

# AN EFFECT OF THE ELECTROMAGNETIC TREATMENT ON OXIDATIVE STABILITY AND MICROBIOLOGICAL SAFETY OF MEAT SEMI-PREPARED PRODUCTS

## ВЛИЯНИЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ ОБРАБОТКИ НА ОКИСЛИТЕЛЬНУЮ СТАБИЛЬНОСТЬ И МИКРОБИОЛОГИЧЕСКУЮ БЕЗОПАСНОСТЬ МЯСНЫХ ПОЛУФАБРИКАТОВ

Aslanova M.A., Dydykin A.S., Fedulova L.V., Derevitskaya O.K.

V.M. Gorbatov Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences, Moscow, Russia

**Ключевые слова:** электромагнитная обработка, мясные полуфабрикаты, окислительная стабильность, ферментная активность, микробиологическая безопасность.

**Keywords:** electromagnetic treatment, meat semi-prepared products, oxidative stability, enzyme activity, microbiological safety.

### Аннотация

В статье показано, что применение электромагнитной обработки, основанной на воздействии электромагнитного поля самогенерирующего разряда (СГ-разряда), повышает антиокислительную активность (АОА) мясных кусковых полуфабрикатов, изготовленных из говядины и свинины. Обработку мясных полуфабрикатов осуществляли на экспериментальной установке, состоящей из плазменного электромагнитного генератора на основе СГ-разряда, для получения мощных электромагнитных колебаний. В опытных образцах, подвергнутых электромагнитной обработке, установлено повышение почти в 2 раза величины восстановленного глутатиона, определяющего окислительно-восстановительные характеристики внутриклеточной среды, и глутатионпероксида, защищающего организм от окислительного повреждения, что свидетельствует о нивелировании избыточного образования свободных радикалов, в частности, за счет регенерации многих цитозольных низкомолекулярных антиоксидантов. Также установлено более низкое, в сравнении с контрольным образцом, значение уровня малонового диальдегида, характеризующего перекисное окисление липидов, для обработанных полуфабрикатов из говядины на 10%, из свинины на 2,5% соответственно. Результаты исследований показали, что воздействие СГ-разряда способствует снижению скорости роста микроорганизмов в охлажденных полуфабрикатах в процессе хранения, так, на 6 сутки хранения показатель КМАФАнМ не превышал нормируемый, что коррелирует с результатами органолептических исследований. Выявлено, что электромагнитная обработка не оказывает существенного влияния на переваримость *in vitro* полуфабрикатов, то есть не приводит к снижению их биологической ценности. Проведенные исследования позволяют предположить, что использование СГ-разряда целесообразно для увеличения срока годности мясных кусковых полуфабрикатов и разработки новой экологически чистой технологии хранения мясной продукции.

### Abstract

The paper demonstrates that the use of the electromagnetic treatment based on an impact of the electromagnetic field (EMF) of the self-generating (SG) discharge increases the antioxidant activity (AOA) of beef and pork semi-prepared products in pieces. The semi-prepared products were treated using the experimental equipment that consisted of the plasma electromagnetic generator based on the self-generating (SG) discharge for generating strong electromagnetic oscillations. It was found that in the experimental samples subjected to the electromagnetic treatment, an amount of reduced glutathione, which determines the redox characteristics of the intracellular environment, and glutathione peroxidase, which protects an organism against oxidative damage, increased almost two-fold. These results suggest that the excessive development of free radicals was leveled, in particular, due to the regeneration of many cytosolic low weight molecular antioxidants. Moreover, lower level of malon dialdehyde, which characterizes lipid peroxidation, was detected in the treated semi-prepared products from beef and pork (by 10% and 2.5%, respectively,) compared to the control. The results of the study showed that an impact of the SG discharge contributed to a decrease in the microbial growth rate in the chilled semi-prepared products during storage. For example, on the 6<sup>th</sup> day, the number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (QMAFAnM) did not exceed the established indicator, which correlated with the results of the organoleptic investigations. It was found that the electromagnetic treatment did not have a significant effect on the *in vitro* digestibility of the semi-prepared products; that is, it did not lead to deterioration of their biological value. The performed research allows us to suggest that the use of the SG discharge is expedient for increasing shelf life of meat semi-prepared products in pieces and developing a new ecologically pure technology for meat product storage.

### Введение

Усилия российских и зарубежных исследователей в пищевой и перерабатывающей промышленности в последние годы направлены на использование но-

### Introduction

In recent years, the efforts of Russian and foreign researchers in the field of food and processing industries have been directed at using new and non-traditional methods of

вых и нетрадиционных способов обработки мяса, что позволяет увеличить сроки хранения продукции, улучшить санитарно-гигиенические условия на пищевых производствах и исключить антропогенное воздействие на окружающую среду.

Одним из актуальных направлений увеличения хранимоспособности мясного сырья на протяжении всей технологической цепочки является изучение возможности повышения его микробиологической безопасности и окислительной стабильности.

Процессы окислительного стресса, происходящие в мясном сырье, напрямую связаны с взаимодействием жиров с кислородом воздуха, что приводит к ухудшению цветовых характеристик в процессе хранения за счет образования коричневых пигментов; повышению потерь «мясного сока» (внутриклеточной жидкости); формированию неприятного запаха и снижению органолептических характеристик при термической обработке [1, 2, 3].

Окисление липидов начинается, в первую очередь, в субклеточных мембранах во фракции высоконасыщенных фосфолипидов. Стойкость жиров к окислению определяется, прежде всего, их жирнокислотным составом [3,4]. Известно, что чувствительность к перекисному окислению зависит как от степени ненасыщенности липидов в субклеточных мембранах и присутствием железа в различных соединениях, так и от морфологических особенностей строения мышц. Установлено, что окислительные «красные» мышцы характеризуются более высоким содержанием фосфолипидов и, соответственно, полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК) в сравнении с гликолитическими «белыми», при этом развитие перекисного окисления традиционно распределяется по видам мяса в следующем порядке: рыба > индейка > куриное мясо > свинина > говядина > молодая баранина [1].

Развитие процессов окисления липидов мясного сырья условно разделяют на три критические фазы: первая фаза заключается в образовании химически активных соединений кислорода, развитии перекисного окисления липидов, сопряженное с антиокислительными защитными механизмами мышечной ткани; вторая фаза — окислительных изменений наступает непосредственно после уоя животного; третья фаза — в ходе транспортировки, переработки, хранения и технологической обработки мясного сырья [1, 5].

Предпосылками развития окислительной дестабилизации мяса на второй стадии является стрессовое воздействие на животных перед уоем. Биохимические изменения, происходящие в ходе метаболизма после уоя и автолитические изменения в мясе, происходящие вследствие прекращения поступления кислорода в ткани и окисления гликогена до молочной кислоты, постепенно снижающей значение pH в мыш-

meat processing that make it possible to increase product shelf life, improve sanitary and hygienic conditions in food enterprises and exclude the anthropogenic effect on the environment.

One of the topical directions of increasing storability of meat raw material throughout the technological chain is the study of the possibility to improve its microbiological safety and oxidative stability.

The processes of the oxidative stress occurring in meat raw material are directly connected with interaction of fats with air oxygen, which leads to degradation of color characteristics during storage due to the formation of brown pigments and unpleasant odor, an increase in losses of “meat juice” (intracellular fluid) and deterioration of the organoleptic characteristics upon thermal treatment [1, 2, 3].

Lipid oxidation begins, first of all, in the subcellular membranes in the fraction of highly unsaturated phospholipids. Fat oxidation stability is determined, largely, by their fatty acid composition [3,4]. It is known that susceptibility to peroxide oxidation depends on the degree of lipid unsaturation in the subcellular membranes, the presence of iron in different compounds, and on the morphological peculiarities of the muscle structure. It was established that oxidative “red” muscles are characterized by higher content of phospholipids and, respectively, polyunsaturated fatty acids (PUFA) compared to glycolytic “white” muscles; with that, the development of peroxidation is traditionally distributed by meat kinds according to the following order: fish > turkey > chicken > pork > beef > lamb [1].

The development of the lipid oxidation processes in meat raw material is conditionally divided into three critical phases: the first phase consists in the formation of the reactive oxygen species, development of lipid peroxidation associated with the antioxidant defense mechanisms of the muscle tissue; the second phase of the oxidative changes occurs immediately after animal slaughter; the third phase takes place during transportation, handling, storage and technological processing of meat raw material [1, 5].

A precondition for the development of the oxidative destabilization of meat at the second stage is an effect of stress on an animal before slaughter. The biochemical changes during post-mortem metabolism as well as autolytic changes in meat due to termination of oxygen supply into tissues and glycogen oxidation to lactic acid, which gradually reduces a pH value in muscles, create the condi-

цах, создают условия, при которых процесс перекисного окисления липидов во фракции высоконенасыщенных фосфолипидов в субклеточных мембранах не контролируется. При этом баланс прооксидантно-антиоксидантных факторов смещается, способствуя процессу окисления. Отмечено, что скорость перекисного окисления в мышцах коррелирует со скоростью снижения pH, скоростью охлаждения туши и физическими методами обработки мяса — электростимуляцией, обработкой под высоким давлением, ультразвуком и т.д. [6, 7].

Третья стадия окисления липидов, происходящая в процессе транспортировки, обработки, хранения, приготовления и последующего холодильного хранения мясных продуктов, связана с разрушением целостности клеточных мембран в процессе механических воздействий (обвалки, измельчения реструктуризации или приготовления). Данные процессы сопряжены с высвобождением железа из высокомолекулярных субстратов (гемоглобина, миоглобина, ферритина, гемосидерина) и образованием хелатных комплексов с низкомолекулярными соединениями (аминокислотами, нуклеотидами и фосфатидами). Таким образом, рост окислительной цепи во многом зависит от концентрации ПНЖК в мясе и прооксидантов, образующихся в процессе убоя, технологической обработки и хранения мясного сырья [8, 9, 10, 11, 12, 13].

Антиоксидантные ферменты (супероксиддисмутаза (СОД), катализирующая превращение супероксидрадикала (ОН<sup>-</sup>) с образованием перекиси водорода; глутатионпероксидаза (ГП) и каталаза (КАТ), превращающие образовавшуюся перекись водорода и гидроперекиси липидов в воду и жирные спирты соответственно, играют важную роль в защите клеток от окислительной деструкции.

Одним из способов увеличения сроков годности пищевых продуктов является электромагнитная обработка, действие которой на биологические объекты очень многообразно и зависит от состояния объекта, автолитических изменений, направленности метаболизма в определенный момент физиологического развития и совокупности других позитивных и негативных факторов. Известно, что воздействие электромагнитного поля оказывает влияние на снижение нежелательной микрофлоры, а также может замедлять процессы липидного окисления различных пищевых продуктов растительного и животного происхождения [13, 14, 15, 16, 17, 18].

В этой связи целью работы было изучение влияния электромагнитного поля (ЭМП) плазменного высокочастотного генератора на основе самогенерирующего (СГ) разряда на активность антиоксидантных ферментов мясных кусковых полуфабрикатов и на микробиологическую безопасность охлажденных полуфабрикатов в процессе хранения.

tions, under which the process of lipid peroxidation in the fraction of highly unsaturated phospholipids in the subcellular membranes is not controlled. With that, the balance of pro-oxidant-antioxidant factors is shifted favoring the oxidation process. It was noted that the peroxidation rate in muscles is correlated with the rate of pH decline and carcass chilling, as well as with physical methods of meat processing (electrical stimulation, high pressure processing, ultra sound and so on) [6, 7].

The third stage of lipid oxidation, which takes place during transportation, processing, storage, cooking and the following cold storage of meat products, is connected with disruption of cellular membrane integrity during mechanical manipulations (boning, grinding, restructuring or cooking). These processes are associated with the release of iron from the high molecular weight substrates (hemoglobin, myoglobin, ferritin, hemosiderin) and formation of chelate complexes with low molecular weight compounds (amino acids, nucleotides and phosphatides). Therefore, a growth of the oxidative chain to a large extent depends on the PUFA concentration in meat, and pro-oxidants formed during slaughter, technological processing and storage of meat raw material [8, 9, 10, 11, 12, 13].

The antioxidant enzymes (superoxide dismutase (SOD), which catalyzes the transformation of the superoxide radical with formation of hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>); glutathione peroxidase (GPx) and catalase (CAT), which convert formed hydrogen peroxide and lipid hydroperoxides into water and fatty alcohols, respectively,) play an important role in cell defense against oxidative destruction.

One of the ways to increase food shelf life is the electromagnetic treatment, which impact on biological objects is multiple and depends on a subject condition, autolytic changes, metabolism direction at a particular moment of the physiological development and a complex of other positive and negative factors. It is known that an exposure to the electromagnetic field (EMF) has an effect on reduction of undesirable microflora, and can also delay the lipid oxidation processes in different food products of plant and animal origin [13, 14, 15, 16, 17, 18].

In this connection, the aim of this work was to study an effect of the electromagnetic field of the plasma high-frequency generator based on the self-generating (SG) discharge on the activity of the antioxidant enzymes of meat semi-prepared products in pieces and microbiological safety of chilled semi-prepared products during storage.

### Материалы и методы

Обработку мясных полуфабрикатов осуществляли на экспериментальной установке, состоящей из плазменного электромагнитного генератора на основе самогенерирующего (СГ) разряда для получения мощных электромагнитных колебаний [18, 19, 20]. Установка состоит из блока питания от сети переменного тока напряжением 220 В, блока коммутации, в котором устанавливаются параметры генератора, задающего импульсное питание высоковольтного блока. Колебания формируются в генераторе, исполнительным устройством которого является разрядная лампа. В качестве объектов исследований использовали образцы полуфабрикатов из говядины и свинины в охлажденном виде. Говядину, свинину нарезают на куски массой 30–40 г, укладывали в лотки или пакеты из пленочных материалов и помещали в центральную область камеры между обкладками специально изготовленного конденсатора с регулируемым зазором, который подключается к СГ-генератору. Степень электромагнитного воздействия регулировалась путем изменения времени экспозиции, длительность которых составляла от 5 до 300 с. Напряжение (U) на выходе генератора варьировалось от 1200 до 1800 вольт.

После обработки опытные и контрольные образцы (не подвергнутые обработке) закладывали на хранение при температуре 0–4 °С и относительной влажности воздуха — 70 %. Ежедневно осуществляли контроль за изменением внешнего вида образцов.

В процессе работы проводились исследования следующих качественных показателей:

- антиокислительная активность и малоновый диальдегид на полуавтоматическом биохимическом анализаторе Biochem SA при 600 нм.
- содержание восстановленного глутатиона с помощью спектрофотометрического метода с реактивом Эллмана;
- активность каталазы — спектрофотометрическим методом, основанным на определении скорости разложения перекиси водорода каталазой исследуемого образца с образованием воды и кислорода;
- активность супероксиддисмутазы — методом, основанным на определении степени торможения супероксиддисмутазой восстановления бесцветных тетразолиевых солей супероксидными анион-радикалами, при котором происходит их превращение в окрашенные соединения (формазаны);
- активность глутатионпероксидазы — методом, основанным на определении величины убыли восстановленного глутатиона в среде инкубации при восстановлении гидроперекисей глутатионпероксидазой;
- жирнокислотный состав липидов по методу Фолча. Определение состава жирных кислот проводилось на газовом хроматографе HP 6890 фирмы «Hewlett Packard»;

### Materials and methods

Meat was processed using the experimental equipment that consisted of the plasma electromagnetic generator based on the self-generating (SG) discharge for generating strong electromagnetic oscillations [18, 19, 20].

The equipment includes the power supply unit connected to an alternating current network with a voltage of 220 V, a commutation unit, which is used to set the parameters of a generator that provides pulsed supply to the high voltage unit. The oscillations are formed in the unit, to which a discharge lamp is attached as an executive device. The samples of chilled pork and beef semi-prepared products were the subjects of the research. Beef and pork were cut into pieces (30–40 g) and placed into trays or bags from film materials and put into the central area of a chamber between pads of a specially designed condenser with the regulated clearance, which was connected to a SG generator. A degree of an electromagnetic impact was regulated by changes in exposure time with duration of 5 to 300 s. Generator output voltage (U) was varied from 1200 to 1800 Volt.

After processing, the experimental and control (untreated) samples were stored at a temperature of 0–4 °C and relative air humidity of 70 %. Changes in appearance of the samples were monitored daily.

During the experiment, the following quality indicators were detected:

- antioxidant activity and malondialdehyde on a semi-automatic biochemistry analyzer Biochem SA at 600 nm;
- content of reduced glutathione using the spectrophotometric method with Ellman's reagent;
- catalase activity by the spectrophotometric method based on the detection of the rate of hydrogen peroxide breakdown with catalase of a test-sample with formation of water and oxygen;
- superoxide dismutase (SOD) activity by the method based on the detection of the degree of inhibition by superoxide dismutase of colorless tetrazolium salt reduction by superoxide anion radicals, wherein they transform into colored substances (formazans).
- activity of glutathione peroxidase (GPx) by the method based on the detection of the level of a decrease in reduced glutathione in the incubation medium upon the reduction of hydroperoxides by glutathione peroxidase;
- fatty acid composition of lipids by the Folch method. The fatty acid composition was detected on the gas chromatograph HP 6890 (Hewlett Packard);

- перекисное число (ПЧ) по методике, основанной на реакции взаимодействия и нейтрализации продуктов окисления (гидроперекисей и перекисей), находящихся в животных жирах и растительных маслах, со смесью йодистого калия в растворе уксусной кислоты и хлороформа или изооктана с дальнейшим определением количества выделенного йода раствором тиосульфата натрия методом титриметрии; кислотное число (КЧ) по методу, который основан на титровании свободных жирных кислот в эфирно-спиртовом растворе жира водным раствором щелочи;
- микробиологические показатели (КМАФАнМ-количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов) методом, основанным на высеве определенного количества продукта в агаризованную культуральную среду, аэробном культивировании посевов при температуре  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  в течение  $(72 \pm 3)$  ч, подсчете всех выросших видимых колоний и определении количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в 1 г продукта;
- органолептические показатели методом, основанным на определении внешнего вида, цвета, вкуса, запаха (аромата) и консистенции посредством органов чувств;
- переваримость белков «in vitro» с использованием пепсина и панкреатина по методу Покровского и Ертанова. Продукты гидролиза определяли по Лоури и выражали в мг тирозина на г белка. Степень перевариваемости выражали как отношение количества продуктов гидролиза в растворе после действия ферментов, выраженное в мг тирозина к общему количеству тирозина, содержащегося в навеске образца.

Математическую обработку результатов исследований, выполненных с 3-х кратной повторностью, осуществляли общепринятым параметрическим методом (t-критерий Стьюдента) с применением программы Statistica 10.0.

### Результаты исследований и их обсуждение

Анализ результатов исследований, представленных в Табл. 1, показывает, что электромагнитная обработка полуфабрикатов из говядины (продолжительность воздействия 126 с, напряжение на конденсаторе — 1700 В, напряженность электромагнитного поля 34000 В/м) и из свинины — (продолжительность воздействия 120 с, напряжение на конденсаторе — 1600 В, напряженность электромагнитного поля 32000 В/м) способствует повышению АОА мясных полуфабрикатов (до 16 %). При этом анализ ферментного звена антиоксидантной системы (АОС) показал снижение каталазной емкости (до 20 %) сопряженной с повышением активности СОД (до 18 %), что может указывать на то, что липидные пероксиды образуются достаточно ин-

- peroxide value (PV) by the method based on the reaction of interaction and neutralization of oxidation products (hydroperoxides and peroxides) present in animal fats and plant oils with the mixture of potassium iodide in the solution of acetic acid and chloroform or isooctane with the following determination of the amount of liberated iodine with the sodium thiosulfate solution by the titration method;
- acid value (AV) by the method based on titration of free fatty acids in ether/ethanol solution of fat with aqueous solution of alkali;
- microbiological indicators (the quantity of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (QMAFAnM)) by the method based on plating of a specific quantity of a product into an agar culture medium, aerobic incubation of plates at a temperature of  $(30 \pm 1)^\circ\text{C}$  for  $(72 \pm 3)$  hours, counting of all grown visible colonies and detection of the quantity of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms (QMAFAnM) in 1g of a product;
- organoleptic indicators by the method based on assessment of appearance, color, taste, odor (aroma) and consistency by sensory organs;
- in vitro protein digestibility using pepsin and pancreatin by the method of Pokrovsky and Ertanov. The hydrolysis products were detected by the Lowry method and expressed as mg of tyrosine / g of protein. A degree of digestibility was expressed as a ratio of the hydrolysis product quantity in a solution after the enzyme action expressed as mg of tyrosine to total tyrosine in a specimen.

The mathematical processing of the results of the experiments carried out in three replications was performed by the conventional parametric method (Student t-test) using the Statistica 10.0 software.

### The results of the research and their discussion

An analysis of the research results presented in Table 1 shows that the electromagnetic treatment of the semi-prepared products from beef (exposure duration 126 s, condenser voltage 1700 Volt, intensity of the electromagnetic field 34000 V/m) and from pork (exposure duration 120 s, condenser voltage 1600 Volt, intensity of the electromagnetic field 32000 V/m) contributed to an increase in the antioxidant activity (AOA) of the meat semi-prepared products (up to 16 %). With that, an analysis of the enzyme element of the antioxidant system (AOS) showed a decrease in the catalase capacity (up to 20 %) associated with an increase in SOD activity (up to 18 %), which can point to

Table 1. The effect of the electromagnetic treatment on the activity of the antioxidant defense enzymes and the products of lipid peroxidation

Таблица 1. Влияние электромагнитной обработки на активность ферментов антиоксидантной защиты и продукты перекисного окисления липидов

Indicator   Показатель	Control (beef semi-prepared product)   Контроль (полуфабрикат из говядины)	Treated beef semi-prepared product   Полуфабрикат из говядины обработанный	Control (pork semi-prepared product)   Контроль (полуфабрикат из свинины)	Treated pork semi-prepared product   Полуфабрикат из свинины обработанный
Fatty acids, %   Жирные кислоты, %				
$\Sigma$ SFA   $\Sigma$ НЖК	3.65±0.03	3.63±0.03	10.2±1.0	9.8±0.9
$\Sigma$ MUFA   $\Sigma$ МНЖК	3.8±0.03	3.74±0.03	12.8±1.0	13.0±1.0
$\Sigma$ PUFA   $\Sigma$ ПНЖК	0.3±0.003	0.3±0.003	3.1±0.003	3.0±0.003
$\omega_6$ : $\omega_3$ PUFA ratio   Соотношение ПНЖК $\omega_6$ : $\omega_3$	3:1	3:1	15:1	15:1
Antioxidant activity, AOA, Ki*1/(1000*ml*min)   Антиокислительная активность, АОА, Ки*л/(1000*мл*мин)	0.473±0.02	0.563±0.02	0.428±0.02	0.512±0.02
Malondialdehyde, MDA, $\mu$ mol/l   Малоновый диальдегид, МДА мкмоль/л	0.692±0.03	0.622±0.003	0.831±0.03	0.811±0.003
Catalase activity (CAT) U(molH <sub>2</sub> O <sub>2</sub> )/gmeat   Активность каталазы, КАТ Е (мольН <sub>2</sub> О <sub>2</sub> )/г мяса	0.232±0.01	0.182±0.009	0.241±0.01	0.194±0.009
SOD, U/mg   СОД, Ед/мг	25.9±1.29	30.6±1.53	24.3±1.29	29.8±1.53
Reduced glutathione, GSH, mmol/l   Восстановленный глутатион, ВГ, ммоль/л	0.048±0.002	0.089±0.004	0.048±0.002	0.089±0.004
Glutathione peroxidase, GPxU/g meat   Глутатионпероксидаза, ГП Е/г мяса	1.482±0.07	2.352±0.11	1.564±0.07	2.863±0.11

тенсивно в фосфолипидных структурах биомембран, при этом ферментной системы дезактивации супероксида — пероксида водорода (СОД — КАТ) недостаточно для утилизации реактивных молекул перекисной природы.

Увеличение антиоксидантного потенциала полуфабрикатов можно связать с высокой активностью глутатионовой антиоксидантной системы (глутатион, глутатионпероксидаза (ГП)). Повышение ВГ и ГП свидетельствует о снижении как уровня токсичных продуктов перекисного окисления липидов, так и о накоплении окислительных повреждений. Повышение величины восстановленного глутатиона и глутатионпероксида (почти в 2 раза) свидетельствует о нивелировании избыточного образования свободных радикалов, в частности, за счет регенерации многих цитозольных низкомолекулярных антиоксидантов.

Также установлено более низкое, в сравнении с контрольным образцом, значение уровня малонового диальдегида, характеризующего перекисное окисление липидов, для обработанных полуфабрикатов из говядины на 10 %, из свинины на 2,5 % соответственно.

Таким образом, выявлено, что электромагнитное воздействие на мясные полуфабрикаты позволяет сохранить баланс между про- и антиоксидантами системами.

Далее оценивали влияние электромагнитной обработки на состояние жировой фракции, микробиологические и органолептические показатели полуфабрикатов после обработки и в процессе хранения.

the fact that lipid peroxides are formed quite intensively in the phospholipid structures of biological membranes; with that, the enzyme system of deactivation of superoxide — hydrogen peroxide (SOD-CAT) is not enough to utilize the reactive molecules of peroxide nature.

An increase in the antioxidant potential of the semi-prepared products can be associated with the high activity of the glutathione antioxidant system (glutathione(GSH), glutathione peroxidase (GPx)). An increase in GSH and GPx suggests both a decrease in a level of toxic products of lipid peroxidation and the accumulation of oxidative damage. An increase in the level of reduced glutathione and glutathione peroxidase (almost twice) is indicative of leveling an excessive development of free radicals, in particular, due to the regeneration of many cytosolic low molecular weight antioxidants. Moreover, lower level of malon dialdehyde, which characterizes lipid peroxidation, was detected in the treated semi-prepared products from beef and pork (by 10 % and 2.5 %, respectively,) compared to the control.

Therefore, it was found that the electromagnetic impact on the meat semi-prepared products allowed maintaining a balance between pro- and antioxidant systems.

Then, we assessed an effect of the electromagnetic treatment on the condition of the fat fraction, microbiological and organoleptic indicators of the semi-prepared products after treatment and during storage.

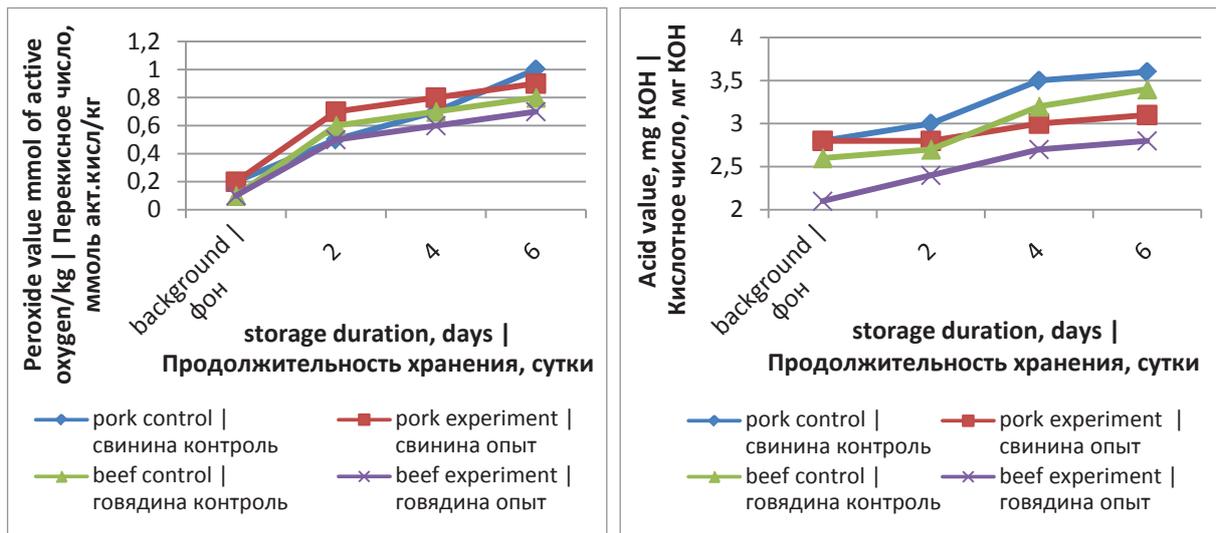


Fig. 1. Changes in the peroxide value and acid value in the semi-prepared products during storage  
Рис. 1. Изменение перекисного и кислотного чисел полуфабрикатов в процессе хранения

Состояние жировой фракции полуфабрикатов оценивали по величинам кислотных и перекисных чисел. Данные Рис. 1 свидетельствуют о некотором росте кислотного числа жира у всех образцов при хранении. Следует отметить, что значение кислотного числа опытного образца говядины на 6 сутки хранения соответствует степени свежести доброкачественного жира (до 3,0 мг KOH). Начиная с 4 суток хранения, наблюдается рост значений перекисных чисел, причем в опытных образцах значения перекисных чисел ниже, чем в контрольных.

При оценке безопасности продукта, особенно по признакам порчи жиров, рассматриваются также микробиологические показатели, характеризующие окисление липидов, осуществляемое с помощью ферментов липолитической микрофлоры. Известно, что сильно окисленные жиры стерильны, так как свободные радикалы губительны для живых клеток, в том числе жизнеспособных микроорганизмов. Результаты микробиологических исследований образцов полуфабрикатов в процессе хранения представлены на Рис. 2.

The fat fraction condition of the semi-prepared products was assessed by the acid value and peroxide value. The data on Fig. 1 point to the slight growth in the fat acid value in all samples during storage. It is necessary to note that the acid value in the beef experimental sample on the 6<sup>th</sup> day of storage corresponded to the degree of freshness of the high quality fat (up to 3.0 mg KOH). Beginning from the 4<sup>th</sup> day of storage, an increase in the peroxide value was observed with lower peroxide values in the experimental samples compared to the control.

When assessing product safety, especially by the signs of fat spoilage, we also considered microbiological indicators that characterize lipid oxidation by the enzymes of lipolytic microflora. It is known that highly oxidized fats are sterile as free radicals are fatal for living cells including viable microorganisms. The results of the microbiological investigations of the semi-prepared product samples during storage are presented in Fig. 2.

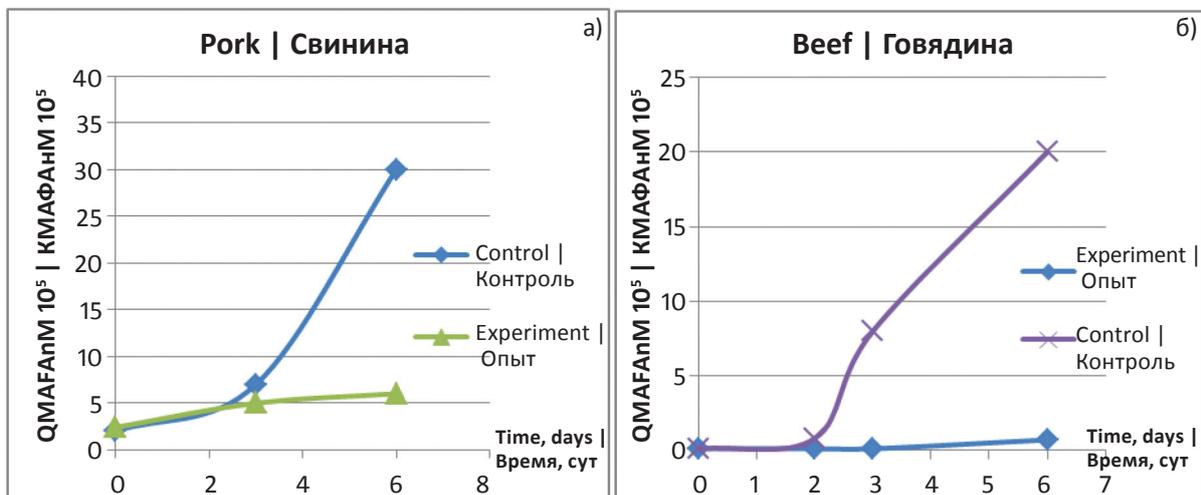


Fig. 2. Changes in QMAFAnMin the semi-prepared products from pork (a) and beef (b) treated with the electromagnetic field of the SG-generator  
Рис. 2. Изменение КМАФАнМ полуфабрикатов из свинины (а) и говядины (б), обработанных ЭМП СГ-генератора

Table 2. In vitro digestibility of the semi-prepared products | Таблица 2. Переваримость in vitro полуфабрикатов

Products   Наименование продуктов	In vitro digestibility mg of tyrosine /g of protein   Переваримость in vitro мг тирозина/г белка			Mass fraction of tyrosine in protein, g/100 g of protein   Массовая доля тирозина в белке, г/100 г белка	In vitro digestibility, %   Переваримость in vitro, %
	by pepsin   пепсином	by trypsin   трипсином	total   общая		
<b>pork semi-prepared products   полуфабрикаты из свинины</b>					
control   (контроль)	14.8±0.2	12.8±0.2	27.6±0.25	2.97±0.05	81.9±0.4
experiment   опыт	14.6±0.2	11.9±0.2	27.4±0.25	2.98±0.05	81.6±0.4
<b>beef semi-prepared products   полуфабрикаты из говядины</b>					
control   (контроль)	12.8±0.2	10.8±0.2	23.6±0.23	3.2±0.05	75.5±0.4
experiment   опыт	12.6±0.2	10.7±0.2	23.3±0.23	3.25±0.05	75.7±0.4

Как видно из приведенных данных (Рис. 2), после обработки ЭМП полуфабрикатов из говядины и свинины наблюдается значительное замедление в них роста микрофлоры.

Органолептические исследования показали, что на конец срока хранения обработанные образцы полуфабрикатов отличались от контрольных образцов по внешнему виду, запаху, цвету и консистенции. Обработанные образцы говядины и свинины имели корочку подсыхания бледно-розового цвета, на разрезе мясо плотное; образующаяся при надавливании пальцем ямка быстро выравнивалась, запах специфический, свойственный свежему мясу. В контрольных образцах говядины и свинины поверхность мяса местами увлажнена, слегка липкая, потемневшая. На разрезе мясо менее плотное и менее упругое.

С целью определения влияния электромагнитной обработки на биологическую ценность полуфабрикатов проведены исследования переваримости «in vitro» (Табл. 2). По результатам проведенного эксперимента следует, что электромагнитная обработка не влияет на доступность белков к воздействию ферментов желудочно-кишечного тракта.

Таким образом, в результате изучения электромагнитного поля (ЭМП) плазменного высокочастотного генератора на основе самогенерирующего (СГ) разряда на активность антиоксидантных ферментов мясных кусковых полуфабрикатов и на микробиологическую безопасность охлажденных полуфабрикатов в процессе хранения получены результаты, которые согласуются с данными авторов Бессалай И.И., Решетняк А.И., Донченко Л.В. [13, 14], установившими, что электромагнитная обработка способствует снижению КМАФАнМ в мясном сырье, и результатами, полученными Касьяновым Г.И. [15, 16] о снижении микробальной обсемененности мясного и растительного сырья, обработанного электромагнитным полем. Исследования Елисейевой Л.Г. по воздействию электромагнитных полей СГ-разряда, проводимые на растительных объектах [17], также показали, что замедляются процессы гидролиза и окисления основных химических соединений.

## Выводы

Полученные предварительные экспериментальные данные показывают, что электромагнитное поле

As can be seen from the presented data (Fig. 2), after treatment of the pork and beef semi-prepared products with the electromagnetic field, a significant delay in the microbial growth was observed.

The organoleptic analyses showed that by the end of shelf life, the treated samples of the semi-prepared products differed from the control samples in terms of appearance, odor, color and consistency. The treated beef and pork samples had pale pink crust, meat was firm on a cut surface; a pit formed under pressing with a finger leveled out rapidly; the odor was specific and typical of fresh meat. In the control beef and pork samples, the meat surface was moistened in places, slightly sticky and darkened. Meat was less firm and elastic on the cut surface.

To detect an effect of the electromagnetic treatment on the biological value of the semi-prepared products, the in vitro digestibility was analyzed (Table 2). It follows from the results of the experiment that the electromagnetic treatment does not influence protein availability for the digestive enzyme activity.

Therefore, as a result of the study on an impact of the electromagnetic field (EMF) of the self-generating (SG) discharge on the enzyme antioxidant activity (AOA) in the beef and pork semi-prepared products in pieces and microbiological safety of the chilled semi-prepared products during storage, we obtained the results that correspond to the data of Bessalay I.I., Reshetnyak A.I., Donchenko L.V. [13,14], who established that the electromagnetic treatment contributed to the reduction of QMAFAnM in meat raw material, as well as to the data obtained by Kasyanov G.I. [15, 16] about a decrease in microbial contamination of meat and plant raw material treated with the electromagnetic field. The study of Eliseeva L.G. on an effect of the electromagnetic field (EMF) of the self-generating (SG) discharge performed on plant objects [17] also demonstrated the retardation of the processes of hydrolysis and oxidation of the main chemical compounds.

## Conclusions

The obtained preliminary experimental data show that the electromagnetic field (EMF) of the self-generating

СГ-генераторов оказывает биологически активное действие на мясное сырье, вызывая значительное замедление развития вредных микроорганизмов в мясных полуфабрикатах и позволяя сохранить баланс между про- и антиоксидантами системами. При этом установлено, что воздействие ЭМП не оказывает влияния на биологическую ценность, что подтверждается результатами исследований переваримости полуфабрикатов *in vitro*.

Проведенные исследования позволяют предположить, что использование СГ-разряда целесообразно для увеличения срока годности мясных кусковых полуфабрикатов. Исследования необходимо продолжить с целью создания новой, экологически чистой технологии хранения мясной продукции.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лисицын, А.Б. Окисление липидов: механизм, динамика, ингибирование/ А.Б. Лисицын, Е.К. Туниева, Н.А. Горбунова // Все о мясе. — 2015. — № 1. — С. 10–15.
2. Гуринович, Г.В. Изучение влияния гемового и негемового железа на антиокислительную активность дигидрокверцетина./ Г.В. Гуринович, Р.Н. Абдрахманов // Техника и технология пищевых производств. — 2012. — Т. 1. — № 24. — С. 30А–35.
3. Yang, L. Oxidative stability of conjugated linoleic acid isomers/ L.Yang, Y. Huang, Z.Y. Chen // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 2000. Vol. 48. — № . 8. — P. 3072–3076.
4. Huang, Y. Lipolysis and lipid oxidation during processing of Chinese traditional smoke-cured bacon/ Y.Huang, H. Li, T. Huang, F. Li, J. Sun // Food Chemistry. — 2014. — Vol. 149. — P. 31–39.
5. Niki, E. Lipid peroxidation: mechanisms, inhibition, and biological effects / E.Niki, Y. Yoshida, Y. Saito, N. Noguchi // Biochem Biophys Res Commun. — 2005. — Vol. 338. — P. 668–676.
6. Min, B. Mechanism of lipid peroxidation in meat and meat products — a review / B. Min, D.U. Ahn // Food Science and Biotechnology. — 2005. — Vol. 14. — P. 152–163.
7. Gandemer, G. Lipids in muscles and adipose tissues, changes during processing and sensory properties of meat products/ G. Gandemer // Meat Science. — 2002. — Vol. 62. — P. 309–321.
8. Leung, Y. H. Trans-10, cis-12-conjugated linoleic acid isomer exhibits stronger oxyradical scavenging capacity than cis9, trans-11-conjugated linoleic acid isomer/ Y.H. Leung, R.H. Liu // Journal of Agricultural and Food Chemistry.— 2000. — Vol. 48.— № 11. — P. 5469–5475.
9. Hernandez, P. Lipolytic and oxidative changes in two Spanish pork loin products, dry cured loin and pickled-cured loin / P. Hernandez, J.L. Navarro, F. Toldra // Meat Science. — 1999. — Vol. 51.— № 2. — P. 123–128.
10. Badiani, A. Lipid composition, retention and oxidation in fresh and completely trimmed beef muscles as affected by common culinary practices/ A. Badiani, S. Stipa, F. Bitossi, P.P. Gatta, G. Vignola, R. Chizzolini // Meat Science. — 2002. — Vol. 60. — P. 169–186.
11. Xu, W. Changes of intramuscular phospholipids and free fatty acids during the processing of Nanjing dry-cured duck/ W. Xu, X. Xu, G. Zhou // Food Chemistry. — 2008. — Vol. 110. — P. 279–284.
12. Аджиев, Д.Д. Исследование продуктов перекисного окисления липидов, неферментативной и ферментативной антиоксидантной системы в возрастной динамике самцов кроликов/ Д.Д. Аджиев // Вестник ВОГиС. — 2010. — Т. 14. — № 4. — С. 674–684.
13. Бессалая, И.И. Лечебно-профилактические колбасные изделия — продукты будущего / И.И. Бессалая, А.И. Решетняк, Л.В. Донченко // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского Государственного Аграрного Университета. — 2013. — № 94. — С. 265–278.
14. Нестеренко, А.А. Инновационные методы обработки мясной продукции электромагнитно-импульсным воздействием/ А.А. Нестеренко, А.И. Решетняк // Вестник Мичурина государственного аграрного университета. — 2011. — № 1–1. — С. 148–151.

(SG) discharge has a biologically active impact on meat raw material causing a significant delay in the development of harmful microorganisms in the meat semi-prepared products making it possible to maintain a balance between pro- and antioxidant systems. With that, it was established that an exposure to EMF did not influence the biological value, which was confirmed by the results of the *in vitro* digestibility analysis of the semi-prepared products.

The performed research allows us to suggest that the use of the SG discharge is expedient for increasing shelf life of meat semi-prepared products in pieces. It is necessary to carry on the research to develop a new ecologically pure technology for meat product storage.

## REFERENCES

1. Lisitsyn, A.B. Oxidation of lipids: the mechanism, dynamics, inhibition / A.B.Lisitsyn, E.K. Tuniyeva, N.A. Gorbunova // Vse o myase.—2015.— № 1. — PP.10–15.
2. Gurinovich, G.V. The investigation of heme and non-heme iron effect on antioxidative activity of dihydroquercetin/G.V. Gurinovich, R.N. Abdrakhmanov // Food Processing: Techniques and Technology.—2012. — Vol.1.— № 24. PP.30A–35.
3. Yang, L. Oxidative stability of conjugated linoleic acid isomers/ L.Yang, Y. Huang, Z.Y. Chen // Journal of Agricultural and Food Chemistry. — 2000. Vol. 48. — № . 8. — P. 3072–3076.
4. Huang, Y. Lipolysis and lipid oxidation during processing of Chinese traditional smoke-cured bacon/ Y.Huang, H. Li, T. Huang, F. Li, J. Sun // Food Chemistry. — 2014. — Vol. 149. — P. 31–39.
5. Niki, E. Lipid peroxidation: mechanisms, inhibition, and biological effects / E.Niki, Y. Yoshida, Y. Saito, N. Noguchi // Biochem Biophys Res Commun. — 2005. — Vol. 338. — P. 668–676.
6. Min, B. Mechanism of lipid peroxidation in meat and meat products — a review / B. Min, D.U. Ahn // Food Science and Biotechnology. — 2005. — Vol. 14. — P. 152–163.
7. Gandemer, G. Lipids in muscles and adipose tissues, changes during processing and sensory properties of meat products/ G. Gandemer // Meat Science. — 2002. — Vol. 62. — P. 309–321.
8. Leung, Y. H. Trans-10, cis-12-conjugated linoleic acid isomer exhibits stronger oxyradical scavenging capacity than cis9, trans-11-conjugated linoleic acid isomer/ Y.H. Leung, R.H. Liu // Journal of Agricultural and Food Chemistry.— 2000. — Vol. 48.— № 11. — P. 5469–5475.
9. Hernandez, P. Lipolytic and oxidative changes in two Spanish pork loin products, dry cured loin and pickled-cured loin / P. Hernandez, J.L. Navarro, F. Toldra // Meat Science. — 1999. — Vol. 51.— № 2. — P. 123–128.
10. Badiani, A. Lipid composition, retention and oxidation in fresh and completely trimmed beef muscles as affected by common culinary practices/ A. Badiani, S. Stipa, F. Bitossi, P.P. Gatta, G. Vignola, R. Chizzolini // Meat Science. — 2002. — Vol. 60. — P. 169–186.
11. Xu, W. Changes of intramuscular phospholipids and free fatty acids during the processing of Nanjing dry-cured duck/ W. Xu, X. Xu, G. Zhou // Food Chemistry. — 2008. — Vol. 110. — P. 279–284.
12. Adzhev, D.D. Lipid peroxidation products and nonenzymatic and enzymatic antioxidant systems in male rabbits: age dynamics/ D.D. Adzhev // VOGiSHerald. — 2010. — Vol. 14. — № 4. — P. 674–684.
13. Bessalaya, I. I. Medical-preventive sausage products — products of the future/ I.I. Bessalaya, A.I. Reshetnyak, L.V. Donchenko // Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University.—2013.— № 94. — P. 265–278.
14. Nesterenko, A.A. Innovative methods of processing of meat production with electromagnetic-pulse influence / A.A. Nesterenko, A.I. Reshetnjak // Journal of Michurinsk State Agrarian University. — 2011. — № 1–1. — P. 148–151.
15. Kasyanov, G.I. Features of Usage of Electromagnetic Field of Extremely Low Frequency for the Storage of Agricultural Products/ G.I.Kasyanov, I.E. Syazin, A.V. Grachev, T.N. Davidenko,

15. Kasyanov, G.I Features of Usage of Electromagnetic Field of Extremely Low Frequency for the Storage of Agricultural Products/ G.I.Kasyanov, I.E. Syazin, A.V. Grachev, T.N. Davidenko, E.I. Vazhenin // *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*. — 2013. — Vol. 5. — № 5. — P. 236–241.
16. Касьянов, Г.И. Перспективная технология обработки мясного сырья электромагнитными полями низких частот/ Г.И. Касьянов, А.А. Запорожский, М.Г. Барышев // *Российская сельскохозяйственная наука*. — 2009. — № 3. — С. 60–63.
17. Елисева, Л.Г. Использование электрофизического воздействия для регуляции метаболизма растительных объектов в процессе длительного хранения/ Л.Г. Елисева, Е.В. Гришина, П.П. Горожанин // *Евразийское Научное Объединение*. — 2016. — Т. 1. — № 4 (16). — С. 18–21.
18. Важенин, Е.И. Перспективы использования в пищевой промышленности технологий с применением электромагнитных полей крайне низкой частоты / Е.И. Важенин, Г.И. Касьянов, А.В. Грачев // *Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского Государственного Аграрного Университета*. — 2013. — № 85. — С. 140–153.
19. Дыдыкин, А.С. Перспективы применения физических методов обработки пищевых продуктов/ А.С. Дыдыкин, М.А. Асланова // *Мясная индустрия*. — 2015. — № 5. — С. 27–29.
20. Дыдыкин, А.С. Использование электромагнитного поля для увеличения сроков хранения мясных полуфабрикатов/ А.С. Дыдыкин, М.А. Асланова, Ю.С. Галкин // *Мясная индустрия*. — 2016. — № 11. — С. 35–37.

- E.I. Vazhenin // *Journal of Electromagnetic Analysis and Applications*. — 2013. — Vol. 5. — № 5. — P. 236–241.
16. Kasyanov, G.I Promising technology. Treating meat raw materials with low-frequency electromagnetic fields / G.I. Kasyanov, A.A. Zaporozhskii, M.G. Baryshev // *Russian Agricultural Sciences*. — 2009. — Vol. 35. — № 3. P. 207–210.
17. Eliseeva L.G. The use of the electrophysical impact for metabolism regulation in plant objects in the process of long-term storage/L.G. Eliseeva, E.V. Grishina, P.P. Gorozhanin // *Eurasian Scientific Association* — 2016. — Vol. 1. — № 4 (16). — P. 18–21.
18. Vazhenin, E. I. Prospects of using technologies with application of electromagnetic fields of extremely low frequency in the food industry/ E.I. Vazhenin, G.I. Kasyanov, A.V.Grachev // *Polythematic online scientific journal of Kuban State Agrarian University*. — 2013. — № 85. — P. 140–153.
19. Dydykin, A.S. Prospects of using physical methods for food product processing/ A.S. Dydykin, M.A. Aslanova // *Meat industry*. — 2015. — № 5. — P. 27–29.
20. Dydykin, A.S. Use of the electromagnetic field to extend self-life of meat semi-prepared products /A.S. Dydykin, M.A. Aslanova, Yu.A. Galkin // *Meat industry*. — 2016. — № 11. — P. 35–37.

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

### Принадлежность к организации

**Асланова Мариэтта Арутюновна** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН  
109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26  
Тел.: +7-495-676-96-18  
E-mail: dpitanie@vniimp.ru

**Дыдыкин Андрей Сергеевич** — кандидат технических наук, доцент, руководитель отдела научно-прикладных и технологических разработок, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН  
109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26  
Тел.: +7-495-676-75-41  
E-mail: das\_tih@mail.ru

**Федулова Лилия Вячеславовна** — кандидат технических наук, заведующий Экспериментальной клиники-лаборатории биологически активных веществ животного происхождения, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН  
109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26  
Тел.: +7-495-676-92-11  
E-mail: fedulova@vniimp.ru

**Деревицкая Ольга Константиновна** — кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник, Федеральный научный центр пищевых систем им. В.М. Горбатова РАН  
109316, г. Москва, ул. Талалихина, 26  
Тел.: +7-495-676-96-18  
E-mail: dpitanie@vniimp.ru

### Критерии авторства

Авторы в равных долях имеют отношение к написанию рукописи и одинаково несут ответственность за плагиат.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила 31.08.2017

## AUTHOR INFORMATION

### Affiliation

**Aslanova Marietta Arutunovna** — candidate of technical sciences, leading research scientist, V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences  
109316, Moscow, Talalikhina str., 26  
Tel.: +7-495-676-96-18  
E-mail: dpitanie@vniimp.ru

**Dydykin Andrei Sergeevich** — candidate of technical sciences, doцент, Head of the Department of Scientific Applied and Technological Developments, V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences  
109316, Moscow, Talalikhina str., 26  
Tel.: +7-495-676-75-41  
E-mail: das\_tih@mail.ru

**Fedulova Liliya Vyacheslavovna** — candidate of technical sciences, Head of Experimental clinic — laboratory of biologically active substances of an animal origin, V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences  
109316, Moscow, Talalikhina str., 26  
Tel.: +7-495-676-92-11  
E-mail: fedulova@vniimp.ru

**Derevitskaya Olga Konstantinovna** — candidate of technical sciences, leading research scientist, V.M. Gorbатов Federal Research Center for Food Systems of Russian Academy of Sciences  
109316, Moscow, Talalikhina str., 26  
Tel.: +7-495-676-96-18  
E-mail: dpitanie@vniimp.ru

### Contribution

The authors equally contributed to the writing of the manuscript and are equally responsible for plagiarism.

### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

Received 31.08.2017