

Институт космических исследований Российской Академия наук

**Двухэнергетическая  
рентгеновская  
делительная  
радиология**

Таруса, 7-9 мая 2010 г.

## Проблема:

**В России раком молочной железы заболевает каждая десятая женщина**

**В США раком молочной железы заболела  
в 1950 г. каждая 20-тая женщина,  
- в 1998 г. одна женщина из 8-ми**

**Ошибки диагностики в США:**

**40% - ложная постановка диагноза «рак»,**

**Более 10-15% - пропуск ракового заболевания**

**(по данным совместного совещания министерства  
здравоохранения США, ЦРУ и НАСА, посвященного  
проблемам маммологии)**

**(<http://www.womenshealth.gov/news/pr/1996.imaging.htm>)**

# Физическая основа рентгеновской трансмиссионной маммографии

$$N = kN_0 e^{-\mu(Z, E) \rho d}$$

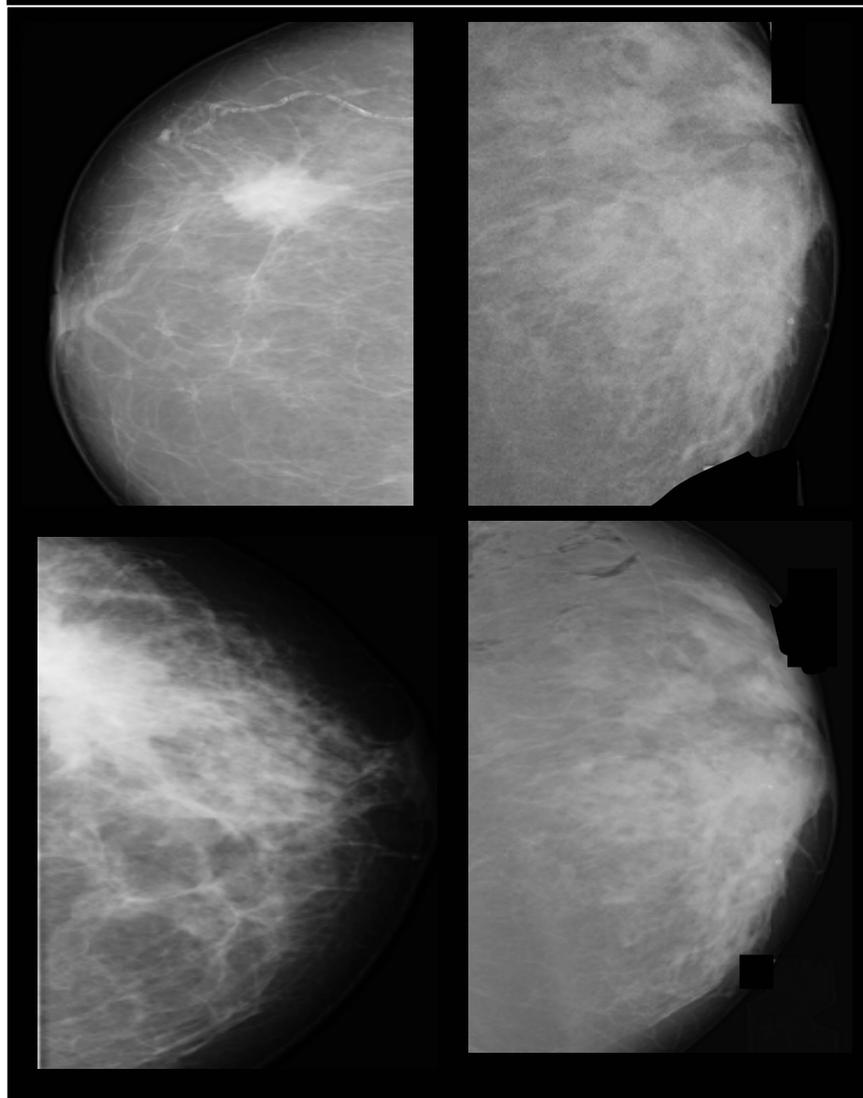
$\mu$  - массовый коэффициент полного поглощения, определяемый *эффективным атомным номером* участка молочной железы и *энергией* рентгеновского излучения,

$\rho$  - плотность участка молочной железы,

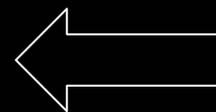
$d$  - толщина участка молочной железы

# Примеры традиционных маммограмм

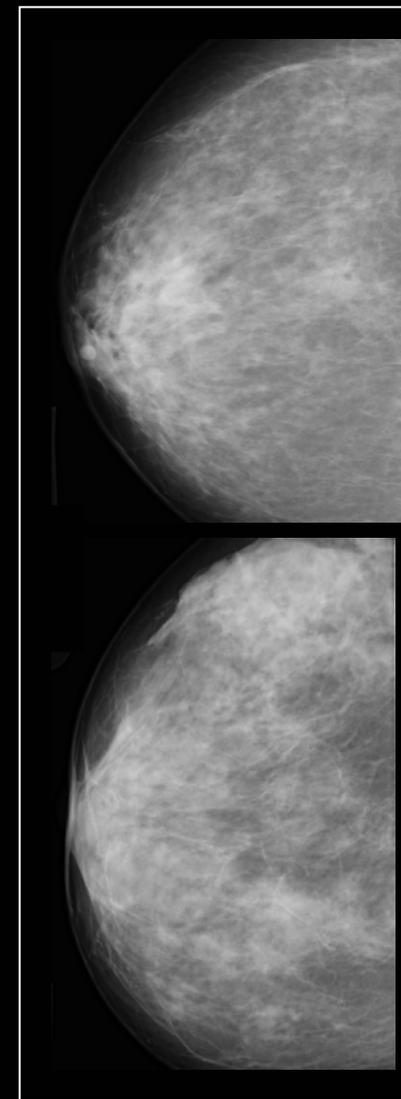
Маммограммы МЖ, для которых диагноз наличия онкологической опухоли



**поставлен**



**не поставлен**



# Знаковые цитаты

## **1. Микрокальцинаты – предвестники рака**

*"...the tiny calcifications that can be the earliest Indicator of breast cancer ..."*

Русскоязычные ссылки: Н.И.Рожкова, С.П.Прокопенко, В.Б.Китаев, В.Мякишева, В.Б.Мошаров, Р.А.Керимов, В.П.Демидов, Ю.В.Варшавская, Г.А.Франк, А.Д.Островцев, Б.А.Павлдова и др.

Англоязычные ссылки: Johns PC, Yaffe MJ. , Ph.D., Caryl Brzymialkiewicz, Gwen Banks,.... .

## **2. Раковые опухоли характеризуются повышенным эффективным атомным номером**

*"...the cancers exhibit a higher effective atomic number than do the normal tissues..."*

*"...soft tissue and cancerous tissue a very similar but their atomic number differs..."*

Русскоязычных источников не найдено.

Англоязычные ссылки: Frank Carroll, M.D., Sarah Vixby, B.S. , George Thomas, B.S., Robert Traeger, B.S. , James Waters, Ph.D. , Dale Evertson, Ph.D. , Marcus Mendenhall, Ph.D. , Cynthia B.Paschal, Ph.D., Caryl Brzymialkiewicz, Gwen Banks, B.J. Heismann, Johns PC, Yaffe MJ.,...

## **3. Двухэнергетическая маммография позволяет получить распределение атомного номера и плотности и в молочной железе**

*"...Dual-energy mammography may provide information regarding the atomic number and density characteristics of the breast tissue. ..."*

Русскоязычных источников не найдено.

Англоязычные ссылки: Johns PC, Yaffe MJ. , Johns PC, Drost DJ, Fenster A., Shaber GS, Tecotzky M., Boone JM, Alexander GM, John M. Lewin, Pamela K. Isaacs, Virginia Vance, Fred J. Larke,...

(Более 40 тыс.ссылок в Интернете на англоязычные статьи, опубликованные с 1985 г.)

## Распределение докладов по странам на 10-м международном семинаре «Цифровая маммография» (IWIM2010), июнь, 2010, Испания

### Oral



### Poster



Рентгенограммы на двух энергиях Publication Date:

**Dual energy x-ray imaging system and method for radiography and mammography**

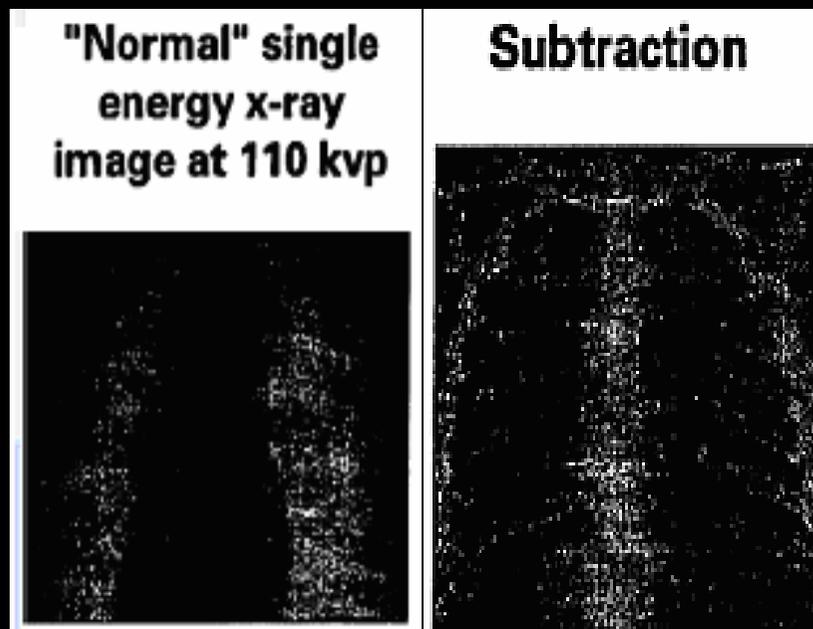
01/27/2004

Document Type and Number:

Human chest phantom (simulation)

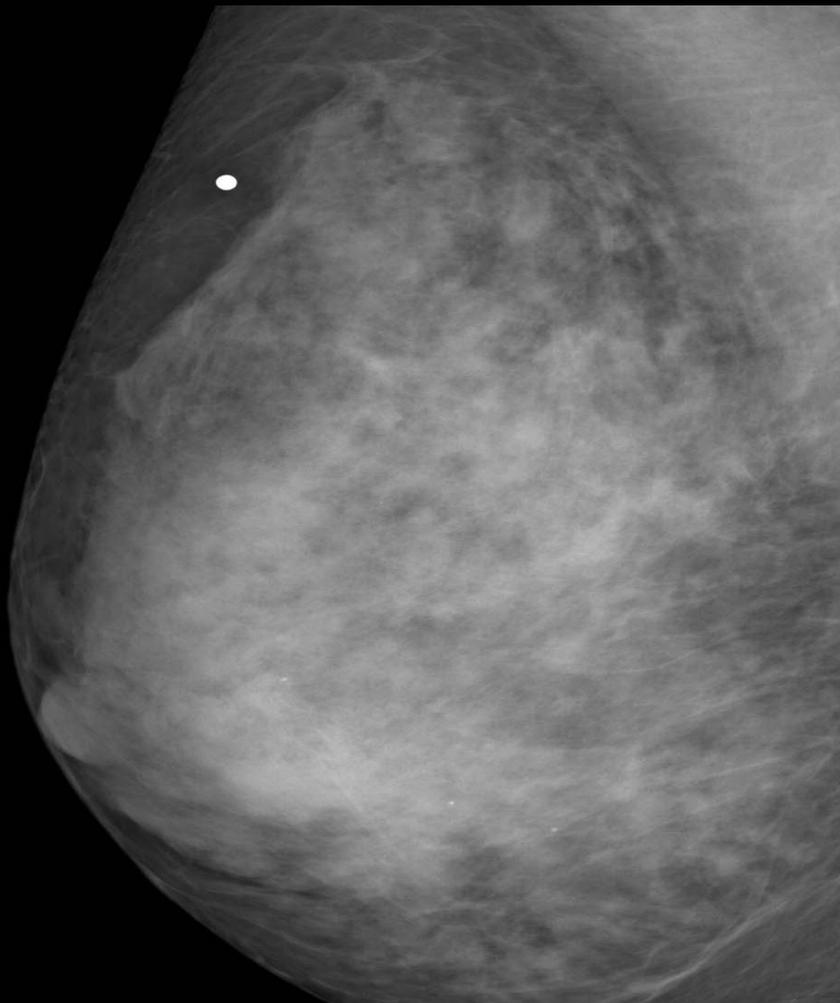
United States Patent 6683934

$$S = \ln \frac{N_0^L}{N_p^L} - \ln \frac{N_0^H}{N_p^H} = \ln \frac{N_0^L}{N_p^L} \frac{N_0^H}{N_p^H}$$



$$\alpha(x, y) = \ln \frac{N_{L,0}}{N_L(x, y)} - \ln \frac{N_{H,0}}{N_H(x, y)} = k\rho(x, y)d(x, y)Z(x, y)$$

# Пример двухэнергетической вычитательной маммографии в сочетании с ангиографией



Лобулярная карцинома



Группа микрокальцинатов (стрелка)

Lewin, J. M., Isaacs, P. K., Vance, V., Larke, F. J. Dual-energy contrast-enhanced digital subtraction mammography: feasibility. Radiology, Volume 229, Number 1, p.261-8, (2003) .

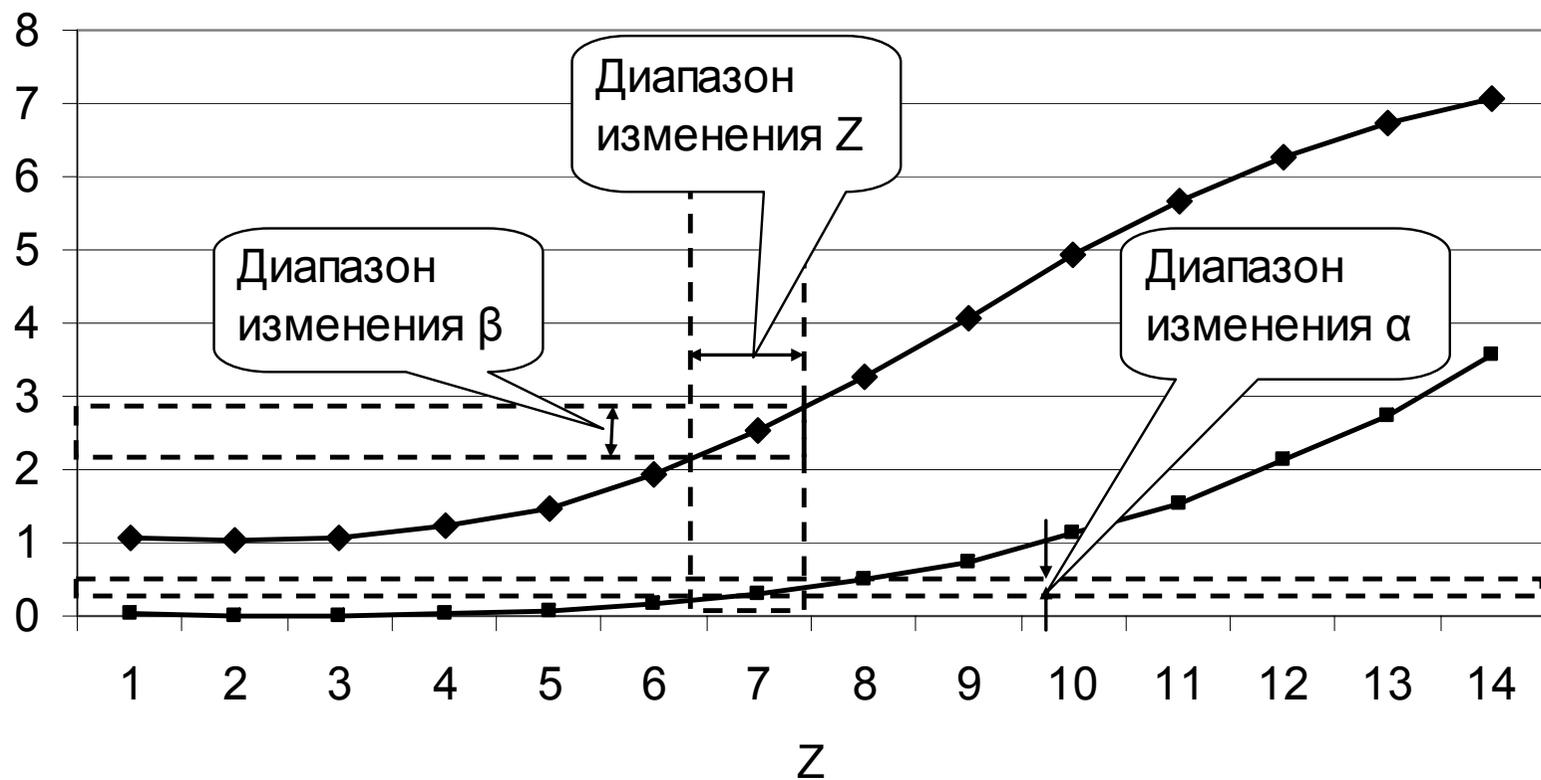
# Основы двухэнергетической делительной маммографии

В двухэнергетической *делительной* маммографии предлагается визуализировать *не разность* логарифмов, а *отношение*, которое не зависит от плотности, а пропорционально только эффективному атомному номеру

$$\beta(x, y) = \frac{\ln \frac{N_{L0}}{N_L(x, y)}}{\ln \frac{N_{H0}}{N_H(x, y)}} = kZ(x, y)$$

На визуализированное распределение отношения логарифмов уже не будет влиять вариация плотности различных участков молочной железы, что позволяет считать возможным получать более качественное изображение молочной железы.

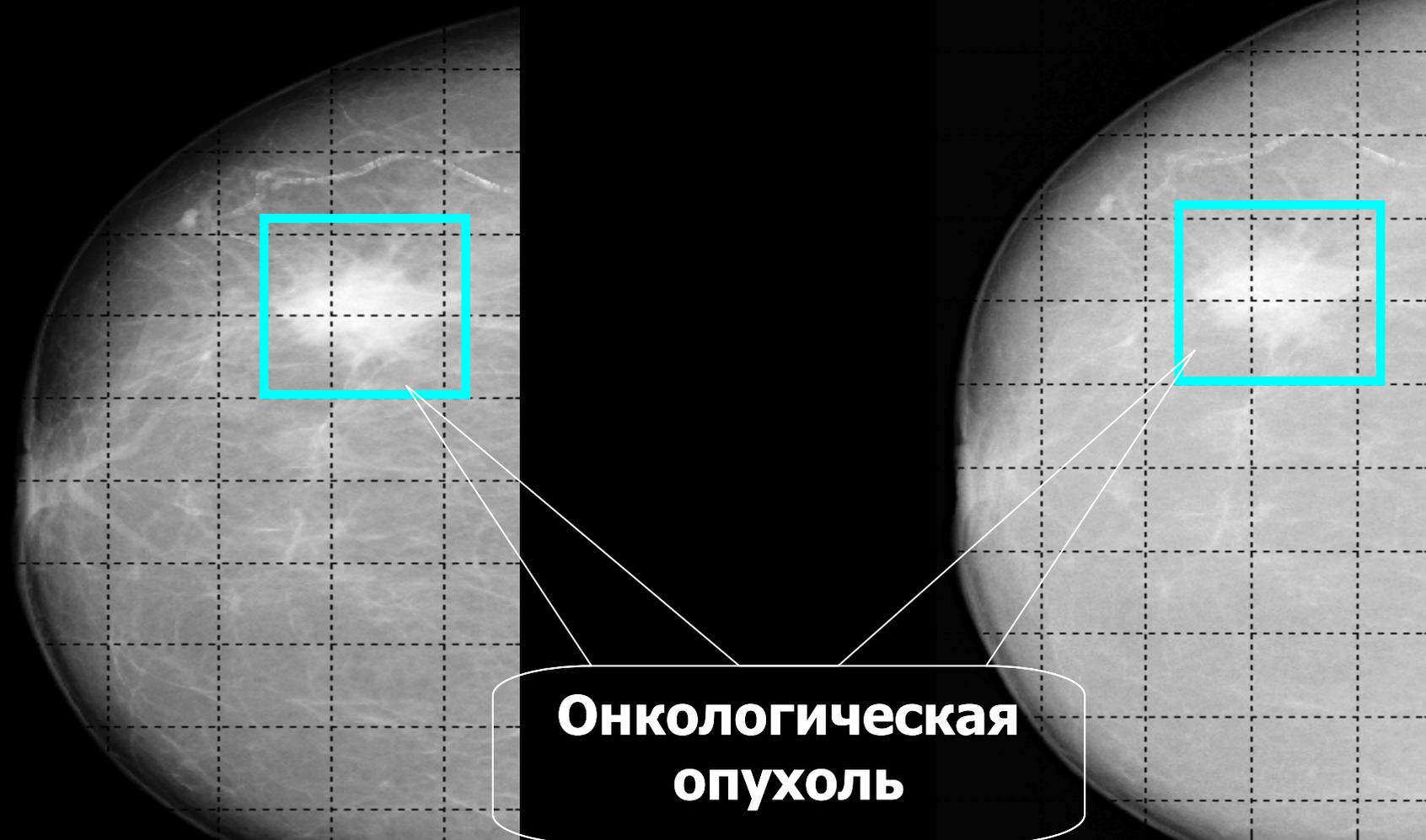
Разность ( $\alpha$ ) и отношение ( $\beta$ ) массовых коэффициентов  
полного поглощения при энергиях фотонов 20 и 40 кэВ



# Две исходные традиционные маммограммы для двухэнергетической делительной маммографии

22 kV

40 kV

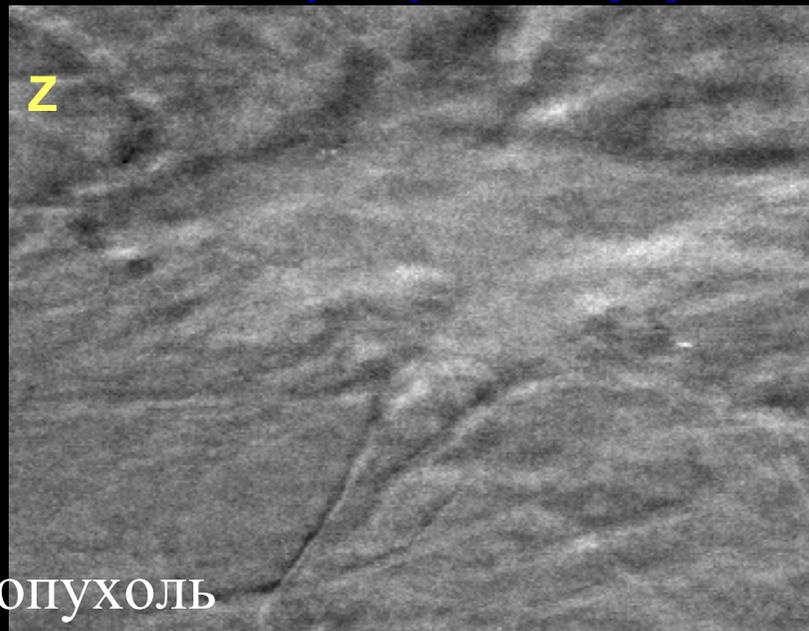


# Традиционные маммограммы (ТМ) и распределения отношения логарифмов (Z)

ТМ

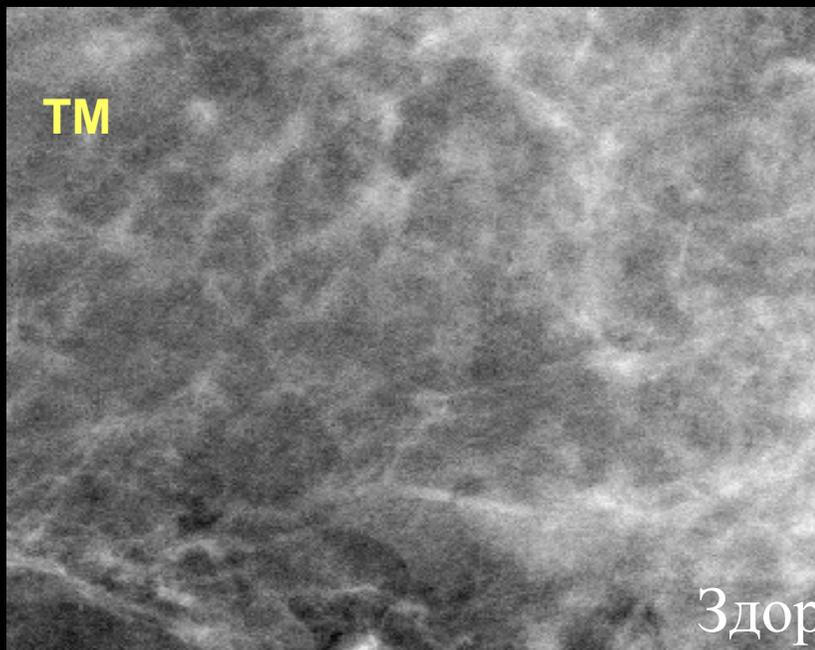


Z

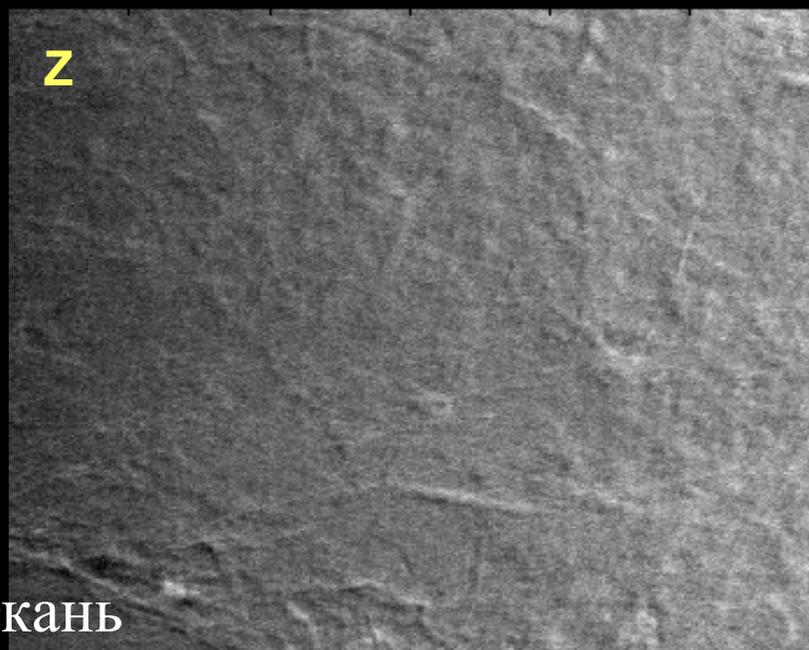


Онкологическая опухоль

ТМ



Z

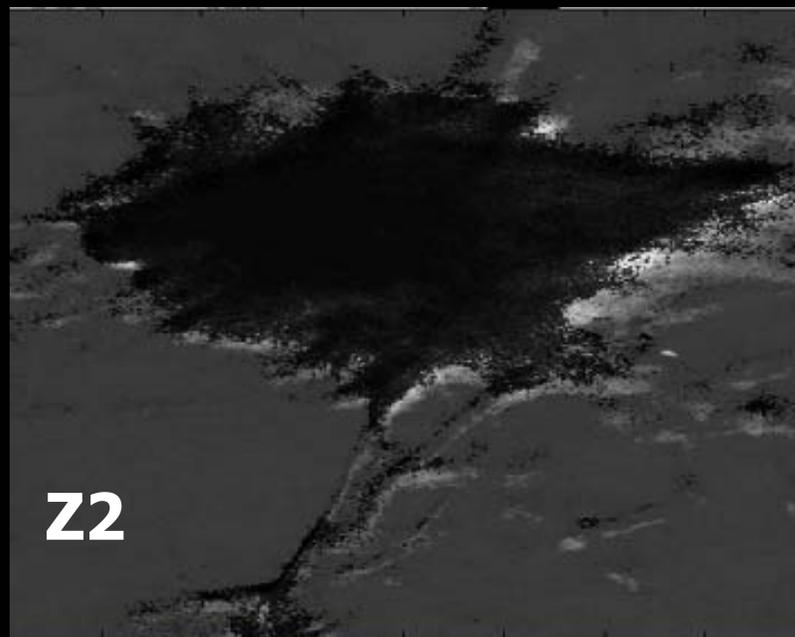
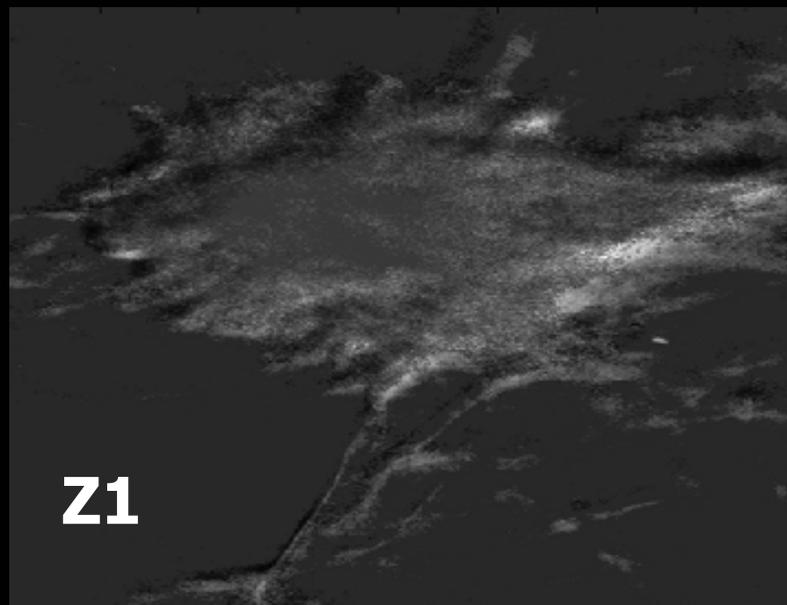
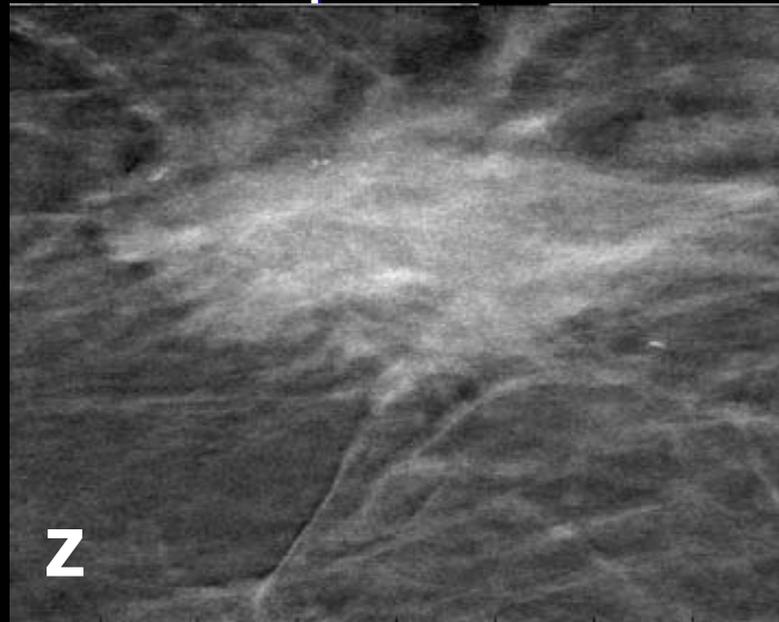


Здоровая ткань

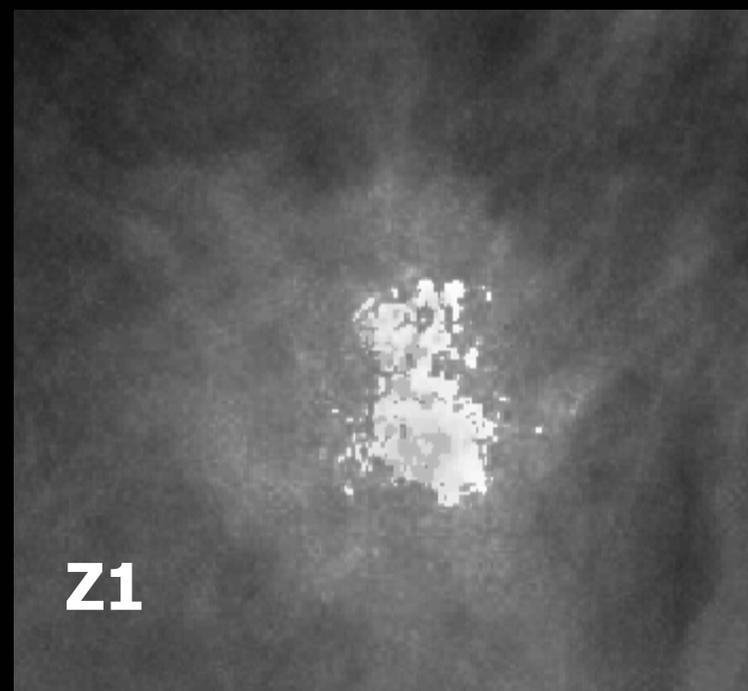
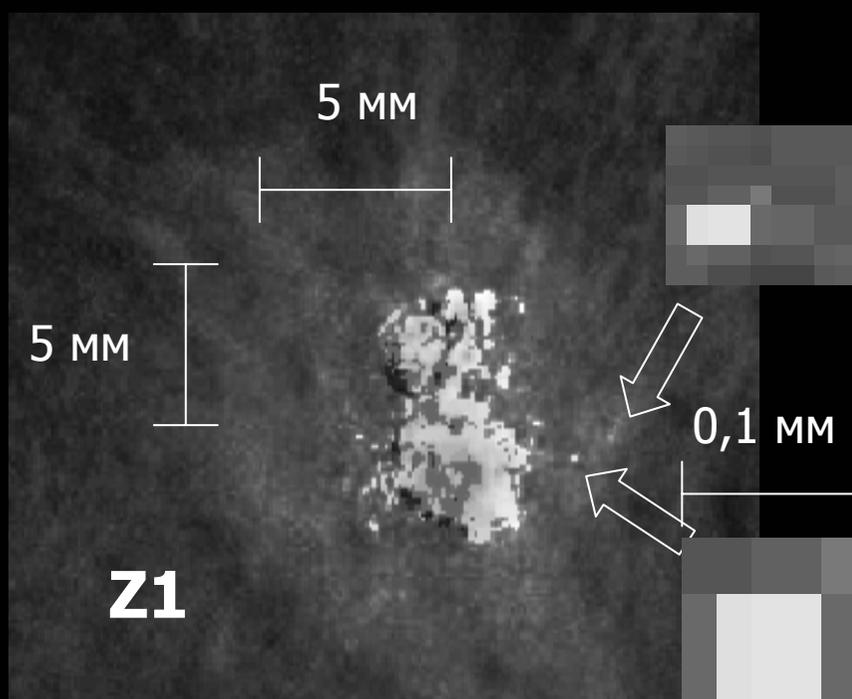
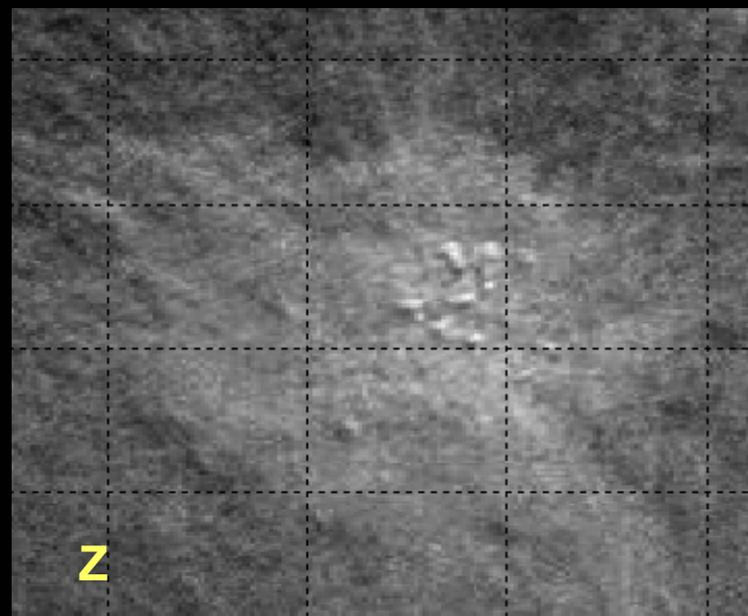
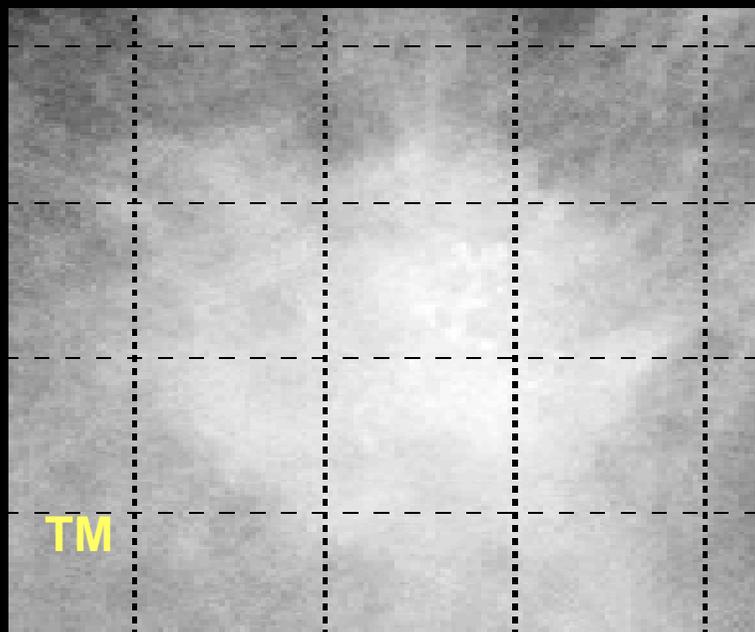
# Усиление чувствительности к изменению эффективного атомного номера $Z$

Визуализация распределения отношения логарифмов позволяет изменять чувствительность маммограмм к изменению эффективного атомного номера.

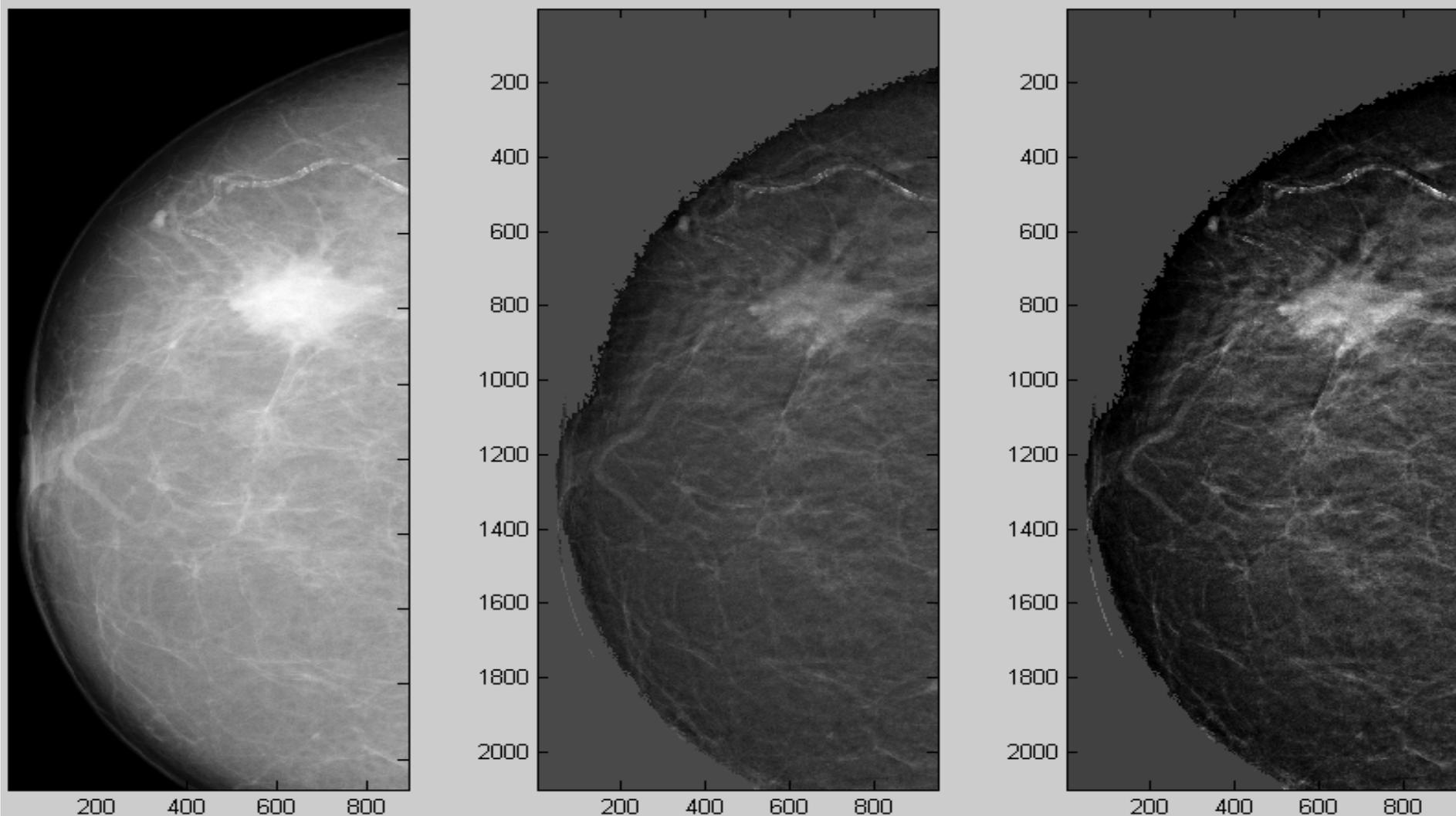
$Z$  – распределение эффективного атомного номера,  
 $Z_1, Z_2$  – маммограммы с различной чувствительностью к изменению  $Z$



# Идентификация микрокальцинатов



# Сопоставление традиционной и двухэнергетической делительной маммографии



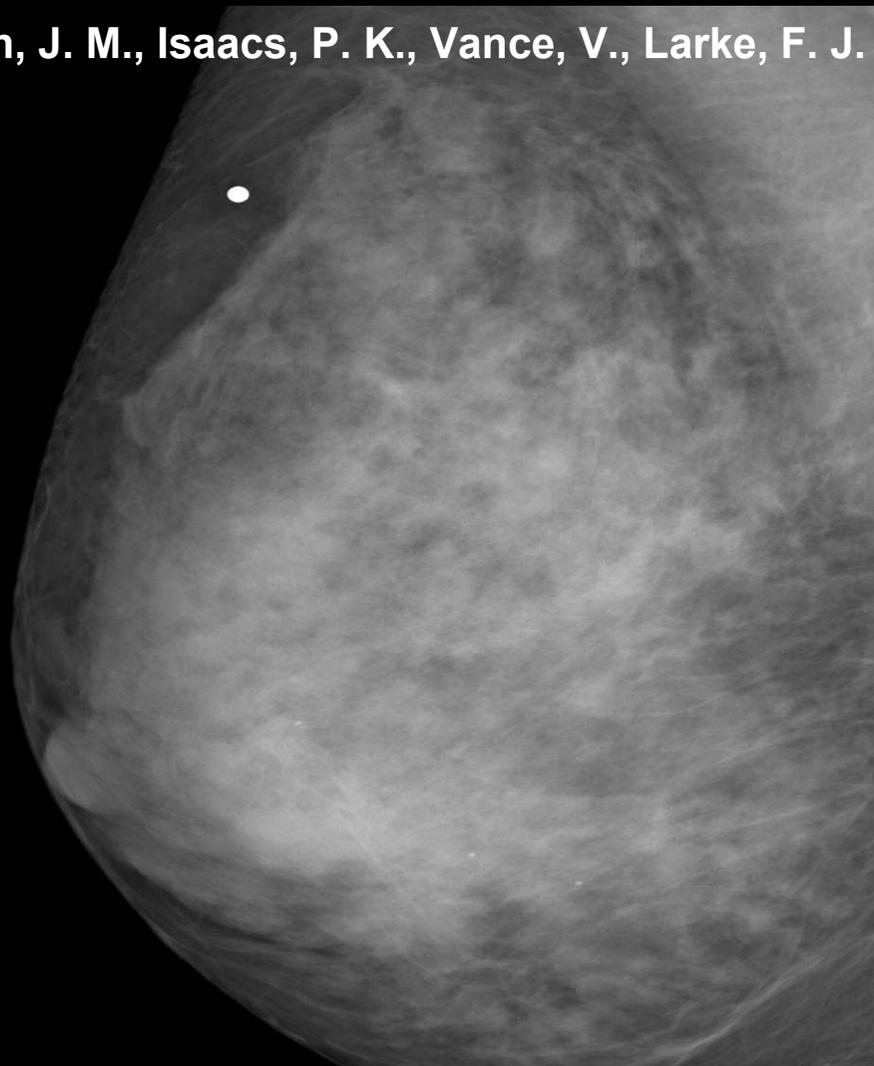
**Традиционная маммограмма**

**Визуализация Z**

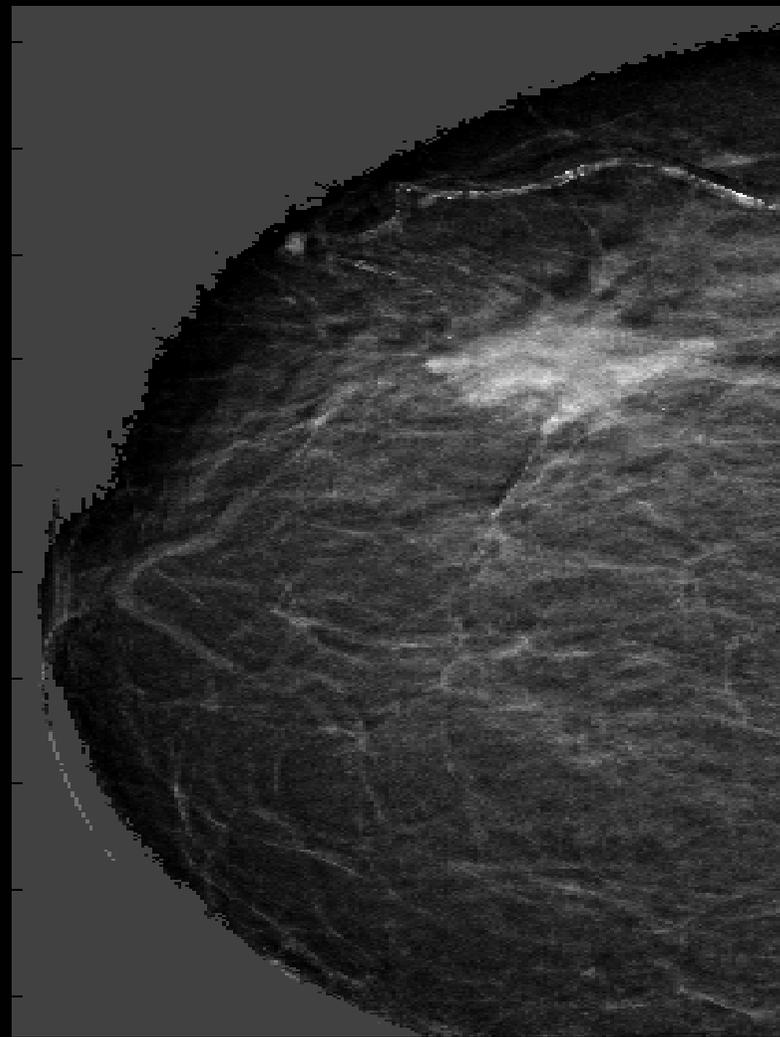
**Визуализация Z1**

# Сопоставление двухэнергетических вычитательной и делительной маммограмм

Lewin, J. M., Isaacs, P. K., Vance, V., Larke, F. J.



**Двухэнергетическая  
вычитательная маммограмма**

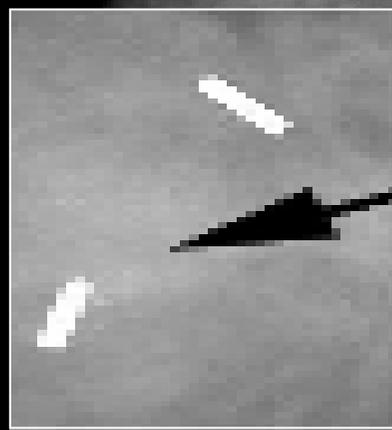


**Двухэнергетическая  
делительная маммограмма**

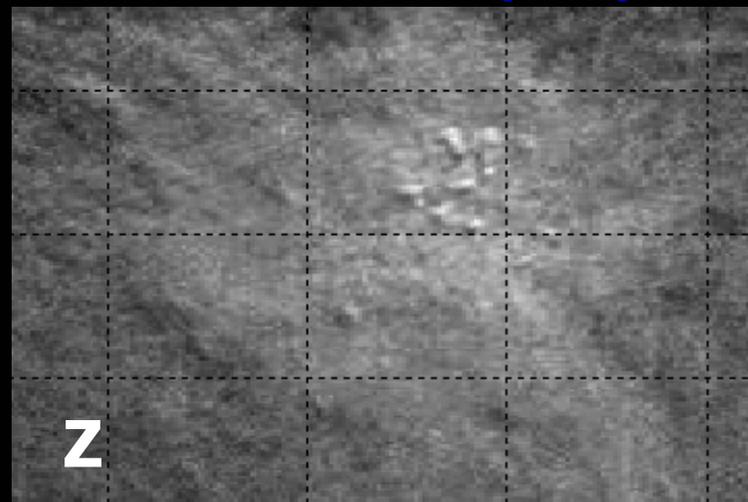
# Сопоставление эффективности идентификации микрокальцинатов двухэнергетической вычитательной и делительной маммографией

Lewin, J. M., Isaacs, P. K., Vance, V., Larke, F. J.

Группа  
микрокальцинов



Двухэнергетическая  
вычитательная маммограмма



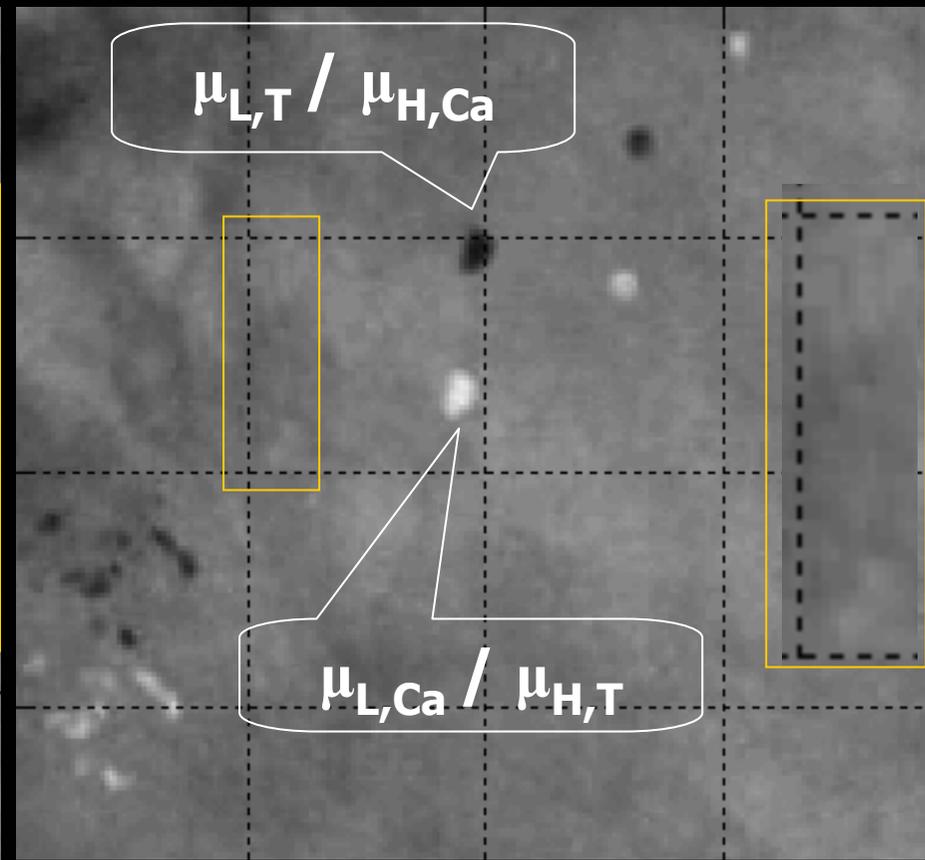
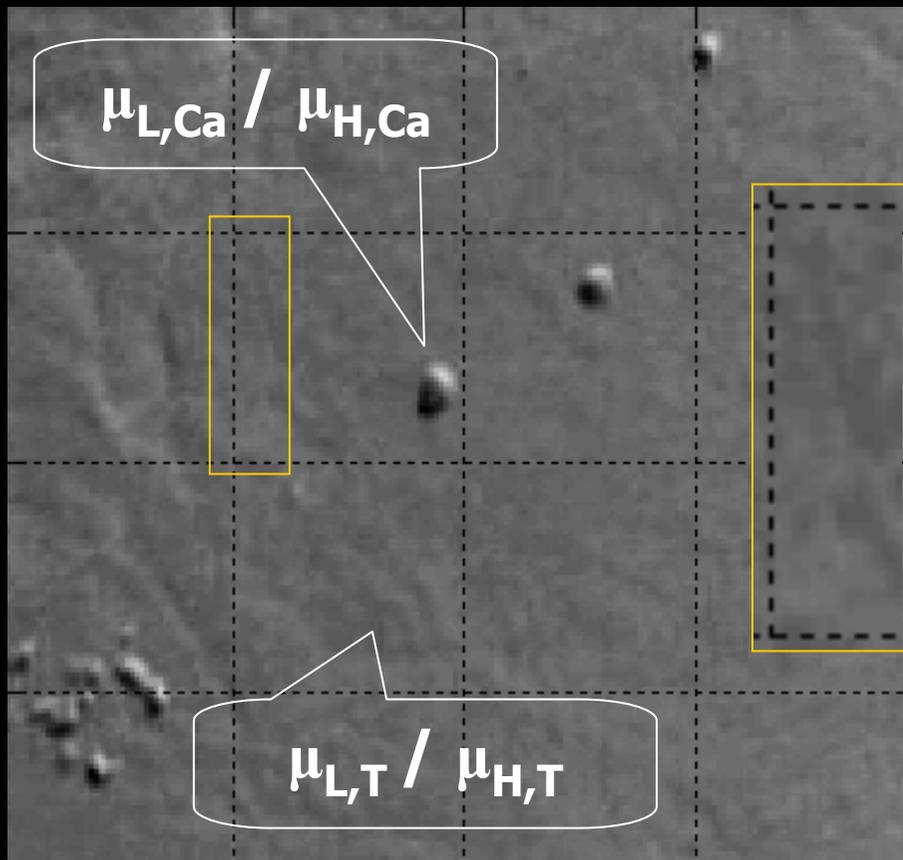
Z1

Двухэнергетическая  
делительная маммограмма

# Выявление микрокальцинатов на основе смещенных снимков

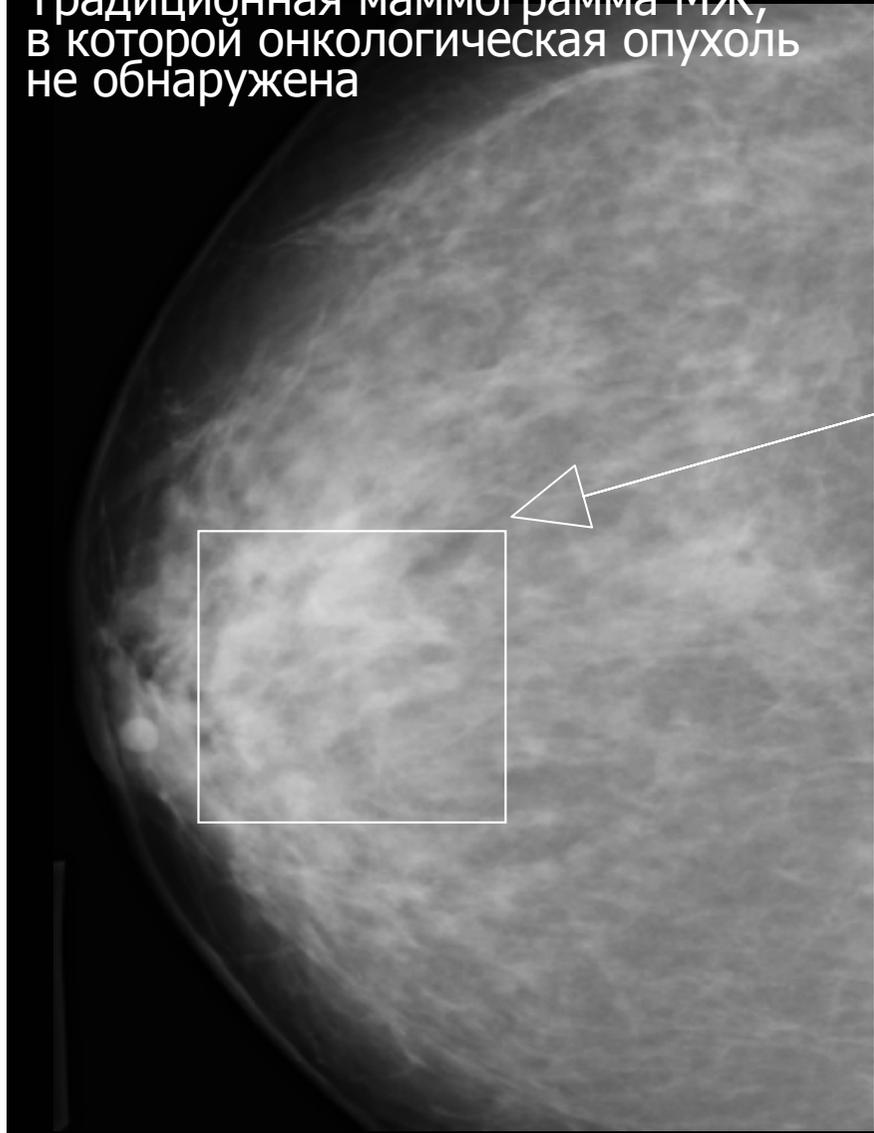
Смещение отсутствует

Смещение  $dx=0,5\text{мм}$ ,  $dy=4\text{мм}$

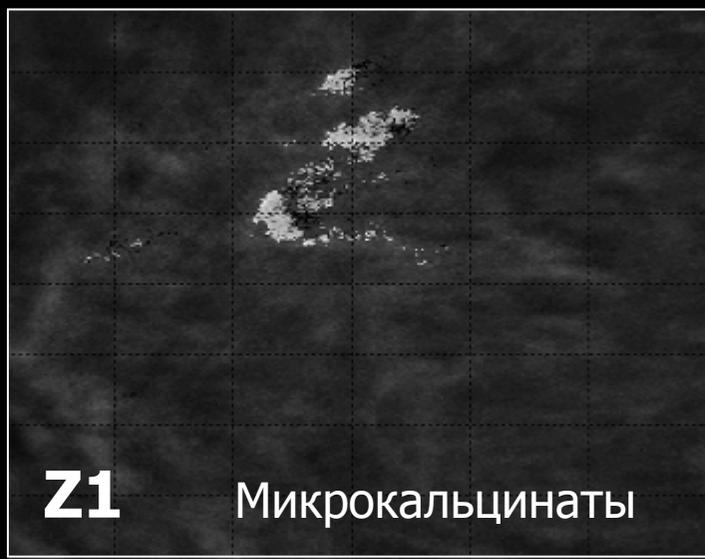
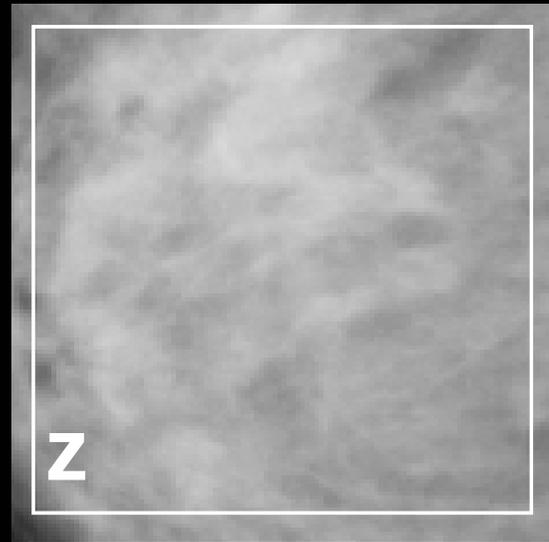


# Идентификация микрокальцинатов на ранней стадии их формирования

Традиционная маммограмма МЖ, в которой онкологическая опухоль не обнаружена



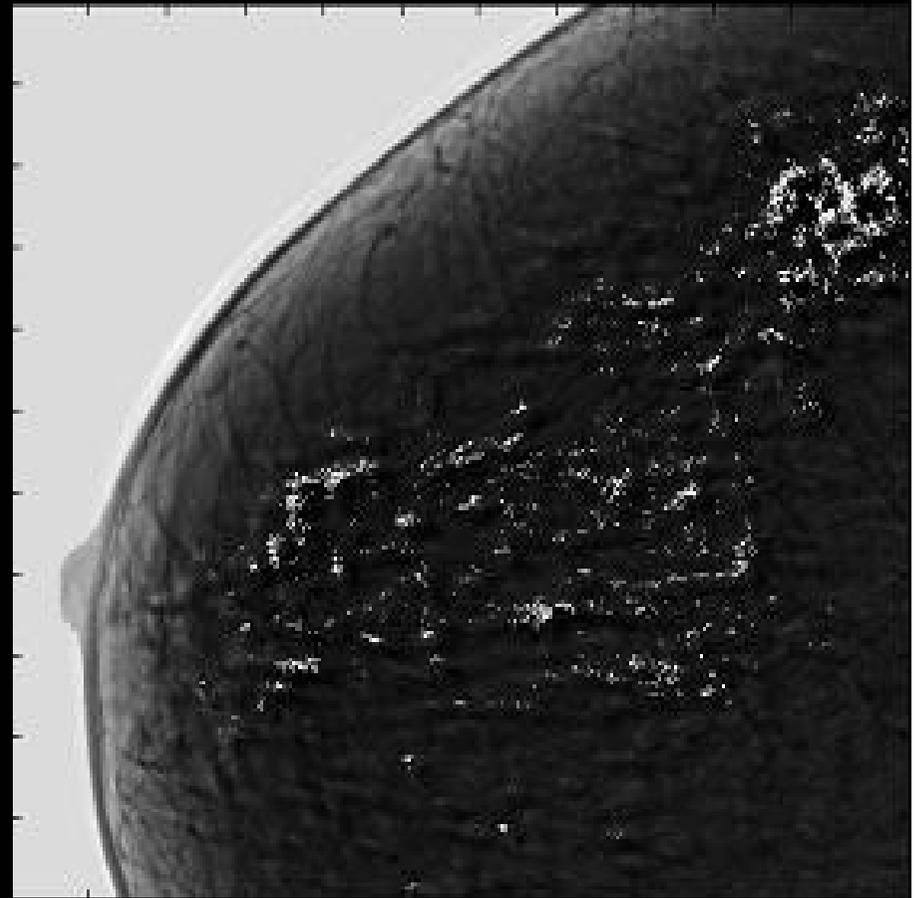
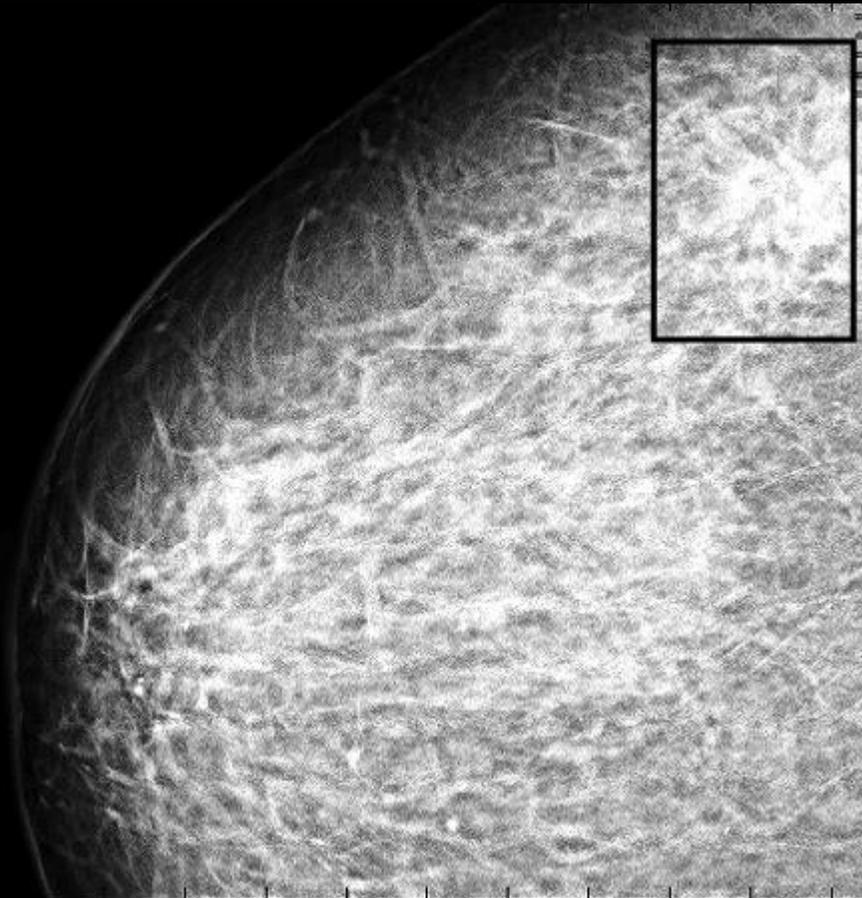
Фрагмент



# Идентификация микрокальцинатов на ранней стадии их формирования на Z-маммограмме

Традиционная маммограмма МЖ,

Z



Последующий морфологический анализ удаленной молочной железы подтвердил наличие микрокальцинатов в данных областях.

## Вывод

**Двухэнергетическая делительная маммография позволяет более эффективно проводить диагностику заболеваний по сравнению как традиционной радиологией, так и с двухэнергетической вычитательной радиологией.**