

## ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ УГЛЕРОДА, СОДЕРЖАЩИХСЯ В КАПЛЕ ВОДЫ ПРИ ЕЕ ЗАМОРОЗКЕ

А.Г. Зрюмова, Е.А. Зрюмов, Ю.И. Сапожникова

Алтайский государственный технический университет им. И.И. Ползунова  
г. Барнаул

Статья посвящена исследованию распределения наночастиц углерода в капле дистиллированной воды, замороженной с помощью элемента Пельтье с последующим анализом поверхностного рисунка, сформированного ячейками Бенара.

**Ключевые слова:** оптический метод контроля, наночастицы углерода, фильтр Собея, ячейки Бенара.

В современном мире достаточно актуальным остается вопрос контроля различных веществ, растворенных в воде. Особое значение отводится контролю низкодисперсных частиц, содержащихся в воде и водных растворах, индикация которых не всегда может быть точной. Для каждого вида загрязнения необходимо применять соответствующие методы контроля, основанные на разнообразных физических явлениях.

В последнее время становится актуальной разработка систем контроля, в основе которых лежит изменение оптических свойств водных растворов.

**Целью** работы является исследование распределения наночастиц углерода в капле воды, замороженной с помощью элемента Пельтье, с последующим анализом поверхностного рисунка капли с помощью микроскопа и программной обработкой, основанной на горизонтальном фильтре Собея.

Вода является неорганическим соединением оксида водорода. В природе существует в трех агрегатных состояниях: твердом, жидком и газообразном. К основным физическим свойствам воды относятся бесцветность, прозрачность, отсутствие запаха, текучесть, эластичность, так же вода является сильным растворителем, при смене агрегатных состояний расширяться и сжиматься [1].

Предполагается, что при быстрой заморозке капли водного раствора можно с помощью микроскопа зафиксировать изменения поверхностного рисунка, при этом на его структуру будет влиять вид примесей, содержащихся в растворе.

Современные средства контроля могут зафиксировать изменения в капле водного раствора, при её нагреве до точки кипения и

при охлаждении до отрицательных температур. Для проверки гипотезы была собрана экспериментальная установка, с помощью которой был проведен ряд экспериментов (рисунок 1).

В состав экспериментальной установки входит USB-микроскоп Levenhuk DTX 90, позволяющий производить съемку в форматах .avi и .jpg. Управление микроскопом происходит через программное обеспечение от фирмы Levenhuk, установленное на ноутбук.

Для заморозки капли водного раствора до  $-20^{\circ}\text{C}$  используется элемент Пельтье, подключенный к блоку питания [2, 3].



Рисунок 1 – Экспериментальная установка

Методика проведения исследования:

1. Собрать микроскоп из его составных частей, подключить к ПК.
2. На рабочую поверхность подставки установить элемент Пельтье, подключить к нему блок питания, который, в свою очередь подключить к сети.
3. В чистую посуду при помощи шприца налить каплю дистиллированной воды.
4. Лабораторным микрошпателем зачерпнуть исследуемое вещество и ввести в каплю.

5. Тщательно перемешать до визуального однородного распределения частиц в капле.

6. Инсулиновым шприцем перенести 0,05 мл исследуемого образца на элемент Пельтье.

7. Сфокусировать камеру микроскопа на образце.

8. Включить блок питания, к которому подключен элемент Пельтье.

9. Наблюдать до полного замерзания капли.

10. Выключить блок питания, к которому подключен элемент Пельтье.

11. Наблюдать до полной разморозки капли.

12. Выбрать кадры с переходными состояниями для дальнейшей обработки.

13. Открыть кадр в разработанном приложении для обработки.

14. Применить к кадру горизонтальный фильтр Собеля

15. Сохранить полученное изображение.

В качестве исследуемого вещества были выбраны наночастицы углерода, размер частиц составляет 300 нм.

На рисунках 2-5 представлены фотографии поэтапной заморозки капли воды с наночастицами углерода. На рисунках видны изображения восьми светодиодов от подсветки USB-микроскопа.

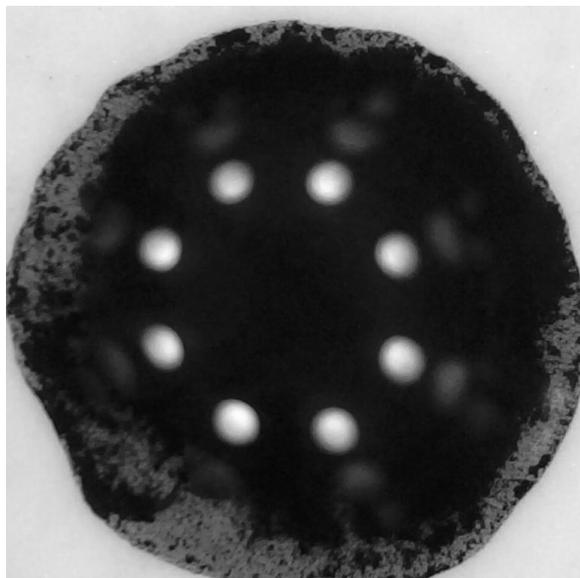


Рисунок 2 – Изображение капли, содержащей наночастицы углерода в исходном состоянии

Из рисунка 2 видно, что наночастицы углерода сгруппированы в центре капли.

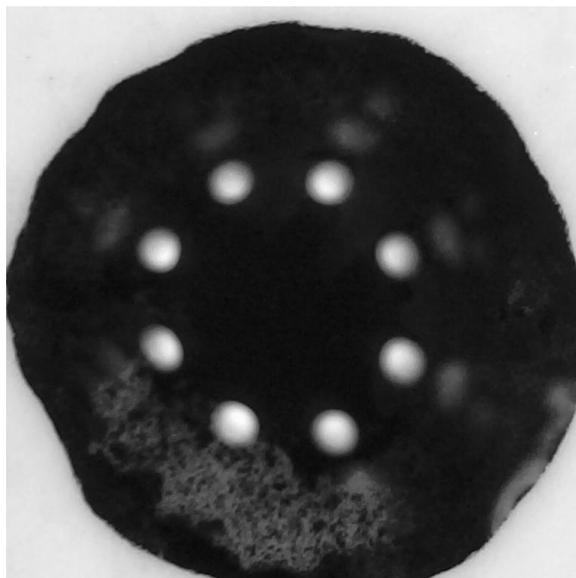


Рисунок 3 – Изображение капли, содержащей наночастицы углерода через 5 секунд после запуска процесса заморозки

Через пять секунд после начала заморозки отчетливо видно, что под действием конвекции наночастицы углерода перераспределяются в капле дистиллированной воды. От центра капли происходит постепенный переход наночастиц к краям капли.

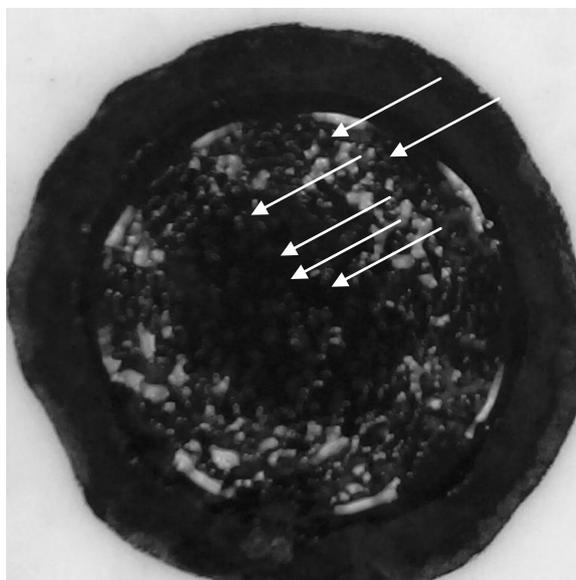


Рисунок 4 – Изображение капли, содержащей наночастицы углерода перед полной заморозкой через 12 секунд после начала заморозки

Из рисунка 4 видно, что в результате конвекции, наночастицы углерода внутри капли образовали ячейки Бенара [4].

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗОБРАЖЕНИЯ НАНОЧАСТИЦ УГЛЕРОДА,  
СОДЕРЖАЩИХСЯ В КАПЛЕ ВОДЫ ПРИ ЕЕ ЗАМОРОЗКЕ

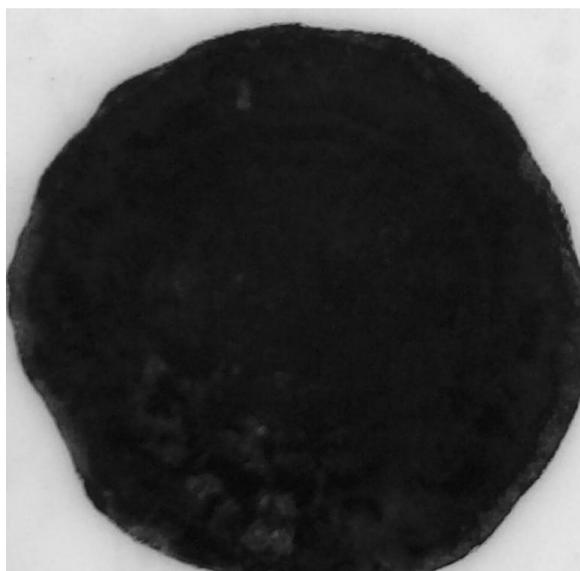


Рисунок 5 – Изображение замороженной капли, содержащей наночастицы углерода через 14 секунд после начала заморозки

Через 14 секунд после начала заморозки, капля воды полностью замерзла, из рисунка 5 видно, что внутри полностью замороженной капли также можно наблюдать ячейки Бенара.

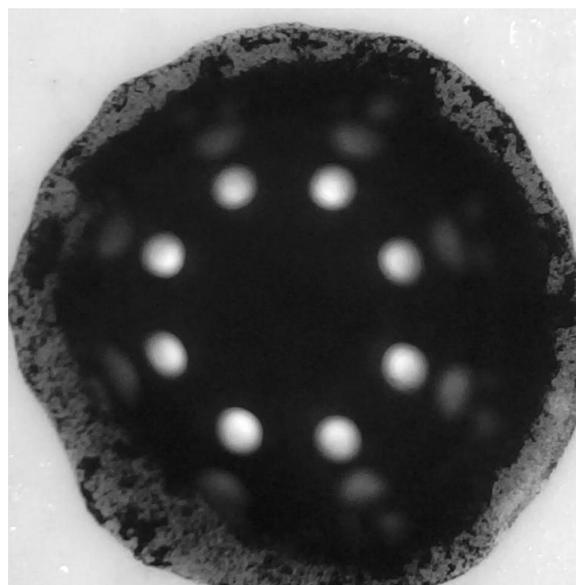


Рисунок 7 – Образовавшийся в капле конгломерат частиц углерода

Для выделения границ ячеек Бенара в изображении капли воды, содержащей наночастицы углерода, обработаем его с помощью программного обеспечения, разработанного на языке программирования C#, в котором реализован фильтр Собеля [5].

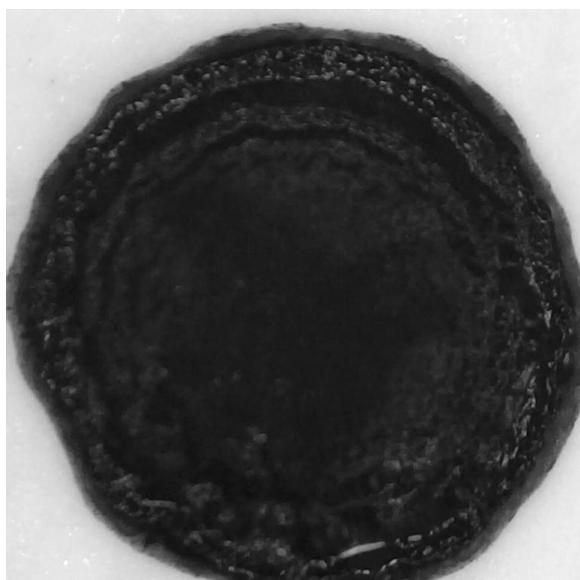


Рисунок 6 – Изображение капли через 1 секунду после отключения элемента Пельтье (капля тает)

После выключения элемента Пельтье капля начинает таять. В первые 2 секунды ячейки Бенара сохраняются, но затем, вновь происходит перераспределение наночастиц к центру капли и их слипание (рисунок 7).

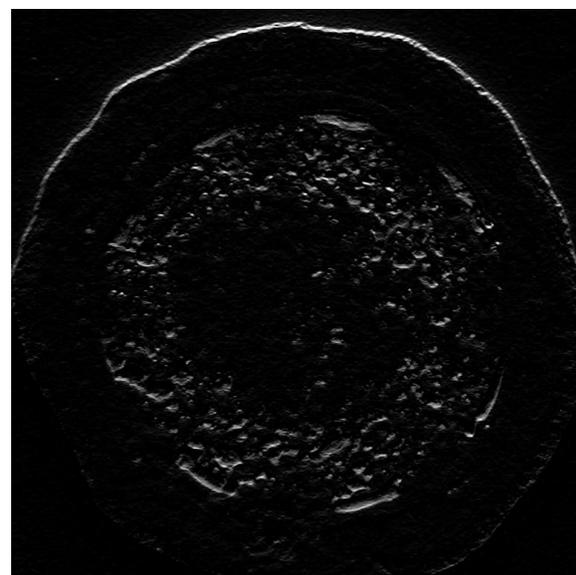


Рисунок 8 – Обработанное с помощью фильтра Собеля изображение капли, содержащей наночастицы углерода в процессе заморозки

На рисунке 8 представлено изображение капли, обработанное с помощью фильтра Собеля, на котором можно увидеть образованные при заморозке ячейки Бенара.

### Выводы

Проведенные исследования показали, что наночастицы углерода, содержащиеся в капле дистиллированной воды, за счет конвекции при заморозке образуют ячейки Бена-ра, которые зарегистрированы с помощью USB-микроскоп Levenhuk DTX 90. Зафиксированные изменения в изображении капли требуют дальнейших теоретических и экспериментальных исследований.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильева В.И. Практическое пособие для студентов по специальности «химия» (011000), «Фармация» (040500) / Составители: Васильева В.И., Стоянова О.Ф., Мокшина Н.Я., Григорчук О.В. // [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://knigi.dissers.ru/books/1/12939-1.php>. – Загл. с экрана.
2. Иванов А.Ю. Исследование изображений кристаллизации хлорида натрия с различной концен-

трацией / Иванов А.Ю., Маскалев И.О., Пронин С.П., Зрюмова А.Г. // Материалы XIV Международной научно-технической конференции «Измерение, контроль, информатизация – 2013». – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2013. – С. 27-28.

3. Зырянов А.А.. Визуальное исследование кристаллизации водных растворов /, Зырянов А.А., Шереметьев М.В., Пронин С.П., Зрюмова А.Г. // Ползуновский альманах 2012 №2. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2012. – С. 140-142.

4. Трубецков Д.И. Введение в самоорганизацию открытых систем [2-е изд., перераб. и доп.] /Д. И. Трубецков, Е. С. Мчедлова, Л. В. Красиков. – М.: Издательство Физматлит (ФМ), 2005. – 211с.

5. Зрюмова А.Г. Информатика. Учебное пособие / А.Г. Зрюмова, Е.А. Зрюмов, С.П. Пронин. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2011. – 168 с.

**Сапожникова Юлия Ильинична – магистрант;  
Зрюмова Анастасия Геннадьевна- к.т.н., доцент,  
тел.: (3852) 29-09-13, e-mail:  
a.zrjumova@mail.ru; Зрюмов Евгений Александрович – д.т.н., доцент.**