

С.С. САДЫКОВ,  
Е.А. ЗАХАРОВА,  
Ю.А. БУЛАНОВА

**Методика выявления области  
кисты молочной железы на  
маммограмме**

УДК 004.932

Муромский институт  
(филиал) ФГБОУ ВПО  
«Владимирский  
государственный  
университет имени  
А.Г. и Н.Г. Столетовых»,  
г.Муром

НУЗ «Отделенческая  
больница на станции  
Муром ОАО «РЖД»,  
г.Муром

*Статья посвящена анализу известных алгоритмов предварительной обработки применительно к малоконтрастным маммографическим снимкам.*

*Разработан алгоритм гистограммного преобразования маммограмм, учитывающий средний контраст снимка. Предложен алгоритм выделения области новообразования типа «Киста молочной железы» на маммограмме.*

### **Введение**

Заболевания молочной железы находятся на первом месте в списке заболеваний женщины [1, 2]. Одним из самых распространенных доброкачественных заболеваний является киста молочной железы [3]. Киста молочной железы – это полостное образование, заполненное жидкостью, которое появляется в результате уничтожения просвета в молочных ходах из-за избыточного разрастания соединительной ткани. При пальпации они напоминают мягкий виноград или очень маленькие воздушные шарики, наполненные водой. Чаще всего кисты формируются у женщин в возрасте 30-55 лет [4].

Эффективным методом диагностики новообразований является рентгенологическая маммография. На маммограмме киста дает однородную тень, по плотности сходную с железистой тканью молочной железы, округлой или овальной формы. На маммографическом снимке вокруг кисты в большинстве случаев образуется частичный

или полный ободок просветления [4, 5]. Несмотря на то, что кисты не представляют опасности для здоровья женщины, но они могут доставлять дискомфорт и боль в молочной железе, а также являются признаком возникновения злокачественных заболеваний, поэтому важным и актуальным является своевременная диагностика кисты и ее лечение. В последнее время увеличились случаи диагностики рака молочной железы в кисте, что также свидетельствует о важности выявления кисты, особенно потому, что на маммографическом снимке она трудно различима. Для решения этой задачи следует использовать современные методы обработки и анализа изображений, а также средства информационных технологий.

Целью настоящей статьи является исследование алгоритмов выделения области кисты на маммографическом снимке.

Алгоритм выделения области кисты на маммограмме

Основная сложность, возникающая при автоматической обработке и анализе маммографических снимков с целью выделения области кисты, связана с большой зашумленностью снимка и некоторыми особенностями их регистрации с помощью конкретных маммографов.

Поэтому использовать напрямую широко известные алгоритмы выделения областей на изображениях (сегментация) не дает желаемых результатов.

Общая блок-схема предлагаемого алгоритма дана на Рис.1.

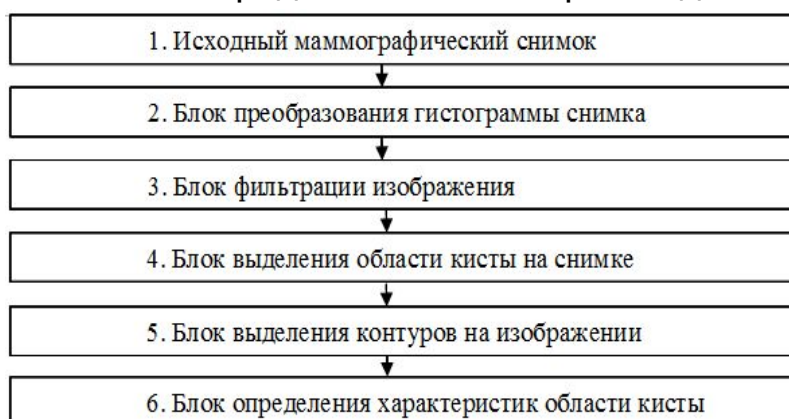


Рис.1. Общая блок-схема алгоритма выделения области кисты на маммограмме

Рассмотрим особенности каждого блока алгоритма.

Исходная маммограмма  $f(x,y)$  имеет размер  $m*n$  пикселей. Градации яркостей точек распределены в диапазоне  $[0, 255]$ .

1. Блок преобразования гистограммы снимка включает несколько известных алгоритмов изменения значений яркости точек маммограммы, позволяющие получить выходные снимки с линейным, экспоненциальным, гиперболическим и другими распределениями гистограмм [6, 7]. Такие преобразования обычно позволяют осуществить перераспределение количества точек в различных диапазонах яркости и тем самым визуализировать часто явно невидимые объекты (области) на снимке.

Исследования показали, что известные алгоритмы гистограммного преобразования плохо работают на малоконтрастных снимках, каковыми являются маммограммы, поскольку они в основном оперируют максимальными и минимальными значениями яркости.

Нами предлагается использовать в гистограммном преобразовании так называемый средний контраст снимка. Средний контраст определяется следующим образом:

$$k = \frac{f_{\max}(x,y)}{f_{\text{cp}}}, \quad (1)$$

где  $k$  - средний коэффициент контрастности изображения,  $f_{\max}(x,y)$ ,  $f_{\text{cp}}$  – максимальное и среднее значения яркости исходного снимка, соответственно.

Гистограммное преобразование, учитывающее средний контраст, имеет следующий вид:

$$g(x,y) = k * t[f(x,y)] - \frac{t[f(x,y)]}{m*n - t[0]}, \quad (2)$$

где  $g(x,y)$  – выходное изображение,

$k$  - средний коэффициент контрастности исходного снимка,

$f(x,y)$  – текущее значение яркости исходного снимка,

$$t[i] = \sum_{j=0}^i \frac{v[j]}{m*n}, \quad (3)$$

где  $i$  – значение градации яркости точки обработанного снимка ( $i=0..255$ ),

$j$  – значение градации яркости точки исходного снимка ( $j=0..255$ ,  $j \leq i$ ),

$v[j]$  – значение элемента гистограммы исходного снимка при яркости  $j$ ,

$T$  – область изменения элементов гистограммы выходного изображения  $g(x,y)$ ,

$t[i]$  – значение элемента гистограммы обработанного изображения при яркости  $i$  ( $t[i] \in T$ ),

$t[0] = t[f(x,y)=0]$  – значение элемента гистограммы обработанного изображения при яркости точки, равной 0,

$m*n$  – размер изображения.

## 2. Блок фильтрации изображения.

Обычно преобразование гистограммы вызывает некоторое дополнительное зашумление изображения, поэтому изображение  $g(x,y)$  подвергается медианной фильтрации маской  $3*3$  [8].

$$d(x, y) = M[g(x, y)], \quad (4)$$

где  $d(x,y)$  – выходное изображение,  $M$  – оператор медианной фильтрации.

3. Блок выделения области кисты осуществляет текстурную сегментацию.

Для сегментации снимка использован текстурный алгоритм из [9].

$$e(x, y) = S[d(x, y)], \quad (5)$$

где  $e(x,y)$  – выходное изображение,  $S$  – оператор текстурной сегментации.

## 4. Блок выделения контуров на изображении.

Выделение контуров осуществляется с помощью алгоритма из [9].

$$r(x, y) = L[e(x, y)], \quad (6)$$

где  $r(x,y)$  – выходное изображение,  $L$  – оператор выделения контуров.

## 5. Блок определения характеристик осуществляет вычисление:

- площади области кисты  $S_k$  (число точек области);
- периметра области  $P$  – приближенно равен количеству точек контура области;

- коэффициента формы:  $K_\phi = \frac{P^2}{S_k}$

и другие геометрические характеристики кисты.

## Экспериментальное исследование алгоритма

Задачами исследований были:

- сравнительный анализ предлагаемого и известных алгоритмов гистограммного преобразования изображений;
- определение возможностей формирования алгоритма выделения области кисты.

На Рис. 2(а, б) представлены два исходные малоконтрастные изображения кисты на маммограмме. Традиционно врач-рентгенолог диагностирует новообразования визуально. При анализе снимка Рис.2(а) врачом-рентгенологом очаговое образование зрительно не визуализируется. На снимке Рис.2(б) выявлено округлое образование с четкими неровными контурами, однородное, средней плотности. Данное образование можно интерпретировать как доброкачественное объемное образование, а также как кистозное образование.

Для уточнения диагноза следует осуществить более контрастная визуализация снимков, поэтому используются несколько известных гистограммные преобразований и предлагаемое в данной работе гистограммное преобразование.

Гистограммы снимков указывают, что распределения их яркостей находится в малом диапазоне [ $v_{\min}=140$ ,  $v_{\max}=170$ ] и [ $v_{\min}=153$ ,  $v_{\max}=230$ ] с небольшим разбросом от средних величин  $v_{\text{cp}}=152$  и  $v_{\text{cp}}=140$ , соответственно.

В экспериментах по гистограммным преобразованиям были использованы и определены такие характеристики как:

$v_{\min}$  – минимальное значение гистограммы исходного изображения;

$v_{\max}$  – максимальное значение гистограммы исходного изображения;

$v_{\text{cp}}$  - среднее значение гистограммы исходного изображения;

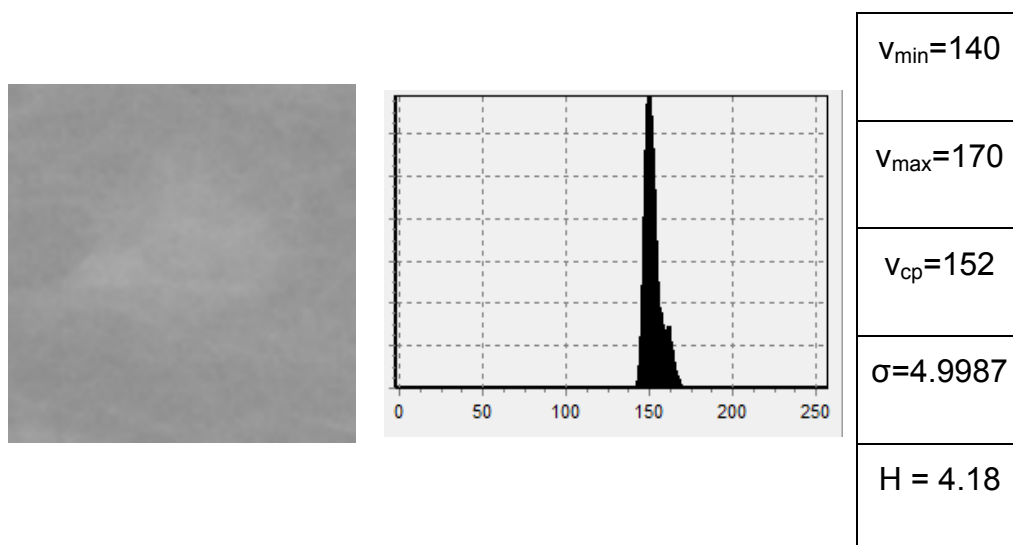
$w_{\min}$  – минимальное значение гистограммы обработанного изображения;

$w_{\max}$  – максимальное значение гистограммы обработанного изображения;

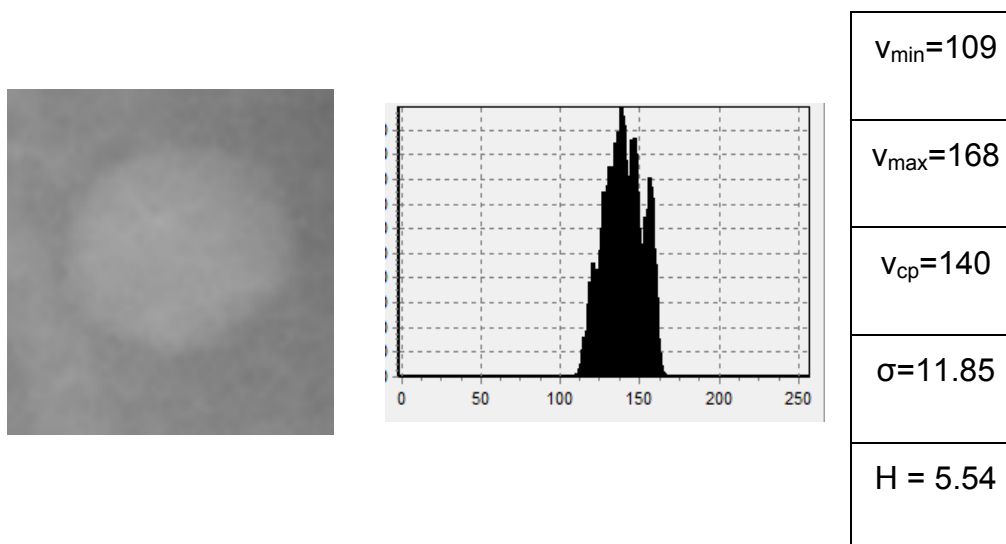
$w_{\text{cp}}$  - среднее значение гистограммы обработанного изображения;

$\sigma$  — СКО изображения;

$H$  — энтропия изображения.



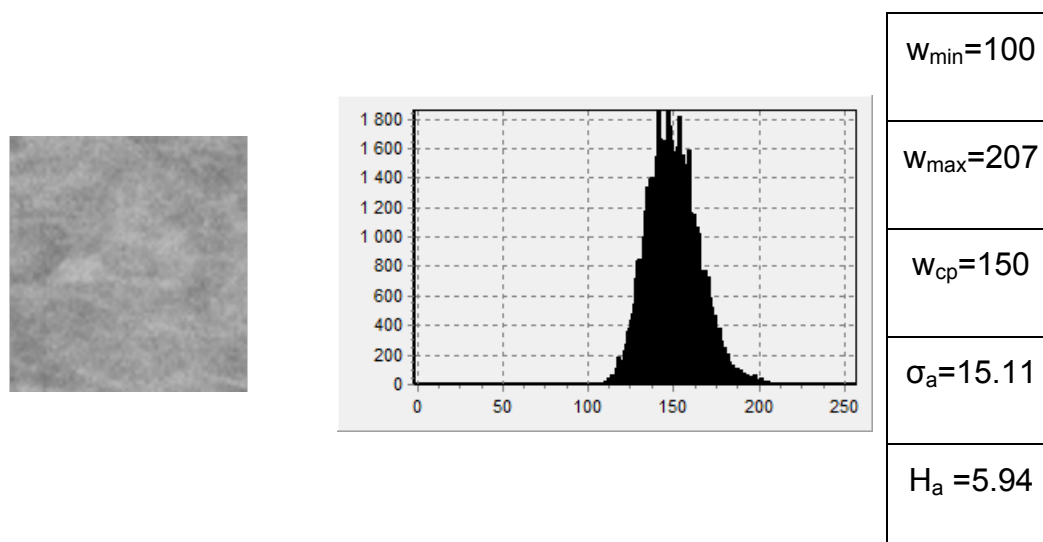
а)



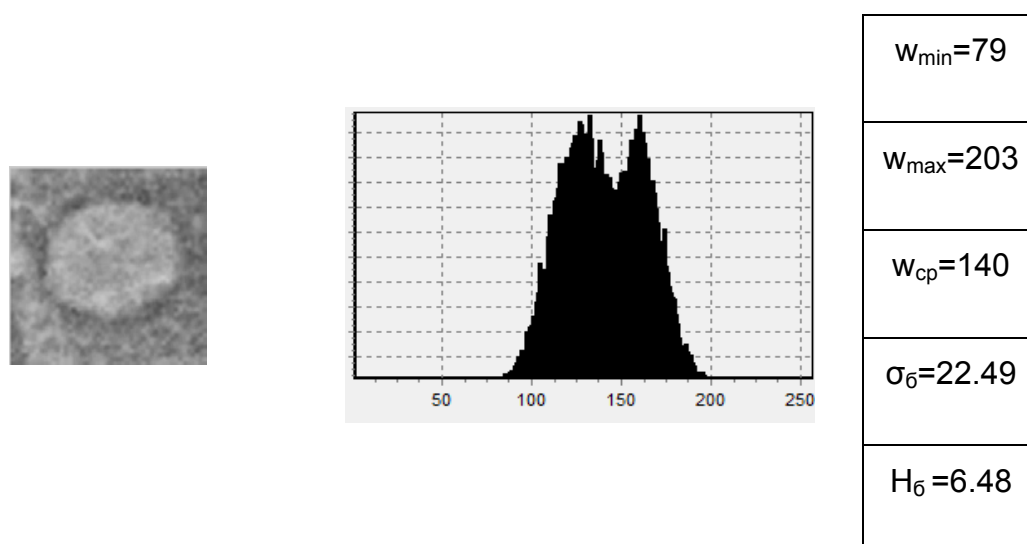
б)

Рис. 2. Исходные изображения кисты на маммограмме

При преобразовании гистограмм этих снимков с помощью линейного метода [7] получаем изображения на Рис. 3(а, б) с соответствующими характеристиками. Видно, что существенных изменений снимков и их характеристик не произошло. Аналогичные результаты дали использование экспоненциального распределения и распределения Рэлея.



а) линейный метод преобразования гистограмм Рис. 2 (а)

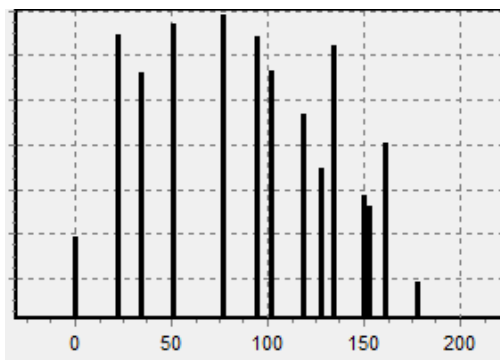
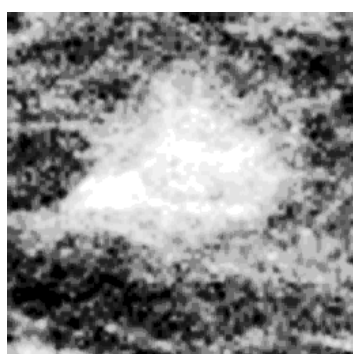


б) линейный метод преобразования гистограмм Рис.2 (б)

Рис. 3. Результаты линейного преобразования гистограмм

Несмотря на небольшое растяжение гистограмм на Рис. 3(а, б), но растяжение происходит в области серого, что незначительно улучшает изображение. Контрастность снимков практически не изменилась. Распределение яркостей от среднего значения на Рис. 3(а)  $\sigma_a = 15.11$  и (б)  $\sigma_b = 22.49$ , соответственно, и изменился незначительно. Увеличилось значение энтропии обработанных снимков  $H_a$  и  $H_b$ , что показывает увеличение неравномерности распределения яркостных характеристик изображения. Следовательно, можно сказать, что применение распространенных алгоритмов преобразова-

ния гистограмм изображений не подходит для данного вида снимков.



$$w_{\min}=0$$

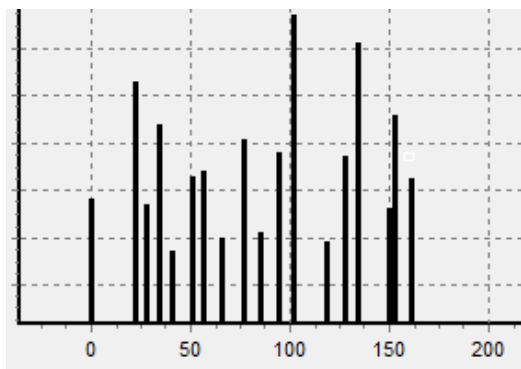
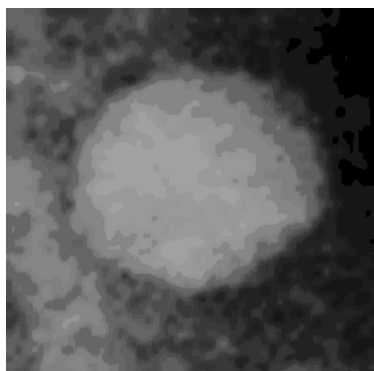
$$w_{\max}=178$$

$$w_{\text{cp}}=91$$

$$\sigma_a=47.35$$

$$H_a=3.66$$

а) предложенный алгоритм преобразования гистограмм для Рис. 2 (а)



$$w_{\min}=0$$

$$w_{\max}=161$$

$$w_{\text{cp}}=86$$

$$\sigma_b=48.14$$

$$H_b=4.07$$

б) предложенный алгоритм преобразования гистограмм для Рис. 2 (б)

Рис. 4. Результаты гистограммного преобразования с использованием среднего коэффициента контраста

На Рис. 4 показаны результаты обработки исходных снимков (на Рис. 2(а, б)) предложенным алгоритмом гистограммного преобразования на основе среднего коэффициента контрастности. Видно, что произошло растяжение гистограмм как в темной так и в светлой области, хотя максимальные значения изменились незначительно. Увеличилось значение СКО  $\sigma$  для снимков, что характеризует уве-



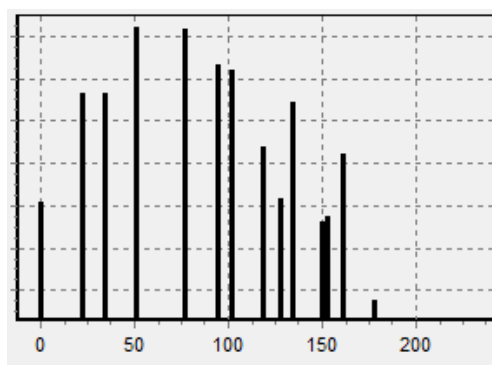
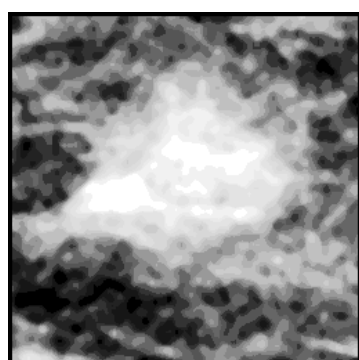
личение разброса значений яркости от среднего как в сторону темных так и в сторону светлых областей. Существенно изменилось значение энтропии  $H$ , что характеризует уменьшение неравномерности распределения яркостей изображения.

При преобразовании снимка Рис. 2 (а) (на Рис. 4(а)) визуализируется овальной формы образование, однородной структуры, высокой плотности с четкими контурами, интимно связанное с протоком молочной железы. Наиболее вероятен диагноз внутрипротоковой кисты молочной железы.

При анализе снимка Рис. 4 (б) выявлено округлое образование высокой плотности, однородное, частично визуализируются стенки новообразования, контур четкий. Результаты такого преобразования позволили установить четкий диагноз.

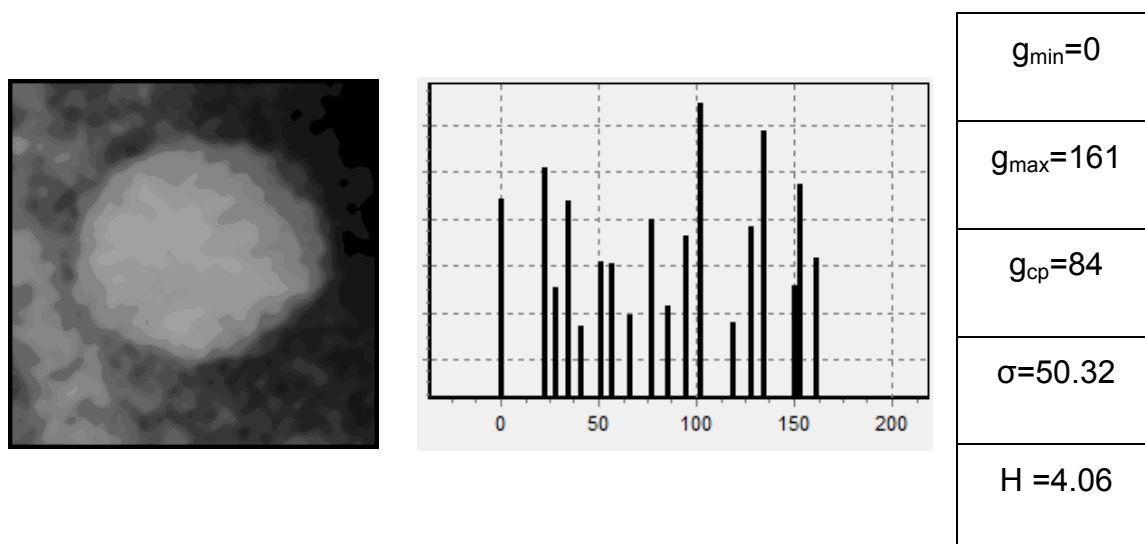
С помощью предложенного и известных гистограммных преобразований обработаны более 50 маммографических снимков с областью кисты. Известные гистограммные преобразования (линейный метод, экспоненциальное распределение и распределение Рэлея) не дали удовлетворительных результатов, в то время, как предложенные гистограммные преобразования на основе среднего коэффициента контрастности дали во всех снимках удовлетворяющие врачей-рентгенологов результаты.

Дальнейшие исследования были связаны с локализацией области кисты и определением требуемых геометрических характеристик.



$w_{\min}=0$
$w_{\max}=178$
$w_{\text{cp}}=87$
$\sigma=48.78$
$H=3.68$

а) медианная фильтрация изображения для Рис. 4 (а)



б) медианная фильтрация изображения для Рис. 4 (б)

Рис. 5 .Результаты медианной фильтрации

На Рис. 5 (а, б) приведены результаты медианной фильтрации изображений, которая была применена к преобразованным снимкам для уменьшения зашумленности изображения.

На Рис. 6 и 7 отображены операции текстурной сегментации и выделения контуров. По Рис. 6 и 7 можно сказать, что новообразование имеет четкие контуры, а также однородную структуру внутри контура, что характеризует новообразование– «кисту молочной железы».

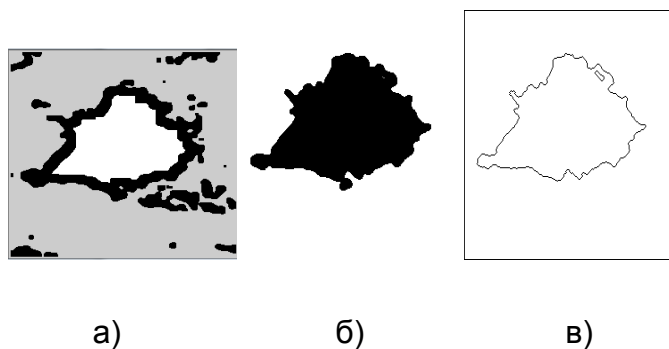


Рис. 6. а) Текстурная сегментация изображения Рис. 5 (а), б) Бинаризация, в) Определение контура области кисты

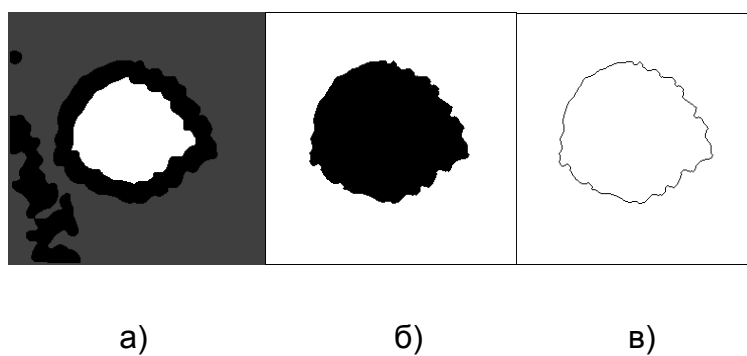
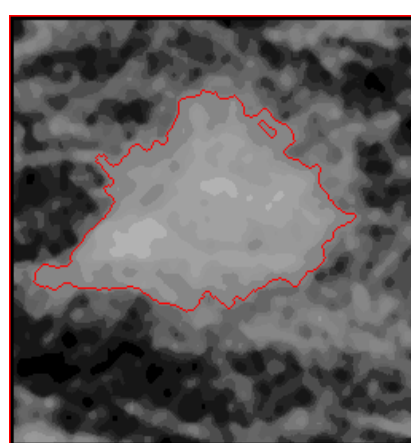


Рис. 7. а) Текстурная сегментация изображения Рис. 5 (б), б) Бинаризация, в) Определение области кисти

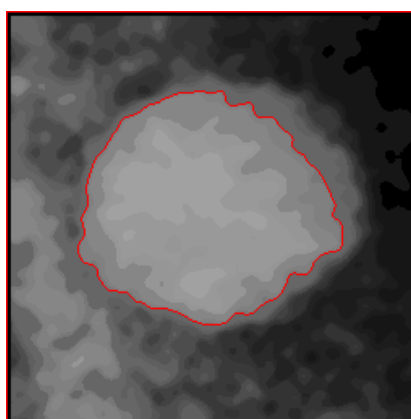


$S=16537$

$P= 463$

$K_{\phi} = 12.96$

а)



$S=16537$

$P= 463$

$K_{\phi} = 12.96$

б)

Рис. 8. Наложение контура на изображение изображения Рис. 5(а), (б) соответственно

Наложение контура на снимок позволяет более точно оценить форму и размер образования, оценить связь новообразования с сосудистым компонентом, протоками молочной железы (если таковая имеется).

При анализе данных снимков выражены четкие контуры, повторяющие контурное образование, размер образования несколько меньше видимых глазом, имеется интимная связь с протоком молочной железы образования рисунка на Рис. 8(а).

Расчет геометрических характеристик необходим для определения точных размеров образования.

На Рис. 10 представлены результаты обработки достаточно сложного для визуального анализа снимка молочной железы.

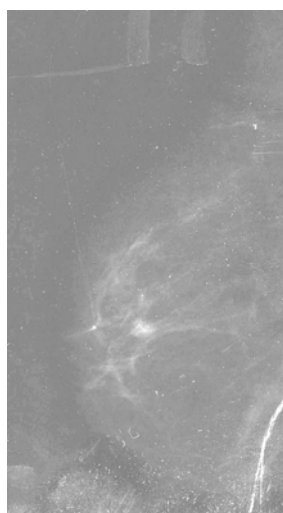
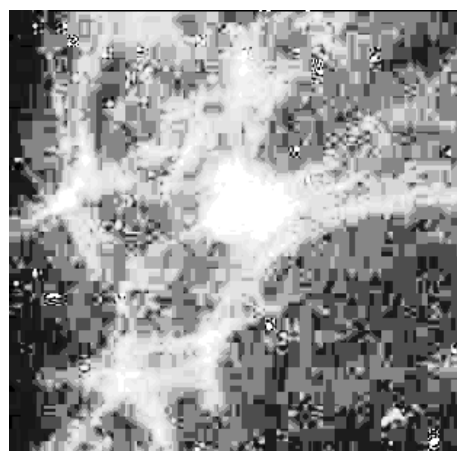


Рис. 9. Исходная маммограмма



а)



б)

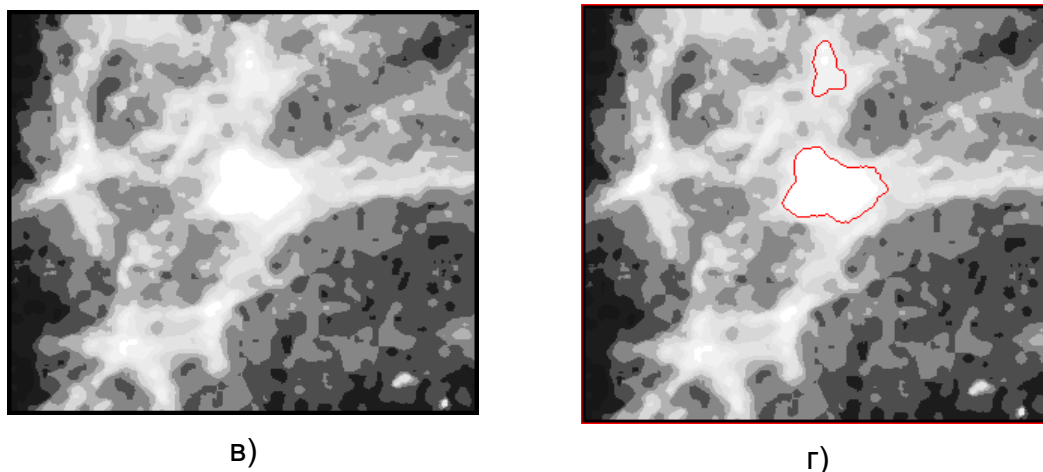


Рис.10. Результат обработки снимка: а) исходная область интереса, б) предложенное гистограммное преобразование, в) медианная фильтрация области интереса, г) выделение контуров

При оценке рентгенограммы на Рис. 9 и Рис. 10(а) консилиумом врачей-рентгенологов возникли определенные сложности, так как при отсутствии жалоб со стороны пациента на фоне жировой инволюции молочной железы выявлено очаговое образование неправильной округлой формы, визуальное с нечеткими контурами. Принимая во внимание возраст пациента (65 лет) и рентгенологическую картину, врачи-рентгенологи подозревали наличие злокачественного новообразования молочной железы.

При цифровой обработке рентгенограммы с использованием предложенного метода с наложением и без наложения контура определяются два идентичных округлых однородных образования с четкими ровными контурами, диаметром 7 мм и 4 мм соответственно, одно из которых связано с протоком молочной железы (проток в ортогональном срезе). Дано заключение «Кисты молочной железы». Женщина взята под амбулаторное наблюдение. Таким образом, удалось избежать дополнительного обследования пациента (УЗИ) и биопсии молочной железы.

### **Заключение**

Результаты исследований 50 маммографических снимков с областью кисты показали:

- качество большинства маммографических снимков затрудняет визуальное выявление новообразований;

- широко распространенные гистограммные преобразования не дают удовлетворительных результатов обработки малоcontrastных маммографических снимков;
- предложенное преобразование гистограммы маммографического снимка на основе среднего коэффициента контраста обеспечивает хорошее улучшение характеристик малоcontrastных изображений, так как распределяет градации яркости по всему диапазону яркостей, уменьшая тем самым энтропию изображения;
- совокупность гистограммного преобразования на основе среднего контраста, медианной фильтрации, текстурной сегментации представляет собой алгоритм выделения области кисты на малоcontrastных маммографических снимках, который отвечает достаточно жестким требованиям врачей по локализации участков кисты;
- использование предложенного алгоритма обработки маммограммы дает возможность выделения области кисты для последующего распознавания новообразований в молочной железе.

### Литература

1. С.С. Садыков, Ю.А. Буланова, Е.А. Захарова Диалоговая система анализа маммографических снимков //Алгоритмы, методы и системы обработки данных. Выпуск 1(19), 2012 г., с. 155-187
2. Социально значимые заболевания населения России в 2010 году (Статистические материалы) / Департамент организации медицинской профилактики, медицинской помощи и развития здравоохранения ФГУ «Центральный научно-исследовательский институт организации и информатизации здравоохранения и Росздрова», Москва, 2011 – 66 с.
3. Е.А. Захарова, Ю.А. Буланова Обзор медицинской системы КМИС и формирование статистики заболеваемости молочных желез // Алгоритмы, методы и системы обработки данных, Выпуск 1(19), 2012 г., с. 54-61
4. Рожкова Н. И. Скрининг рака молочной железы, ФГУ «Российский Научный центр рентгенорадиологии Минздравсоцразвития России» «Медико-фармацевтический вестник Татарстана», 2009г.
5. Г.П. Корженкова Комплексная рентгено-сонографическая диагностика заболеваний молочной железы, 1-е издание – М.: ООО «Фирма СТРОМ», 2004 – 128 с., ил.
6. P.Ravi Sankar, B.K.N Srinivasa Rao Parallel Architecture for Implementation of Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization, International Journal of Advanced Engineering sciences and Technologies (IAEST), Vol №10, Issue №1, pp. 047 - 051
7. Rajesh kumar Rai, Puran Gour, Balvant Singh Underwater Image Segmentation using CLAHE Enhancement and Thresholding, International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering, Volume 2, Issue 1, January 2012, pp. 118 - 123

8. У. Прэнт Цифровая обработка изображений: Пер.с англ. – М: Мир, 1982, кн.1-312с.; кн. 2 - 493с.

9. *Nguyen et al.* Watersnakes: Energy-Driven Watershed Segmentation, IEEE Transactions on Pattern Analysis And Machine Intelligence, VOL. 25, No. 3, March 2003, pp.330 - 342

БУЛАНОВА Ю.А.

E-MAIL: [YULIYABULANOVA@YANDEX.RU](mailto:YULIYABULANOVA@YANDEX.RU)

НАУЧНЫЙ РУКОВОДИТЕЛЬ:

Д.Т.Н., ПРОФЕССОР САДЫКОВ С.С.

НАУЧНЫЙ КОНСУЛЬТАНТ:

ЗАХАРОВА Е.А.