

Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров

АВТОМАТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЯРКОСТИ И КОНТРАСТА ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИИ КАЧЕСТВА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Аннотация. Рассмотрен новый подход при автоматическом определении оценок уровня яркости V и контраста C , которые позволяют повысить достоверность контроля их изменения в процессе обработки изображений. Предложенные характеристики могут быть использованы в автоматическом и автоматизированном режимах работы.

Ключевые слова: характеристики изображения, контрастность, яркость, гистограмма, автоматизированная оценка, цветопередача.

Введение. В настоящее время, постоянно возрастает количество практических задач, требующих осуществления обработки изображений, являющихся результатом стандартных методов исследования (например, в медицине, геофизике, спутниковом мониторинге Земли и пр.) с целью их последующего анализа. Оценка качества полученных в результате обработки изображений представляет собой отдельную проблему, важность которой особенно проявляется при использовании автоматизированного и автоматического режимов работы [1].

Объективные статистические характеристики изображения (минимум, максимум, среднее значение яркости, гистограмма и т.п.), как правило, позволяют сделать только приблизительную оценку их качества. Достаточно часто используемая визуальная оценка результата обработки при использовании автоматического режима работы неприемлема, а в других случаях, ввиду ее зависимости, как от устройств отображения, так и от органов восприятия наблюдателя, является необъективной. Последнее обстоятельство усложняет сравнение различных методов обработки, особенно в случаях незначительных различий в их результатах.

Кроме того, на оценку анализируемого изображения существенное влияние оказывает конечная цель обработки. В частности, в отличие от визуального анализа, машинная обработка требует удале-

ния неоднозначности и формирования четких критериев принятия решения.

Актуальность исследований. Важнейшими характеристиками, которые позволяют судить о качестве изображения, являются его яркость и контраст. При этом, если оценка уровня яркости, в принципе, не представляет особой сложности (можно, например, использовать усредненные значения для каждого цветового канала), то определение контраста, который представляет собой зависимость от степени различия уровней интенсивности объекта и фона, вызывает значительные трудности.

В работе [2] для оценки качества изображения было предложено использовать обобщенный контраст C_{gen} , который вычисляется для каждого цветового канала по формуле:

$$C_{gen} = \frac{\sum_{j=1}^{L_{max}} |V_j^1 + L_{max} - |V_j^1 - L_{max}|| \cdot h_j}{2L_{max} \cdot dy \cdot dx}, \quad (1)$$

причем L_{max} – максимально допустимое число уровней яркости изображения I , размерность которого $dx \times dy$; h – вектор, содержащий гистограмму изображения, а элементы вектора V^1 вычисляется по следующей формуле:

$$V_j^1 = 2V_j - \frac{L_{max}}{dx \cdot dy} \sum_{x=1}^{dx} \sum_{y=1}^{dy} I_{x,y}, \quad (2)$$

где $I_{x,y}$ – значение яркости текущего пикселя выбранного цветового канала изображения, а вектор V состоит из натуральных чисел на отрезке $[[I_{min} \cdot L_{max}], [I_{max} \cdot L_{max}]]$, причем I_{min} и I_{max} – значения минимального и максимального уровней яркости изображения I , соответственно.

Особую сложность при оценке качества представляют изображения, диапазон яркости различных частей которых существенно различается, например, включающих низкоконтрастные области с визуально неразличимыми объектами интереса. В таком случае, усредненные оценки по всему изображению искажают реальную динамику проводимых преобразований, целью которых является изменение яркостных характеристик изображения, обеспечивающих выявление областей интереса.

В работах [3, 4] были предложены адаптивные методы повышения яркости и контраста, которые могут быть применены для широкого класса цветных и полутоновых изображений, в том числе и для снимков, содержащих низкоконтрастные области. Составной частью этих методов являются автоматические оценки уровня яркости V и контраста C . На основании этих значений принимается решение о необходимости повышения уровня яркости и контраста для заданного изображения.

Постановка задачи. Целью данной статьи является исследование возможности применения автоматических оценок яркости V и контраста C в информационных технологиях определения качества изображения.

Результаты исследований. Автоматическая оценка уровня яркости V выполняется для каждого цветового канала исходного изображения на основе выражения [3, 4]:

$$V = \sum_{j=1}^{N_w} \left((I')^{1-v_j} - (I')^{\frac{\bar{i}_j + \bar{I}}{2}} \right), \quad (3)$$

где \bar{i}_j – средняя яркость j -го окна; N_w – количество окон, а значение I' определяется соотношением:

$$I' = \left(\bar{I} + \frac{I_{min} + I_{max}}{2} \right) / 2, \quad (4)$$

причем \bar{I} , I_{min} , I_{max} – средний, минимальный и максимальный уровни яркости, соответственно, а v_j – оценка уровня яркости j -го окна, вычисление которой происходит с использованием значений i_j^1 , i_j и i_j^2 :

$$i_j^1 = \bar{i}_j^1 \left(1 - \frac{N_{i1}}{N_p} \right) V_j^1 = 2V_j - \frac{L_{max}}{dx \cdot dy} \sum_{x=1}^{dx} \sum_{y=1}^{dy} I_{x,y}, \quad (5)$$

$$i_j^2 = \bar{i}_j^2 \frac{N_{i1}}{N_p}, \quad (6)$$

где \bar{i}_j^1 и \bar{i}_j^2 – средние значения по яркости пикселей j -го окна $w_{x,y}^j$, удовлетворяющих и не удовлетворяющих, соответственно, условию:

$$w_{x,y}^j \geq \frac{\bar{i}_j + \bar{I}}{2}, \quad (7)$$

N_{i1} – количество пикселей j -го окна, удовлетворяющих условию (7);
 N_p – количество пикселей окна. Значение v_j определяется следующим образом:

– если $N_{i1} > 0$ и $i_j^1 \neq 0$, то

$$v_j = (i_j) \left(\frac{1 - \text{sgn}(i_j^1 - i_j^2) \frac{\min(i_j^1, i_j^2) \bar{i}_j}{\max(i_j^1, i_j^2)}}{1} \right)^{1 + \text{sgn}(i_j^1 - i_j^2) \bar{i}_j}; \quad (8)$$

– если $N_{i1} > 0$ и $i_j^1 = 0$, то

$$v_j = (i_j)^{1 + i_j^{-1 + \bar{i}_j}}; \quad (9)$$

– если $N_{i1} = 0$, то

$$v_j = (i_j)^{1 - i_j^{-1 - \bar{i}_j}}. \quad (10)$$

Если для цветового канала выполняется условие $V \geq 0$, то его яркость не требует повышения.

Автоматическая оценка уровня контраста C вычисляется следующим образом [3, 4]:

$$C = \frac{N_{c_j > \bar{C}} - N_w / 2}{N_w}, j \in [1, \dots, N_w], \quad (11)$$

где \bar{C} – среднее по оценкам контраста c_j для каждого окна; $N_{c_j > \bar{C}}$ – количество окон, для которых $c_j > \bar{C}$, а c_j определяется по формулам:

$$\text{если } \Delta \bar{i} \neq 0, \text{ то } c_j = \frac{\Delta \bar{i}}{\max(\Delta w^{-1}, 1 - \Delta w^{-1})}, \quad (12)$$

$$\text{иначе } c_j = \Delta w^{-1}, \quad (13)$$

где Δw – разность между средними по интенсивностям значениями пикселей окна с яркостью, большей и меньшей \bar{i} ; $\Delta \bar{i} = |\bar{i} - \bar{I}|$, а Δw^{-1} вычисляется так:

– если $\Delta w \neq 0$ и $\Delta w \neq 0$, то

$$\Delta w^{-1} = \frac{\Delta w}{\max(\Delta w, 1 - \Delta w)}; \quad (14)$$

– если $\Delta \bar{w} = 0$, то $\Delta \bar{w}^{-1} = \Delta w$;

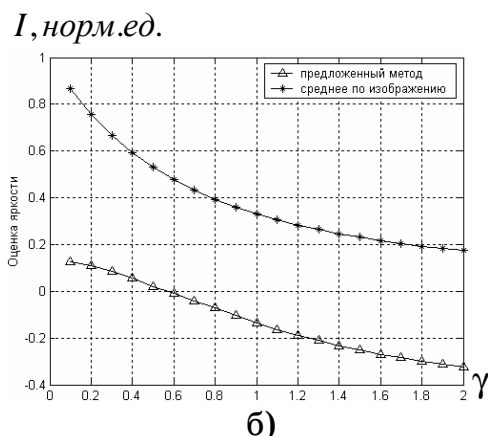
– во всех остальных случаях $\Delta \bar{w}^{-1} = \Delta \bar{w}$, причем $\Delta w = i_{max} - i_{min}$, а i_{min} и i_{max} – значения минимального и максимального уровней яркости в текущем окне, соответственно. Положительные значения C указывают на отсутствие необходимости повышения контраста.

Значение окна при вычислении значений V и C всегда выбирается равным 3×3 пикселей.

Экспериментальные результаты возможности применения автоматической оценки яркости V представлены на примерах анализа качества цифровых полутоновых и RGB изображений. На рис. 1,а приведена одна из составляющих 8-ми диапазонного полутонового ансамбля, для которой был применен метод гамма-коррекции с различными коэффициента преобразования γ . При каждом значении γ были вычислены параметры V и среднее по яркости, график изменения которых представлен на рис. 1,б.



а)



б)

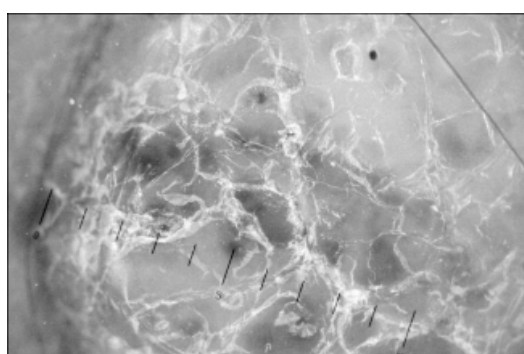
Рисунок 1– Оценка яркости: а – исходное полутоновое изображение; б – график зависимости оценки яркости V от параметра γ

Оба значения адекватно отображают произведенные при коррекции изменения яркости в зависимости от γ . Однако, предложенная оценка V изменяется практически линейно и принимает как положительные, так и отрицательные значения. Последнее обстоятельство позволяет достаточно просто ввести уровень порога яркости ($V < 0$) для процесса принятия решения о необходимости ее повышения, что важно для автоматизированного или автоматического ре-

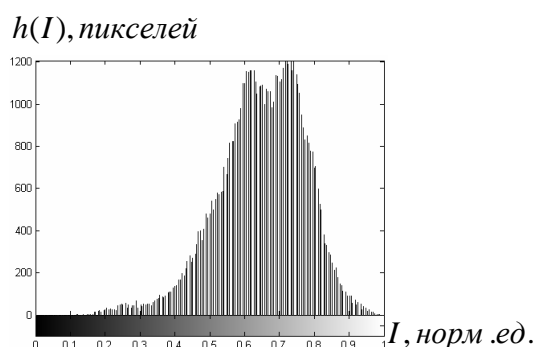
жимах работы.

Исследование возможности применения автоматической оценки контраста C для определения качества изображения демонстрируется на примере обработки цветного снимка, представляющего собой результаты дерматоскопии, выполненной с целью диагностирования меланомы. Цветовые RGB каналы этого медицинского изображения приведены на рис. 2, а, б, д. При выполнении визуального анализа исходных изображений и изучении их гистограмм (рис. 2, б, г, е) можно сделать вывод о недостаточном уровне контраста, что затрудняет выявление наличия меланомы и выделение области ее влияния.

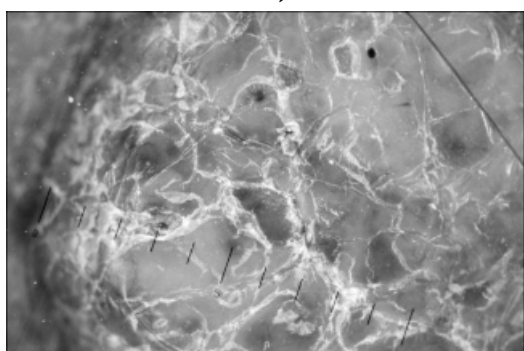
Для повышения контраста исходного изображения использовался метод адаптивной гистограммной коррекции [3], причем размер окна в экспериментах был равен размерности изображения. Этот метод применялся к исходным изображениям последовательно трижды. После каждого преобразования выполнялась оценка контраста C и C_{gen} для изображения в целом и с использованием окон размером 3×3 пикселей, соответственно, значения которых приведены в табл. 1, 2.



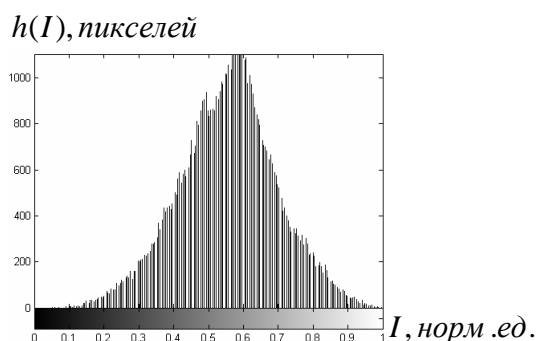
а)



б)



в)



г)

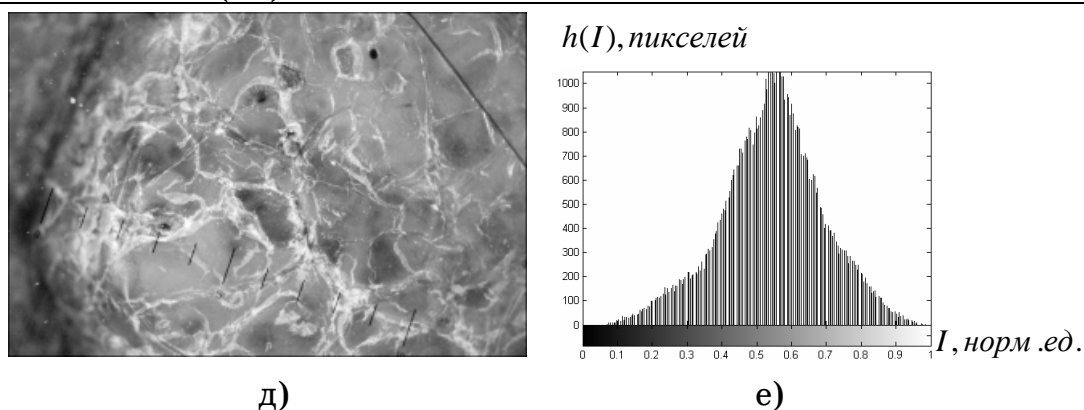


Рисунок 2 – Исходное изображение (размерность 323x215):
а, в, д – красный, зеленый и синий цветовые каналы;
б, г, е – их гистограммы

Таблица 1

Значения автоматической оценки контраста C

Изображение	C_r	C_g	C_b
рис. 2 (исходное)	-0.08284	-0.083998	-0.091392
рис. 3	-0.061793	-0.061407	-0.066229
рис. 4	-0.030736	-0.026813	-0.033886
рис. 5	-0.028335	-0.027113	-0.035087

Таблица 2

Значения оценки контраста C_{gen}

Размер окна изображение	3x3 пикселей			Размер изображения		
	$C_{gen,r}$	$C_{gen,g}$	$C_{gen,b}$	$C_{gen,r}$	$C_{gen,g}$	$C_{gen,b}$
рис.2(исходное)	0.043496	0.041924	0.042079	0.19973	0.22201	0.23006
рис. 3	0.067089	0.071365	0.072333	0.2885	0.34466	0.35793
рис. 4	0.089133	0.10308	0.10276	0.38799	0.49549	0.50846
рис. 5	0.10176	0.12562	0.12375	0.48355	0.63412	0.64132

Результаты повышения контраста и их гистограммы представлены на рис. 3, 4, 5 для 1-го, 2-го и 3-го этапов обработки, соответственно.

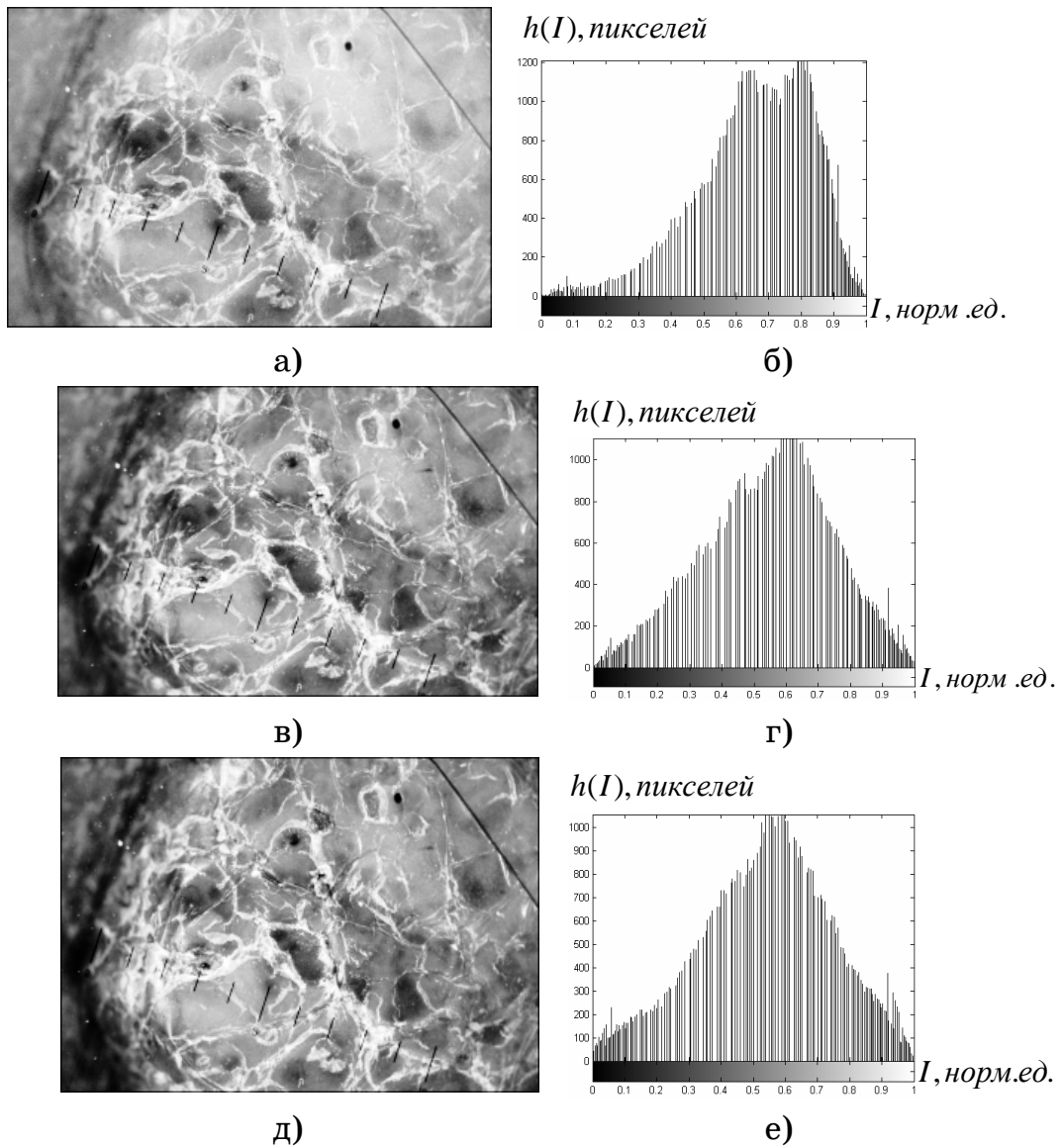
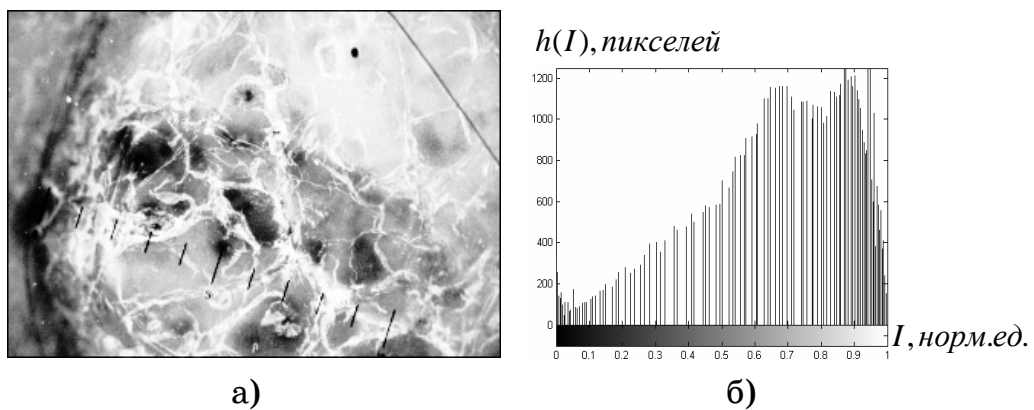


Рисунок 3 – Повышение контраста изображений на рис. 2 а, в и д:
а, в, д – результаты обработки; б, г, е – их гистограммы



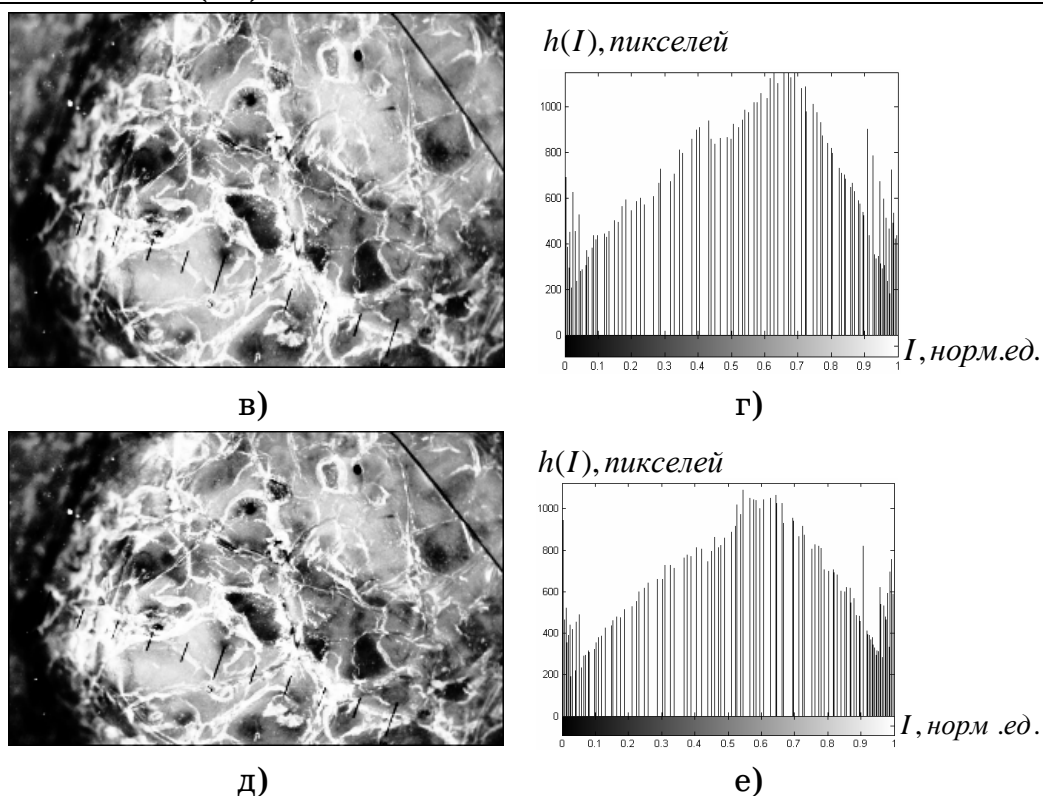


Рисунок 4 – Повышение контраста изображений на рис. 3 а, 3 в и 3 д:
а, в, д – результаты обработки; б, г, е – их гистограммы

На рис. 6 для удобства анализа приведен график изменения оценок S и S_{gen} для цветových каналов исходных и всех обработанных изображений.

Анализ данных в табл. 1, 2, а также графика, представленного на рис. 6, показывает, что оба значения S и S_{gen} увеличиваются при последовательном повышении контраста. При использовании оценки S_{gen} наилучший результат при повышении контраста получаем для синего цветového канала. В то же время, визуальный анализ результатов преобразования и их гистограмм (рис. 3 – 5) показывает, что наилучший результат достигается для зеленого цветového канала, а для синего – наихудший.

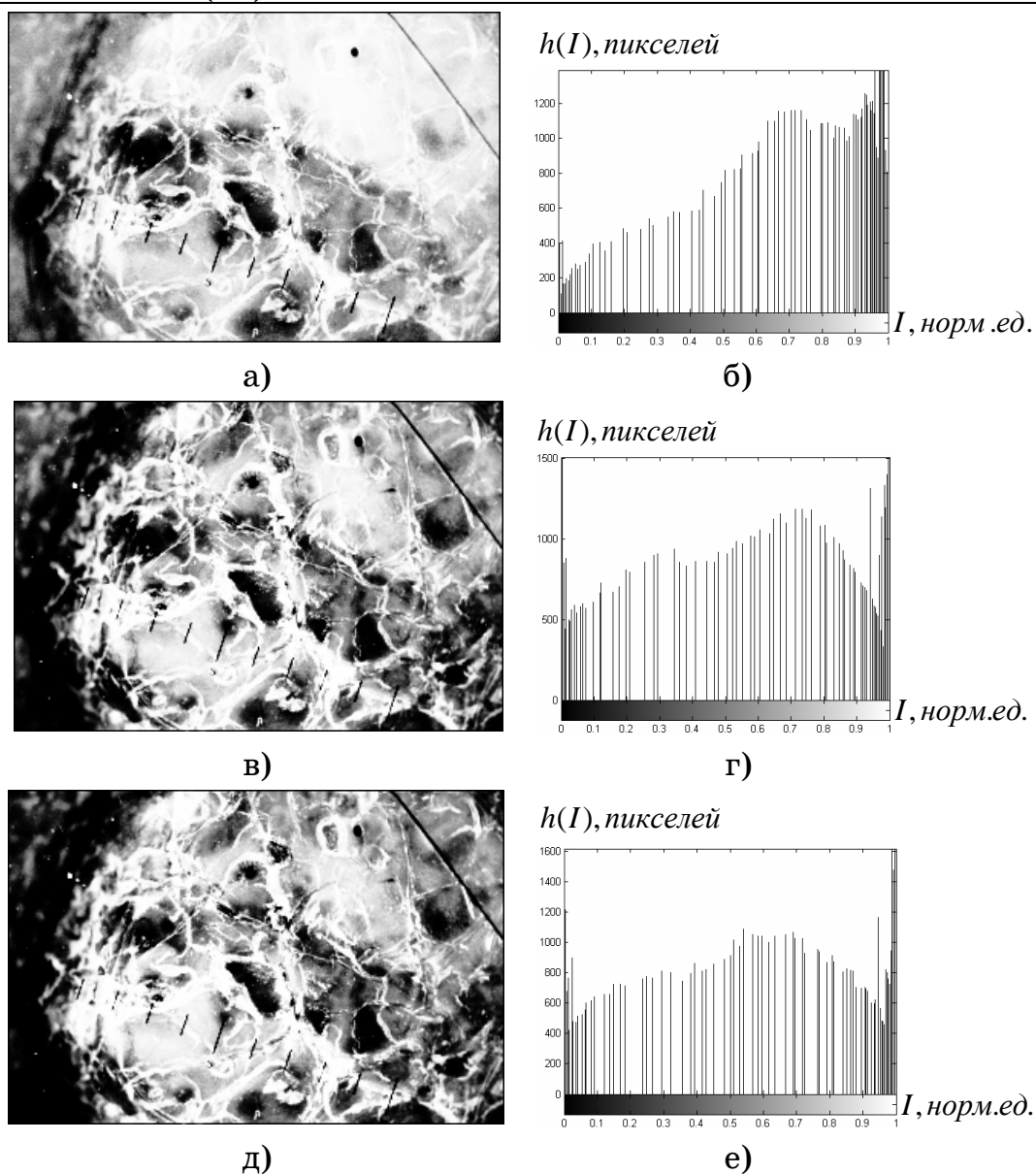


Рисунок 5 – Повышение контраста изображений на рис. 4 а, 4 в и 4 д:
а, в, д – результаты обработки; б, г, е – их гистограммы

Такой вывод при анализе гистограмм можно сделать на основании расположения пиков на них (рис. 3 – 5). Так, сравнение расположений максимумов на гистограммах зеленых и синих цветовых каналов обработанных изображений свидетельствует о том, что, в среднем, большинство пикселей в обоих случаях находятся в диапазоне яркостей 0.3-0.8 норм.ед., что повышает достоверность визуального анализа [1, 5]. Однако при этом количество пикселей в этом диапазоне у зеленого цветового канала больше.

Следует также отметить, что при повышении контраста в третий раз (рис. 5) детализация изображений, особенно в области инте-

реса (левая часть снимка), в целом, несколько ухудшается, несмотря на повышение уровня яркости. Анализ же полученных значений C_{gen} (последняя строка табл. 1, 2) показывает значительное увеличение контраста для всех цветовых каналов. При этом оценка C (последняя строка табл. 1) показывает незначительное увеличение контраста для красного и синего цветовых каналов и снижение – для зеленого, что более адекватно.

В более наглядном виде это также отображено и на графике изменений оценок C и C_{gen} (с использованием окон 3×3 пикселей), представленном на рис. 6. Кроме того, предложенная оценка C требует на ~17% меньше времени для вычисления, чем C_{gen} (с использованием окон 3×3 пикселей).

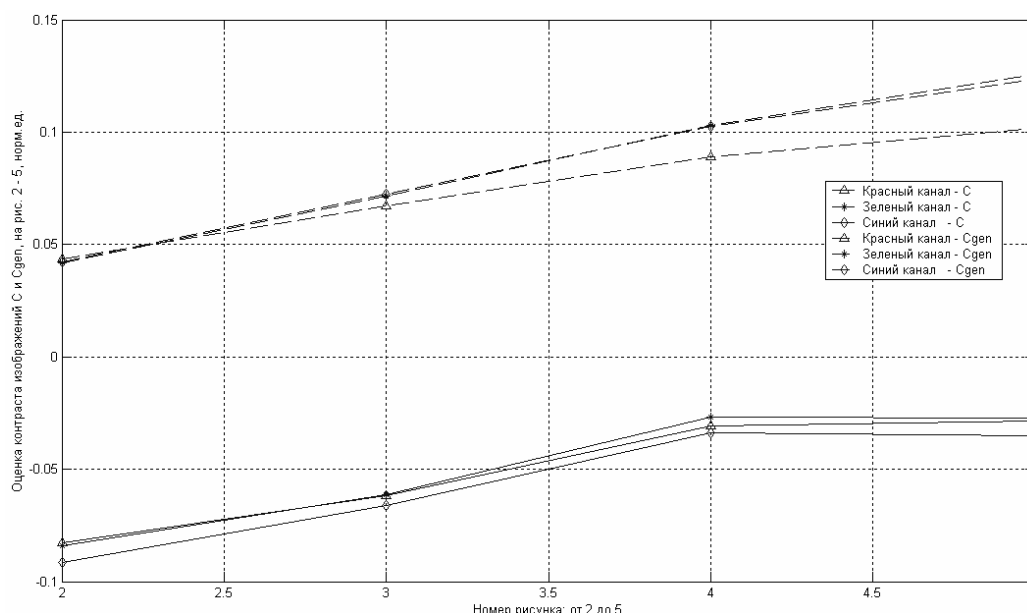


Рисунок 6 – График изменения оценок C и C_{gen} (с использованием окон 3×3 пикселей) при последовательном повышении контраста

Однако, несмотря на более адекватное отображение изменения контраста с помощью оценки C , вычисление этой характеристики в целом для изображения, содержащего сильно различающиеся по уровням яркости области, может оказаться нецелесообразным. Так, для рассмотренного примера дальнейшее повышение контраста для изображений на рис. 3 на самом деле приводит к ухудшению визуальной диагностики меланомы и выявления области ее распространения. При этом все рассмотренные оценки показывают улучшение контраста для всего изображения в целом.

Выводы. Использование предложенных автоматических оценок уровня яркости V и контраста C позволяет повысить достоверность при отслеживании изменения соответствующих характеристик в процессе обработки изображения. Таким образом, можно сделать вывод о возможности применения этих оценок в информационных технологиях определения качества изображений. Кроме того, предложенные оценки яркости и контраста могут быть использованы при обработке изображений в автоматическом и автоматизированном режимах работы.

Для повышения достоверности оценки качества изображения, содержащего низкоконтрастные области, рекомендуется вычислять оценку не по всему изображению, а по области интереса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гонсалес Р. Цифровая обработка изображений / Р. Гонсалес, Р. Вудс; [пер. с англ. под ред. П.А.Чочиа]. – М.: Техносфера, 2006. – 1070 с.
2. Журавель И.М. Краткий курс теории обработки изображений [Электронный ресурс] / И.М. Журавель – М., 1999. Режим доступа: URL: <http://matlab.exponenza.ru/imageprocess/book2>
3. Ахметшина Л.Г. Повышение достоверности цветопередачи в методике обработки мультиспектральных изображений / Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров // Искусственный интеллект. – 2010. – № 4. – С. 201 – 211.
4. Ахметшина Л.Г. Повышение достоверности цветопередачи в методике обработки мультиспектральных изображений / Л.Г. Ахметшина, А.А. Егоров // Искусственный интеллект. Интеллектуальные системы: международная научно-техническая конф., 20-24 сентября 2010 г., Кацивели. – Т. 1. – С. 250 – 254.
5. Pratt W.K. Digital Image Processing / W.K.Pratt – New York; – Chichester; Weinheim; Brisbane: John Wiley and Sons Inc., 2001. – 723 p.