



Научная статья/Research Article

УДК 663.5

DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-186-192

Екатерина Георгиевна Федорова<sup>1✉</sup>, Александр Иннокентьевич Машанов<sup>2</sup>,  
Григорий Николаевич Чурилов<sup>3</sup>, Наталья Григорьевна Внукова<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Красноярский государственный аграрный университет, Красноярск, Россия

<sup>3,4</sup>Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, Красноярск, Россия

<sup>1</sup>fedorova78@mail.ru

<sup>2</sup>aa-mashanov@yandex.ru

<sup>3,4</sup>churilov@iph.krasn.ru

## ВЛИЯНИЕ ФУЛЛЕРЕНА ПОЛИГИДРООКСИЛИРОВАННОГО НА ПРОЦЕСС СПИРТОВОГО БРОЖЕНИЯ В ПРОИЗВОДСТВЕ СПИРТА

*Цель исследования – изучить влияние фуллеренола  $C_{60}(OH)_{20-24}$  на процесс спиртового брожения в производстве спирта. Задачи: провести процесс спиртового брожения с использованием фуллеренола; исследовать органолептические показатели, содержание углеводов и спирта в браге; рассмотреть возможность влияния полигидроксилированного фуллерена на массу сухого остатка дрожжей после термостатирования и осветления браги. Объект исследования – модельные образцы браги с добавлением в малых дозах полигидроксилированного фуллерена  $C_{60}(OH)_{20-24}$ . Контрольный образец производили по традиционной рецептуре, в I опытный образец дополнительно к основной рецептуре добавляли фуллеренол 0,01 г (0,1 % от массы гидромодуля); во II опытный образец – 0,03 г (0,3 % от массы гидромодуля). Все исследования проводили в трехкратном повторении. Во всех образцах исследовали органолептические, физико-химические показатели и массу сухого остатка дрожжей в конце брожения. В результате исследования воспроизведен технологический процесс производства зрелой браги с использованием фуллеренола. Установлено, что использование фуллеренола в малых дозах 0,3 % от массы гидромодуля (II опытный образец) при производстве браги в технологии спирта позволяет улучшить органолептические показатели за счет запаха и вкуса на 1 балл, снизить показатель активной кислотности на 0,11 ед. и содержание углеводов в браге на 1,2 %, повысить содержание спирта на 0,8 %, что свидетельствует об улучшении бродильной активности дрожжей. Масса сухого остатка дрожжей после брожения во II опытном образце по сравнению с контрольным увеличивается на 14 %, что может свидетельствовать о фуллереноле как биостимуляторе, который позволяет интенсифицировать процесс спиртового брожения.*

**Ключевые слова:** фуллерен полигидроксилированный (фуллеренол)  $C_{60}(OH)_{20-24}$ , брага, спиртовое брожение, органолептические показатели, активная кислотность pH, термостатирование и осветление браги, масса сухого остатка дрожжей

**Для цитирования:** Влияние фуллерена полигидроксилированного на процесс спиртового брожения в производстве спирта / Е.Г. Федорова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2023. № 5. С. 186–192. DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-186-192.

Ekaterina Georgievna Fedorova<sup>1✉</sup>, Alexander Innokentievich Mashanov<sup>2</sup>,  
Grigory Nikolaevich Churilov<sup>3</sup>, Natalya Grigorievna Vnukova<sup>4</sup>

<sup>1,2</sup>Krasnoyarsk State Agrarian University, Krasnoyarsk, Russia

<sup>3,4</sup>Institute of Physics named after L.V. Kirensky SB RAS, Krasnoyarsk, Russia

<sup>1</sup>fedorova78@mail.ru

<sup>2</sup>aa-mashanov@yandex.ru

<sup>3,4</sup>churilov@iph.krasn.ru

## THE POLYHYDROXYLATED FULLERENE EFFECT ON THE ALCOHOLIC FERMENTATION PROCESS IN ALCOHOL PRODUCTION

*The purpose of research is to study the effect of  $C_{60}(OH)_{20-24}$  fulleranol on the process of alcoholic fermentation in the production of alcohol. Tasks: to carry out the process of alcoholic fermentation using fulleranol; to investigate organoleptic indicators, the content of carbohydrates and alcohol in mash; to consider the possibility of the influence of polyhydroxylated fullerene on the mass of dry yeast residue after thermostating and clarification of the mash. The object of the study is model samples of mash with the addition of polyhydroxylated fullerene  $C_{60}(OH)_{20-24}$  in small doses. The control sample was produced according to the traditional recipe, in the first prototype, in addition to the main recipe, fulleranol 0.01 g (0.1 % of the weight of the hydromodule) was added; in the II prototype – 0.03 g (0.3 % of the mass of the hydromodule). All studies were carried out in triplicate. In all samples, the organoleptic, physico-chemical parameters and the mass of dry yeast residue at the end of fermentation were studied. As a result of research, the technological process for the production of mature mash using fulleranol was reproduced. It has been established that the use of fulleranol in small doses of 0.3 % of the weight of the hydromodule (II prototype) in the production of home brew in the technology of alcohol makes it possible to improve organoleptic characteristics due to smell and taste by 1 point, to reduce the active acidity index by 0.11 units and the content of carbohydrates in the mash by 1.2 %, increase the alcohol content by 0.8 %, which indicates an improvement in the fermentation activity of yeast. The weight of the dry residue of yeast after fermentation in the second prototype increases by 14 % compared to the control, which may indicate fulleranol as a biostimulant that allows intensifying the process of alcoholic fermentation.*

**Keywords:** polyhydroxylated fullerene (fulleranol)  $C_{60}(OH)_{20-24}$ , mash, alcoholic fermentation, organoleptic indicators, active acidity pH, temperature control and clarification of mash, mass of yeast dry residue

**For citation:** The polyhydroxylated fullerene effect on the alcoholic fermentation process in alcohol production / E.G. Fedorova [et al.] // Bulliten KrasSAU. 2023;(5): 186–192. (In Russ.). DOI: 10.36718/1819-4036-2023-5-186-192.

**Введение.** В соответствии с Указом Президента РФ от 25 апреля 2022 г. № 231 «Об объявлении в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий» одной из задач является содействие вовлечению исследователей и разработчиков в решение важнейших задач развития общества и страны. Одним из приоритетных направлений развития страны является биотехнологическая отрасль [1]. Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации – основной документ, утвержденный Правительством России, в котором отражены желаемые качественные и количественные характеристики развития биотехнологий в стране. В программе выделяют девять отраслей биотехнологии, одна из которых – промышленная биотехнология – включает производство пищевого

белка, ферментных препаратов, пребиотиков, пробиотиков, синбиотиков, функциональных пищевых продуктов (лечебных, профилактических и детских), а также производство пищевых ингредиентов и глубокую переработку пищевого сырья [2].

В последние два десятилетия обнаружены, синтезированы или изготовлены различные новые формы углеродных наноматериалов, в т. ч. фуллерены. Они являются перспективным материалом для многих отраслей nanoиндустрии, так как обладают уникальными свойствами.

Фуллерен – молекула, состоящая из четного числа атомов углерода, образующих замкнутую выпуклую поверхность многогранника, двенадцать граней которого образованы пятиугольниками, а остальные – шестиугольниками [3].

Одним из перспективных производных фуллеренов с точки зрения применения в пищевой и химической промышленности являются фуллеренолы (полигидроксилированные фуллерены) – представляют собой производные фуллеренов с присоединенными ОН группами, при  $x > 16$ , являются веществами органической группы, растворяются в воде, нетоксичны. В пищевой промышленности их рекомендуют использовать в качестве компонента пищевой продукции для изготовления: напитков, водных растворов и концентратов для напитков; пищевых полуфабрикатов и пищевого сырья; специализированной пищевой продукции; пищевых добавок и в качестве антиоксиданта [4].

Работ по использованию полигидроксилированных фуллеренов в пищевой промышленности недостаточно [5–7].

В спиртовой промышленности возможность использования полигидроксилированного фуллерена не рассматривалась.

**Цель исследования** – изучить влияние фуллеренола  $C_{60}(OH)_{20-24}$  на процесс спиртового брожения в производстве спирта.

**Задачи:** провести процесс спиртового брожения с использованием фуллеренола; исследовать органолептические показатели, содержание углеводов и спирта в браге; рассмотреть возможность влияния полигидроксилированного фуллерена на массу сухого остатка дрожжей после термостатирования и осветления браги.

**Объекты и методы.** Объект исследования – модельные образцы браги с добавлением в малых дозах полигидроксилированного фуллерена  $C_{60}(OH)_{20-24}$ . Контрольный образец производили по традиционной рецептуре (0,7 л воды + 187 г сахара песка + 4,7 г спиртовых дрожжей (*Saccharomyces cerevisiae*)) – гидромодуль 1 : 4, в I опытный образец дополнительно к основной рецептуре добавляли фуллеренола 0,01 г (0,1 % от массы гидромодуля); во II опытный образец – 0,03 г (0,3 % от массы гидромодуля). Технологическое обоснование применения фуллеренола представлено в Технических условиях на фуллерен полигидроксилированный [4], однако дозировки, необходимые для достижения технологического эффекта, пока не определены. Все исследования проводили в трехкратном повторении. Во всех образцах исследовали следующие показатели: органолептические по – ГОСТ 33817-2016 (использовали 10-балльную шкалу, разделение максимальных баллов по отдельным органолептическим показателям следующее: внешний вид – 2 балла, аромат и запах – 4 балла, вкус – 4 балла); массовые доли углеводов и спирта (рефрактометрический метод), активную кислотность зрелой браги – по ГОСТ 31764-2012; массу дрожжей (сухой вес после термостатирования и осветления) (метод высушивания) – по ГОСТ 54607.4-2015.

**Результаты и их обсуждение.** Технологический процесс производства браги зрелой представлен на рисунке 1.

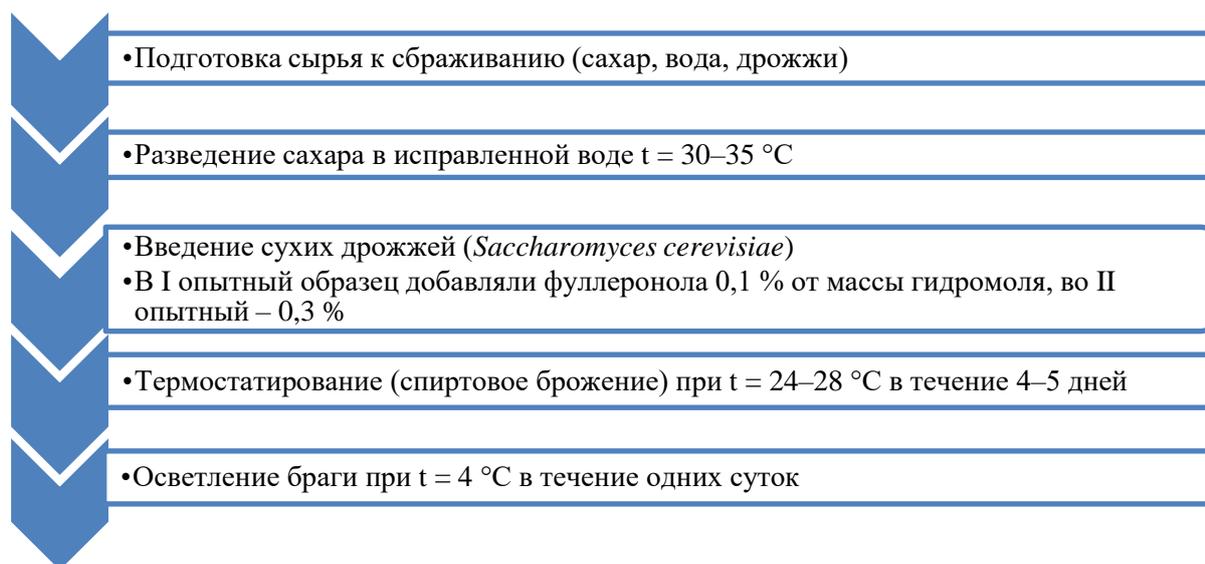


Рис. 1. Технологический процесс производства браги

Как видно из рисунка 1, процесс производства браги состоял из следующих этапов: подготовка сырья (сахара, воды, дрожжей), разведение сахара в исправленной воде  $t = 30-35\text{ }^{\circ}\text{C}$  до полного растворения, добавление дрожжей согласно методике и рецептуре. В I опытный образец на данном этапе добавляли фуллеренола 0,1 % от массы гидромодуля, во II опытный –

0,3 %. Далее проводили термостатирование при  $t = 24-28\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 4–5 сут. Осветление браги в конце брожения проводили в холодильнике при  $t = 4 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течение 1 сут.

Результаты исследований органолептических показателей опытных образцов браги зрелой представлены на рисунке 2.



Рис. 2. Профилограмма органолептических показателей опытных образцов браги зрелой

Как видно из данных рисунка 2, внешний вид у всех образцов соответствовал норме (2 балла) – это была прозрачная жидкость без посторонних веществ; цвет у I и II опытных образцов был желтоватый (за счет добавления фуллеренола) по сравнению с контрольным образцом – это не является пороком зрелой браги; запах у всех об-

разцов был характерным для браги (4 балла), в контрольном образце наблюдался более сладковатый вкус с легкой горчинкой и кислинкой (3 балла) по сравнению с опытными образцами (4 балла).

Активная кислотность зрелой браги опытных образцов представлена на рисунке 3.

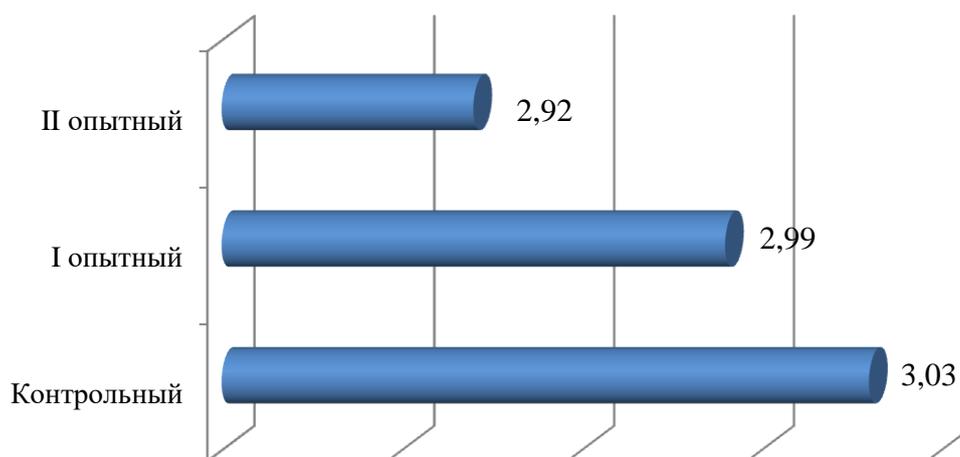


Рис. 3. Активная кислотность (pH) опытных образцов зрелой браги, ед.

Как видно из рисунка 3, показатель активной кислотности у I и II опытных образцов по сравнению с контрольным был ниже соответственно на 0,04 и 0,11 ед., что подтверждают показатели органолептической оценки по вкусу и запаху.

Результаты исследования содержания углеводов и спирта в браге в конце термостатирования (брожения) и осветления представлены на рисунке 4.

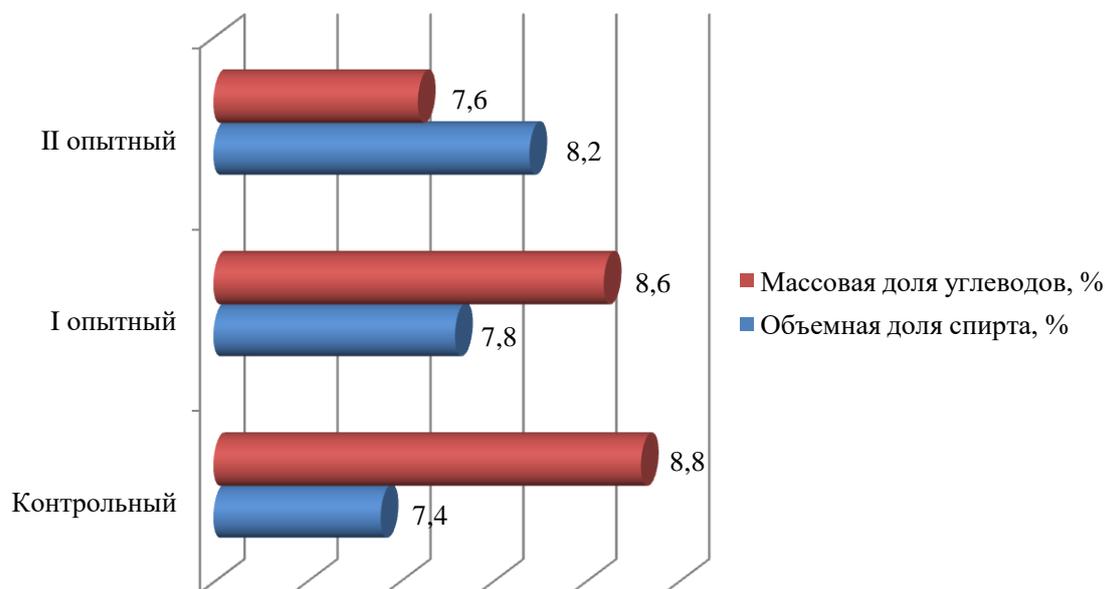


Рис. 4. Содержание сахара и спирта в конце термостатирования и осветления в браге

Как видно из рисунка 4 в I и II опытных образцах браги по сравнению с контрольным содержание углеводов снижалось соответственно на 0,2 и 1,2 %, объемная доля спирта наоборот повышалась соответственно на 0,4 и 0,8 %. Это говорит о возрастании сбраживающей активности дрожжей при добавлении в опытные образцы фуллеренола, что способствует увеличению

содержания спирта в исследуемых образцах. Полученный результат позволяет спрогнозировать прирост выхода спирта с наименьшими затратами и, возможно, улучшить его органолептические показатели.

Результаты исследования сухого остатка массы дрожжей после термостатирования и осветления браги представлены на рисунке 5.

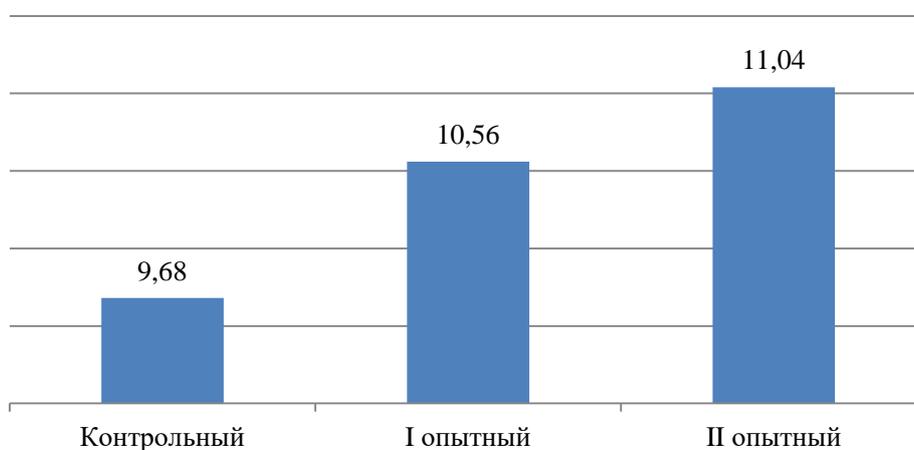


Рис. 5. Масса сухого остатка дрожжей после термостатирования и осветления браги, г

Как видно из рисунка 5, использование в малых дозах фуллеренола при производстве браги в I и II опытных образцах по сравнению с контрольным увеличивает массу сухого остатка дрожжей после термостатирования и осветления соответственно на 9,1 и 14 %. Можно предположить, что фуллеренол является биостимулятором спиртового брожения.

**Заключение.** Использование фуллеренола в малых дозах – 0,3 % от массы гидромодуля 1 : 4 (II опытный образец) при производстве браги в технологии спирта позволяет улучшить органолептические показатели на 1 балл за счет улучшения вкуса, снизить показатель активной кислотности на 0,11 ед. и содержание углеводов в браге на 1,2 %, повысить содержание спирта на 0,8 %, что свидетельствует о повышении бродильной активности дрожжей. Масса сухого остатка дрожжей после брожения во II опытном образце по сравнению с контрольным увеличивается на 14 %, что может свидетельствовать о фуллереноле как биостимуляторе, который позволяет интенсифицировать процесс спиртового брожения. Технологическое обоснование применения данного вещества при производстве спирта, определение оптимальной дозировки, необходимой для достижения технологического эффекта, требует уточнений и дальнейших исследований.

#### Список источников

1. Об объявлении в Российской Федерации Десятилетия науки и технологий: указ Президента Российской Федерации от 25.04.2022 г. № 231. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/47771> (дата обращения: 18.12.2022).
2. ВП-П8-2322. Комплексная программа развития биотехнологий в Российской Федерации на период до 2020 года (утв. Правительством РФ 24.04.2012 № 1853п-П8). URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389398> (дата обращения: 18.12.2022).
3. ГОСТ ISO/TS 80004-3-2014. Нанотехнологии. Ч. 3. Нанообъекты углеродные. Термины и определения. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200125957> (дата обращения: 18.12.2022).

4. Фуллерен полигидроксилированный. URL: <https://vserossijskaya-baza-tu.rf/tekhnicheskie-usloviya-na-fulleren-poligidrooksilirovannyj> (дата обращения: 10.12.2022).
5. Влияние водорастворимого фуллерена С-60 на качество ржаного хлеба / А.И. Машанов [и др.] // Вестник КрасГАУ. № 4. 2021. С. 148–153.
6. Влияние водорастворимого фуллерена на процесс спиртового брожения при производстве спирта / Е.Г. Федорова [и др.] // Парадигма устойчивого развития агропромышленного комплекса в условиях современных реалий: мат-лы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 70-летию создания ФГБОУ ВО Красноярский ГАУ. Красноярск, 2022. С. 382–384.
7. Использование гидроксилированного фуллерена  $C_{60}(OH)_{20-24}$  в совершенствовании рецептуры и технологии биоогурта / Е.Г. Федорова [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2021. № 12. С. 260–266.

#### References

1. Ob ob`yavlenii v Rossijskoj Federacii Desyatiletija nauki i tehnologij: ukaz Prezidenta Rossijskoj Federacii ot 25.04.2022 g. № 231. URL: <http://kremlin.ru/acts/bank/47771> (data obrascheniya: 18.12.2022).
2. VP-P8-2322. Kompleksnaya programma razvitiya bioteknologij v Rossijskoj Federacii na period do 2020 goda (utv. Pravitel'stvom RF 24.04.2012 № 1853p-P8). URL: <https://docs.cntd.ru/document/420389398> (data obrascheniya: 18.12.2022).
3. GOST ISO/TS 80004-3-2014. Nanoteknologii. Ch. 3. Nanoob`ekty uglerodnye. Terminy i opredeleniya. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200125957> (data obrascheniya: 18.12.2022).
4. Fulleren poligidroksilirovannyj. URL: <https://vserossijskaya-baza-tu.rf/tekhnicheskie-usloviya-na-fulleren-poligidrooksilirovannyj> (data obrascheniya: 10.12.2022).
5. Vliyanie vodorastvorimogo fullerena S-60 na kachestvo rzhanogo hleba / A.I. Mashanov [i dr.] // Vestnik KrasGAU. № 4. 2021. S. 148–153.

6. Vliyaniye vodorastvorimogo fullerena na process spirtovogo brozheniya pri proizvodstve spirta / *E.G. Fedorova* [i dr.] // Paradigma ustojchivogo razvitiya agropromyshlennogo kompleksa v usloviyah sovremennyh realij: mat-ly mezhdunar. nauch.-prakt. konf., posvyasch. 70-letiyu sozdaniya FGBOU VO Krasnoyarskij GAU. Krasnoyarsk, 2022. S. 382–384.
7. Ispol'zovanie gidroksilirovannogo fullerena  $S_{60}(ON)_{20-24}$  v sovershenstvovanii receptury i tehnologii biojogurta / *E.G. Fedorova* [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 12. S. 260–266.

Статья принята к публикации 14.03.2023 / The article accepted for publication 14.03.2023.

Информация об авторах:

**Екатерина Георгиевна Федорова**<sup>1</sup>, доцент кафедры зоотехнии и технологии переработки продуктов животноводства, кандидат сельскохозяйственных наук

**Александр Иннокентьевич Машанов**<sup>2</sup>, профессор кафедры технологии консервирования и пищевой биотехнологии, доктор биологических наук

**Чурилов Григорий Николаевич**<sup>3</sup>, профессор, заведующий лабораторией аналитических методов исследования вещества, доктор технических наук

**Внукова Наталья Григорьевна**<sup>4</sup>, научный сотрудник лаборатории аналитических методов исследования вещества, кандидат технических наук

Information about the authors:

**Ekaterina Georgievna Fedorova**<sup>1</sup>, Associate Professor at the Department of Animal Science and Technology of Animal Products Processing, Candidate of Agricultural Sciences

**Alexander Innokentievich Mashanov**<sup>2</sup>, Professor at the Department of Canning Technology and Food Biotechnology, Doctor of Biological Sciences

**Churilov Grigory Nikolaevich**<sup>3</sup>, Professor, Head of the Laboratory of Analytical Methods for the Study of Substances, Doctor of Technical Sciences

**Vnukova Natalya Grigorievna**<sup>4</sup>, Researcher, Laboratory of Analytical Methods for the Study of Substances, Candidate of Technical Sciences

