

УДК 664.834

Исследование процессов вакуумной сушки икры

В. А. Ермолаев*, О. Н. Бондарчук, Е. В. Махачева

*Кузбасский государственный аграрный университет им. В. Н. Полецкого, г. Кемерово, Россия;
e-mail: ermolaevvla@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1450-2517>

Информация о статье Реферат

Поступила
в редакцию
29.11.2024;

получена
после доработки
11.02.2025;

принята
к публикации
13.02.2025

Ключевые слова:

вакуумная сушка,
обезвоживание,
сушка,
продолжительность,
органолептические
показатели

Икра рыб представляет собой ценный продукт, имеющий высокие питательные и вкусовые качества. Икра содержит в себе большое количество белка, что является одним из значимых критериев пищевых продуктов. Незаменимые кислоты, содержащиеся в икре, представляют собой особую ценность. Они не могут синтезироваться в организме человека и поступают в него только с пищей. Поиск эффективных способов консервирования красной икры при помощи новых видов консервантов, а также различных технологий, обеспечивающих высокое качество данного продукта, является перспективным направлением. Проведенные авторами исследования показали, что возможным способом переработки икры в продукт длительного хранения является ее сушка. Обезвоживание позволяет заметно продлить срок хранения икры без добавления консервантов. При этом стоит отметить, что высушенная икра может растираться в порошок для добавления в другие продукты и обогащения их полезными веществами. В качестве способа сушки икры выбрали вакуумную, так как именно вакуумная сушка может обезвоживать пищевые продукты с сохранением их качественных показателей. В работе приведены экспериментальные исследования, которые позволили выявить наиболее рациональные параметры вакуумной сушки икры: температура нагрева 40 °С, остаточное давление – 5 кПа, плотность теплового потока – 3–4 кВт/м², толщина слоя – 10–20 мм. При указанных параметрах продолжительность сушки составляет 270–370 мин, а органолептическая оценка равна 38–40 баллов из 45.

Для цитирования

Ермолаев В. А. и др. Исследование процессов вакуумной сушки икры. Вестник МГТУ. 2025. Т. 28, № 2. С. 252–262. DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-2-252-262>.

Research of caviar vacuum drying processes

Vladimir A. Ermolaev*, Olga N. Bondarchuk, Ekaterina V. Makhacheva

*Kuzbass State Agrarian University named after V. N. Poletskov, Kemerovo, Russia;
e-mail: ermolaevvla@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1450-2517>

Article info

Received
29.11.2024;

received
in revised form
11.02.2025;

accepted
13.02.2025

Key words:

vacuum drying,
dehydration,
drying,
duration,
organoleptic properties

Abstract

Fish caviar is a valuable product with high nutritional and taste qualities. Caviar contains a large amount of protein, which is one of the significant criteria for food products. Essential acids contained in caviar are of particular value. They cannot be synthesized in the human body and enter it only with food. The search for effective ways to preserve red caviar using new types of preservatives, as well as various technologies that ensure the high quality of this product, is a promising direction. The studies conducted by the authors have shown that a possible way to process caviar into a long-term storage product is its drying. Dehydration allows you to significantly extend the shelf life of caviar without adding preservatives. It is worth noting that dried caviar can be ground into powder for adding to other products and enriching them with useful substances. Vacuum drying has been chosen as a method of drying caviar, since it is vacuum drying that can dehydrate food products while maintaining their quality indicators. The paper presents experimental studies that have allowed us to identify the most rational parameters for vacuum drying of caviar: heating temperature of 40 °C, residual pressure of 5 kPa, heat flow density of 3–4 kW/m², layer thickness of 10–20 mm. With the specified parameters, the drying time is 270–370 min, and the organoleptic assessment is 38–40 points out of 45.

For citation

Ermolaev, V. A. et al. 2025. Research of caviar vacuum drying processes. *Vestnik of MSTU*, 28(2), pp. 252–262. (In Russ.) DOI: <https://doi.org/10.21443/1560-9278-2025-28-2-252-262>.

Введение

Икра рыб представляет собой ценный продукт, получаемый путем обработки ястыков рыбы и имеющий высокие питательные и вкусовые качества (Дементьева и др., 2017; Зайцева и др., 2013; Рубцова и др., 2009). Икра содержит в себе большое количество белка – 20–25 %, что является одним из значимых критериев пищевых продуктов (Ахмерова и др., 2012; Лыков, 1970). Незаменимые кислоты, содержащиеся в икре, представляют собой особую ценность (Ахмерова и др., 2011; Менчинская и др., 2015). Они не могут синтезироваться в организме человека и поступают в него только с пищей. В табл. 1 приведено соответствие аминокислотного состава (в частности, незаменимых аминокислот) различных рыб идеальному белку, т. е. такому белку, который по аминокислотному составу находится в идеальном для организма человека соотношении (Калиниченко и др., 2007; Лебская и др., 2015; Крухмалева и др., 2018).

Таблица 1. Соответствие аминокислотного состава белков икры рыб идеальному белку
Table 1. Correspondence of the amino acid composition of fish roe proteins to the ideal protein

Наименование аминокислот	Содержание аминокислот, г/100 г			
	Идеальный белок	Толстолобик	Сазан	Мойва
Валин	4,00	4,49	4,83	5,10
Изолейцин	3,00	3,94	3,74	3,95
Лейцин	6,10	11,34	9,04	7,16
Лизин	4,8	7,28	6,37	10,65
Метионин + цистин	2,3	3,95	6,22	5,24
Треонин	2,5	5,04	4,81	5,30
Триптофан	0,66	0,91	0,89	1,0
Фенилаланин + тирозин	4,1	7,88	7,42	6,34

Для сравнения – сумма незаменимых аминокислот в идеальном белке составляет 27,5 г/100 г. В икре толстолобика, сазана и мойвы этот показатель равен соответственно 44,8; 43,3; 44,7 г/100 г. Таким образом, сумма незаменимых аминокислот в икре рыбы превышает данный показатель в идеальном белке. В частности, в икре мойвы содержание лизина в 2 раза выше, чем в идеальном белке. Лизин участвует в процессе кроветворения, стимулирует умственные способности, подавляет рост вирусов, поддерживает иммунную систему и способствует регенерации тканей (Ким и др., 2016).

В белках икры толстолобика отмечено большое количество лейцина. Данная кислота принимает участие в обеспечении азотистого баланса, необходимого для белкового и углеводного обмена, способствует повышению работоспособности и лучшему заживлению ран (Chang et al., 1978).

Что касается икры сазана, то по сравнению с остальными представленными видами рыб в ней отмечено высокое содержание метионина с цистином. Метионин принимает участие в биосинтезе адреналина и холина, а также в процессе формирования коллагена. Он способствует активации гормонов, ферментов и витаминов и снижает уровень холестерина в крови. Цистин входит в состав иммуноглобулина и инсулина и обладает антиоксидантными свойствами (Садовникова и др., 1978).

Липиды, входящие в состав икры рыб, могут использоваться в качестве природного эмульгатора (Абрамова и др., 2003; Ахмерова и др., 2011). При этом биологическая эффективность липидов зависит от особенностей их жирнокислотного состава.

Из всего многообразия рыбьей икры красная икра (лососевая) является одной из наиболее распространенных. Она содержит множество микроэлементов (калий, фосфор, йод, железо и др.), витаминов (А, D, E), а также полиненасыщенных жирных кислот. Биологически активные вещества содержатся в ней в концентрированной форме.

Цвет икры лососей обусловлен наличием в ней каротиноидных пигментов – ксантофиллов: лютеин, астаксантин и зеаксантин. Наибольшее содержание астаксантина наблюдается в икре нерки, которая обладает яркой красно-оранжевой окраской, а наименьшее – в икре горбуши, которая имеет светло-оранжевый окрас.

Химический состав икры во многом зависит от стадии зрелости рыбы и сезона ее вылова. Так, например, в красной икре содержание влаги варьирует от 50 до 68 %, липидов – от 10 до 18 %, белков – от 26 до 36 %, минеральных веществ – от 0,7 до 2,5 %.

Витаминный состав икры колеблется в некотором диапазоне для различных видов рыб (табл. 2) (Методы..., 2009).

Из представленных видов рыбы наибольшее содержание витаминов А и D наблюдается в икре горбуши, а наибольшая концентрация витамина Е – в икре кеты. В целом отмечается повышенное содержание витамина А в икре тихоокеанских лососей по сравнению с другими видами рыбы. Ее концентрация в указанной рыбе превосходит таковую в печени трески.

Таблица 2. Витаминный состав икры рыб, мг/100 г
Table 2. Vitamin composition of fish caviar, mg/100 g

Витамин	Вид рыбы			
	Горбуша	Кета	Кижуч	Нерка
A	1,26	1,24	0,59	0,89
D	0,57	0,32	0,19	0,19
E	2,81	3,87	0,19	2,08

Традиционным способом консервирования икры является ее посолка. Данный метод используется издавна и является самым распространенным относительно указанного продукта. В результате посолки происходит извлечение влаги как из самого продукта, так и из микроорганизмов, что влечет за собой существенное подавление их жизнедеятельности. При этом происходит снижение активности воды, что также отрицательно сказывается на активности микроорганизмов, вызывающих порчу (*Курбанова и др., 2013*).

Разрабатывали также способ консервирования икры замораживанием до температуры минус 5 °С, что позволяло продлить срок хранения данного продукта до 2 месяцев. Однако такой способ обладает существенным недостатком, который выражается в заметном снижении органолептических показателей икры после дефростирования. В частности, происходит разрыв оболочки продукта и снижение вкусовых качеств, поэтому данный метод не нашел широкого применения в пищевой промышленности (*Новоселова и др., 2012*).

Имеются сведения о том, что для консервирования икры применялась пастеризация продукта (*Рубцова, 2009*). В ходе исследований был разработан способ пастеризации кетовой икры при температуре 65 °С в течение 1 ч. В результате такой обработки происходит уничтожение вегетативной микрофлоры и снижение активности автолитических процессов. В связи с этим удается продлить сроки хранения икры в 2 раза. Однако стоит отметить, что при термической обработке икры свыше 55 °С происходит потускнение продукта. Наиболее сильно данный эффект проявляется при температуре 73 °С.

Поиском эффективных способов консервирования красной икры при помощи новых видов консервантов, а также различных технологий, обеспечивающих высокое качество данного продукта, занимались многие ученые, среди которых А. М. Теплицкий, Е. Н. Наседкина и др. Кроме того разрабатывались новые методы консервирования икры, основанные на физических принципах. К числу ученых, проводящих исследования в данной области, можно отнести Г. В. Маслову, В. А. Солинек, З. С. Репину, И. И. Лапшина и др.

Материалы и методы

Возможным способом переработки икры в продукт длительного хранения является ее сушка. Обезвоживание позволяет заметно продлить срок хранения икры без добавления консервантов. При этом стоит отметить, что высушенная икра может растираться в порошок для добавления в другие продукты и обогащения их полезными веществами. Для анализа возможности применения сушеной икры в качестве самостоятельного продукта необходимы соответствующие исследования (*Ермолаев, 2008; Ермолаев и др., 2011; Ермолаев и др., 2009; Ермолаев и др., 2010; Ермолаев и др., 2016*).

В качестве объектов исследований выступала икра лосося. Икра лосося, обычно называемая красной икрой, состоит из ярко-оранжевых или красных икринок лосося. Икра лосося характеризуется плотной текстурой, соленым вкусом и ярким цветом, что делает ее популярным деликатесом. Икра лосося также является питательным источником, богатым омега-3 жирными кислотами, витаминами и белками. Лососевую икру изготавливают из икры-зерна рыбы, полученной из рыбы живой или сырца, обработанной поваренной солью с добавлением пищевых добавок, в том числе консервантов, или без них и фасуют в транспортную упаковку. Лососевая икра с консервантами может быть заморожена сухим искусственным способом.

В экспериментальных исследованиях использовали охлажденную икру. Массовая доля влаги в икре составляла 51,2 %.

Для проведения вакуумной сушки икры использовали специально сконструированную сушильную установку. Вакуумная сушильная установка состоит из вакуумного насоса, вакуумной камеры, компрессора, конденсатора, отделителя жидкости, десублиматора, рессивера, вакуумметра, терморегулирующего вентиля. Схема вакуумной сушильной установки и принцип ее работы описан в работах (*Ермолаев, 2008; Ермолаев и др., 2011*).

Подвод теплоты к продукту при вакуумной сушке осуществляется от двух инфракрасных ламп, размещенных в камере сверху и снизу на расстоянии около 70 мм от поддона. Мощность каждой лампы составляет 1 кВт. В камере предусмотрена возможность регулировки расстояния между инфракрасными лампами и поддоном с продуктом. Цилиндрические стенки рабочей камеры помогают фокусировать лучистый поток от излучателей на высушиваемом продукте. Излучение от инфракрасных ламп может осуществляться как непрерывным, так и импульсным способом.

Вначале проводили опыты по сушке с различной температурой в камере – от 30 до 60 °С с шагом в 10 градусов и различной величиной плотности теплового потока – от 2 до 9 кВт/м² с шагом в 1 кВт/м².

Остаточное давление составляло $5 \pm 0,5$ кПа. Сушку осуществляли при толщине слоя от 5 до 30 мм (Курбанова и др., 2011; Просеков и др., 2010).

При вакуумной сушке икры производили непрерывный контроль изменения массы в процессе сушки, контроль массы фиксировали с помощью весов, на которых устанавливалась икра в специальном поддоне. Весы для контроля массы в процессе сушки икры представляют собой балку с заземленным концом, на который закреплен тензодатчик.

Результаты и обсуждение

На рис. 1 приведены графики зависимости продолжительности вакуумной сушки икры и массовой доли влаги от температуры в камере и плотности теплового потока.

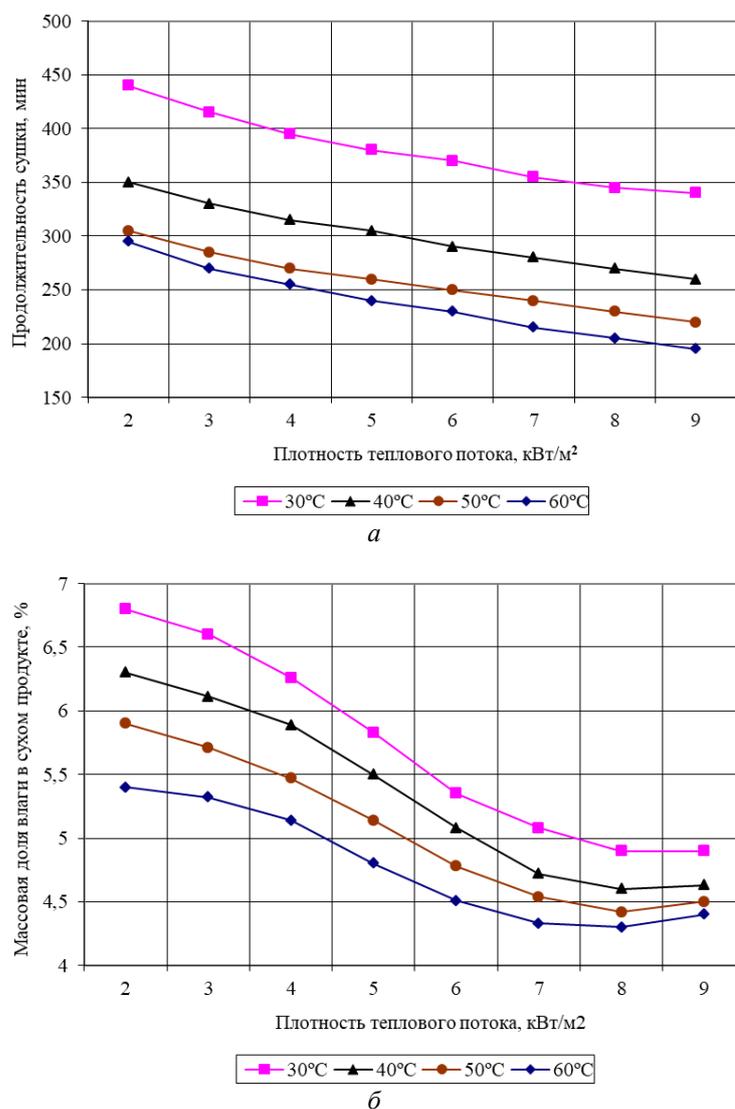


Рис. 1. Графики зависимости продолжительности (а) и массовой доли влаги сухого продукта (б) при вакуумной сушке икры от температуры и плотности теплового потока

Fig. 1. Graphs of the dependence of the duration (a) and the mass fraction of moisture of the dry product (b) during vacuum drying of caviar on the temperature and heat flow density

Продолжительность вакуумной сушки икры при температуре нагрева 30 °С составляет от 340 до 440 мин в зависимости от плотности теплового потока. Повышение температуры в камере до 40 °С позволяет сократить продолжительность сушки до 26–350 мин. Наименьшая продолжительность обезвоживания наблюдалась при температуре в камере 60 °С и составила 195 мин.

С повышением температуры сушки наблюдалось снижение массовой доли влаги в обезвоженной икре, что наиболее ярко проявляется при относительно малых значениях плотности теплового потока. Так, при тепловой нагрузке 2 кВт/м² при сушке с температурой в камере 30 °С массовая доля влаги в сухой икре составила 6,8 %, а при температуре в камере 60 °С это значение было равно 5,4 %.

На зависимость массовой доли влаги в обезвоженном продукте от плотности теплового потока влияет 2 фактора. С одной стороны, повышение тепловой нагрузки до определенной величины благоприятно сказывается на скорости удаления влаги, поскольку продукт прогревается быстрее. С другой стороны, при чрезмерно быстром нагреве происходит образование корочки, снижающей скорость перемещения влаги на периферию продукта, что в свою очередь увеличивает продолжительность сушки и повышает массовую долю влаги в сухом продукте. Снижение массовой доли влаги в сухой икре наблюдалось при повышении плотности теплового потока до 7–8 кВт/м².

Температурные режимы и тепловая нагрузка оказывают существенное влияние на качество сухого продукта. Для проведения органолептической оценки сухой икры была использована методика, представленная в табл. 3.

Таблица 3. Методика органолептической оценки сухой икры
Table 3. Methodology for organoleptic evaluation of dried caviar

Наименование показателя	Оценка, баллы	Характеристика показателя
Вкус	13–15	Ярко выраженный, характерный
	9–12	Слабо выраженный
	4–8	Слабо выраженный с наличием посторонних привкусов
	1–3	Прогорклый, затхлый, нехарактерный
Цвет	8–10	От ярко-оранжевого до красного
	4–7	Тускло-оранжевый
	1–3	Наличие нехарактерных оттенков
Консистенция	8–10	Равномерная по всему объему, икринки не прилипают друг к другу и рассыпаются при механическом воздействии
	4–7	Неравномерная, икринки прилипают друг к другу и слабо рассыпаются при механическом воздействии
	1–3	Неравномерная, наличие пригара, не рассыпается при механическом воздействии
Запах	8–10	Чистый, ярко выраженный, характерный для данного продукта
	4–7	Слабо выраженный, наличие посторонних запахов
	1–3	Нетипичный

Суммарная максимальная органолептическая оценка сухой икры составляет 45 баллов.

Результаты органолептической оценки обезвоженной икры в зависимости от температуры сушки и тепловой нагрузки представлены на рис. 2–5.

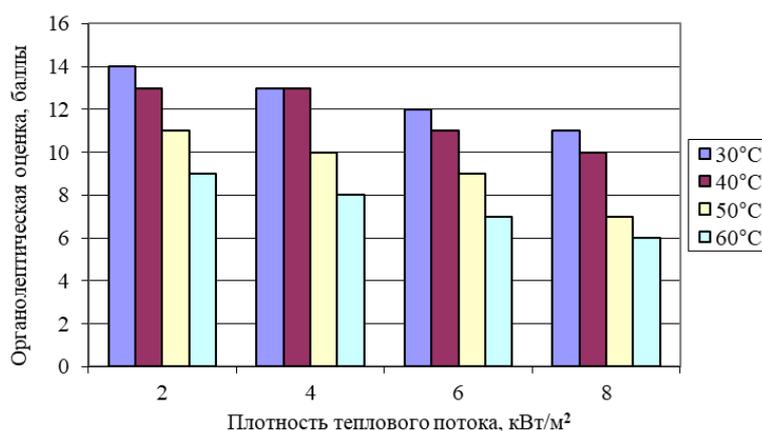


Рис. 2. Результаты органолептической оценки показателя "вкус" сухой икры при подборе температуры и тепловой нагрузки вакуумной сушки
Fig. 2. Results of organoleptic evaluation of the "taste" indicator of dry caviar when selecting the temperature and heat load of vacuum drying

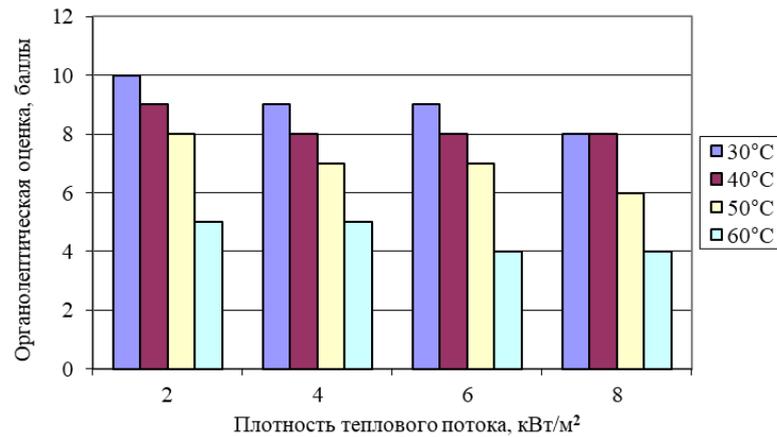


Рис. 3. Результаты органолептической оценки показателя "цвет" сухой икры при подборе температуры и тепловой нагрузки вакуумной сушки
 Fig. 3. Results of organoleptic evaluation of the "color" indicator of dry caviar when selecting the temperature and heat load of vacuum drying

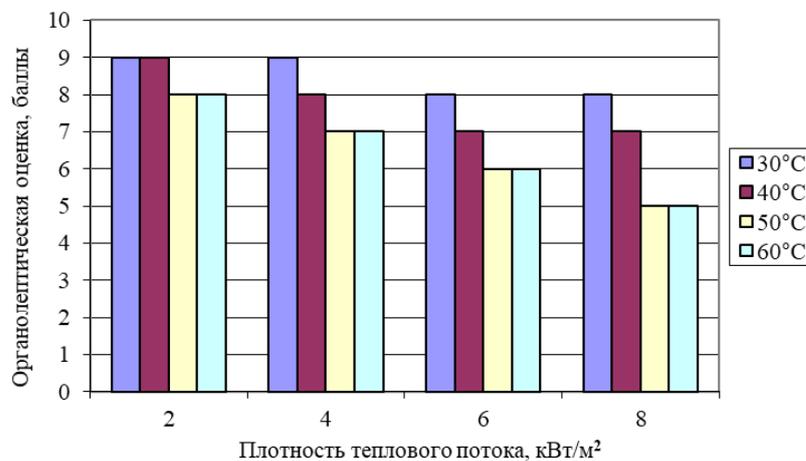


Рис. 4. Результаты органолептической оценки показателя "запах" сухой икры при подборе температуры и тепловой нагрузки вакуумной сушки
 Fig. 4. Results of organoleptic evaluation of the "smell" indicator of dried caviar when selecting the temperature and heat load of vacuum drying

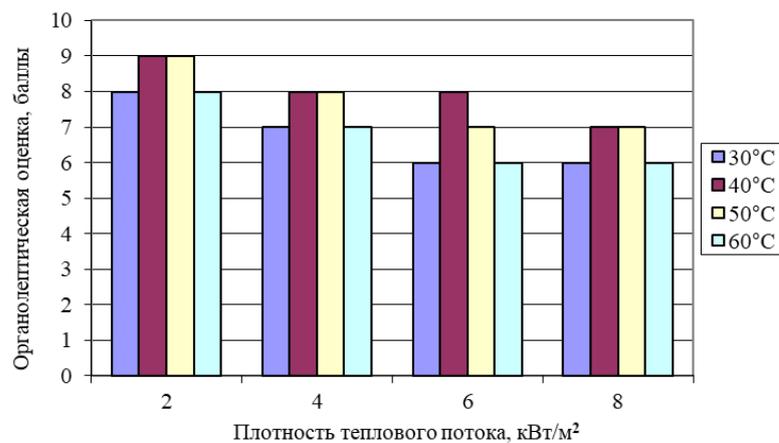


Рис. 5. Результаты органолептической оценки показателя "консистенция" сухой икры при подборе температуры и тепловой нагрузки вакуумной сушки
 Fig. 5. Results of organoleptic evaluation of the "consistency" indicator of dry caviar when selecting the temperature and heat load of vacuum drying

Суммарная органолептическая оценка сухой икры, обезвоженной при наименьшей температуре и плотности теплового потока, составила 41 балл из 45. Наихудшая оценка наблюдалась при наиболее высокой температуре и тепловой нагрузке и была равна 21 баллу из 45.

При температуре сушки свыше 40 °С наблюдалось потемнение продукта и, как следствие, заметное снижение показателя "цвет". Наилучшая консистенция продукта наблюдалась при температурах сушки 40 и 50 °С. При более низкой температуре в камере влагосодержание сухой икры повышается, а при более высокой температуре консистенция была неравномерной.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод о целесообразности вакуумной сушки икры при температуре 40 °С. Сушка при более высокой температуре обуславливает потемнение икры, а при более низкой температуре увеличивается продолжительность обезвоживания. Что касается плотности теплового потока, то рекомендуется устанавливать его значение в 3–4 кВт/м². При указанных параметрах продолжительность сушки составляет 320–330 мин, а органолептическая оценка равна 37–39 баллов из 45.

Далее проводили подбор остаточного давления вакуумной сушки икры. Указанный параметр в различных опытах так же, как и при сушке микроводорослей, составлял 2, 3, 4, 5 и 6 кПа. Температура сушки была равна 40 °С, плотность теплового потока – 4 кВт/м², толщина слоя – 15 мм (Ермолаев, 2019; Ермолаев, 2020).

На рис. 6 и 7 приведены графики изменения относительной массы и скорости изменения относительной массы икры в процессе вакуумной сушки при подборе остаточного давления.

При остаточном давлении 4, 5 и 6 кПа продолжительность сушки составила соответственно 285, 330 и 370 мин. Что касается сушки при давлении 2 и 3 кПа, то в этом случае из-за высокой разности давлений часть икринок "взрывалась" с потерей массы продукта. На графиках скорости изменения относительной массы (рис. 7) отчетливо прослеживаются пики, соответствующие данному процессу. Это обуславливает существенно меньшую относительную массу продукта по завершении сушки (рис. 6). Таким образом, исключается сушка икры при давлении ниже 4 кПа.

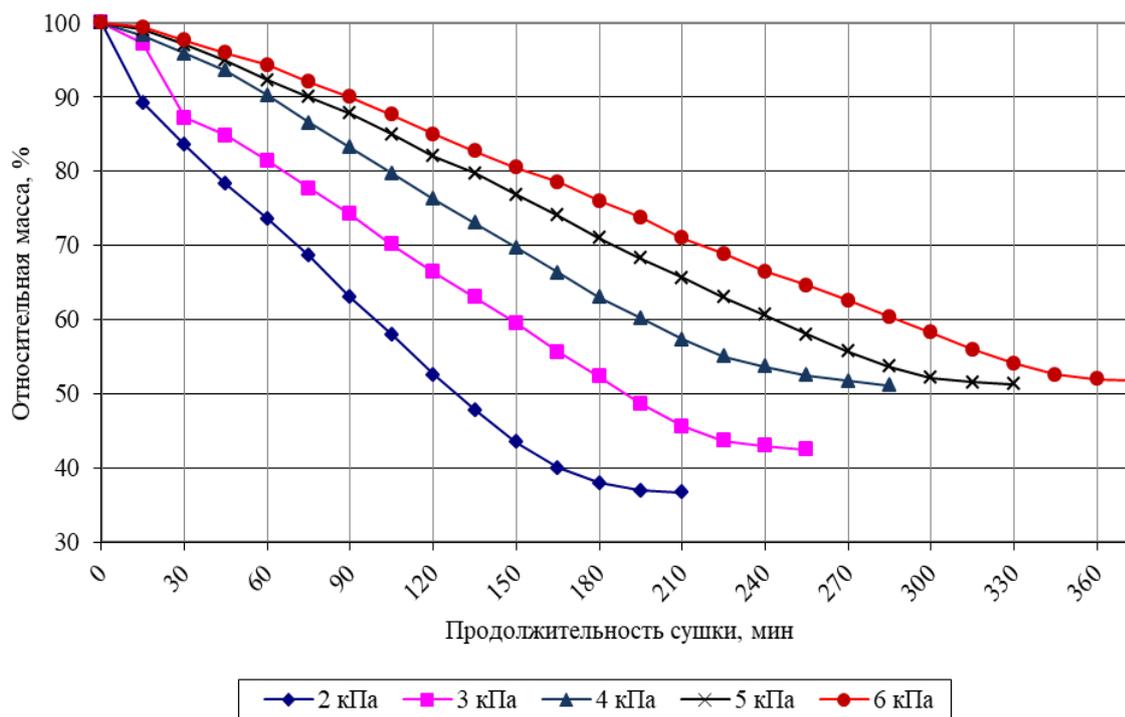


Рис. 6. Графики зависимости относительной массы икры в процессе вакуумной сушки при подборе остаточного давления

Fig. 6. Graphs of the dependence of the relative mass of caviar in the process of vacuum drying when selecting the residual pressure

Теоретически "взрыв" отдельных икринок возможен и при давлении 4 кПа, поэтому рекомендуется обезвоживать данный продукт при остаточном давлении 5 кПа. В дальнейших исследованиях использовали данный параметр.

Органолептическая оценка сухой икры, обезвоженной при остаточном давлении 5 кПа, выражается в следующих показателях: вкус – 14 баллов из 15, цвет и запах – 8 баллов из 10 и консистенция – 9 баллов из 10. Суммарная оценка составляет 39 баллов из 45.

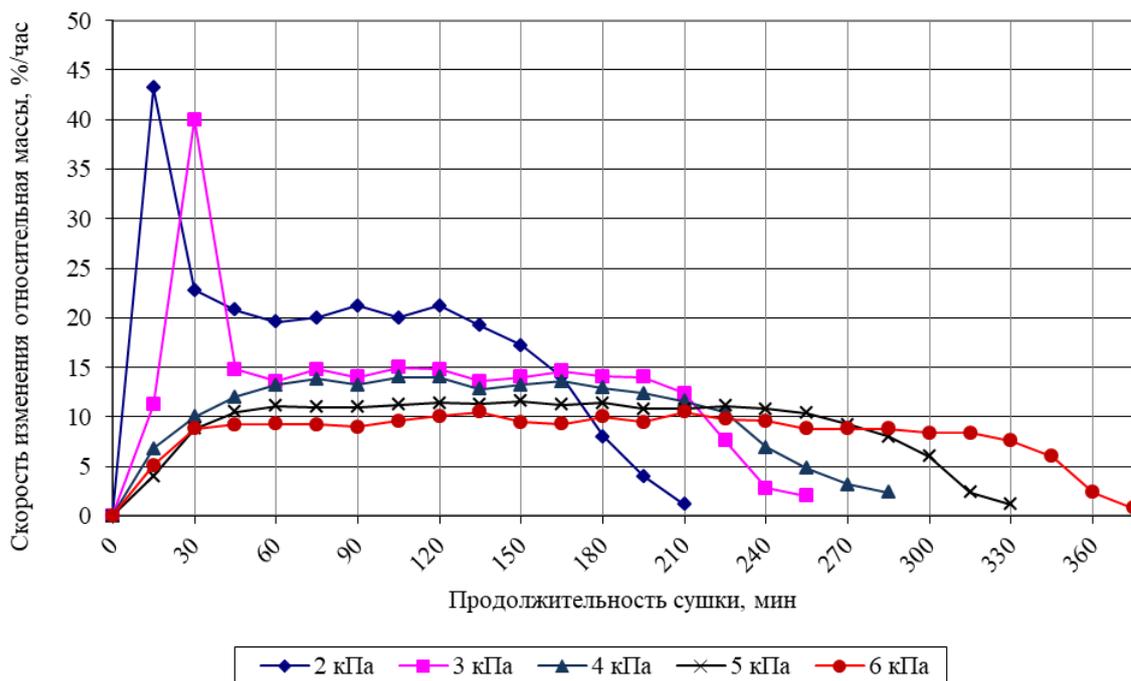


Рис. 7. Графики зависимости скорости изменения относительной массы икры в процессе вакуумной сушки при подборе остаточного давления
 Fig. 7. Graphs of the dependence of the rate of change of the caviar relative mass in the process of vacuum drying when selecting the residual pressure

Заключительный этап исследования вакуумной сушки икры заключался в подборе толщины слоя сушки. Указанный параметр в различных опытах составлял от 5 до 30 мм с шагом в 5 мм.

Графики продолжительности вакуумной сушки икры и массовой доли влаги в сухом продукте в зависимости от толщины слоя приведены на рис. 8.

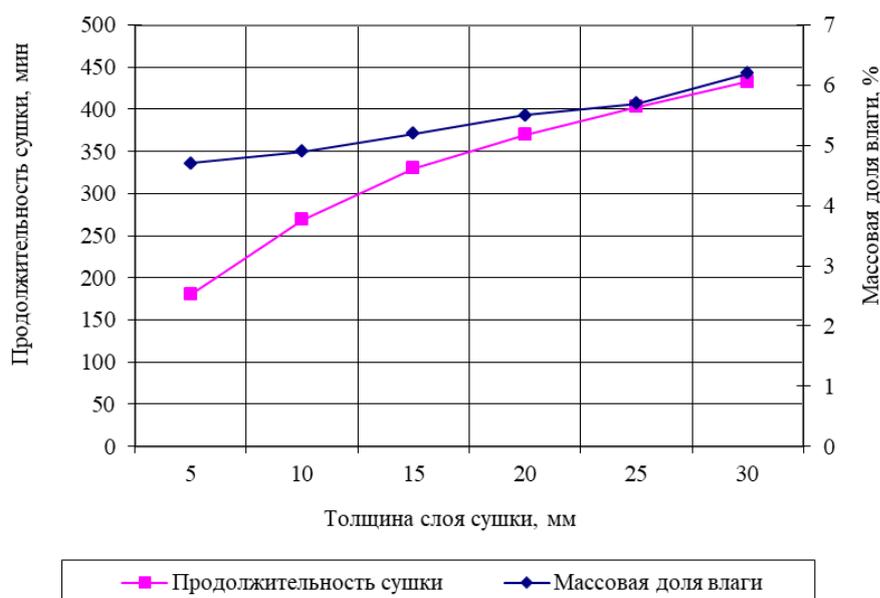


Рис. 8. Графики продолжительности вакуумной сушки икры и массовой доли влаги в сухом продукте в зависимости от толщины слоя
 Fig. 8. Graphs of the duration of vacuum drying of caviar and the mass fraction of moisture in the dry product depending on the layer thickness

При увеличении толщины слоя сушки от 5 до 30 мм наблюдается повышение продолжительности процесса от 180 до 430 мин, а также увеличение массовой доли влаги в сухой икре от 4,7 до 6,2 %. Это обусловлено ухудшением условий тепломассопереноса и снижением интенсивности обезвоживания при увеличении слоя продукта.

Наибольшая органолептическая оценка в 42 балла из 45 наблюдалась в икре, высушенной при минимально исследованной толщине слоя – в данном случае 5 мм. При увеличении толщины слоя сушки наблюдается ухудшение такого показателя как "консистенция", что отражается на суммарной оценке. Это проявляется в менее однородной консистенции.

Вышеприведенные данные свидетельствуют о том, что сушку икры целесообразно осуществлять при толщине слоя 10–20 мм для обеспечения рационального соотношения качества сухой икры и производительности сушильной установки.

Заключение

Таким образом, экспериментальные исследования позволили выявить наиболее рациональные параметры вакуумной сушки икры: температура нагрева 40 °С, остаточное давление – 5 кПа, плотность теплового потока – 3–4 кВт/м², толщина слоя – 10–20 мм. При указанных параметрах продолжительность сушки составляет 270–370 мин, а органолептическая оценка равна 38–40 баллов из 45.

Полученные результаты по вакуумной сушке икры лосося рыб имеют прикладной характер и полезны при консервировании на длительное время. Вакуумная сушка позволяет расширить способы консервирования икры рыб.

Дальнейшие исследования будут направлены на подбор режимов вакуумной сушки икры других видов рыбы, а также исследования качественных показателей высушенной икры.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Библиографический список

- Абрамова Л. С., Радыгина Л. С. Эмульсионные продукты на основе рыбной икры // Рыбное хозяйство. 2003. № 3. С. 57–59. EDN: PGPYEP.
- Ахмерова Е. А., Копыленко Л. Р., Рубцова Т. Е. Пищевая ценность икры рыб // Вестник биотехнологии и физико-химической биологии им. Ю. А. Овчинникова. 2012. Т. 8, № 4. С. 12–20. EDN: PZYEYR.
- Ахмерова Е. А., Хамзина А. К. Биологическая ценность липидов икры некоторых видов рыб // материалы VI Московского междунар. конгресса, г. Москва, 21–25 марта 2011 г. В 2 ч. Ч. 2. М. : Экспо-биохим-технологии, РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2011. С. 160–161.
- Деметьева Н. В., Богданов В. Д. Функционально-технологические свойства икры сельди тихоокеанской // Пищевая промышленность. 2017. № 3. С. 36–39. EDN: YNDGCV.
- Ермолаев В. А. Анализ эффективности сублимационной сушки спирулины // Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке : материалы IX междунар. науч.-техн. конф., г. Санкт-Петербург, 13–15 ноября 2019 г. СПб. : Ун-т ИТМО, 2019. Т. 1. С. 32–34. EDN: IPGJLW.
- Ермолаев В. А. Подбор температурного режима сублимационного обезвоживания спирулины // Вестник Международной академии холода. 2020. № 1. С. 84–88. DOI: <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2020-19-1-84-88>. EDN: APDSLH.
- Ермолаев В. А. Разработка технологии вакуумной сушки обезжиренного творога : дис. ... канд. техн. наук. Кемерово, 2008. 168 с.
- Ермолаев В. А., Захаров С. А. Теоретическое обоснование основ консервирования сушкой и практическая реализация технологии вакуумной сушки творога. Кемерово : КемТИПП, 2009. 176 с.
- Ермолаев В. А., Масленникова Г. А., Комарова Н. А., Федоров Д. Е. Исследование процессов сублимационной сушки ягод // Техника и технология пищевых производств. 2011. № 1. С. 67–70. EDN: NDTDEN.
- Ермолаев В. А., Шушпанников А. Б. Исследование показателя активности воды сухих молочных продуктов // Техника и технология пищевых производств. 2010. № 2(17). С. 84–88. EDN: MQPMDL.
- Ермолаев В. А., Иваненко О. Н., Онюшев М. В. Разработка температурных режимов вакуумного концентрирования молока // Вестник КрасГАУ. 2016. № 9(120). С. 121–127. EDN: UFINRI.
- Зайцева Д. Е., Шейкина Т. В., Данылиев М. М. Определение показателей биологической ценности икры рыб // Инновационные технологии в пищевой промышленности: наука, образование и производство : материалы междунар. науч.-техн. конф. (заочная), г. Воронеж, 3–4 декабря 2013 г. Воронеж : ВГУИТ, 2013. С. 382–385. EDN: TDCZYB.
- Калиниченко Т. П., Тимчишина Г. Н., Болтенков Е. В., Слущкая Т. Н. [и др.]. Особенности химического состава икры макруруса и возможность производства из нее деликатесной продукции // Известия ТИПРО. 2007. Т. 149. С. 400–407. EDN: JYWYV.

- Ким Г. Н., Дементьева Н. В., Богданов В. Д. Сравнительное исследование пищевой ценности икры рыб тихоокеанского бассейна // Рыбное хозяйство. 2016. № 3. С. 102–106. EDN: WMZNLL.
- Крухмалева М. В., Камербаев А. Ю. Оптимизация биологической ценности вторичных сырьевых ресурсов агропромышленного комплекса // Вестник Инновационного Евразийского университета. 2018. № 3. С. 64–68. EDN: IYXFOD.
- Курбанова М. Г., Бондарчук О. Н., Масленникова С. М. Практические аспекты гидролиза казеина молока эндопептидазами // Техника и технология пищевых производств. 2013. № 2(29). С. 34–39. EDN: QANQOF.
- Курбанова М. Г., Ермолаев В. А. Исследование гигроскопических свойств и активности воды молочнокислых концентратов // Вестник КрасГАУ. 2011. № 8. С. 233–236. EDN: NYKKQV.
- Лебская Т. К., Менчинская А. А. Сравнительная характеристика пищевой ценности икры некоторых рыб // Вестник науки и образования Северо-Запада России. 2015. Т. 1, № 2. С. 91–97. EDN: VNUJWT.
- Лыков М. В. Сушка в химической промышленности. М.: Химия, 1970. 429 с.
- Менчинская А. А., Лебская Т. К. Особенности биологической ценности белков икры мойвы и сазана // Современные эколого-биологические и химические исследования, техника и технология производств: материалы междунар. науч.-практ. конф., г. Мурманск, 7 апреля 2015 г.: в 2 ч. Мурманск: Изд-во МГТУ, 2015. Ч. 2. С. 145–149. EDN: VEZJVJ.
- Методы консервирования икры лососевых рыб // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. 2009. № 1. С. 12–13. EDN: KXEOXF.
- Новоселова М. В., Борисова Г. В., Бондарчук О. Н., Малова Ю. С. Подбор параметров ферментативного гидролиза казеина // Современные проблемы науки и образования. 2012. № 6. С. 659. EDN: TODTVN.
- Просеков А. Ю., Ермолаев В. А. Подбор остаточного давления для вакуумного концентрирования жидких молочных продуктов // Достижение науки и техники АПК. 2010. № 6. С. 69–70. EDN: MSRJQR.
- Рубцова Т. Е., Копыленко Л. Р. Пищевая ценность икры лососевых рыб // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. 2009. № 1. С. 8–11. EDN: KXEOWV.
- Рубцова Т. Е. Технология консервирования икры лососевых рыб без консервантов // Рыбпром: технологии и оборудование для переработки водных биоресурсов. 2009. № 1. С. 32. EDN: KXEOZX.
- Садовникова М. С., Беликов В. М. Пути применения аминокислот в промышленности // Успехи химии. 1978. Т. 47, Вып. 2. С. 357–383.
- Chang T. W., Goldberg A. L. Leucine inhibits oxidation of glucose and pyruvate in skeletal muscles during fasting // Journal of Biological Chemistry. 1978. Vol. 253, Iss. 10. P. 3696–3701. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(17\)34857-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)34857-3).

References

- Abramova, L. S., Radygina, L. S. 2003. Emulsion products based on fish roe. *Fisheries*, 3, pp. 57–59. EDN: PGPYEP. (In Russ.)
- Akhmerova, E. A., Kopylenko, L. R., Rubtsova, T. E. 2012. Nutritional value of fish roe. *Yu. A. Ovchinnikov Bulletin of Biotechnology and Physical and Chemical Biology*, 8(4), pp. 12–20. EDN: PZYEYR. (In Russ.)
- Akhmerova, E. A., Khamzina, A. K. 2011. Biological value of lipids of roe of some fish species. Proceedings of the VI Moscow Intern. Congress *Biotechnology: Status and Development Prospects*, Moscow, 21–25 March, 2011. In 2 parts. Part 2. Moscow, pp. 160–161. (In Russ.)
- Dementeva, N. V., Bogdanov, V. D. 2017. Functional and technological properties of Pacific herring caviar. *Food Industry*, 3, pp. 36–39. EDN: YNDGCV. (In Russ.)
- Ermolaev, V. A. 2019. Analysis of the efficiency of freeze-drying of spirulina. Proceedings of the IX Intern. scientific and technical conf. *Low-Temperature and Food Technologies in the 21st Century*, St. Petersburg, 13–15 November, 2019. St. Petersburg, Vol. 1, pp. 32–34. EDN: IPGJLW. (In Russ.)
- Ermolaev, V. A. 2020. Selection of the temperature regime for freeze-drying of spirulina. *Vestnik Mezhdunarodnoi Akademii Kholoda*, 1, pp. 84–88. DOI: <https://doi.org/10.17586/1606-4313-2020-19-1-84-88>. EDN: APDSLH. (In Russ.)
- Ermolaev, V. A. 2008. Development of technology for vacuum drying of low-fat cottage cheese. Ph.D. Thesis. Kemerovo. (In Russ.)
- Ermolaev, V. A., Zakharov, S. A. 2009. Theoretical substantiation of the basics of canning by drying and practical implementation of the technology of vacuum drying of cottage cheese. Kemerovo. (In Russ.)
- Ermolaev, V. A., Maslennikova, G. A., Komarova, N. A., Fedorov, D. E. 2011. Study of processes of freeze-drying of berries. *Food Processing: Techniques and Technology*, 1, pp. 67–70. EDN: NDTDEH. (In Russ.)
- Ermolaev, V. A., Shushpannikov, A. B. 2010. Study of the water activity index of dry milk products. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2(17), pp. 84–88. EDN: MQPMDL. (In Russ.)
- Ermolaev, V. A., Ivanenko, O. N., Onyushev, M. V. 2016. Development of temperature modes for vacuum concentration of milk. *Bulletin of KSAU*, 9(120), pp. 121–127. EDN: UFINRI. (In Russ.)

- Zaitseva, D. E., Sheykina, T. V., Danyliv, M. M. 2013. Determination of indicators of biological value of fish eggs. Proceedings of the Intern. scientific and technical conf. *Innovative Technologies in the Food Industry: Science, Education and Production*, Voronezh, 3–4 December, 2013. Voronezh, pp. 382–385. EDN: TDCZYB. (In Russ.)
- Kalinichenko, T. P., Timchishina, G. N., Boltenkov, E. V., Slutskaya, T. N. et al. 2007. Features of the chemical composition of grenadier caviar and the possibility of producing delicacy products from it. *Izvestiya TINRO*, 149, pp. 400–407. EDN: JYWYV. (In Russ.)
- Kim, G. N., Dementyeva, N. V., Bogdanov, V. D. 2016. Comparative study of the nutritional value of Pacific fish caviar. *Fisheries*, 3, pp. 102–106. EDN: WMZNLL. (In Russ.)
- Kruhmaleva, M. V., Kamerbaev, A. Yu. 2018. Optimization of the biological value of secondary raw materials of the agro-industrial complex. *Bulletin of the Innovative University of Eurasia*, 3, pp. 64–68. EDN: IYXFOD. (In Russ.)
- Kurbanova, M. G., Bondarchuk, O. N., Maslennikova, S. M. 2013. Practical aspects of milk casein hydrolysis by endopeptidases. *Food Processing: Techniques and Technology*, 2(29), pp. 34–39. EDN: QANQOF. (In Russ.)
- Kurbanova, M. G., Ermolaev, V. A. 2011. Study of hygroscopic properties and water activity of milk protein concentrates. *Bulletin of KSAU*, 8, pp. 233–236. EDN: NYKKQV. (In Russ.)
- Lebskaya, T. K., Menchinskaya, A. A. 2015. Comparative characteristics of the nutritional value of some fish caviar. *Journal of Science and Education of North-West Russia*, 1(2), pp. 91–97. EDN: VNUJWT. (In Russ.)
- Lykov, M. V. 1970. *Drying in the chemical industry*. Moscow. (In Russ.)
- Menchinskaya, A. A., Lebskaya, T. K. 2015. Features of the biological value of proteins in capelin and carp caviar. Proceedings of the Intern. scientific and practical conf. *Modern Ecological, Biological and Chemical Research, Engineering and Production Technology*, Murmansk, 7 April, 2015, in 2 parts. Murmansk, 2015. Part 2, pp. 145–149. EDN: VEZJVJ. (In Russ.)
- Methods of preserving salmon caviar. 2009. *Fish Industry*, 1, pp. 12–13. EDN: KXEOXF. (In Russ.)
- Novoselova, M. V., Borisova, G. V., Bondarchuk, O. N., Malova, Yu. S. 2012. Selection of parameters for enzymatic hydrolysis of casein. *Modern Problems of Science and Education*, 6, pp. 659. EDN: TODTVN. (In Russ.)
- Prosekov, A. Yu., Ermolaev, V. A. 2010. Selection of residual pressure for vacuum concentration of liquid dairy products. *Achievements of Science and Technology of the Agro-Industrial Complex*, 6, pp. 69–70. EDN: MSRJQR. (In Russ.)
- Rubtsova, T. E., Kopylenko, L. R. 2009. Nutritional value of salmon caviar. *Fish Industry*, 1, pp. 8–11. EDN: KXEOVW. (In Russ.)
- Rubtsova, T. E. 2009. Technology of preserving salmon caviar without preservatives. *Fish Industry*, 1, pp. 32. EDN: KXEOZX.
- Sadovnikova, M. S., Belikov, V. M. 1978. Ways of using amino acids in industry. *Uspekhi Khimii*, 47(2), pp. 357–383. (In Russ.)
- Chang, T. W., Goldberg, A. L. 1978. Leucine inhibits oxidation of glucose and pyruvate in skeletal muscles during fasting. *Journal of Biological Chemistry*, 253(10), pp. 3696–3701. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0021-9258\(17\)34857-3](https://doi.org/10.1016/S0021-9258(17)34857-3).

Сведения об авторах

Ермолаев Владимир Александрович – ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, Россия, 650056; Кузбасский государственный аграрный университет им. В. Н. Полецкова, д-р техн. наук, доцент, профессор; e-mail: ermolaevvla@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1450-2517>

Vladimir A. Ermolaev – 5 Markovtseva Str., Kemerovo, Russia, 650056; Kuzbass State Agrarian University named after V. N. Poletskov, Dr Sci. (Engineering), Associate Professor, Professor; e-mail: ermolaevvla@rambler.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1450-2517>

Бондарчук Ольга Николаевна – ул. Марковцева, 5, г. Кемерово, Россия, 650056; Кузбасский государственный аграрный университет им. В. Н. Полецкова, ассистент; e-mail: b120983@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0820-5965>

Olga N. Bondarchuk – 5 Markovtseva Str., Kemerovo, Russia, 650056; Kuzbass State Agrarian University named after V. N. Poletskov, Assistant; e-mail: b120983@list.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-0820-5965>

Махачева Екатерина Владимировна – пр. К. Маркса, 20, г. Новосибирск, Россия, 630073; Новосибирский государственный технический университет (НГТУ), канд. техн. наук, доцент; e-mail: shev-04@yandex.ru

Ekaterina V. Makhacheva – 20 K. Marksa Ave., Novosibirsk, Russia, 630073; Novosibirsk State Technical University (NSTU), Cand. Sci. (Engineering), Associate Professor; e-mail: shev-04@yandex.ru