

УДК 54.061

ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ ВОЗДУШНЫХ ПУЗЫРЬКОВ КРИСТАЛЛИЗОВАННОЙ КАПЛИ ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА КИПЯЧЕНИЙ

Ю. А. Яхно, С. П. Пронин

Алтайский государственный технический университет,
г. Барнаул

Известно, что простым кипячением можно удалить из воды весь растворенный в ней воздух. Однако после однократного кипячения наблюдаются изменения геометрических размеров полостей во льду, но ни их исчезновение. Для подтверждения системности, была проведена серия экспериментов, результаты которой изложены в данной статье.

Ключевые слова: кристаллизация, кластеры, агломераты, растворимость газов, воздушные полости.

Актуальность. Такая обыденная вещь как вода, имеет изменчивую и трудно изучаемую структуру [1]. Однако ее потенциал для использования в научных целях, в частности в вопросах контроля среды, очень велик. В процессе перехода воды из жидкой фазы в твердую, то есть во время кристаллизации, и по ее итогам, можно сделать выводы о структуре воды и ее зависимости от влияющих факторов. Любое продвижение в исследовании свойств воды дает возможность совершенствования методов контроля среды в экологии. Результаты экспериментов не всегда подтверждают выдвинутые гипотезы, что открывает простор для более глубоких исследований в выбранном направлении.

Серия экспериментов проводилась с целью выяснения зависимости изменения картины полостей во льду от увеличения растворимости газов в жидкости при нагревании. Гипотетически предполагалось, что после кипячения воды и потери некоторой части растворенных газов, полостей во льду, после замораживания, станет на порядок меньше, так как уменьшится общее число молекул газа [1]. Однако результаты эксперимента эту теорию опровергают. Тем не менее, был продемонстрирован интересный эффект, наталкивающий на мысль о зависимости картины полостей во льду от кластерной организации льда.

Картина пузырьков и каналов во льду, а так же их физические размеры, подчинены внутренней структуре жидкости, что подтверждается коренными визуальными различиями между кристаллизованными каплями жидкостей разного химического состава.

Так, например, соль кристаллизуясь, образует совершенно не похожую на характерную для дистиллированной воды картину полостей во льду. Эти отличия имеют системный характер и неоднократно подтверждались как опытами предыдущих исследователей [2], так и собственными исследованиями.

В статье [3] было выдвинуто предположение, что подобный разброс в размере полостей и их количестве обусловлен плотностью жидкости, а соответственно и скоростью испускания газов из нее на стадии «пузырькового кипения».

В продолжение темы было решено провести ряд опытов, показывающих влияние количества растворенных в жидкости газов на итоговую картину полостей во льду. Для этого была выбрана дистиллированная вода. Известно, что при нагревании растворимость газов увеличивается из-за того, что давление насыщенного пара над её поверхностью становится равным внешнему давлению.

Воду прокипятили сначала один раз, а затем, после остывания еще раз. На полученных образцах и был построен ряд опытов, результаты которых, предположительно, должны были показать уменьшение количества полостей во льду при кипячении.

Из всех результатов эксперимента были выбраны типовые картины полостей во льду, по пять на каждую серию. Определим понятие пузырька, как объект, чьи вертикальная и горизонтальная ось отличаются не больше чем на 25%. Так как каналы расположены обычно под углом, то их длину определим с помощью теоремы Пифагора: сумма квадратов катетов равна квадрату гипотенузы.

На рисунках 1 – 3 представлены примеры изображений замороженной капли воды, как они наблюдались на экране монитора. На каждое изображение была наложена размерная сетка с шагом $0,85 \pm 0,03$ см [4] и определены максимальные и минимальные размеры пузырька, канала и их количество на фиксированной площади (выбран фрагмент изображения 24×18 клеток). Полученные результаты были усреднены и сведены в таблицу 1.

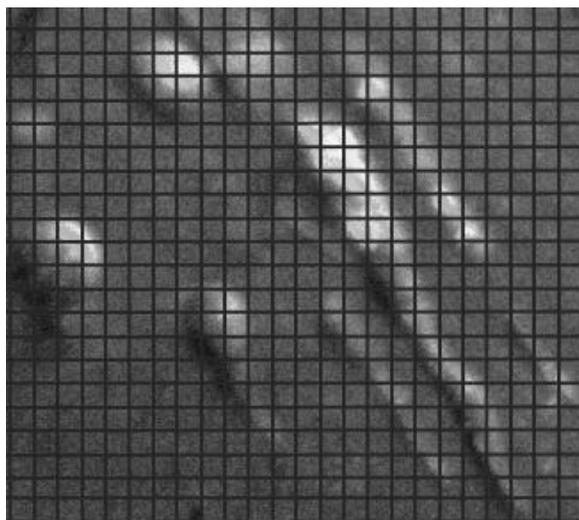


Рисунок 1 – Картина полостей во льду дистиллированной воды

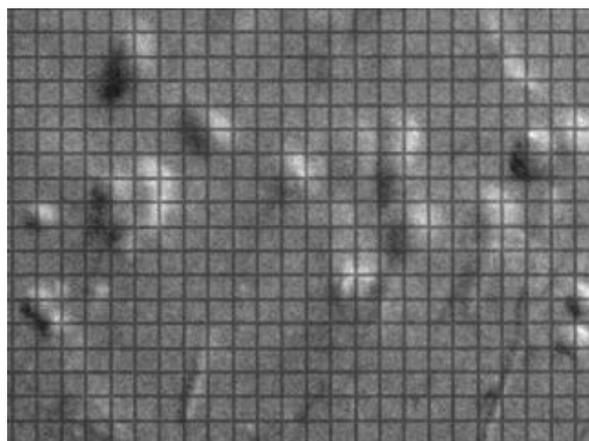


Рисунок 2 - Картина полостей во льду дистиллированной воды, прокипяченной 1 раз

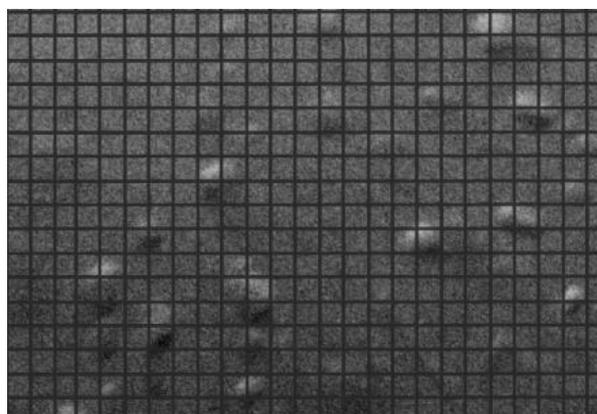


Рисунок 3 - Картина полостей во льду дистиллированной воды, прокипяченной 2 раза

Таблица 1 – Усредненные характеристики изображения параметров стадии «пузырьковое кипение» для каждой жидкости

Жидкость	$d_n \text{ max, см}$	$d_n \text{ min, см}$	$L_k \text{ max, см}$	$L_k \text{ min, см}$	N, шт
Дистиллированная вода	$4 * 0,85 \pm 0,03$	$2 * 0,85 \pm 0,03$	$20,2 * 0,85 \pm 0,03$	$8 * 0,85 \pm 0,03$	8
Дистиллированная вода прокипяченная 1 раз	$3 * 0,85 \pm 0,03$	$1,2 * 0,85 \pm 0,03$	$7,6 * 0,85 \pm 0,03$	$3,16 * 0,85 \pm 0,03$	19
Дистиллированная вода прокипяченная 2 раза	$2 * 0,85 \pm 0,03$	$0,7 * 0,85 \pm 0,03$	$5,1 * 0,85 \pm 0,03$	$0,75 * 0,85 \pm 0,03$	24

Результаты измерения, полученные с помощью размерной сетки представляют собой характеристики изображения объекта. Чтобы получить характеристики самого объекта, необходимо перевести результаты, воспользовавшись формулой (1) [5].

$$d = \frac{d'}{\beta'} \quad (1)$$

$$d_{n \text{ max}} = \frac{4 * 8,5 * 10^3}{1 * 10^3} = 34 \text{ мкм},$$

где d – диаметр объекта, d' – диаметр изображения объекта, $\beta = 1 * 10^3$ – коэффициент увеличения системы.

Кроме того, необходимо учитывать относительную погрешность измерения, которая составляет 3,5% от полученных значений [5]. Количество полостей пересчета не требует.

ИЗМЕНЕНИЕ РАЗМЕРОВ ВОЗДУШНЫХ ПУЗЫРЬКОВ КРИСТАЛЛИЗОВАННОЙ КАПЛИ ДИСТИЛЛИРОВАННОЙ ВОДЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ КОЛИЧЕСТВА КИПЯЧЕНИЙ

Полученные результаты вычисления сведем в таблицу 2.

Таблица 2 – Характеристики параметров стадии «пузырьковое кипение» для каждой жидкости

Жидкость	$d_n \text{ max, мкм}$	$d_n \text{ min, мкм}$	$L_k \text{ max, мкм}$	$L_k \text{ min, мкм}$	N, шт
Дистиллированная вода	$34 \pm 1,19$	$17 \pm 0,6$	$171,7 \pm 6$	$68 \pm 2,38$	8
Дистиллированная вода прокипяченная 1 раз	$25,5 \pm 0,89$	$10,2 \pm 0,36$	$64,6 \pm 2,26$	$26,86 \pm 0,94$	19
Дистиллированная вода прокипяченная 2 раза	$17 \pm 0,6$	$5,95 \pm 0,21$	$43,35 \pm 1,52$	$6,38 \pm 0,22$	24

Построим теоретическую зависимость параметров стадии кристаллизации «пузырьковое кипение» от количества кипячений.

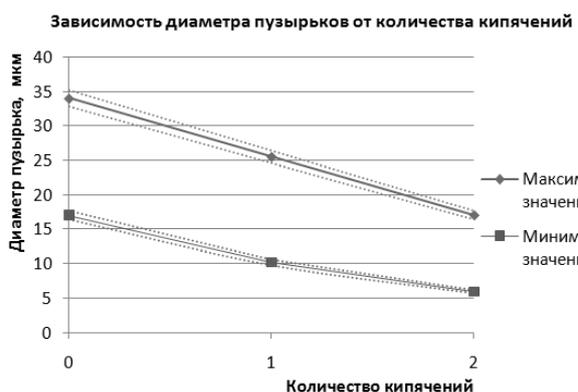


Рисунок 4 – Зависимость диаметра пузырьков во льду дистиллированной воды от количества кипячений

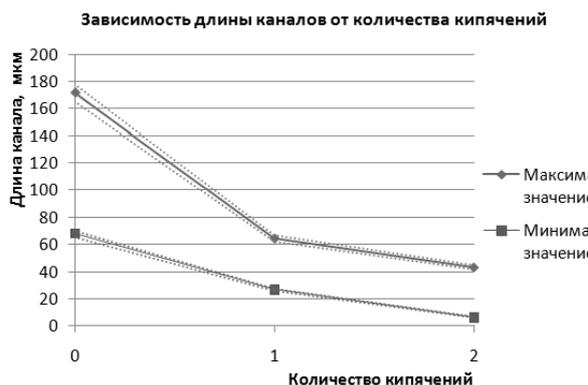


Рисунок 5 – Зависимость длины воздушных каналов во льду дистиллированной воды от количества кипячений

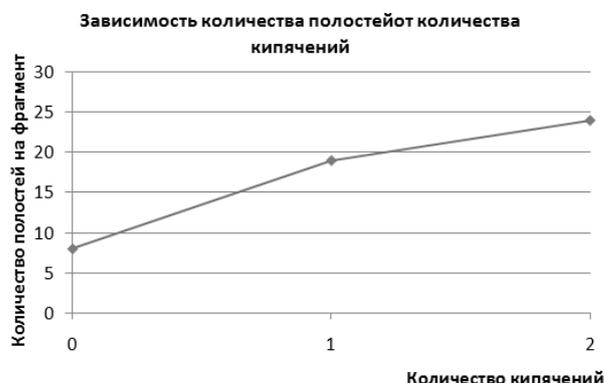


Рисунок 6 – Зависимость количества полостей во льду дистиллированной воды от количества кипячений

По результатам работы можно сказать, что гипотеза об уменьшении испускаемых газов при кристаллизации дистиллированной воды после кипячения не подтвердилась. Зависимости, представленные на рисунках 4-6 показывают, что с количеством кипячений уменьшаются размеры полостей во льду, но их количество увеличивается. Известно, что при кипячении частично разрушаются цепочки водородных связей, что ведет к увеличению их числа и уменьшению размеров. На основе существующих в жидкой воде цепочек, при кристаллизации воды образуются агрегаты – кластеры, объединяющие молекулы воды в тетраэдрическую структуру. При замерзании воды ее объем увеличивается, что обусловлено наличием полости внутри агрегата, заполненной газом [5].

Увеличение количества и уменьшение размеров как кластеров после кипячения, так и полостей во льду говорит о их непосредственной связи. Для проверки новой гипотезы намечен план экспериментов над прочими жидкостями, например раствором соли, что-

бы выявить системный характер наблюдаемого явления.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вода без воздуха (газов) [Электронный ресурс]: Режим доступа: http://www.o8ode.ru/article/answer/voda_bez_vozduha_gazov.htm.

2. Зырянов А.А. Визуальное исследование кристаллизации водных растворов/А.А. Зырянов, М.В. Шереметьев, С.П. Пронин, А.Г. Зрюмова//Ползуновский альманах – 2012, №1, - С. 140-141

3. Яхно Ю.А. Исследование изменения структуры льда при кристаллизации водных растворов/ Ю. А. Яхно, С. П. Пронин, Р. М. Пономарев, А. А. Рябов//Ползуновский Альманах №1 – 2014 г. – с. 159-161

4. Яхно Ю.А. Калибровка оптико-электронной системы для исследования процесса кристаллизации водных растворов и метрологическая оценка

погрешности измерения / Ю. А. Яхно, С. П. Пронин//Сборник статей международной научно-практической конференции " Современное состояние и перспективы развития технических наук" – 2015 г. – с. 153-155

5. Яхно Ю.А. Количественная оценка параметров кристаллизации воды и водных растворов / Ю. А. Яхно, С. П. Пронин//Сборник статей международной научно-практической конференции " Научные аспекты современных исследований " – 2015 г. – с. 36-38

6. Как формируются кластеры воды [Электронный ресурс]: Научная информация о воде – Режим доступа: <http://www.o8ode.ru/article/learn/klaster.htm>. – Загл. с экрана

Пронин С.П. – д.т.н., профессор, e-mail: spronin@mail.ru;

Яхно Ю.А. – аспирант, e-mail: julideska-fit@mail.ru