

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДАЛЬНЕВОСТОЧНОГО ТРЕПАНГА ПРИ ЗАМОРАЖИВАНИИ

Цель работы – исследование изменения показателей теплоемкости и теплопроводности дальневосточного трепанга при замораживании. Объект исследования – дальневосточный трепанг (*Stichopus japonicus*), выловленный в бухте Северной залива Славянка (Хасанский район, Приморский край). Установлены закономерности изменения полной удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности при замораживании дальневосточного трепанга. В процессе снижения температуры от криоскопической до 268 К и переходе воды в кристаллическое состояние происходит увеличение полной удельной теплоемкости в 26 раз, затем этот показатель снижается (при температуре 223 К) в 43 раза и приближается к удельной теплоемкости льда. Установлено, что в процессе замораживания коэффициент теплопроводности дальневосточного трепанга растет с увеличением доли вымороженной воды. При снижении температуры от 271,6 до 223 К его значение увеличивается в 4,5 раза и стремится к коэффициенту теплопроводности льда, что связано с высоким содержанием воды в теле дальневосточного трепанга – более 90 %. Получены уравнения, описывающие зависимость полной удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности от количества вымороженной воды, которое определяется температурой замораживания. При четком знании теплофизических свойств сырья технология, основанная на принципах криообработки, наиболее эффективна.

**Ключевые слова:** дальневосточный трепанг, криообработка, криоскопическая температура, вымороженная вода, полная удельная теплоемкость, коэффициент теплопроводности.

### Введение

Среди тихоокеанских водных биологических объектов промысла и марикультуры особое место занимает дальневосточный трепанг, относящийся к типу иглокожих, классу голотурий. Благодаря своему уникальному химическому составу трепанг издавна используется народами Юго-Восточной Азии как омолаживающее средство, которое, как считается, продлевает человеку жизнь, за что получил название «морской женьшень». Биологически активным действием обладают такие химические соединения, содержащиеся в трепанге, как белки, тритерпеновые гликозиды, гексозамины, липиды и минеральные вещества, которые действуют раздельно или в комплексе, обеспечивая высокую фармакологическую ценность получаемых из него продуктов [1, 2].

На наш взгляд, при переработке трепанга рациональной является технология, основанная на принципах криообработки, когда сырье сразу после вылова подвергается замораживанию, криоизмельчению и сублимационной сушке и превращается в готовый концентрированный продукт, не испытывая воздействия высоких температур, минуя превращение твердой ледяной фазы в жидкую на какой-либо стадии производства [3]. Данная технология максимально эффективна при четком знании теплофизических свойств сырья.

В связи с этим **целью** исследования являлось изучение теплофизических свойств дальневосточного трепанга, таких как теплоемкость и теплопроводность, в процессе его замораживания.

### Материалы и методы исследования

Объект исследования – дальневосточный трепанг (*Stichopus japonicus*), выловленный в бухте Северной залива Славянка (Хасанский район, Приморский край). Свежевыловленный трепанг замораживался воздушным способом в морозильной камере, оборудованной холодильной установкой АМЕ-L-3x2EC2 на базе трех полугерметичных поршневых компрессоров 2EC-22-40С фирмы Bitzer (Германия). Измерение температуры осуществлялось с помощью датчиков WT-1, WT-5 (диапазон измерений:  $-70...300$  °С, точность:  $\pm 0,1$  °С) [4].

Для обработки экспериментальных данных и расчетов использовалась программа Microsoft Office Excel 2007, для построения графиков – программа CurveExpert 1.4, для аппроксимации кривых с выводом формул – программа CurveExpert Professional 2.3.

**Определение удельного коэффициента теплоемкости**

Расчет удельной теплоемкости пищевых продуктов как многокомпонентных веществ выполняется по закону аддитивности [5]:

$$c = g_1 c_1 + g_2 c_2 + g_3 c_3 + \dots + g_n c_n,$$

где  $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$  – удельная теплоемкость компонентов;  $g_1, g_2, g_3, \dots, g_n$  – массовая доля компонентов.

Рассмотрим тело дальневосточного трепанга как двухкомпонентную смесь, содержащую  $W$  частей воды и  $(1 - W)$  частей сухих веществ с соответствующей удельной теплоемкостью для каждого компонента. Теплоемкость продукта в диапазоне значений температуры до начала льдообразования определяется выражением

$$c = c_{\text{в}} W + c_{\text{с.в}} (1 - W),$$

где  $c_{\text{в}} = 4,19$  кДж/(кг·К) – теплоемкость воды;  $c_{\text{с.в}} = 1,137$  кДж/(кг·К) – удельная теплоемкость сухих веществ трепанга [6].

Поскольку при отрицательных значениях температуры часть воды  $\omega$  в трепанге переходит в лед, теплоемкость которого  $c_{\text{л}}$ , то теплоемкость замороженного трепанга вычисляется по формуле

$$c_{\text{з.т}} = c_{\text{в}} W (1 - \omega) + c_{\text{л}} W \omega + c_{\text{с.в}} (1 - W), \quad (1)$$

где  $c_{\text{л}} = 2,1$  кДж/(кг·К).

При замораживании трепанга теплота льдообразования будет отводиться от единицы массы при понижении ее температуры, которое определяется как

$$dq_{\omega} = L_3 W \frac{d\omega}{dt}, \quad (2)$$

где  $L_3 = 334,2 + 2,12t + 0,0042t^2$  кДж/кг – удельная теплота льдообразования;  $W = 0,908$  – общее содержание воды в трепанге, кг/кг;  $t$  – температура замороженного трепанга, °С.

Если в выражении (2) принять изменение температуры на один градус, то количество тепла получит размерность и смысл составной части полной удельной теплоемкости и запишется в виде

$$q_{\omega} = L_3 W (\omega_2 - \omega_1), \quad (3)$$

где  $\omega_1$  – количество вымороженной воды при начальной температуре;  $\omega_2$  – количество вымороженной воды при конечной температуре.

Сумма расчетной теплоемкости замороженного трепанга  $c_{\text{з.т}}$  и теплоты льдообразования  $q_{\omega}$  даст полную удельную теплоемкость:

$$c_{\text{п}} = c_{\text{з.т}} + q_{\omega}. \quad (4)$$

По формуле (4) рассчитаем полную удельную теплоемкость дальневосточного трепанга. Для этого необходимо определить количество вымороженной воды при различных значениях температуры, используя формулу Д. Г. Рютова [4]. По формулам (1) и (3) определим теплоемкость замороженного трепанга и теплоту льдообразования. Получившиеся значения полной удельной теплоемкости дальневосточного трепанга изобразим в виде графика (рис. 1).

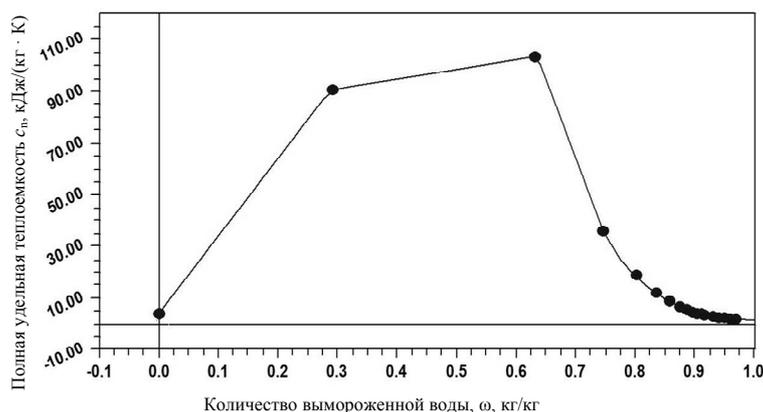


Рис. 1. Зависимость полной удельной теплоемкости от количества вымороженной воды

Анализ графика на рис. 1 позволяет выделить два участка. На первом участке заметен рост полной удельной теплоемкости трепанга, что связано с интенсивным льдообразованием, сопровождающимся выделением теплоты, обуславливающий известный период замедления снижения температуры, описанный в работе [4]. В процессе снижения температуры от криоскопической до 268 К и переходе воды в кристаллическое состояние происходит увеличение полной удельной теплоемкости в 26 раз. Увеличение полной удельной теплоемкости заканчивается при вымораживании примерно 63 % воды. На втором участке полная удельная теплоемкость снижается (при температуре 223 К) в 43 раза, стремясь к теплоемкости льда, т. к. именно она является доминирующим фактором дальнейшего процесса замораживания.

Аппроксимируя кривую (рис. 1) с помощью программы CurveExpert Professional 2.3, получим формулу

$$c_n = 297,5\omega^4 - 553,3\omega^3 + 264\omega^2 - 64,5\omega + 1,9. \quad (5)$$

Данная формула может быть использована для расчета зависимости полной удельной теплоемкости трепанга от количества вымороженной воды с коэффициентом корреляции 0,98.

Используя формулу (5), рассчитаем полную удельную теплоемкость дальневосточного трепанга при различных значениях температуры (табл. 1) и сравним ее с данными исследований других авторов [7–9].

Таблица 1

#### Зависимость полной удельной теплоемкости некоторых продуктов от температуры

Температура, К	Полная удельная теплоемкость $c_n$ , кДж/(кг·К)			
	Мидия	Треска	Трепанг	Икра морского ежа
271	38,5	118,2	90,97	3,494
269	30,8	21,5	93,67	82,94
267	10,5	9,8	47,77	42,53
265	10,8	6,2	25,1	20,19
263	11,1	4,8	13,74	9,28
253	7,5	2,8	2,52	4,39
223	4,2	1,9	2,3	2,27
173	2,5	1,5	2,1	1,9

Анализ данных табл. 1 позволяет сделать вывод, что для всех представленных образцов сырья имеет место увеличение полной удельной теплоемкости в промежутке значений температуры 271...269 К, при дальнейшем понижении температуры  $c_n$  снижается. Различия в значениях полной удельной теплоемкости у мидий связаны с особенностями их химического состава, прежде всего с содержанием в них воды: для мидий оно равно 42,3 % [7]; для трески – 80,4 % [8], для трепанга – 90,8 %; для икры морского ежа – 71,8 % [9]. Низкое значение  $c_n$  у икры морских ежей при температуре 271 К объясняется низкой криоскопической температурой, характерной для данного сырья.

### Определение теплопроводности

При значениях температуры ниже криоскопической, когда в продукте происходит процесс льдообразования, его теплопроводность значительно возрастает, т. к. теплопроводность льда в 4 раза больше теплопроводности воды.

Увеличение теплопроводности продукта при понижении температуры практически заканчивается с окончанием процесса вымерзания воды, если пренебречь дальнейшим несущественным изменением теплопроводности льда и других компонентов продукта. Коэффициент теплопроводности продукта в диапазоне отрицательных значений температуры зависит от количества вымороженной воды и находится по приближенному уравнению [8]:

$$\lambda_m = \lambda_0 + \omega \Delta \lambda, \quad (6)$$

где  $\lambda_0$  – коэффициент теплопроводности продукта до начала замораживания, Вт/(м·°С);  $\Delta \lambda$  – изменение теплопроводности продукта в интервале значений температуры от начала замерзания  $t_{н.з}$  до температуры  $t_3$ , соответствующей завершению льдообразования.

При рассмотрении тела трепанга как двухкомпонентной смеси, содержащей  $W$  частей воды и  $(1 - W)$  частей сухих веществ, с соответствующими коэффициентами теплопроводности  $\lambda_w$  и  $\lambda_{с.в}$  теплоемкость продукта в диапазоне значений температуры до начала льдообразования определяется выражением

$$\lambda_T = \lambda_w W + \lambda_{с.в} (1 - W),$$

где  $\lambda_w = 0,597$  Вт/(м·К) – коэффициент теплопроводности воды;  $\lambda_{с.в} = 0,098$  Вт/(м·К) – коэффициент теплопроводности сухих веществ трепанга [6].

Коэффициент теплопроводности можно рассчитать по формуле на основе моделей О. Кришера [5]:

$$\lambda_{зм} = \frac{1}{\lambda_l - \varepsilon_{ск} (\lambda_l - \lambda_m)} \left[ \lambda_m \lambda_l + \frac{(\lambda_l - \lambda_m)^2}{2} (\varepsilon_{ск} - \varepsilon_{ск}^2) \right], \quad (7)$$

где  $\lambda_l = 2,22$  Вт/(м·К) – коэффициент теплопроводности льда в интервале значений температуры 273...208 К;  $\varepsilon_{ск}$  – коэффициент скважистости, зависящий от количества вымороженной воды и химического состава продукта.

Структуру замороженного продукта можно рассматривать как дисперсную систему, состоящую из пор льда с коэффициентом теплопроводности  $\lambda_l$ , и субстанции, включающей незамороженную воду, сухие вещества с коэффициентом теплопроводности, приблизительно равным значению  $\lambda_0$  до начала замерзания.

Тогда коэффициент скважистости принятой структуры будет определяться выражением

$$\varepsilon_{ск} = \frac{W \omega}{m \rho_l + W \left[ \frac{\rho_l}{\rho_w} + \omega \left( 1 - \frac{\rho_l}{\rho_w} \right) \right]},$$

где  $\rho_l$  – плотность льда, кг/м<sup>3</sup>;  $\rho_w$  – плотность продукта до начала замерзания, кг/м<sup>3</sup>;  $m$  – массовая доля сухих веществ в теле трепанга.

Если учесть, что в процессе замораживания массовая доля сухих веществ остается постоянной, а величина плотности  $\rho_c$  практически не изменяется, то

$$m = \frac{1}{\rho_c} - \frac{W}{\rho_w}.$$

Используя формулу (7), рассчитаем коэффициент теплопроводности дальневосточного трепанга и построим график его зависимости от количества вымороженной воды (рис. 2).

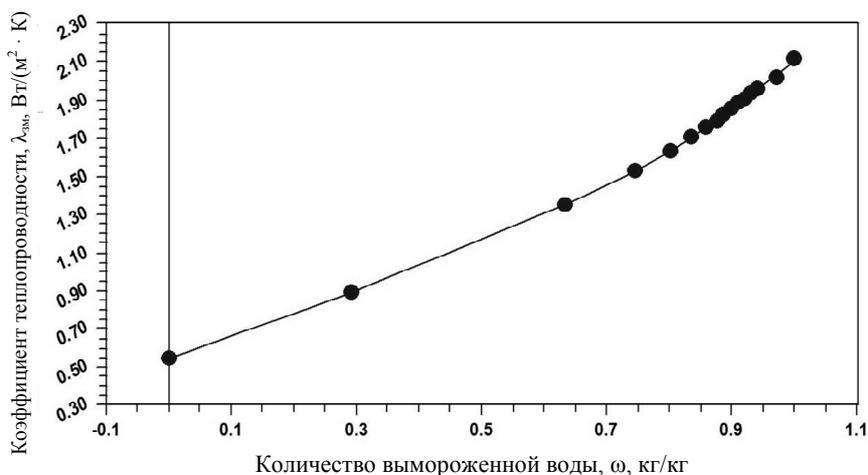


Рис. 2. Зависимость коэффициента теплопроводности от количества вымороженной воды

На рис. 2 видно, что теплопроводность дальневосточного трепанга медленно растет с увеличением доли вымороженной воды и стремится к теплопроводности льда. Это связано с высоким (более 90 %) содержанием воды в теле трепанга. Данная зависимость близка к линейной, поэтому, аппроксимируя данные графика с помощью программы *CurveExpert Professional 2.3*, получим

$$\lambda_{\text{тр}} = 0,46 + 1,54\omega. \quad (8)$$

Данная формула может быть использована для расчета теплопроводности дальневосточного трепанга с коэффициентом корреляции 0,99.

Формула (8) соответствует уравнению (6), вследствие чего можно сделать вывод, что для дальневосточного трепанга  $\Delta\lambda = 1,54$  Вт/(м·К). Это значение несколько выше, чем приводимые в некоторых работах для продуктов с содержанием воды 70–80 %, где оно составляет  $\Delta\lambda = 1,05 \dots 1,24$  Вт/(м·К) [7]. Такое увеличение изменения теплопроводности в зоне интенсивного льдообразования можно объяснить высоким содержанием воды в трепанге и особенностью структуры его тела, выражающейся в большой пористости.

Значения коэффициента теплопроводности некоторых пищевых продуктов из моллюсков в интервале значений температуры от 271,6 до 223 К в зависимости от коэффициента скважности и количества вымороженной воды представлены в табл. 2 [7, 9].

Таблица 2

**Значения коэффициента теплопроводности некоторых пищевых продуктов в интервале значений температуры 271,6–223 К**

Температура, К	Мидия тихоокеанская			Икра морского ежа			Дальневосточный трепанг		
	ω, кг/кг	ε <sub>ск</sub>	λ <sub>з_м</sub> , Вт/(м·К)	ω, кг/кг	ε <sub>ск</sub>	λ <sub>з_м</sub> , Вт/(м·К)	ω, кг/кг	ε <sub>ск</sub>	λ <sub>з_м</sub> , Вт/(м·К)
271,6	0	0	0,4	0	0	0,456	0	0	0,551
273	0,25	0,14	0,56	0	0	0,456	0,292	0,309	0,892
269	0,63	0,35	0,8	0,334	0,266	0,752	0,632	0,643	1,346
267	0,7	0,39	0,8	0,602	0,470	1,006	0,746	0,749	1,532
265	0,78	0,43	0,9	0,713	0,556	1,132	0,802	0,801	1,637
263	0,85	0,47	0,95	0,805	0,622	1,231	0,836	0,832	1,706
253	0,92	0,5	0,99	0,912	0,701	1,363	0,905	0,893	1,859
243	0,95	0,52	1,02	0,952	0,728	1,41	0,927	0,913	1,916
233	0,97	0,53	1,04	0,976	0,745	1,442	0,939	0,923	1,947
223	0,99	0,54	1,05	0,993	0,757	1,471	0,945	0,929	1,965

Из данных табл. 2 следует, что коэффициент теплопроводности мидии тихоокеанской, икры морского ежа в процессе замораживания изменяется аналогично коэффициенту теплопроводности дальневосточного трепанга. Значение  $\lambda_{\text{зм}}$  трепанга несколько выше коэффициента теплопроводности мидии и икры морского ежа, причем это характерно для всех исследуемых значений температуры замораживания. Следует добавить, что данными табл. 2 подтверждается более высокая пористость структуры дальневосточного трепанга по сравнению с пористостью мидии тихоокеанской и икры морского ежа.

### Заключение

Таким образом, в ходе исследования получены следующие результаты:

- установлены закономерности изменения полной удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности при замораживании дальневосточного трепанга. В процессе снижения температуры от криоскопической до 268 К и переходе воды в кристаллическое состояние происходит увеличение полной удельной теплоемкости в 26 раз, затем этот показатель снижается (при температуре 223 К) в 43 раза и приближается к теплоемкости льда;
- установлено, что в процессе замораживания коэффициент теплопроводности дальневосточного трепанга растет с увеличением доли вымороженной воды. При снижении температуры от 271,6 до 223 К его значение увеличивается в 4,5 раза и стремится к коэффициенту теплопроводности льда. Это обусловлено тем, что дальневосточный трепанг имеет высокое содержание воды, более 90 %;
- выведены математические зависимости, описывающие взаимосвязь полной удельной теплоемкости и коэффициента теплопроводности от количества вымороженной воды, которая является зависимой от температуры замораживания.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Левин В. С. Дальневосточный трепанг. Биология, промысел, воспроизводство. СПб.: Голанд, 2000. 200 с.
2. Аюшин Н. Б., Ким А. Г., Слуцкая Т. Н. Химический состав и содержание биологически активных веществ в мышечной ткани трепанга *Stichopus japonicus*. // Изв. вузов. Пищевая технология. 2014. № 4 (340). С. 35–37.
3. Богданов В. Д., Назаренко А. В., Симдянкин А. А. Криотехнология сухого пищевого концентрата из голотурий // Науч. тр. Дальрыбвтуза. 2016. № 38. С. 64–68.
4. Богданов В. Д., Симдянкин А. А., Назаренко А. В. Исследование процесса замораживания дальневосточного трепанга при его криообработке // Вестн. Астрахан. гос. техн. ун-та. Сер.: Рыбное хозяйство. 2016. № 2. С. 130–135.
5. Эрлихман В. Н., Фатыхов Ю. А. Консервирование и переработка пищевых продуктов при отрицательных температурах. Калининград: КГТУ, 2004. 248 с.
6. Гинзбург А. С., Громов М. А., Красовская Г. И. и др. Теплофизические характеристики пищевых продуктов и материалов. М.: Пищ. пром-сть, 1980. 224 с.
7. Иодис В. А. Разработка технологии низкотемпературной обработки мидии тихоокеанской (*Mytilus trossulus*) жидким азотом: дис. ... канд. техн. наук. Петропавловск-Камчатский, 2009. 171 с.
8. Рогов И. А., Бабакин Б. С., Фатыхов Ю. А. Криосепарация сырья биологического происхождения. Рязань: Наше время, 2005. 288 с.
9. Гоконев М. В. Совершенствование технологии производства мороженой икры морских ежей: дис. ... канд. техн. наук. Петропавловск-Камчатский, 2006. 156 с.

Статья поступила в редакцию 24.10.2016

### ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Богданов Валерий Дмитриевич** – Россия, 690087, Владивосток; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; г-р техн. наук, профессор; профессор кафедры технологии продуктов питания; bogdanovvd@dgtru.ru.

**Симдянкин Андрей Андреевич** – Россия, 690087, Владивосток; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; аспирант кафедры холодильной техники, кондиционирования и теплотехники; And-sim@mail.ru.

**Назаренко Антон Валерьевич** – Россия, 690087, Владивосток; Дальневосточный государственный технический рыбохозяйственный университет; старший преподаватель кафедры холодильной техники, кондиционирования и теплотехники; NazAnton@yandex.ru.



V. D. Bogdanov, A. A. Simdyankin, A. V. Nazarenko

## STUDY OF THERMAL PARAMETERS OF FAR EASTERN SEA CUCUMBER WHEN FREEZING

**Abstract.** The aim of the work is to study the changes in the parameters of thermal capacity and conductivity of Far Eastern sea cucumber when freezing. The object of the study was the Far Eastern sea cucumber (*Stichopus japonicus*), caught in the Bay of North Bay Slavyanka (Khasan District, Primorsky Krai). The dependences of change in the total specific heat capacity and thermal conductivity when freezing the Far Eastern sea cucumber, were established. In the process of temperature reduction from cryoscopic to 268 K and water transformation into the crystalline state there is an increase in total specific heat capacity by 26 times, then this parameter decreases (at 223 K) by 43 times and becomes closer to the (specific) ice heat capacity. It was found that in the process of freezing the thermal conductivity coefficient of the Far Eastern sea cucumber increases with the proportion of frozen water. When the temperature drops from 271.6 to 223 K its value is increased by 4.5 times and strives for the thermal conductivity coefficient of ice. This is due to the fact that the Far Eastern sea cucumber has a high water content, more than 90%. The mathematical equations describing the dependence of the total specific heat capacity and thermal conductivity coefficient on the amount of frozen water, which is dependent on the freezing temperature, were derived. With precise value of thermal parameters of raw material the technology, based on the principles of cryoprocessing, becomes more effective.

**Key words:** sea cucumber, cryotreatment, cryoscopic temperature, chilled water, complete the specific heat, the coefficient of thermal conductivity.

### REFERENCES

1. Levin V. S. *Dal'nevostochnyi trepang. Biologiya, promysel, vosпроизводство* [Far Eastern sea cucumber. Biology, fishery, reproduction]. Saint-Petersburg, Goland Publ., 2000. 200 p.
2. Aiushin N. B., Kim A. G., Slutskaia T. N. Khimicheskii sostav i sodержanie biologicheskii aktivnykh veshchestv v myshechnoi tkani trepanga *Stichopus japonicus* [Chemical composition and content of biologically active substances in muscular tissue of sea cucumber *Stichopus japonicus*]. *Izvestiia vuzov. Pishchevaia tekhnologiya*, 2014, no. 4 (340), pp. 35–37.
3. Bogdanov V. D., Nazarenko A. V., Simdiankin A. A. Kriotekhnologiya sukhogo pishchevogo kontsentrata iz goloturii [Cryotechnology of dry food concentrate from sea cucumber]. *Nauchnye trudy Dal'rybvtuza*, 2016, no. 38, pp. 64–68.
4. Bogdanov V. D., Simdiankin A. A., Nazarenko A. V. Issledovanie protsessa zamorazhivaniia dal'nevostochnogo trepanga pri ego kriobrabotke [Study of the freezing process of Far Eastern sea cucumber while its cryoprocessing]. *Vestnik Astrakhanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Seriya: Rybnoe khoziaistvo*, 2016, no. 2, pp. 130–135.
5. Erlikhman V. N., Fatykhov Iu. A. *Konservirovanie i pererabotka pishchevykh produktov pri otritsatel'nykh temperaturakh* [Conservation and processing of food products at temperatures below 0]. Kaliningrad, KGTU, 2004. 248 p.
6. Gingzburg A. C., Gromov M. A., Krasovskaia G. I. i dr. *Teplofizicheskie kharakteristiki pishchevykh produktov i materialov* [Thermal characteristics of food products and materials]. Moscow, Pishchevaia promyshlennost' Publ., 1980. 224 p.
7. Iodis V. A. *Razrabotka tekhnologii nizkotemperaturnoi obrabotki midii tikhoookeanskoi (Mytilus trossulus) zhidkim azotom: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Development of the technology of low temperature processing of Pacific Ocean mussels (*Mytilus trossulus*) with liquid nitrogen. Dis. cand. tech. sci.]. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2009. 171 p.

8. Rogov I. A., Babakin B. S., Fatykhov Iu. A. *Krioseparatsiia syr'ia biologicheskogo proiskhozhdeniia* [Cryoseparation of raw materials of biological origin]. Riazan, Nashe vremia Publ., 2005. 288 p.
9. Gokonaev M. V. *Sovershenstvovanie tekhnologii proizvodstva morozhenoi ikry morskikh ezhei: dis. ... kand. tekhn. nauk* [Improvement of the technology of production of frozen caviar of sea hedgehogs. Dis. cand. tech. sci.]. Petropavlovsk-Kamchatsky, 2006. 156 p.

The article submitted to the editors 24.10.2016

#### INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Bogdanov Valeriy Dmitrievich** – Russia, 690087, Vladivostok; Far East State Technical University of Fisheries; Doctor of Technical Sciences, Professor; Professor of the Department of Food Technology; bogdanovvd@dgtru.ru.

**Simdyankin Andrey Andreevich** – Russia, 690087, Vladivostok; Far East State Technical University of Fisheries; Postgraduate Student of the Department of Refrigeration, Air Conditioning and Heat Engineering; And-sim@mail.ru.

**Nazarenko Anton Valerievich** – Russia, 690087, Vladivostok; Far East State Technical University of Fisheries; Senior Lecturer of the Department of Refrigeration, Air Conditioning and Heat Engineering; NazAnton@yandex.ru.

