



Всероссийский научно-исследовательский институт холодильной промышленности – филиал Федерального государственного бюджетного научного учреждения

«ФЕДЕРАЛЬНЫЙ НАУЧНЫЙ ЦЕНТР ПИЩЕВЫХ СИСТЕМ ИМ. В.М.ГОРБАТОВА» РАН

Доклад на тему:

«Больше, чем холод?»



20.05.2026 г.



Сучков Александр Николаевич
Научный сотрудник ВНИХИ – филиала ФГБНУ «ФНЦ
пищевых систем им. В.М. Горбатова» РАН



<http://www.vnihi.ru/>

История замораживания продуктов

От природного холода к промышленному и быстрому замораживанию



До XVI века



Природный холод

Лёд, снег, погреба и ледники помогали сохранять продукты.



1626 год



Фрэнсис Бэкон

Один из ранних опытов: курицу набивали снегом.



XIX век



Джон Гори

Появление холодильных машин и машинного охлаждения.



1920-е



Бёрдсай

Идея быстрого замораживания: важно замораживать быстро.



1960-е и далее



Бытовые морозильники

Морозильные камеры, логистика и упаковка сделали продукты круглогодичными.



Криогенная заморозка



Жидкий азот — эффективен, но чаще используется нишево.



Главная идея: развитие шло от сезонного хранения к управляемому быстрому замораживанию.

Главное в замораживании — не только температура, а то, какие кристаллы льда образуются в продукте.

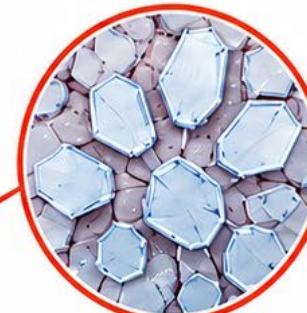
✓ Хороший результат



- ✓ Сочный продукт
- ✓ Плотная текстура

Мелкие
кристаллы льда

✗ Что пошло не так?



- ✗ Потеря сока
- ✗ Рыхлая структура

Крупные
кристаллы льда



Качество после размораживания определяется структурой льда, сформировавшегося при замораживании.



1. Раньше:
как заморозить быстрее



2. Сегодня:
как управлять качеством



3. Далее: дополнительные воздействия к холоду



давление



электромагнитные
поля

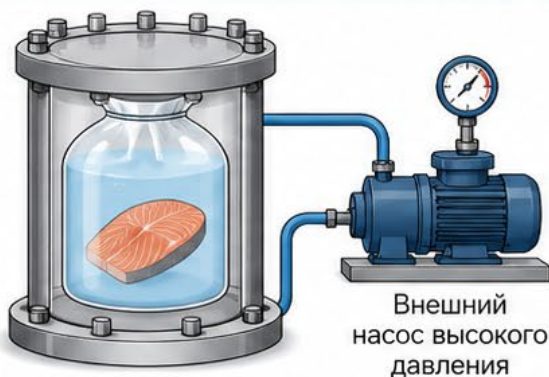


ультразвук

Замораживание со сдвигом давления

Продукт помещают в толстостенный сосуд с рабочей жидкостью, затем внешним насосом создают высокое гидростатическое давление. Сначала давление удерживает воду в жидком переохлажденном состоянии ниже обычной точки замерзания, а затем быстрый сброс давления вызывает множественное зарождение кристаллов льда.

1 Высокое давление



2 Переохлаждение



3 Сброс давления



+ Плюсы

- Более мелкие и равномерные кристаллы льда
- Меньшее повреждение клеточной структуры
- Перспективно для рыбы, ягод, растительных тканей и премиального мяса
- Давление может снижать микробиологическую нагрузку

- Минусы

- Дорогое оборудование и толстостенные сосуды
- Сложная интеграция в массовые морозильные линии
- Не гарантирует стерилизацию, особенно в отношении спор
- Экономически оправдано прежде всего для премиальных продуктов

i Итог: технология улучшает качество замораживания, но требует сложного и дорогостоящего оборудования.

Изохорные системы

Здесь объём жёстко фиксирован, а давление возникает не за счёт внешнего насоса, а вследствие расширения воды при образовании льда. Главная цель такого режима — не быстро заморозить продукт, а удерживать его при температуре ниже 0°C без образования льда.

Терминология: выражение «изохорная заморозка» встречается часто, но процесс направлен на сохранение продукта в незамороженном состоянии. Более корректно: «изохорное переохлаждение с помощью давления» или «изохорное переохлаждение под давлением».

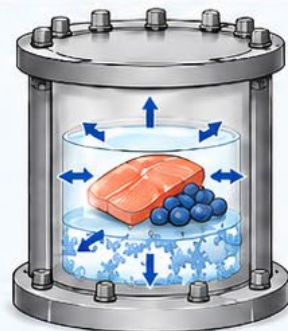
1 Жёстко фиксированный объём



Без внешнего насоса

Герметичный жёсткий контейнер

2 Давление возникает внутри

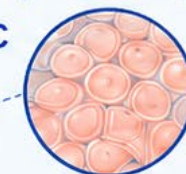


$< 0^{\circ}\text{C}$
Лёд образуется в части среды и повышает давление

3 Переохлажденное хранение



Без массовой кристаллизации



Минимальное структурное повреждение

+ Плюсы

- Потенциально позволяет хранить продукт при отрицательной температуре без полноценного замораживания
- Может минимизировать повреждение клеточной структуры
- Перспективно для чувствительных продуктов, где обычный лёд резко ухудшает качество
- Теоретически может снизить часть энергетических затрат, связанных с фазовым переходом воды в лёд

- Минусы

- Технология пока менее зрелая для пищевой промышленности
- Нужны жёсткие герметичные контейнеры, выдерживающие высокое давление
- Сохраняются вопросы безопасности при работе с давлением
- Пока мало промышленных данных по срокам хранения, энергозатратам и жизненному циклу
- Масштабирование для массовой логистики и розницы остаётся сложной инженерной задачей

Итог: технология перспективна для первохлажденного хранения чувствительных продуктов, но пока требует дальнейшей и инженерной и промышленной валидации.

Электромагнитные поля

Перспективная, но пока недостаточно доказанная технология замораживания

К этой группе относят статические и переменные магнитные поля, статические электрические поля и их комбинации. В коммерческих системах к ним иногда добавляют механические вибрации и режимы переохлажденного хранения.



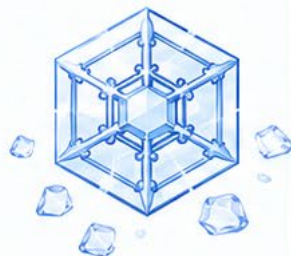
Ключевое ограничение

Для пищевых продуктов доказательная база пока слабая. Эффекты, наблюдаемые в физике воды при сильных полях, нельзя автоматически переносить на реальные промышленные морозильные камеры.



Потенциальные плюсы

- ✓ Более мелкие кристаллы льда
- ✓ Меньше повреждение клеточной структуры
- ✓ Меньше потери влаги при размораживании
- ✓ Не нужны толстостенные сосуды и экстремальное давление
- ✓ Интересно как R&D-направление



Основные минусы

- ✗ Технология ещё не стала промышленным стандартом
- ✗ Механизм действия для слабых полей спорный
- ✗ Сложно отделить эффект поля от сопутствующих факторов
- ✗ Недостаточно данных по реальной напряжённости поля внутри продукта
- ✗ Ограниченная повторяемость результатов
- ✗ Высокий риск маркетинговых преувеличений



Вывод: электромагнитные поля — перспективный инструмент для исследований и точечной оптимизации качества, но пока не универсальная замена IQF или быстрому замораживанию.



Ультразвук при замораживании

Не делает холод “сильнее”, а помогает управлять кристаллизацией льда.

? Что это такое?

Ультразвук при замораживании — это режим интенсивного акустического воздействия. В среде возникают кавитация, микротоки, сдвиговые напряжения и локальный нагрев.



Как это работает?

1



Микротоки

Разрушают пограничный слой и усиливают теплообмен.

2



Кавитация

Пузырьки растут и схлопываются, создавая локальные давления.

3



Вторичная нуклеация

Дробление ледяных ветвей создаёт новые центры кристаллизации.



Потенциальные плюсы

- ✓ Возможно ускорение замораживания
- ✓ Более мелкие и равномерные кристаллы льда
- ✓ Меньше потери влаги при размораживании
- ✓ Лучше текстура и сочность продукта



Основные минусы

- ✗ При неудачных режимах ультразвук может нагревать среду
- ✗ Эффект сильно зависит от продукта и условий
- ✗ Энергия не всегда эффективно проходит через продукт
- ✗ Работает только в узком диапазоне параметров



Вывод

Ультразвук — это тонкий инструмент управления льдообразованием. Он может улучшать кристаллизацию, но при неверной настройке способен создавать новые проблемы.



Нарушение температурного режима или технологий на любом этапе – от замораживания и хранения до транспортировки и розничной реализации – способно нивелировать преимущества, достигнутые на остальных этапах.

