

ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ ЗАМОРАЖИВАНИЯ КЛЮКВЫ И ГОЛУБИКИ

Полонская М.С.¹, Румянцева О. Н.¹ (ИТМО)

Научный руководитель – доцент, кандидат технических наук Митропов В. В.¹

¹Университет ИТМО

mashveidery@inbox.ru

Работа выполнена в рамках темы НИР № 625114 «Ресурсосбережение в низкотемпературных и пищевых технологиях».

Введение

Замораживание остается эталонным методом сохранения нутриентного профиля и органолептических показателей растительного сырья. В современных условиях актуализируется задача оптимизации энергопотребления бытовой холодильной техники, в частности, переход от стандарта хранения $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$ к режиму $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1, 2]. Целью данной работы является экспериментальное исследование влияния биохимического состава ягод клюквы (*Vaccinium oxococcos*) и голубики (*Vaccinium uliginosum*) на теплофизические параметры процесса их замораживания.

Основная часть

Исследование проводилось на лабораторном стенде на базе морозильного ларя ESPERANZA CFS 110 FW. Регистрация температурных профилей осуществлялась двухканальным измерителем «Параграф» PL20 с использованием термопар типа К (хромель-алюмель) [3]. Объектами исследования выступили свежие ягоды клюквы (Ленинградская обл., 2025 г.) и голубики (импорт Перу, 2026 г.). Эксперимент проводился при температуре в камере $-15 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$, начальная температура образцов — $+19 \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$. В ходе термического анализа было установлено, что биохимический состав ягод детерминирует кинетику фазового перехода. Клюква (содержание влаги 86,54%) достигает криоскопической температуры ($-2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$) за 13 минут. Для голубики (влаги 84,61%) данный этап занимает 27,5 минут, а температура фазового перехода составляет $-4,1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Более низкая криоскопическая точка голубики объясняется повышенным содержанием растворимых сухих веществ (сахаров — 14,13% против 12,68% у клюквы), которые увеличивают осмотическое давление клеточного сока и препятствуют кристаллизации влаги. Суммарное время охлаждения до целевой температуры $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ для голубики (104,3 мин) практически вдвое превышает аналогичный показатель для клюквы (58 мин).

Экспериментально подтверждено, что удельная теплоемкость продуктов существенно снижается при переходе через точку замерзания: для клюквы с 3,91 до 1,93 кДж/(кг·К), для голубики — с 3,83 до 2,06 кДж/(кг·К). Это обусловлено изменением агрегатного состояния воды и различиями в удельной теплоте плавления (289 кДж/кг и 283 кДж/кг соответственно) [4].

Выводы

Различия в кинетике процесса доказывают, что ягоды с высоким содержанием сахаров (голубика) требуют более длительных циклов охлаждения даже в условиях энергосберегающего режима ($-15\text{ }^{\circ}\text{C}$). Полученные данные позволяют уточнять расчетные модели энергопотребления бытовых приборов и прогнозировать сохранность структуры тканей плодов в зависимости от скорости прохождения зоны максимального льдообразования [5].

Литература

1. An overview of selected “subzero” temperature storage regimes of foods: regulations and perspectives about the expected impact of the "three degrees of change" initiative on the shelf life of frozen foods – ScienceDirect [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140700725001574?via%3Dihub> (Дата обращения 19.09.2025).
2. The Role of Refrigeration in the Global Economy (2019), 38th Note on Refrigeration Technologies. [Электронный ресурс]. Режим доступа: https://www.researchgate.net/publication/374550883_The_Role_of_Refrigeration_in_the_Global_Economy_2019_38th_Note_on_Refrigeration_Technologies (Дата обращения 19.09.2025).
3. Теплофизические измерения и приборы / Е.С. Платунов, С.Е. Буравой, В.В. Курепин, Г.С. Петров; Под общ. Ред. Е.С. Платунова. – Л.: Машиностроение, Ленингр. Отд-ние, 1986. – 256 с., ил.
4. Initial Freezing Point: ASHRAE Handbook—Fundamentals. 2017, Chapter 11: Thermophysical Properties of Foodstuffs. Atlanta: ASHRAE.
5. Влияние температуры замораживания, массы ягод и массовой концентрации сахаров на скорость замораживания винограда. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/vliyanie-temperatury-zamorazhivaniya-massy-yagod-i-massovoy-kontsentratsii-saharov-na-skorost-zamorazhivaniya-vinograda/viewer> (Дата обращения 10.02.2026).