

## ОТЗЫВ

*на автореферат диссертации Старостина Антона Сергеевича «Физико-химические закономерности кристаллизации воды на границе раздела фаз на текстурированных гидрофобных поверхностях», представленной на соискание учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия*

**Актуальность темы диссертации.** Актуальность темы диссертации обусловлена необходимостью разработки способов и мер защиты технических устройств от образования и накопления льда на их поверхностях. Особенно это важно для аэрокосмической области, а также судостроения и техники, работающей в северных регионах России. Тема диссертации актуальна и для фундаментальной науки, так как процесс образования льда на твёрдых инородных поверхностях представляет собой одну из разновидностей поверхностной кристаллизации, закономерности, которой ещё не до конца изучены.

**Научная новизна.** В работе экспериментально установлена ступенчатая кинетика роста микрокапель при конденсации водяных паров на супергидрофобной поверхности. Впервые изучено влияние градиента температуры на асимметричное замерзание водяных капель. Кроме того, показано, что при повышении энергетического барьера смачивания за счёт изменения химической природы поверхности наблюдается формирование капельного режима смачивания в процессе конденсации водяного пара. Показано влияние энергетических барьеров смачивания и нуклеации на процессы взаимодействия твёрдых поверхностей с водой. Получены металлические и композиционные текстурированные гидрофобные поверхности, проявляющие антиобледенительные свойства.

Рецензируемая научно-квалификационная работа А.С. Старостина содержит данные, имеющие значение как для развития теории процесса кристаллизации воды на твёрдых поверхностях, так и для практического применения найденных закономерностей в промышленности. Полученные результаты представляют большой интерес для теории и практики процессов кристаллизации на инородных поверхностях.

Работа прошла апробацию на ряде российских конференций. По её результатам опубликовано 10 работ в журналах из списка ВАК. Из них 7 в журналах с Q1 и 3 с Q2. Результаты работы представлены также в 4 тезисах докладов на научных конференциях.

По автореферату имеются следующие замечания и вопросы:

1. Из автореферата не ясно, какой материал (материалы) использовался в качестве подложки для изучения углов смачивания, процессов конденсации и поверхностной кристаллизации воды. Если это оксид алюминия, то почему был выбран именно он? Или имеется в виду плёнка оксида алюминия на поверхности металлического алюминия?

2. В работе также не указан способ подготовки поверхности для последующего исследования смачивания, процессов конденсации и поверхностной кристаллизации воды. Не указана её шероховатость и т.п. Из-за этого все представленные в автореферате результаты носят довольно абстрактный, отвлечённый характер.

3. На рис. 3.1.2. показано, что энергетический барьер смачивания может иметь отрицательные значения. Что это означает? Каков физический смысл полученных отрицательных значений?

4. На рис. 3.3.1.А показана зависимость изменения радиуса капли воды от времени. Автор выделяет три периода роста радиуса капли. На мой взгляд, их на самом деле четыре. Первый период роста, который автор игнорирует, относится к самому началу процесса, к промежутку времени 0-5 с. Тут наблюдается скачкообразный рост радиуса от нуля до примерно 0,2 мкм. Правда, в этом периоде измерений имеется всего одна экспериментальная точка. Если эта точка не ошибка эксперимента, то чем объясняется столь резкий рост размеров капли в этот период времени (0-5 с), а затем замедление роста в последующий первый (по классификации автора) период роста (5-23 с) с дальнейшим увеличением во второй период роста (23-53 с) и снова падением в третий период (53-105 с), т.е. почему наблюдаются такие колебания в скорости роста радиуса капли со временем? Чем это объясняется?

5. Замечу, что если же первая экспериментальная точка на рис. 3.3.1.А является ошибкой эксперимента, то тогда экстраполяция прямой 1-й стадии роста капли до момента начала измерений (время равно 0 с) показывает, что уже в момент начала измерений радиус капли был равен примерно 1,4 мкм. Экстраполяция же этой прямой в область отрицательных значений времени до пересечения с осью абсцисс показывает, что время зарождения капли на поверхности подложки равно примерно -20 с. Это свидетельствует о том, что капля образовалась на подложке ещё за 20 с до начала измерений её радиуса. Подобный метод измерения и экстраполяции размеров кристаллов сульфата кальция я использовал в своей старой работе (Linnikov O.D. Investigation of the initial period of sulphate scale formation. Part 1. Kinetics and mechanism of calcium sulphate surface nucleation at its crystallization on a heat-exchange surface // Desalination, 1999, v. 122, p. 1-13.) для определения времени зарождения кристаллов на поверхности металлической подложки. Для наглядности ниже привожу копию рисунка из моей статьи.

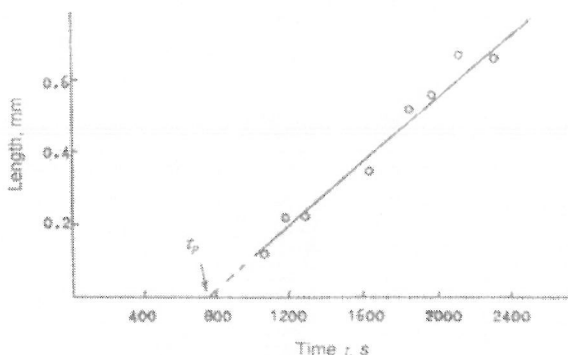


Fig. 4. Relation of the length  $l$  (mm) in the direction [001] of the crystal formed to time  $t$  (s) from the beginning of the run. Run N 3:  $t_n = 84.7^\circ\text{C}$ ;  $t_p = 71.5^\circ\text{C}$ ;  $C = 0.0242$  mol/l;  $C_0 = 0.0170$  mol/l;  $\tau_p$  – time nucleation of crystal.

6. На рис. 3.4.1. в середине первых двух капель имеются какие-то белые прямоугольники. Что это?

Указанные выше замечания и вопросы носят частный характер и не снижают общей положительной оценки работы. Диссертационная работа удовлетворяет требованиям, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор Старостин Антон Сергеевич достоин присуждения учёной степени кандидата химических наук по специальности 1.4.4. Физическая химия.

Заведующий лабораторией неорганического синтеза ФГБУН Института химии твёрдого тела Уральского отделения Российской академии наук (ИХТТ УрО РАН),  
доктор химических наук

*Линников*  
28.11.2023

Линников Олег Дмитриевич

Даю своё согласие на обработку персональных данных, включения их в аттестационное дело соискателя, вывешивание отзыва на сайте ФГБОУ ВО «КНИТУ»

*Линников*  
28.11.2023

Линников Олег Дмитриевич

Контактная информация:

Линников Олег Дмитриевич,

620990, Россия, Екатеринбург, ул. Первомайская, 91, ИХТТ УрО РАН

тел. 8 922 612 69 19, e-mail: [linnikov@mail.ru](mailto:linnikov@mail.ru)

Подпись О.Д. Линникова заверяю:

учёный секретарь ИХТТ УрО РАН,

кандидат химических наук

Вход. № 05-4746  
«28» 11 2023 г.  
ПОДПИСЬ *Линников*

