

## Определение объема раннего гипотонического кровотечения путем 3D-моделирования результатов ультразвукового исследования

### Аннотация

Представлен оригинальный способ определения объема раннего гипотонического кровотечения путем комплексного использования 3D-моделирования результатов ультразвукового исследования полости матки и гравиметрической оценки объема наружной кровопотери. Описаны схема расчета, методика создания 3D-модели послеродовой матки, и проведена оценка эффективности применения разработанной методики для определения объема кровопотери.

### Введение

В настоящее время акушерские кровотечения занимают первое место в структуре материнской смертности. Оценка объема и степени тяжести кровопотери проводится путем визуальной оценки объема, гравиметрическим методом, а также путем клинической интерпретации симптомов гиповолемии [1]. Визуальный метод недооценивает объем кровопотери (ОК) в среднем на 30 % ввиду своей субъективности. Ошибка визуального метода увеличивается по мере возрастания ОК, поэтому в первую очередь в клинической практике следует ориентироваться на общее состояние пациентки. Гравиметрический метод осуществляется путем прямого сбора потерянной крови в градуированные емкости (мешки-коллекторы, цилиндры или Cell Saver), а также путем взвешивания пропитанных кровью салфеток и операционного белья. Данный метод является более точным (точность составляет 90 %), чем визуальный, однако также не дает достоверной информации об истинном ОК [1]. Вследствие этого возникла необходимость в динамической оценке объема полости матки (ОПМ) в раннем послеродовом периоде наряду с оценкой объема наружной кровопотери гравиметрическим методом.

Безусловно, наиболее достоверными методами оценки объема органа являются компьютерная (КТ) и магнитно-резонансная томография (МРТ) [2]. Между тем проведение МРТ и КТ не может являться рутинной практикой ввиду пространственной разобщенности родового отделения и соответствующих кабинетов, а также высокой стоимости необходимого исследования. Объем полости органа традиционно рассчитывают, применяя формулы, созданные для правильных геометрических форм (эллипс) и основанные на двумерной ультрасонографии. В настоящее время широкое распространение получила трехмерная ультрасонография, являющаяся более точной методикой оценки объема органов или полостей с неровным контуром поверхности в сравнении с двумерной методикой [2]. Однако трехмерная ультразвуковая визуализация в условиях районных больниц не является столь широко доступной, как традиционное двумерное сканирование.

Решение данной проблемы представлено I. Casikar и соавторами: предлагается методика 3D-моделирования, позволяющая построить виртуальную модель тела матки и осуществить автоматический расчет ее объема. Виртуальная модель строилась на основании трассировки шести сечений тела матки с разностью угла между ними в 30° [3]. Между тем описанный способ обладает рядом недостатков:

- 1) недостаточная точность способа (согласно результатам, погрешность предложенного метода составляет 18 %), что, вероятно, обусловлено сопоставлением рассчитанного объема органа с его конечной массой – данные величины несопоставимы, так как в данной ситуации не учитывается плотность тканей ( $V = m / \rho$ );
- 2) сложность способа (согласно описанию метода, для построения модели необходимо методом трассировки выделить шесть сечений матки);
- 3) низкая доступность способа (способ предполагает использование специального программного обеспечения);

- 4) высокая трудоемкость способа (ручная трассировка шести сечений тела матки требует значительного времени).

Кроме того, данный способ предполагает оценку объема тела матки при планировании экстирпации, не предусматривает определение ОПМ в условиях ограничения времени для проведения исследования.

Вследствие этого целью исследования явилось определение объема раннего гипотонического кровотечения (РГК) путем комплексного использования 3D-моделирования результатов ультразвукового исследования (УЗИ) послеродовой матки и гравиметрического метода.

### Материалы и методы

На базе перинатального центра ГУЗ «Краевая клиническая больница» г. Читы в 2018-2019 годах проводилась проспективная оценка ОК у женщин, роды которых сопровождались РГК. Критериями исключения явились: травмы родовых путей, сопровождающиеся обильным кровотечением, задержка плацентарной ткани, а также первичные нарушения свертываемости крови. Общий объем выборки составил 60 исследований. Оценка ОК у рожениц проводилась параллельно четырьмя врачами, использующими четыре различных метода оценки ОК. В результате этого были выделены четыре равные исследуемые группы: 1-я группа (15) – оценка ОК проводилась визуальным методом; 2-я группа (15) – оценка ОК проводилась при помощи гравиметрического метода (мешок-коллектор); 3-я группа (15) – общий ОК рассчитывался суммированием ОПМ, определенного путем двумерной ультрасонографии по стандартной формуле, и объема крови, стекающей в мерную цилиндрическую емкость; 4-я группа (15) – общий ОК оценивался путем комплексного анализа результатов 3D-моделирования данных УЗИ послеродовой матки и гравиметрического метода (мерная цилиндрическая емкость). Перед проведением комплекса необходимых исследований было получено информированное добровольное согласие пациенток.

Первым этапом исследования явилось определение формулы расчета ОПМ. Выбор критериев для определения ОПМ был проведен на основании следующих математических расчетов:

- объем полостных органов в ультразвуковой практике определяется по следующей стандартной формуле  $V = A \cdot B \cdot C \cdot \pi / 6$ , где  $A$  – длина органа, см;  $B$  – толщина органа, см;  $C$  – ширина органа, см;  $\pi$  – математическая постоянная, равная отношению длины окружности к ее диаметру,  $\pi \approx 3,14$ ;  $V$  – объем органа, см<sup>3</sup> [4];
- так как полость матки представляет собой фигуру неправильной геометрической формы (в частности при деформации полости матки миоматозным узлом), целесообразным является определение площади сечений полости [5];
- площадь сечения фигуры эллипсоподобной формы равна  $S = a \cdot b \cdot \pi$ , где  $a$  – первая (большая) полуось;  $b$  – вторая (средняя) полуось;  $S$  – площадь сечения эллипсоида;
- площадь фигуры эллипсоподобной формы соответственно равна  $S = a \cdot b \cdot \pi = A \cdot B \cdot \pi / 4$ , где  $a$  – первая (большая) полуось;  $A$  – первая (большая) ось;  $b$  – вторая (средняя) полуось;  $B$  – вторая (средняя) ось;  $S$  – площадь сечения эллипсоида;

- тогда длина фигуры эллипсоподобной формы равна  $A = 4S_1 / (B\pi)$ , где  $A$  – длина;  $B$  – толщина;  $S_1$  – площадь продольного сечения фигуры;
- тогда ширина фигуры эллипсоподобной формы равна  $C = 4S_2 / (B\pi)$ , где  $C$  – ширина;  $B$  – толщина;  $S_2$  – площадь перекрестного сечения фигуры;
- таким образом, объем полости эллипсоподобной формы можно рассчитать по формуле

$$V = \frac{4S_1}{B\pi} \cdot \frac{4S_2}{B\pi} \cdot \frac{\pi}{4} = \frac{8S_1S_2}{3B\pi} \approx \frac{0,85 \cdot S_1S_2}{B},$$

где  $S_1$  – площадь продольного сечения;  $S_2$  – площадь перекрестного сечения;  $B$  – вторая (средняя) ось;

- тогда ОПМ следует определять по формуле  $V = 0,85 \cdot S_1S_2 / h$ , где  $S_1$  – площадь максимального продольного сечения полости, см<sup>2</sup>;  $S_2$  – площадь перекрестного сечения полости, см<sup>2</sup>;  $h$  – максимальный переднезадний размер полости послеродовой матки, см; 0,85 – коэффициент, равный  $8/3\pi$ . Использование данной формулы гипотетически позволит снизить погрешность двумерной визуализации, что, безусловно, является значимым при оценке объема РГК.

Вторым этапом исследования явилось проведение УЗИ матки в раннем послеродовом периоде у обследуемых пациенток. Эхографическое исследование проводилось при помощи портативного ультразвукового сканирующего устройства высокого класса «MySono U6 Samsung Medison» («Samsung Medison Bldg», Корея). УЗИ проводилось конвексным датчиком с частотой 3,5...5,0 МГц трансабдоминальным доступом. Измерение проводилось в положении пациентки на спине. Трансабдоминальный датчик первоначально устанавливался в параумбиликальную область в сагитальную позицию для

визуализации дна матки. Перемещая датчик в «поисковом режиме», получали изображение продольного сечения полости матки максимально возможного размера, включали «стоп-кадр», после чего методом трассировки определяли площадь максимального продольного сечения полости и измеряли максимальный переднезадний размер полости послеродовой матки. После этого в данной точке визуализации датчик поворачивали на 90° для получения перекрестного сечения полости. Перекрестное сечение полости послеродовой матки определяли также методом трассировки (рис. 1).

Третий этап исследования включал в себя создание 3D-модели полости послеродовой матки, изменяющейся динамически в зависимости от значений введенных параметров УЗИ [2]. На основе полученных данных был написан программный код при помощи системы визуального скриптинга «Unreal Engine 4 Blueprint» («Epic Games», США) на основе «C++» (ISO). При запуске программы открывается диалоговое окно, в котором имеются строки для ввода данных УЗИ: длины ( $A$ ), ширины ( $B$ ), максимального переднезаднего размера ( $C$ ), площади максимального продольного ( $S_1$ ) и перекрестного ( $S_2$ ) сечений полости послеродовой матки (рис. 2).

Набор действий создается автоматически в специальном режиме работы пользовательского окна. Окно ввода и окно проекции взаимодействуют между собой посредством привязки переменных окна ввода к полигональным участкам модели с разным уровнем воздействия веса на площадь полигональной группы. Результатами являются определение ОПМ ( $V$ ) и оценка степени тяжести общей кровопотери.

Статистическая обработка результатов исследования осуществлялась при помощи пакета программ «IBM SPSS Statistics Version 25.0» («International Business Machines Corporation»),

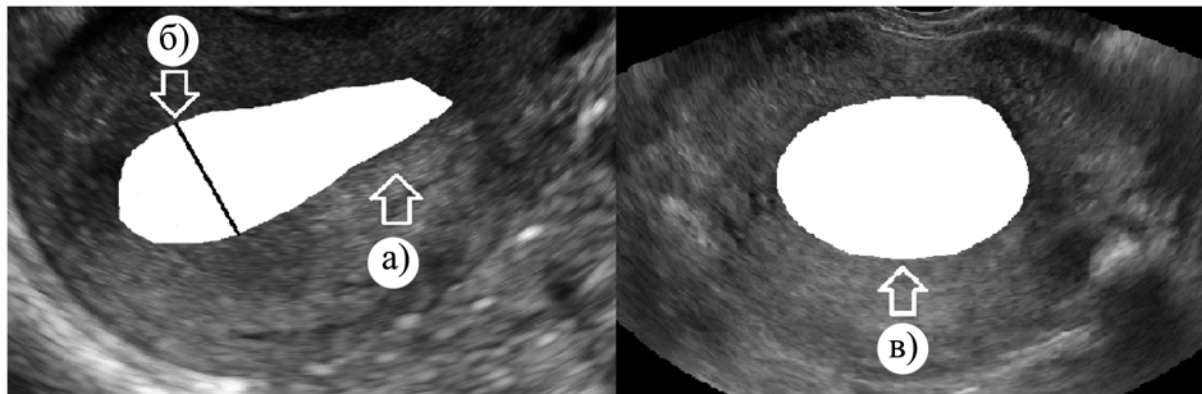


Рис. 1. Методика определения максимального продольного (а), перекрестного (в) сечений и максимального переднезаднего размера (б) полости послеродовой матки при помощи трансабдоминального ультразвукового датчика

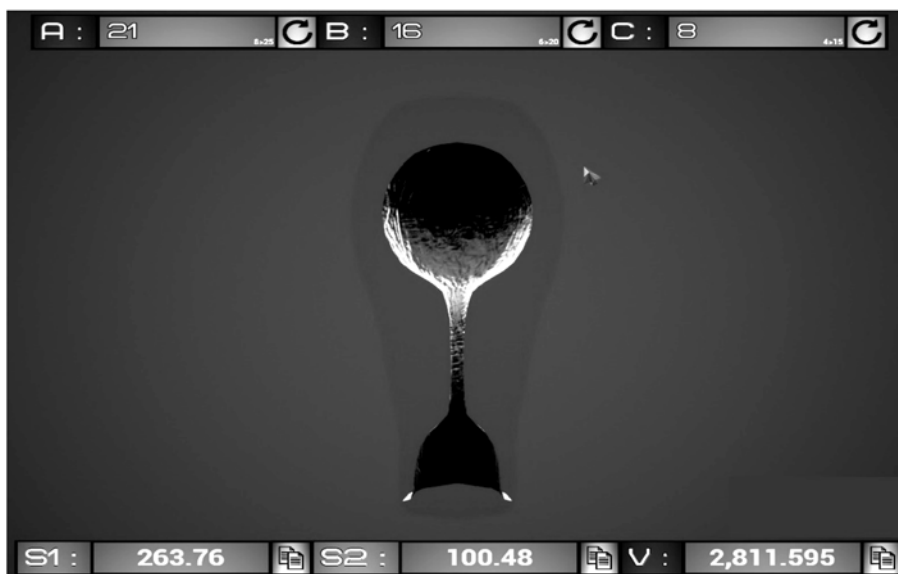


Рис. 2. Вид 3D-модели послеродовой матки сверху и рабочих окон разработанной программы

США). Полученные данные представлены в виде медианы и доверительного интервала. Статистическая значимость различий показателей оценивалась путем определения критерия Краскела-Уоллиса ( $H$ ) с последующим определением уровня значимости  $p$ . Для более точного описания наблюдаемых тенденций использован критерий Манна-Уитни ( $U$ ), позволяющий оценить различия показателей при сравнении групп попарно. Для оценки связи между методом определения и истинным значением объема кровопотери использован коэффициент ранговой корреляции Спирмена, теснота связи оценена по шкале Чеддока [6].

## Результаты

В 1-й группе объем РГК оценен в 750 мл (95 % ДИ 700...825), во 2-й группе – в 1050 мл (95 % ДИ 995...1150), в 3-й группе – в 1100 мл (95 % ДИ 1055...1220), в 4-й группе – в 1230 мл (95 % ДИ 1150...1280) ( $H = 41,58, p < 0,001$ ) (рис. 3).

При сравнении групп попарно обращает на себя внимание низкая диагностическая ценность визуального метода оценки ОК в 1-й группе ( $p_{1,4} < 0,001$ ). Сопоставление результатов оценки ОК во 2-й и 3-й группах не выявило значимых различий ( $U = 66,5, p = 0,056$ ). Вероятно, данный факт обусловлен низкой диагностической ценностью стандартной ультразвуковой формулы для оценки ОПМ, имеющей неправильную геометрическую форму при развитии гипотонии. Между тем, эффективность оценки ОК в 4-й группе значимо отличается от 2-й группы ( $U = 26,5, p < 0,001$ ), что подтверждает целесообразность использования 3D-моделирования результатов УЗИ послеродовой матки и учета наружной кровопотери при помощи мерной цилиндрической емкости. Безусловно, мешок-коллектор позволяет адекватно оценивать ОК при физиологическом течении раннего послеродового периода. Между тем при развитии РГК очевидными становятся его недостатки: мешок-коллектор имеет только промежуточные деления, что не позволяет исследователю адекватно оценить ОК. Диагностическую ценность разработанной формулы демонстрирует достаточная значимость различий в оценке ОК в 3-й и 4-й группах ( $U = 55,5, p = 0,018$ ).

С целью определения погрешности методов оценивалось отношение объема определенной кровопотери в исследуемых группах на момент постановки соответствующего диагноза к ОК на момент завершения ручного обследования полости матки. Погрешность исследования в 1-й группе составляет 34,6 %, во 2-й группе – 10,4 %, в 3-й группе – 4,6 %, в 4-й группе – 3,4 % ( $H = 51,63, p < 0,001$ ). Использование стандартной формулы для расчета ОПМ приводило к недооценке ОК, использование разработанной формулы – к переоценке ОК ( $U = 5,0, p < 0,001$ ). Вероятно, переоценка ОК обусловлена рыхлостью ступков крови в полости гипотоничной матки. Однако данный факт имеет не столько негативное, сколько положительное значение: использование данного метода сигнализирует врачу о скорой необходимости выполнения активных действий, направленных на предупреждение развития критической ситуации.

Связь между рассчитанным в 4-й группе и истинным значениями объема кровопотери является близкой к функциональной (табл. 1).

Таблица 1

### Фактическая степень параллелизма между методом определения и истинным значением объема кровопотери

Исследуемые группы	Коэффициент корреляции Спирмена	Двусторонняя значимость	Сила связи по шкале Чеддока
1-я группа	0,543	0,036	Умеренная
2-я группа	0,817	< 0,001	Высокая
3-я группа	0,823	< 0,001	Высокая
4-я группа	0,943	< 0,001	Высокая

Реализация описанного способа доступна в условиях малообеспеченности районных стационаров, так как не требует наличия высокотехнологичной аппаратуры, основана на использовании двумерной ультрасонографии и расчете ОПМ посредством предложенной формулы. Описанный способ целесообразно использовать у родильниц, относящихся к группе высокого риска по развитию нарушений сокращений матки [1]. Врач родового отделения в течение двух часов после отделения последа в динамическом режиме (каждые 20 мин в течение первого часа, каждые 30 мин в течение второго часа) проводит УЗИ матки при помощи портативного ультразвукового аппарата, определяет ОПМ по предложенной формуле посредством калькулятора, рассчитывает общий ОК с учетом наружной кровопотери. При превышении уровня допустимой кровопотери врачу следует приступить к выполнению неотложных мероприятий. При возникновении необходимости наглядной визуализации изменения ОПМ используется предложенная программа, которую могут предоставить авторы статьи после получения соответствующего запроса.

## Заключение

Комплексное использование 3D-моделирования результатов ультразвукового исследования полости матки в раннем послеродовом периоде и гравиметрической оценки объема наружной кровопотери при помощи мерной емкости позволяет эффективно оценить объем раннего гипотонического кровотечения, что в перспективе позволит снизить частоту массивных акушерских кровотечений и оптимизировать тактику ведения подобных пациенток.

### Список литературы:

1. Профилактика, алгоритм ведения, анестезия и интенсивная терапия при послеродовых кровотечениях / Клинические рекомендации (протокол лечения) Российского общества акушеров-гинекологов, утв. Министерством здравоохранения Российской Федерации № 15-4/10/2-2535 от 26 марта 2019 г.

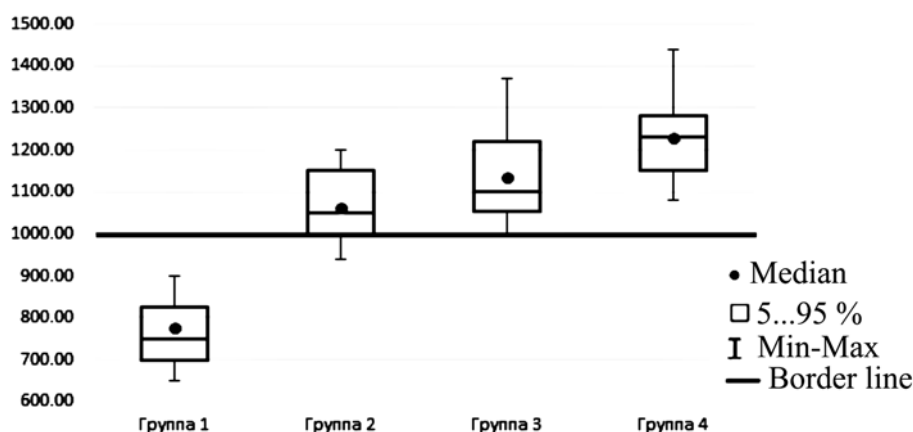


Рис. 3. Различия в оценке объема раннего гипотонического кровотечения в исследуемых группах, мл

2. Мерц Э. Ультразвуковая диагностика в акушерстве и гинекологии / Пер. с англ. в 2-х томах. Под ред. А.И. Гуса. – М.: МЕДпресс-информ, 2016. С. 74.
3. Casikar I., Mongelli M., Reid S., Condous G. Estimation of uterine volume: A comparison between Viewpoint and 3D ultrasound estimation in women undergoing laparoscopic hysterectomy // Australasian Journal of Ultrasound in Medicine. 2015. Vol. 18. № 1. PP. 27-32.
4. Смит Н.С., Смит Э.П.М. Ультразвуковая диагностика в акушерстве и гинекологии понятным языком / Пер. с англ. Под ред. А.И. Гуса. – М.: Практическая медицина, 2014. 304 с.
5. Колесов В.В. Математика для медицинских вузов. Уч. пособие. – М.: Феникс, 2015. 379 с.
6. Левин И.А., Манухин И.Б., Пономарева Ю.Н., Шуметов В.Г. Методология и практика анализа данных в медицине. Монография. – М.-Тель-Авив: АПЛИТ, 2010. 168 с.

Айдар Миндиярович Зиганишин,  
канд. мед. наук, доцент,  
кафедра акушерства и гинекологии с курсом ИДПО,  
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный  
медицинский университет» Минздрава России,  
г. Уфа,  
Виктор Андреевич Мудров,  
канд. мед. наук, доцент,  
кафедра акушерства и гинекологии  
лечебного и стоматологического факультетов,  
Александр Константинович Ляпунов,  
клинический ординатор,  
кафедра акушерства и гинекологии,  
ФГБОУ ВО «Читинская государственная  
медицинская академия» Минздрава России,  
г. Чита,  
e-mail: mudrov\_viktor@mail.ru

*Д.В. Леонов, Н.С. Кульберг, А.И. Громов, С.П. Морозов*

## **Выявление микрокальцинатов при ультразвуковой визуализации с опорой на доплеровский мерцающий артефакт**

### **Аннотация**

Исследовался разработанный авторами режим обнаружения микрокальцинатов при ультразвуковой визуализации. Исследование проводилось с использованием ультразвуковых фантомов. В процессе экспериментов установлено, что в коммерческом полиуретановом маммографическом фантоме минеральные включения, отчетливо заметные в В-режиме, удалось дополнительно маркировать цветом. В изготовленном авторами фантоме из агар-агара, содержащем микрокристаллы  $\text{CaSO}_4$  размером 200 мкм, кальцинаты в В-режиме не выявлялись, в то время как исследуемый режим надежно выделил области с микрокальцинатами. Исследования показали пригодность предлагаемого диагностического режима для обнаружения микрокальцинатов.

### **Введение**

Выявление рака молочной железы на ранней стадии развития остается ключевой задачей, решение которой способно значительно снизить женскую смертность во всем мире. Микрокальцинаты являются важным, а иногда и единственным диагностируемым признаком рака молочной железы на ранней стадии, когда раковые образования еще не обнаруживаются при пальпации [1]-[5].

Для обнаружения микрокальцинатов применяют компьютерную томографию, рентгеновскую маммографию и ультразвуковое исследование (УЗИ). УЗИ обладает известными преимуществами: мобильностью, доступностью, относительной дешевизной, возможной портативностью, отсутствием вредного излучения. УЗИ является основным средством контроля наведения иглы при взятии биопсийной пробы. Однако диагностическая эффективность УЗИ при обнаружении минеральных включений значительно уступает компьютерной томографии.

Делаются попытки повысить диагностическую эффективность посредством разработки специализированных маммографических УЗИ-сканеров [5], обеспечивающих высокое разрешение за счет работы на частотах 13 МГц и более и снижающих зависимость от оператора путем применения специальных датчиков и трехмерного сканирования, а также созданием особых диагностических режимов [6]-[12]. Один из таких режимов будет рассмотрен в данной статье. Режим был разработан нашим коллективом для диагностики твердых минеральных включений и основан на анализе сигнала мерцающего артефакта – явления, проявляющегося в доплеровских режимах и хорошо зарекомендовавшего себя при диагностике конкрементов [13]-[20].

Целью исследования является оценка возможности выявления микрокальцинатов при ультразвуковой визуализации на основе проведенного нами [9], [11] анализа механизмов проявления доплеровского мерцающего артефакта.

### **Материалы и методы**

Исследование было выполнено на ультразвуковом диагностическом аппарате «Сономед-500» (фирма «Спектрмед», Москва), в состав программного обеспечения которого входит особый режим, разработанный в ГБУЗ «НПКЦ ДиТ ДЗМ» и предназначенный для обнаружения твердых минеральных включений [9]-[12], т. е. объектов, существенно отличающихся по плотности от окружающих тканей и жидкостей, например микрокальцинатов, кальцинатов, мочевых камней и пр.

Режим работает на основе анализа параметров принятого сигнала [6] и предварительно тестировался на твердых объектах размером более 1,5 мм [11]. Ультразвуковой прибор работает в дуплексном режиме, т. е. на серошкальную эхограмму накладывается карта распределения минеральных включений. При картировании используются два цвета, указывающие на различие характеристик и физической природы зарегистрированных сигналов [10]. Бирюзовый цвет сообщает о регистрации сигналов микрокавитации, а желтый цвет – о регистрации упругих микроколебаний объекта под действием сканирующего импульса. В работе [12] говорилось, что микрокавитация приводит к артефакту 1-го рода, а микроколебания – к артефакту 2-го рода. Здесь подразумеваются разновидности мерцающего артефакта, проявляющегося на гиперэхогенных объектах в доплеровских режимах и используемого для их обнаружения [13]-[20].

Объектом рассматриваемого исследования служили минеральные включения малых размеров. Сначала исследовался