
ТЕХНОЛОГИЯ И УПРАВЛЕНИЕ КАЧЕСТВОМ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ

УДК 664.97

В.Д. Богданов, А.А. Симдянкин, А.В. Назаренко

Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет,
690087, г. Владивосток, ул. Луговая, 52б

ИССЛЕДОВАНИЕ СКОРОСТИ ВЫМОРАЖИВАНИЯ ВОДЫ В ТКАНЯХ ПРОМЫСЛОВЫХ ГИДРОБИОНТОВ

В ходе исследования получены математические зависимости, описывающие скорость вымораживания воды во времени в тканях промысловых гидробионтов при их криообработке. Данные зависимости дают возможность рассчитать количество вымороженной воды и скорость ее вымораживания в определенный момент времени. Их использование позволяет определить необходимое время замораживания, в течение которого основное количество воды, содержащейся в исследуемых тканях промысловых гидробионтов, переходит из жидкого в твердое фазовое состояние.

Ключевые слова: молоки, кальмар, осьминог, трепанг, кривые замораживания, вымороженная вода, скорость вымораживания.

V.D. Bogdanov, A.A. Simdiankin, A.V. Nazarenko

INVESTIGATION OF THE WATER FREEZING SPEED IN TISSUES OF FISHING HYDROBIONTS

In the course of the study, mathematical dependencies describing the rate of freezing of water over time in the tissues of commercial hydrobionts were obtained during their cryoprocessing. These dependences make it possible to calculate the amount of frozen water and the speed of its freezing at a certain point in time. Their use allows you to determine the required freezing time, during which the main amount of water contained in the studied tissues of commercial hydrobionts goes from liquid to solid phase state.

Key words: milt, squid, octopus, sea cucumber, freezing curves, frozen water, freezing rate.

Скорость замораживания характеризуется интенсивностью отвода тепла и представляет собой линейную скорость перемещения границы, разделяющей замороженные и незамороженные слои продукта, в единицу времени.

Процесс замораживания принято характеризовать средней скоростью v (см/ч), которая определяется отношением толщины замороженного слоя X к времени его образования τ , но при замораживании гидробионтов скорость не остается постоянной по времени, а уменьшается по мере промерзания продукта вследствие термического сопротивления увеличивающегося замороженного слоя.

При исследовании скорости замораживания можно выделить три подхода к определению данной величины: скорости изменения толщины замороженного слоя, скорости изменения температуры и скорости изменения количества вымороженной воды. В научной литературе основное внимание уделяется первому критерию [1, 2], имеются отдельные работы, относящиеся ко второму критерию [3], и отсутствуют работы по исследованию скорости замораживания по третьему показателю.

В связи с этим целью работы является получение математических зависимостей скорости вымораживания воды от времени как показателя, характеризующего скорость замораживания тканей промысловых гидробионтов.

Объекты и методы исследований

Объектом исследования являлись кожа осьминога гигантского (*Octopus dofleini*), мантия кальмара тихоокеанского (*Todarodes pacificus*), молоки сельди тихоокеанской (*Clupea pallasii*), трепанг дальневосточный (*Cucumaria japonica*). Для получения кожи щупальца осьминога натирали поваренной солью, охлаждали, выдерживали непродолжительное время и легко отделяли покровные ткани, которые использовали в дальнейших исследованиях. Применяемые в работе молоки извлекали из мороженой сельди тихоокеанской, соответствующей требованиям действующего ГОСТа, после ее размораживания. В качестве опытных образцов мантии кальмара использовали мороженую продукцию промышленной выработки после ее размораживания. Для исследования тканей трепанга использовалось охлажденное сырье со сроком хранения 12–15 ч при температуре около 0 °С.

Количество воды, содержащейся в исследуемых образцах, определяли стандартным методом по ГОСТ 7636-85 [4].

Сырье замораживалось воздушным способом в морозильной камере, оборудованной холодильной установкой АМЕ-L-3x2EC2 на базе трех полугерметичных поршневых компрессоров 2EC-22-40С фирмы Bitzer. Температура подаваемого в камеру воздуха составляла –30 °С, скорость циркуляции – 3,5 м/с.

Определение криоскопических температур осуществлялось методом термического анализа, основанного на построении и изучении термограмм замораживания (кривых время–температура) исследуемых образцов [5]. Значение температуры изотермического участка термограммы соответствует численному выражению криоскопической температуры исследуемого объекта. Измерение температуры осуществлялось с помощью датчиков WT-1, WT-5 с диапазоном –70...300 °С с точностью измерения ±0,1 °С.

Количество вымороженной воды рассчитывали по формуле Д.Г. Рютова:

$$\omega = \left(1 - b \frac{1 - W}{W} \right) \left(1 - \frac{t_{кр}}{t} \right), \quad (1)$$

где W – общее содержание воды в продукте, кг/кг продукта; b – содержание связанной воды, кг/кг сухих веществ; $t_{кр}$ – криоскопическая температура продукта, °С; t – температура, при которой ведется расчет, °С. Для расчетов количество связанной воды в продуктах животного происхождения $b = 0,27$ кг/кг сухих веществ.

Доказано, что данная формула позволяет получить наиболее точный результат, так как определяемая доля вымороженной воды зависит не от одной характеристики продукта (криоскопической температуры), а от трех независимых факторов, определяемых экспериментально (криоскопической температуры, содержания свободной и связанной воды).

Для статистической обработки экспериментальных данных и построения графиков с выводом формул использовали стандартный пакет программ Microsoft Office 2007, Curve Expert 1.4 и Graph 4.4.2.

Результаты исследования и их обсуждение

Процесс вымораживания воды начинается в поверхностных слоях объектов криообработки и по мере отвода тепла приближается к термическому центру, т.е., по сути, скорость вымораживания воды идентична скорости замораживания в ее классическом представлении, как перемещения границы, разделяющей замороженные и незамороженные слои продукта, в единицу времени. Поэтому можно предположить, что скорость вымораживания воды в исследуемых образцах может быть использована для численного выражения скорости замораживания в условиях проводимого эксперимента.

Рассчитано количество вымороженной воды по формуле (1) в каждый момент времени. Необходимые для расчетов данные представлены в таблице.

Содержание воды и криоскопическая температура исследуемого сырья Water content and cryoscopic temperature of the studied raw materials

Наименование сырья	Содержание воды, %	Криоскопическая температура, °С
Молоки сельди т/о	77,4	-0,4
Кальмар	74,6	-1,0
Шкура осьминога	75,5	-0,8
Трепанг	90,8	-1,4

Построим графики зависимости количества вымороженной воды от времени для исследуемых образцов (рис. 1). За начало замораживания примем время достижения криоскопической температуры (нулевое значение).

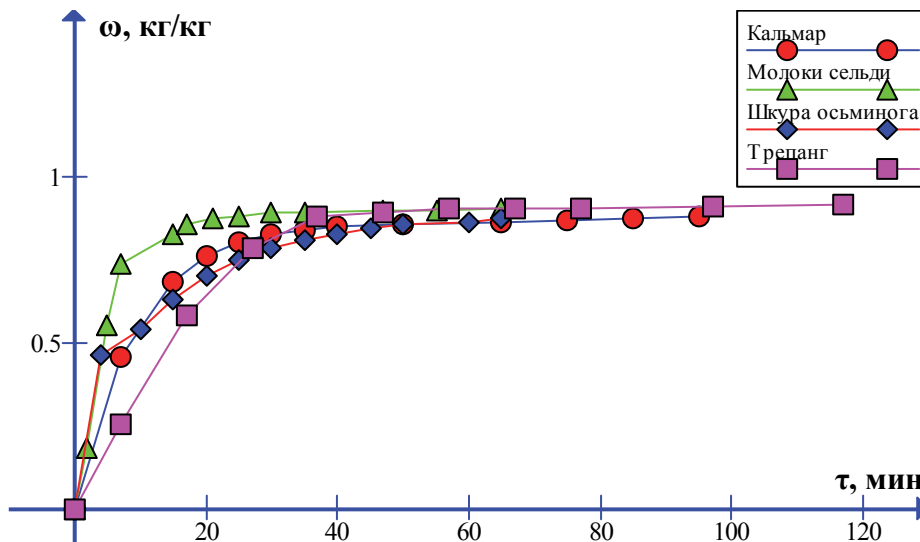


Рис. 1. Зависимость количества вымороженной воды от времени для исследуемых образцов
Fig. 1. Dependence of the amount of frozen water on time for the samples studied

Анализируя графики, можно сделать вывод, что наиболее быстрое вымораживание воды происходит у молок сельди в связи с тем, что у нее самая высокая криоскопическая температура, наиболее медленное вымораживание – у трепанга, это связано с тем, что у него самая низкая криоскопическая температура.

Используя программу Curve Expert 1.4, определим математические зависимости количества вымороженной воды от времени для каждого вида сырья.

Для кальмара:

$$\omega_k = 0,02832 + 0,06749\tau - 0,00196\tau^2 + 0,0000238\tau^3 - 0,0000001\tau^4; \quad (2)$$

для молок сельди тихоокеанской:

$$\omega_m = 0,01391 + 0,11716\tau - 0,00533\tau^2 + 0,0000981\tau^3 - 0,0000006\tau^4; \quad (3)$$

для шкуры осьминога:

$$\omega_o = 0,017435 + 0,077291\tau - 0,00292\tau^2 + 0,00005066\tau^3 - 0,00000036\tau^4; \quad (4)$$

для трепанга дальневосточного:

$$\omega_{ky} = 0,017822 + 0,049731\tau - 0,00096\tau^2 + 0,0000079\tau^3 - 0,000000023\tau^4, \quad (5)$$

где ω_k , ω_m , ω_o , ω_{ky} – количество вымороженной воды для тушки кальмара, молоко сельди тихоокеанской, шкуры осьминога, трепанга соответственно, кг/кг; τ – время замораживания, мин.

Как известно, первая производная функции выражает скорость протекания процесса, описанного зависимостью $y = f(t)$. Таким образом, продифференцировав уравнения (2–5), получим уравнения скорости вымораживания воды в тканях исследуемых промысловых гидробионтов.

Для кальмара:

$$\omega_t = 0,06746 - 0,00392 \tau + 0,0000714 \tau^2 - 0,0000004 \tau^3;$$

для молок сельди тихоокеанской:

$$\omega_t = 0,11716 - 0,01066 \tau + 0,000294 \tau^2 - 0,0000024 \tau^3;$$

для шкуры осьминога:

$$\omega_t = 0,077291 - 0,00584 \tau + 0,0001519 \tau^2 - 0,00000158 \tau^3;$$

для трепанга дальневосточного:

$$\omega_t = 0,049731 - 0,00192 \tau + 0,0000237 \tau^2 - 0,000000092 \tau^3.$$

Используя полученные формулы, рассчитаем во времени скорость вымораживания воды в тканях гидробионтов и построим графики зависимостей (рис. 2).

Анализ представленных графиков (рис. 2) показывает, что наибольшая скорость вымораживания воды у молок сельди в начальный момент времени составляет 0,12 кг/кг·мин, наименьшая у трепанга дальневосточного – 0,05 кг/кг·мин. Скорость вымораживания снизилась до минимальных значений у молок сельди за 20 мин, в этот момент времени выморожено 88,6 % воды. У шкуры осьминога необходимое время замораживания составило 28 мин, выморожено 82,0 % воды. Для кальмара это время составляет 35 мин, количество вымороженной воды – 83,1 %. У трепанга эти показатели 35 мин и 86,7 %.

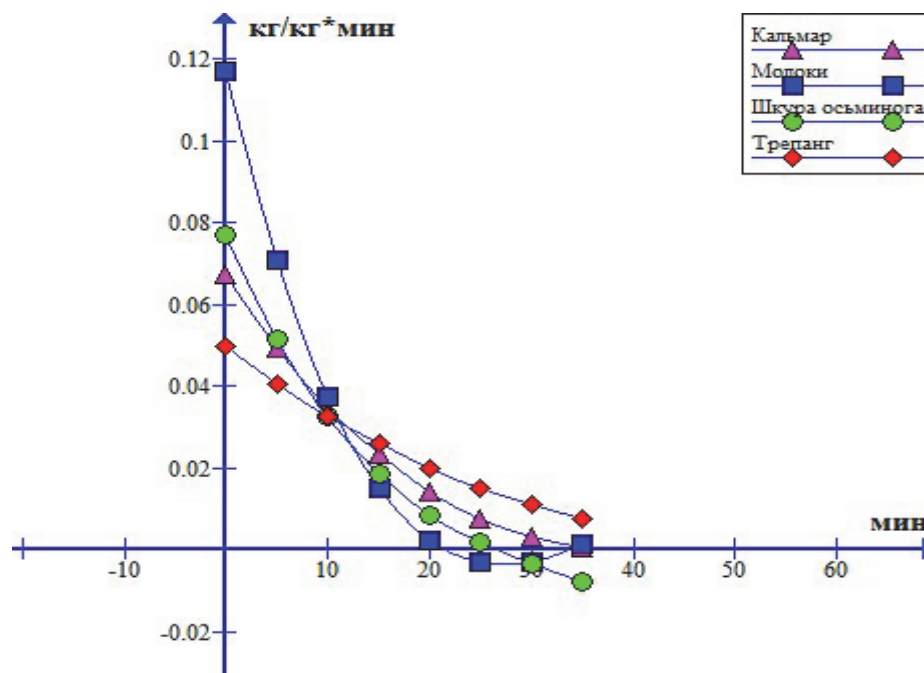


Рис. 2. Зависимость скорости вымораживания воды от времени для исследуемых образцов
Fig. 2. Dependence of the rate of frozen water on time for the samples studied

Таким образом, в ходе исследования получены математические зависимости, описывающие процесс вымораживания воды и скорость вымораживания воды во времени в исследуемых образцах при их низкотемпературной обработке. Данные зависимости позволяют определить количество вымороженной воды и скорость вымораживания воды в известный момент времени для исследованного сырья. Их применение позволяет обосновать необходимое время замораживания, в течение которого вымораживается основное количество воды и ско-

рость вымораживания приближается к нулевым значениям. Для молок сельди оно составляет 20 мин, шкуры осьминога – 28 мин, кальмара и трепанга – 35 мин. Полученные данные свидетельствуют, что в условиях эксперимента самая высокая скорость замораживания была у молок сельди, затем у шкуры осьминога и самая низкая – у кальмара и трепанга.

Список литературы

1. Алексанян А.И., Алексанян О.А. Особенности механизма замораживания и вымерзания влаги в мясе рыбы и рыбном фарше // Вопросы технических и физико-математических наук в свете современных исследований. 2018. С. 72–76.
2. Остроумов Л.А., Буянов О.Н., Короткий И.А. Исследование процесса замораживания плодов и ягод // Техника и технология пищевых производств. 2009. № 1. С. 32–36.
3. Богданов В.Д., Назаренко А.В., Симдянкин А.А. Криотехнология сухого пищевого концентрата из голотурий // Науч. тр. Дальрыбвтуза. 2018. № 46. С. 64–68.
4. ГОСТ 7636-85. Рыба, морские млекопитающие, морские беспозвоночные и продукты их переработки. Методы анализа. М., 2014.
5. Короткий И.А., Короткая Е.В. Криоскопические температуры сибирских ягод // Изв. вузов. Пищ. технология. 2008. № 1. С. 66–68.

Сведения об авторах: Богданов Валерий Дмитриевич, доктор технических наук, профессор, e-mail: bogdanovvd@dgtru.ru;

Симдянкин Андрей Андреевич, старший преподаватель, e-mail: And-sim@mail.ru;

Назаренко Антон Валерьевич, старший преподаватель, e-mail: NazAnton@yandex.ru.