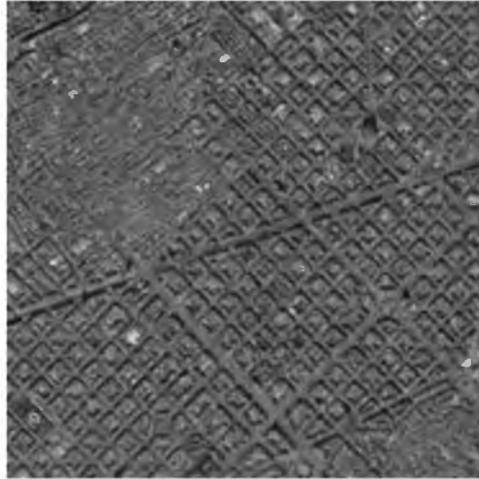


Рис. 1. Исходное изображение (И1)

Fig. 1. The original image (I1)

Для изображения И1 (рис. 1) отдельные фрагменты матрицы  $P = (P_{sr})$ ,  $s = 1, 2, \dots, 64$ ,  $r = 1, 2, \dots, 64$ , содержащей значения долей энергии, вычисленные при разбиении области ПЧ на  $64 \times 64$  равновеликих подобласти, приведены в табл. 1–3.

Таблица 1

Table 1

Доли  $P_{sr}$  энергии изображения И1 в ППЧ  $V_{sr}$  ( $S = R = 64$ ,  $s = 1, 2, \dots, 12$ ,  $r = 1, 2, \dots, 8$ )

The shares  $P_{sr}$  of image energy I1 in SSF  $V_{sr}$  ( $S = R = 64$ ,  $s = 1, 2, \dots, 12$ ,  $r = 1, 2, \dots, 8$ )

r \ s	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1,15E-02	4,22E-03	3,06E-03	1,23E-03	9,96E-04	9,08E-04	9,45E-04	1,25E-03
2	3,60E-03	2,04E-03	1,82E-03	1,69E-03	1,30E-03	1,06E-03	1,05E-03	9,76E-04
3	2,72E-03	2,09E-03	1,38E-03	1,76E-03	1,18E-03	1,66E-03	6,98E-04	8,66E-04
4	1,56E-03	2,39E-03	1,87E-03	1,96E-03	1,08E-03	1,00E-03	7,69E-04	9,35E-04
5	1,39E-03	2,31E-03	1,05E-03	1,19E-03	1,42E-03	7,01E-04	1,28E-03	1,10E-03
6	1,51E-03	2,47E-03	5,01E-04	9,25E-04	1,33E-03	1,48E-03	1,90E-03	9,09E-04
7	9,06E-04	9,27E-04	1,38E-03	1,84E-03	1,35E-03	1,47E-03	7,21E-03	6,28E-03
8	1,62E-03	1,11E-03	9,11E-04	9,90E-04	1,20E-03	1,60E-03	3,93E-03	2,83E-03
9	1,12E-03	1,16E-03	1,12E-03	8,29E-04	1,03E-03	1,30E-03	1,36E-03	1,25E-03
10	6,93E-04	7,50E-04	6,98E-04	1,30E-03	1,10E-03	1,06E-03	1,49E-03	9,63E-04
11	9,88E-04	8,95E-04	1,06E-03	1,79E-03	7,50E-04	8,18E-04	9,81E-04	1,51E-03
12	1,94E-03	2,04E-03	1,32E-03	1,99E-03	8,86E-04	1,38E-03	6,59E-04	9,21E-04

Таблица 2

Table 2

Доли  $P_{sr}$  энергии изображения И1 в ППЧ  $V_{sr}$  ( $S = R = 64$ ,  $s = 26, 27, \dots, 37$ ,  $r = 26, 27, \dots, 33$ )

The shares  $P_{sr}$  of image energy I1 in SSF  $V_{sr}$  ( $S = R = 64$ ,  $s = 26, 27, \dots, 37$ ,  $r = 26, 27, \dots, 33$ )

r \ s	26	27	28	29	30	31	32	33
26	1,43E-03	4,31E-04	3,96E-04	2,74E-04	1,78E-04	3,21E-04	2,23E-04	1,02E-04
27	5,39E-04	1,03E-03	9,46E-04	5,29E-04	2,16E-04	4,51E-04	1,89E-04	1,60E-04
28	4,68E-04	4,44E-04	4,21E-03	2,10E-03	2,13E-04	2,12E-04	3,04E-04	2,55E-04
29	2,96E-04	3,25E-04	3,91E-04	1,03E-03	7,89E-04	1,18E-04	2,15E-04	1,58E-04
30	2,34E-04	2,48E-04	3,49E-04	5,38E-04	5,62E-04	2,12E-04	1,31E-04	1,38E-04
31	4,07E-04	1,36E-04	1,58E-04	1,68E-04	1,83E-04	2,80E-04	1,20E-04	1,20E-04
32	4,12E-04	3,74E-04	1,97E-04	2,79E-04	1,64E-04	1,56E-04	1,31E-04	2,08E-04
33	2,07E-04	2,25E-04	4,19E-04	1,45E-04	1,25E-04	1,13E-04	1,68E-04	2,04E-04
34	1,81E-04	2,40E-04	4,22E-04	3,56E-04	1,42E-04	1,84E-04	1,37E-04	1,89E-04
35	1,49E-04	1,60E-04	1,32E-04	1,23E-04	1,13E-04	1,85E-04	9,72E-05	1,37E-04
36	1,65E-04	1,22E-04	1,80E-04	1,53E-04	1,01E-04	1,39E-04	1,73E-04	1,09E-04
37	1,42E-04	2,14E-04	1,32E-04	8,52E-05	9,94E-05	3,69E-04	2,54E-04	1,55E-04

Таблица 3  
Table 3

Доли  $P_{sr}$  энергии изображения И1 в ППЧ  $V_{sr}$  ( $S=R=64$ ,  $s=53,54,\dots,64$ ,  $r=57,58,\dots,64$ )  
The shares  $P_{sr}$  of image energy I1 in SSF  $V_{sr}$  ( $S=R=64$ ,  $s=53,54,\dots,64$ ,  $r=57,58,\dots,64$ )

$s \backslash r$	57	58	59	60	61	62	63	64
53	3,20E-05	1,03E-05	1,62E-05	1,73E-05	1,12E-05	1,49E-05	1,83E-05	1,73E-05
54	2,84E-05	1,68E-05	1,41E-05	2,20E-05	1,47E-05	5,99E-06	1,65E-05	1,64E-05
55	1,02E-05	1,31E-05	9,97E-06	1,40E-05	1,94E-05	1,96E-05	9,59E-06	1,10E-05
56	9,70E-06	1,94E-05	1,24E-05	1,55E-05	1,51E-05	2,06E-05	2,83E-05	2,14E-05
57	2,01E-05	1,35E-05	2,02E-05	1,52E-05	1,11E-05	1,34E-05	1,22E-05	1,84E-05
58	9,61E-06	1,95E-05	1,93E-05	5,82E-06	1,34E-05	8,74E-06	1,16E-05	1,57E-05
59	1,29E-05	9,01E-06	1,10E-05	1,32E-05	1,12E-05	1,06E-05	1,07E-05	1,72E-05
60	2,01E-05	1,81E-05	1,36E-05	9,13E-06	7,75E-06	1,13E-05	1,52E-05	1,16E-05
61	1,31E-05	6,95E-06	1,82E-05	1,37E-05	1,01E-05	1,10E-05	2,30E-05	9,52E-06
62	1,47E-05	8,89E-06	1,69E-05	1,29E-05	7,74E-06	1,41E-05	1,67E-05	7,54E-06
63	1,78E-05	6,35E-06	1,14E-05	1,13E-05	9,08E-06	1,09E-05	1,66E-05	1,06E-05
64	1,49E-05	1,12E-05	1,38E-05	1,94E-05	1,42E-05	9,91E-06	9,04E-06	1,40E-05

Данные, приведенные в табл. 1–3, показывают, что подобластям  $V_{ik}$ ,  $i=1,2,\dots,9$ ,  $k=1,2,\dots,7$ , (табл. 1) соответствуют значительные доли энергии изображения И1 (рис. 1). При этом в подобластях  $V_{ik}$ ,  $i,k=26,27,28,29$ , (табл. 2) сохраняются относительно большие значения долей энергии, что указывает на наличие на изображении характерных периодически повторяющихся линий; подобластям  $V_{ik}$ ,  $i=53,54,\dots,64$ ,  $k=57,58,\dots,64$ , (табл. 3) соответствуют доли энергии значительно меньшие по значению, чем в подобластях, приведенных в табл. 1, что позволяет пренебречь данными значениями при осуществлении различных операций по обработке изображений, например, фильтрации и внедрении данных.

Для более наглядного анализа распределения значений долей энергии изображения И1 (рис. 1) можно использовать приведенные на рис. 2 в виде диаграмм значения, соответствующие различным строкам, столбцам и диагоналям матрицы  $P=(P_{sr})$ ,  $s=1,2,\dots,64$ ,  $r=1,2,\dots,64$ , долей энергии.

Данные, приведенные на рис. 2, позволяют визуально проанализировать распределение различных значений долей энергии. Так, например, в первой строке (рис. 2) наглядно показано наличие относительно больших (подобласти  $V_{1,1}-V_{1,30}$ ) и малых (подобласти  $V_{1,45}-V_{1,64}$ ) значений долей энергии изображения И1.

Аналогичные результаты анализа распределения значений долей энергии получены и для других изображений, что указывает на возможность применения долей энергии для анализа изображений.

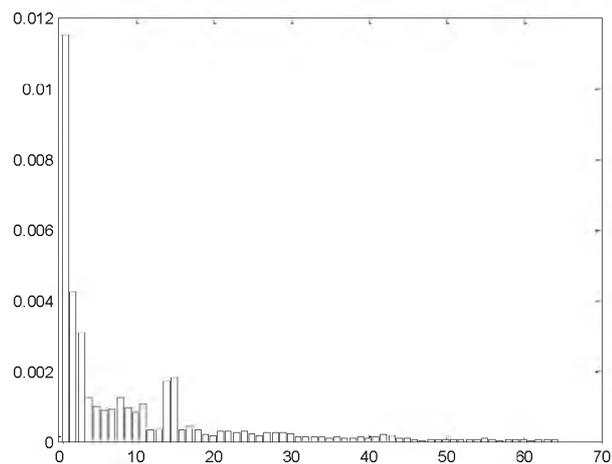
Следующие результаты вычислительных экспериментов показывают возможность применения для анализа изображений значений долей энергии, полученных при разбиении области ПЧ на различное количество подобластей. Различные разбиения области ПЧ на подобласти позволяют выполнить анализ изображений с различной степенью детализации их частотных свойств.

На рис. 3 приведены диаграммы значений долей энергии изображения И1, приведенного на рис. 1, при разбиении области ПЧ на  $64 \times 64$ ,  $32 \times 32$ ,  $16 \times 16$  и  $8 \times 8$  равновеликих ППЧ. Для повышения наглядности значение доли энергии в подобласти (значительно превышающее другие значения) на диаграммах не отображено.

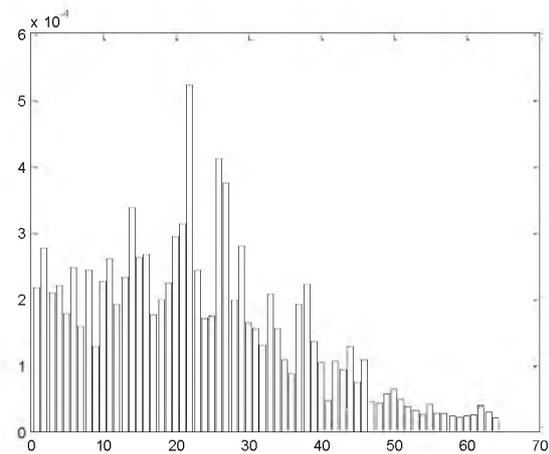
Данные, приведенные на рис. 3, наглядно показывают наличие относительно больших и малых значений долей энергии в различных ППЧ и позволяют с различной степенью детализации анализировать их распределение в области ПЧ.

Аналогичные результаты были получены и для других изображений.

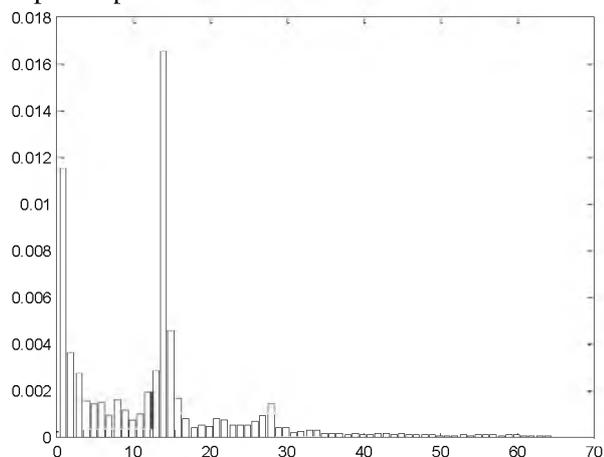
Следующие экспериментальные исследования проведены с целью определения значений сосредоточенности (9) энергии изображений при различных значениях доли энергии в зависимости от количества подобластей ПЧ.



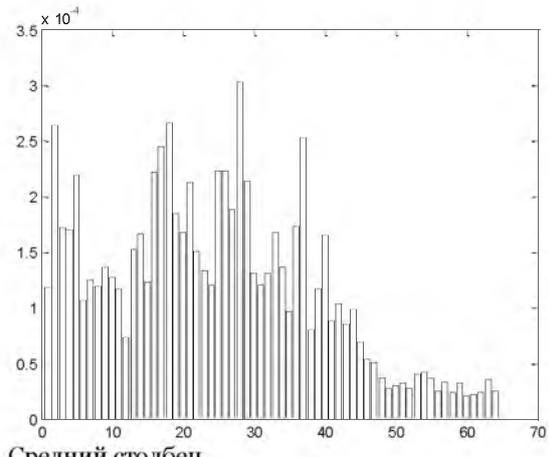
Первая строка



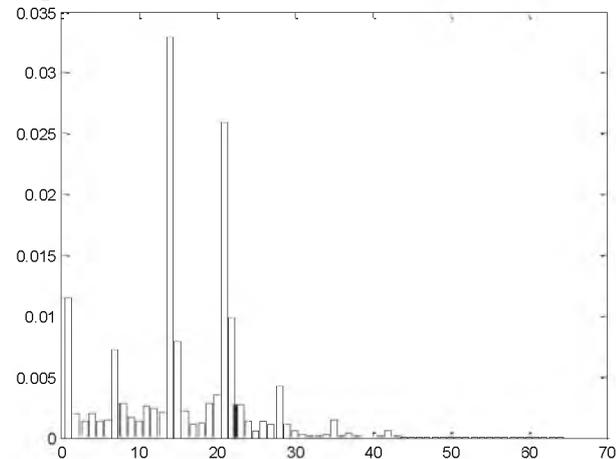
Средняя строка



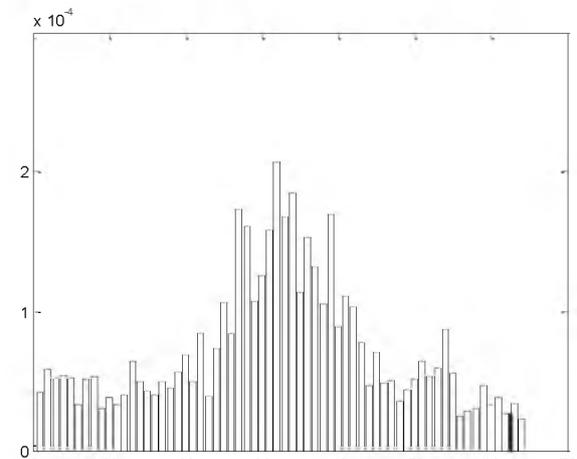
Первый столбец



Средний столбец



Главная диагональ



Побочная диагональ

Рис. 2. Доли энергии изображения И1, соответствующие отдельным элементам матрицы долей энергии  
 Fig. 2. Shares of image energy I1 corresponding to the individual elements of the energy shares matrix

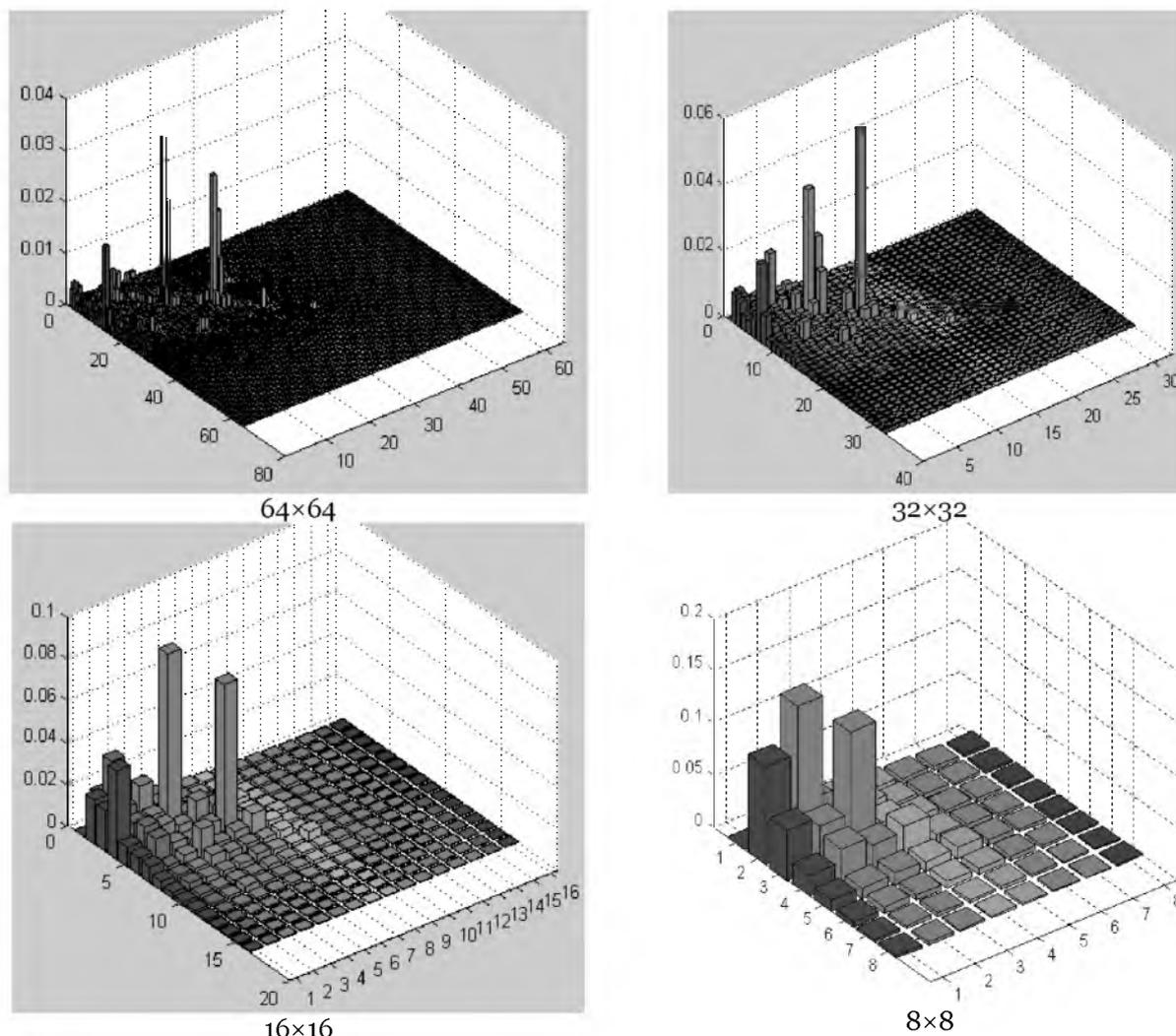


Рис. 3. Распределение долей энергии изображения И1 при различных разбиениях области ПЧ  
 Fig. 3. The distribution of the image I1 energy shares in different decompositions of the SF field

Для изображения И1 (рис. 1) сосредоточенность определена при значениях доли  $m=0,94\pm 0,99$  энергии изображения при разбиении области ПЧ на  $64\times 64$  равновеликих подобластей. На рис. 4 информационные подобласти ПЧ, определяющие значение сосредоточенности и соответствующие заданным значениям доли энергии изображения, отображены серым цветом.

Изображения подобластей, приведенные на рис. 4, показывают, что можно указать такие изображения земной поверхности, для которых информационными является подавляющее большинство подобластей ПЧ, что необходимо учитывать, например, при решении задач фильтрации и внедрения данных.

В табл. 4 приведены соответствующие рис. 4 значения сосредоточенности  $C$  энергии изображения И1 и соответствующее количество  $N_I$  информационных подобластей ПЧ для различных значений  $m$  и при различном разбиении области ПЧ на  $S\times R$  подобластей.

Таблица 4  
 Table 4

**Сосредоточенность энергии изображения И1 и количество информационных подобластей ПЧ**  
**Energy concentration of image I1 and the amount of information subdomains of SF**

$m \backslash S=R$	8		16		32		64	
	$C$	$N_I$	$C$	$N_I$	$C$	$N_I$	$C$	$N_I$
0,99	0,891	57	0,875	224	0,871	892	0,862	3532
0,98	0,797	51	0,793	203	0,787	806	0,775	3173
0,97	0,734	47	0,723	185	0,716	733	0,703	2881
0,96	0,672	43	0,660	169	0,654	670	0,643	2633
0,95	0,625	40	0,609	156	0,602	616	0,590	2417
0,94	0,578	37	0,563	144	0,555	568	0,544	2227

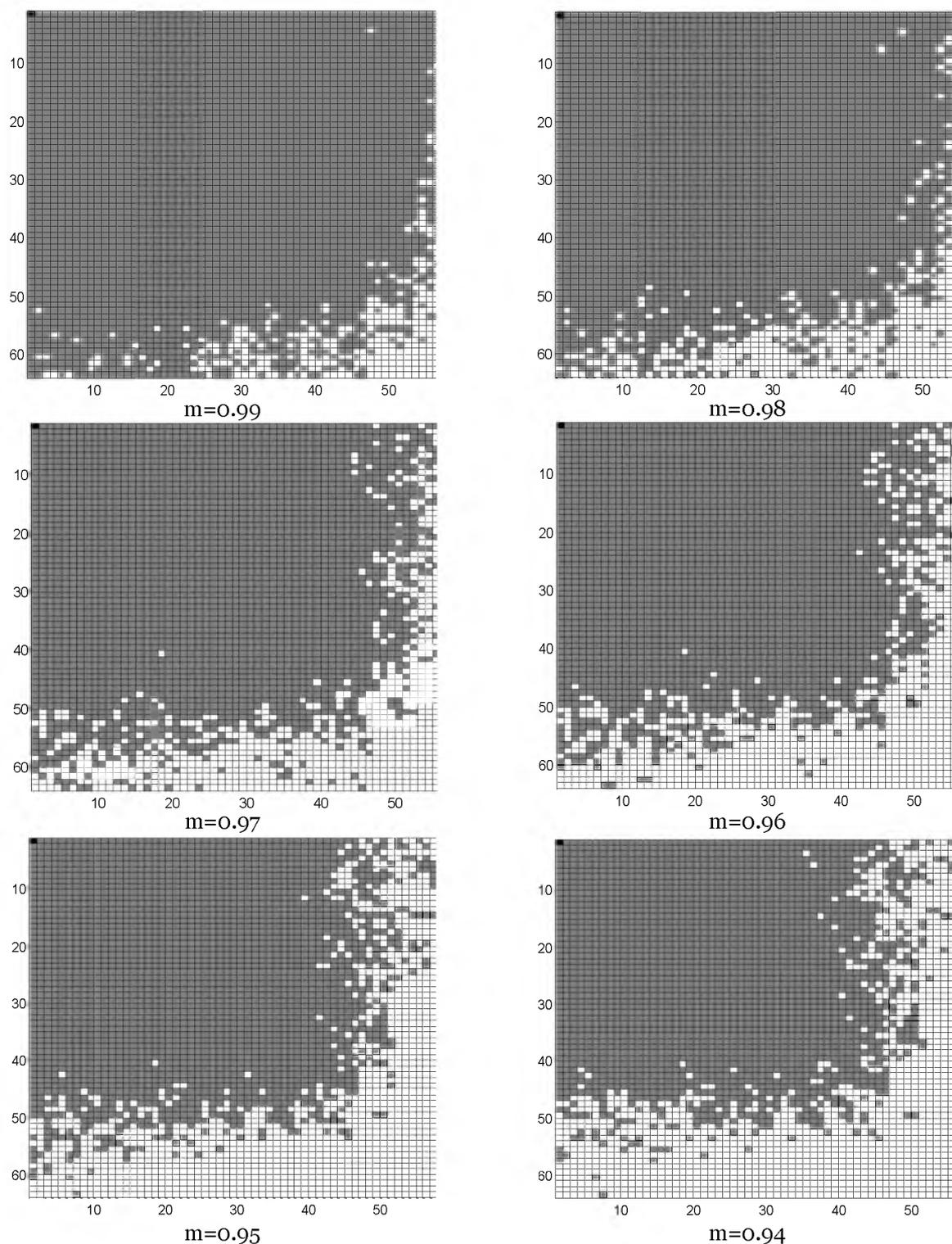


Рис. 4. Информационные подобласти ПЧ, соответствующие заданным значениям доли  $m$  энергии изображения И1  
 Fig. 4. Information subdomains of SF corresponding to given values of the share  $m$  of image I1 energy

Из табл. 4 видно, что на значение сосредоточенности энергии изображения практически не оказывает влияние увеличение числа  $S$  подобластей ПЧ, на которые разбивается область ПЧ. Эксперименты также показали, что для изображения И1 при уменьшении величины доли  $m$  энергии изображения соответствующие значения сосредоточенности и количество информационных подобластей уменьшаются незначительно, что не позволяет иметь широкий выбор ППЧ, например, для внедрения данных.

На основании данных, приведенных в табл. 4, построены отображенные на рис. 5 графики значений сосредоточенности энергии изображения в зависимости от доли  $m$  энергии указанных изображений при различных значениях количества  $S$  подобластей ПЧ.

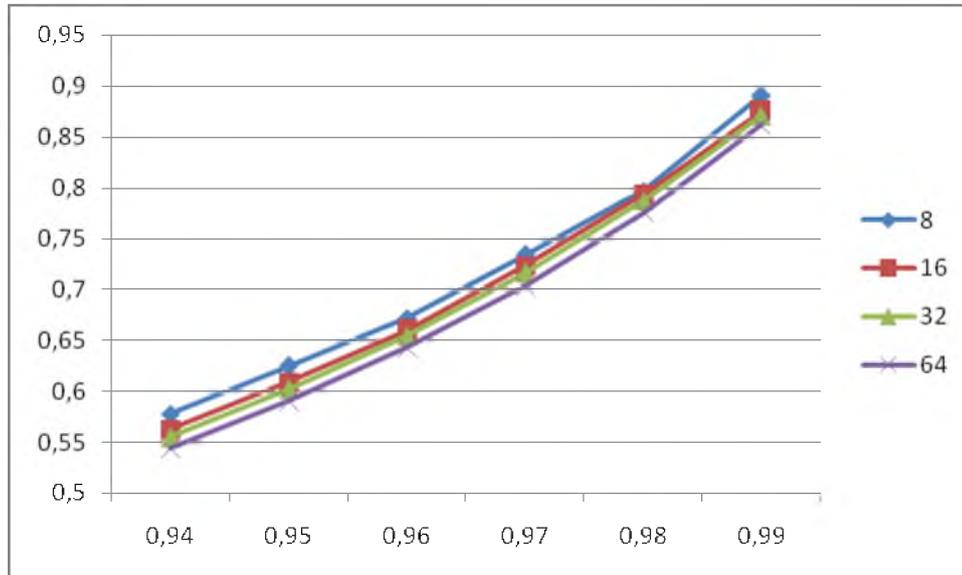


Рис. 5. Сосредоточенность энергии изображения И1  
Fig. 5. Energy concentration of image I1

Данные, приведенные в табл. 4, а также на рис. 5, показывают, что сосредоточенность энергии не превышает 0,9 для изображения И1 при значении доли энергии  $m=0.99$ .

В ходе проведения вычислительных экспериментов были выполнены аналогичные эксперименты с различными изображениями земной поверхности. Следует отметить, что подобные распределения значений сосредоточенности энергии характерны для большинства исследованных изображений.

Результаты экспериментов показали, что сосредоточенность энергии различных изображений может иметь существенно различающиеся значения, что, например, может влиять на объем внедряемых в изображения данных. Полученные результаты вычислительных экспериментов могут служить основой (рекомендациями) для выделения информационных компонент изображений, например, при решении задач фильтрации и внедрения данных.

Проведенный анализ распределения долей энергий изображений в подобластях ПЧ также показал, что имеются отдельные подобласти ПЧ, в которых практически отсутствует энергия изображений, что может быть использовано в задачах обработки изображений.

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта № 15-07-01570.

### Список литературы References

- Гонсалес Р., Вудс Р. 2006. Цифровая обработка изображений. М., Техносфера, 1072.  
Gonzalez R, Woods R. Cifrovaja obrabotka izobrazhenij [Digital image processing] Moscow, Tehnosfera, 1072. (in Russian)
- Сойфер В.А. 2003. Методы компьютерной обработки изображений. М., ФИЗМАТЛИТ, 784.  
Sojfer V.A. 2003. Metody komp'juternoj obrabotki izobrazhenij [Methods of computer image processing] Moscow, FIZMATLIT, 784. (in Russian)
- Жиляков Е.Г., Черноморец А.А. 2010. О частотном анализе изображений. Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. 1: 94-103.  
Zhilyakov E.G., Chernomoretz A.A. 2010 O chastotnom analize izobrazhenij [About frequency image analysis] Voprosy radiojelektroniki. Ser. JeVT. 1: 94-103. (in Russian)
- Черноморец А.А., Иванов О.Н. 2010. Метод анализа распределения энергий изображений по заданным частотным интервалам. Научные ведомости БелГУ. Серия История. Политология. Экономика. Информатика. 19(90): 161-166.  
Chernomoretz A.A., Ivanov O.N. 2010. Metod analiza raspredelenija jenergij izobrazhenij po zadannym chastotnym intervalam. Nauchnye vedomosti BelGU. Istorija Politologija Jekonomika Informatika [Method of analysis of image energy distribution in specified frequency intervals. Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies]. 19(90): 161-166. (in Russian)



Жиляков Е.Г., Черноморец А.А., Заливин А.Н. 2009. Об эффективности метода оценивания значений долей энергии изображений на основе частотных представлений. Известия ОрелГТУ. Информационные системы и технологии. № 2/52 (563): 12-22.

Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Zalivin A.N. 2009. Ob jeffektivnosti metoda ocenivaniya znachenij dolej jenerгии izobrazhenij na osnove chastotnyh predstavlenij. Izvestija OrelGTU. Informacionnye sistemy i tehnologii [On efficiency of the estimation method of image energy parts values on the basis of frequency representations. Izvestija Orel State Technical University. Information Systems and Technologies] 2/52 (563): 12-22. (in Russian)

Черноморец А.А., Голошاپова В.А., Лысенко И.В., Болгова Е.В. 2011. О частотной концентрации энергии изображений. Научные ведомости БелГУ. Сер. История. Политология. Экономика. Информатика. 1 (96): 146-151.

Chernomorets A.A., Goloschapova V.A., Lysenko I.V., Bolgova E.V. 2011. O chastotnoj koncentracii jenerгии izobrazhenij. Nauchnye vedomosti BelGU. Istorija Politologija Jekonomika [On frequency concentration of image energy. Belgorod State University Scientific Bulletin. History Political science Economics Information technologies]. 1(96): 146-151. (in Russian)

Жиляков Е.Г., Черноморец А.А., Голошاپова В.А. 2011. Реализация алгоритма внедрения изображений на основе использования неинформационных частотных интервалов изображения-контейнера // Вопросы радиоэлектроники. Сер. ЭВТ. 1(4): 96-104.

Zhilyakov E.G., Chernomorets A.A., Goloschapova V.A. 2011. Realizacija algoritma vnedrenija izobrazhenij na osnove ispol'zovanija neinformacionnyh chastotnyh intervalov izobrazhenija-kontejnera [Computer Implementation of the Image Embedding Algorithm Based on Non-Informative Frequency Intervals of Container Image] Voprosy radiojelektroniki. Ser. JeVT. 1(4): 96-104. (in Russian)