

**Александр Иннокентьевич Машанов**

Российская Академия естествознания, академик, доктор биологических наук, профессор, Красноярск, Россия, fppp@kgau.ru

**Екатерина Георгиевна Федорова**

Красноярский государственный аграрный университет, доцент кафедры зоотехнии и технологии переработки продуктов животноводства, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Красноярск, Россия, fiodorova78@mail.ru

**Григорий Николаевич Чурилов**

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, заведующий лабораторией аналитических методов исследования вещества, доктор технических наук, профессор, Красноярск, Россия, aa-mashanov@yandex.ru

**Смолин Сергей Григорьевич**

Красноярский государственный аграрный университет, заведующий кафедрой внутренних незаразных болезней, акушерства и физиологии сельскохозяйственных животных, доктор биологических наук, профессор, Красноярск, Россия, physiology\_smolin@mail.ru

**Наталья Григорьевна Внукова**

Институт физики им. Л.В. Киренского СО РАН, научный сотрудник лаборатории аналитических методов исследования вещества, кандидат технических наук, Красноярск, Россия, aa-mashanov@yandex.ru

**Александр Александрович Машанов**

Сибирский федеральный университет, Институт педагогики, психологии и социологии, доцент кафедры современных образовательных технологий, кандидат медицинских наук, доцент, Красноярск, Россия, nat3701@mail.ru

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГИДРОКСИЛИРОВАННОГО ФУЛЛЕРЕНА $C_{60}(OH)_{20-24}$ В СОВЕРШЕНСТВОВАНИИ РЕЦЕПТУРЫ И ТЕХНОЛОГИИ БИОЙГУРТА

*В работе представлены усовершенствованные рецептуры и технологии биойгурта с использованием гидрокселированного (водорастворимого) фуллерена  $C_{60}(OH)_{20-24}$ . Составлена рецептура опытных образцов биойгурта 3,2 %-й жирности с введением его в молочную смесь на этапе нормализации (0,04 и 0,08 % от массы смеси). Фуллерен производили с помощью биологического синтеза в Институте физики им. Л.В. Киренского СО РАН в лаборатории аналитических методов исследования вещества. Для получения водорастворимых фуллеренов в установке килогерцового диапазона частот при атмосферном давлении была синтезирована фуллеренсодержащая сажа. Синтез гидрокселированного (растворимого) фуллерена выполнялся с использованием азотной кислоты с последующим гидролизом полинитроинтермедиатов водой. Молоко – сырье для производства биойгурта использовали с зоофермы Института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины Красноярского ГАУ. Качественные показатели молока коровьего сырого и готового продукта определяли стандартизованными методами, действующими на территории РФ. Использование гидрокселированного фуллерена в рецептуре биойгурта позволяет сократить процесс сквашивания на 0,5–1,5 ч, улучшить процесс ферментации и увеличить количество молочнокислых микроорганизмов в готовом продукте. По самому весовому показателю вкуса и аромата опытные образцы не отличались от контрольного и были типичны для качественного готового продукта. Введение 0,08 % (II опытный образец) водорастворимого фуллерена в молочную смесь способствовало при сквашивании незначительному выделению сыворотки. Появление незначительной крупинчатости в опытных образцах готового продукта можно предотвратить его подготовкой (выдержкой фуллерена в обезжиренном мо-*

локе в течение 2–4 ч и последующей гомогенизацией). Это распределит вводимое вещество в готовом продукте более однородно. Вносить фуллерен рекомендуется на этапе пастеризации для соблюдения санитарно-гигиенических условий производства.

**Ключевые слова:** нормализованная смесь, биоюгурт, термостатный способ производства, гидроксिलированный (растворимый) фуллерен  $C_{60}(OH)_{20-24}$ , органолептическая оценка, количество молочнокислых микроорганизмов.

**Alexander I. Mashanov**

Russian Academy of Natural Sciences, Academician, Doctor of Biological Sciences, Professor, Krasnoyarsk, Russia, fppp@kgau.ru

**Ekaterina G. Fedorova**

Krasnoyarsk State Agrarian University, Associate Professor at the Department of Animal Science and Technology of Processing Livestock Products, Candidate of Agricultural Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk, Russia, fiodorova78@mail.ru

**Grigory N. Churilov**

Institute of Physics named after L.V. Kirenskii SB RAS, Head of the Laboratory for Analytical Methods of Matter Research, Doctor of Technical Sciences, Professor, Krasnoyarsk, Russia, aa-mashanov@yandex.ru

**Sergey G. Smolin**

Krasnoyarsk State Agrarian University, Head of the Department of Internal Non-communicable Diseases, Obstetrics and Physiology of Farm Animals, Doctor of Biological Sciences, Professor, Krasnoyarsk, Russia, physiology\_smolin@mail.ru

**Natalia G. Vnukova**

Institute of Physics named after L.V. Kirenskiy SB RAS, Researcher, Laboratory of Analytical Methods for the Study of Matter, Candidate of Technical Sciences, Krasnoyarsk, Russia, aa-mashanov@yandex.ru

**Alexander A. Mashanov**

Siberian Federal University, Institute of Pedagogy, Psychology and Sociology, Associate Professor at the Department of Modern Educational Technologies, Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Krasnoyarsk, Russia, nat3701@mail.ru

**USING HYDROXYLATED FULLERENE  $C_{60}(OH)_{20-24}$   
TO IMPROVE BIO-YOGURT FORMULATION AND TECHNOLOGY**

*The paper presents improved formulations and technologies of bioyogurt using hydroxylated (water-soluble) fullerene  $C_{60}(OH)_{20-24}$ . Compiled formulation of prototypes of bioyoghurt 3.2 % fat content with its introduction into the milk mixture at the stage of normalization (0.04 and 0.08 % by weight of the mixture). Fullerene was produced using biological synthesis at the L.V. Kirenskiy Institute of Physics SB RAS in the Laboratory of analytical methods for the study of matter. To obtain water-soluble fullerenes, fullerene-containing soot was synthesized in an installation of the kilohertz frequency range at atmospheric pressure. The synthesis of hydroxylated (soluble) fullerene was carried out using nitric acid followed by hydrolysis of polynitrointermediates with water. Milk – raw material for the production of bioyogurt was used from the zoological farm of the Institute of Applied Biotechnology and Veterinary Medicine of the Krasnoyarsk State Agrarian University. The quality indicators of raw cow milk and finished product were determined by standardized methods operating in the territory of the Russian Federation. The use of hydroxylated fullerene in the bioyogurt formulation makes it possible to reduce the fermentation process by 0.5–1.5 hours, improve the fermentation process and increase the number of lactic acid microorganisms in the finished product. According to the most significant indicator of taste and aroma, the experimental samples did not differ from the control and were typical for a high-quality finished product. The introduction of 0.08 % (II prototype) of water-soluble fullerene into the milk mixture promoted a slight release of whey during fermentation. The appearance of insignificant grains in the test samples of the finished product can be prevented by preparation (holding the fullerene in skim milk for 2–4 hours and subsequent homogenization).*

*This will distribute the introduced substance in the finished product more evenly. It is recommended to introduce fullerene at the pasteurization stage in order to comply with the sanitary and hygienic conditions of production.*

**Keywords:** *normalized mixture, bio-yogurt, thermostatic production method, hydroxylated (soluble) fullerene C<sub>60</sub>(OH)<sub>20-24</sub>, organoleptic evaluation, number of lactic acid microorganisms.*

**Введение.** На протяжении последних трех лет в Красноярском крае наблюдается рост производства цельномолочной продукции, в том числе йогурта (биойогурта). В 2019 г. стали производить на 5 % больше йогурта по сравнению с 2017 г., следовательно, спрос на этот продукт возрастает [1].

Бийогурт – кисломолочный продукт с повышенным содержанием сухих обезжиренных веществ молока, произведенный с использованием смеси заквасочных микроорганизмов – термофильных молочнокислых стрептококков и болгарской молочнокислой палочки, концентрация которых должна составлять не менее чем 10<sup>7</sup> КОЕ в 1 г продукта, с добавлением бифидобактерий или молочнокислой ацидофильной палочки или других пробиотических микроорганизмов, концентрация которых должна составлять не менее 10<sup>6</sup> КОЕ в 1 г продукта, или/и пребиотиков, с добавлением или без добавления различных немолочных компонентов [2].

Из специальных продуктов для здорового питания бийогурт превратился в популярную пищу [3].

Особый интерес представляет для исследований использование новых веществ фуллеренов, которые перспективны для использования в пищевой промышленности. Исследователи Сколтеха и Института проблем химической физики РАН вместе с учеными из Католического университета Левена нашли способ создавать растворимые в воде (гидроксилированные) соединения фуллеренов. Фуллерены представляют собой одну из аллотропных модификаций углерода: сферические молекулы обычно из 60 или 70 атомов. Соединения на основе фуллеренов считаются перспективной основой для создания новых лекарств, продуктов питания [4]. Так, анализ литературных источников показал, фуллерены имеют способность проявлять свойства антиоксиданта или окислителя. В качестве антиоксидантов они превосходят действие всех известных антиоксидантов в 100–1000 раз. Были проведены опыты на крысах, которых кормили фуллеренами в оливковом масле. При этом крысы жили вдвое дольше

обычных и к тому же демонстрировали повышенную устойчивость к действию токсических факторов [5]. Ряд российских авторов исследовали влияние фуллерена C-60 на технологический процесс и качество ржаного хлеба [6].

Исследований использования водорастворимого фуллерена в рецептурах и технологиях пищевых продуктов проводится недостаточно, поэтому данное направление является перспективным.

**Цель исследований.** Изучить влияние гидроксилированного (водорастворимого) фуллерена C<sub>60</sub>(OH)<sub>20-24</sub> на процесс сквашивания (ферментации) молочной смеси в технологии бийогурта и оценить качество готового продукта.

**Задачи исследований:** совершенствовать технологию бийогурта с использованием гидроксилированного (водорастворимого) фуллерена C<sub>60</sub>(OH)<sub>20-24</sub>, определить качественные показатели готового продукта.

**Материал и методы исследований.** Молоко коровье сырое для производства бийогурта отбирали и подготавливали к анализу на зооферме Института прикладной биотехнологии и ветеринарной медицины Красноярского ГАУ по ГОСТ 13928-84. В молоке сыром определяли массовую долю жира по ГОСТ 5867-90, белка – ГОСТ 25179-2014, сухого обезжиренного молочного остатка – ГОСТ Р 54761-2011, титруемую кислотность – ГОСТ Р 54669-2011, плотность – ГОСТ Р 54758-2011 [7].

Отбор проб готового продукта проводили по ГОСТ 26809.1-2014, органолептические показатели – по 20-балльной шкале, утвержденной Американской Ассоциацией по молочным продуктам, титруемую кислотность – ГОСТ 31976-2012, количество молочнокислых микроорганизмов – ГОСТ 10444.11-2013, гидроксилированный (водорастворимый) фуллерен C<sub>60</sub>(OH)<sub>20-24</sub> получали методом химического синтеза.

**Результаты исследований и их обсуждение.** На первом этапе при производстве бийогурта с внесением в рецептуру гидроксилированного фуллерена провели оценку качества молока коровьего сырого (табл.1).

## Физико-химические показатели молока коровьего сырого

Показатель	ТР ТС 033/2013	ГОСТ 31449-2013	ГОСТ Р 52054-2003	Исследуемый образец
Массовая доля белка, %, не менее	2,8	2,8	2,8	2,8
Массовая доля жира, %, не менее	2,8	2,8	–	3,6
Массовая доля сухих обезжиренных веществ молока (СОМО), %, не менее	8,2	8,2	–	8,2
Кислотность, °Т	16-21	16-21	16-21	17
Плотность, кг/м <sup>3</sup> , не менее	1027	1027	1027-1028	1027,5

Как видно из таблицы 1, качество молока сырого соответствовало требованиям, установленным нормативными правовыми актами, действующими на территории РФ. В биойогурте

массовая доля белка должна составлять не менее 3,2 %, СОМО – не менее 9,5 % [2]. В связи с этим была составлена рецептура молочной смеси опытных образцов биойогурта (табл. 2).

Таблица 2

## Рецептура при производстве йогурта 3,2%-й жирности, кг на 100 кг продукта без учета потерь

Сырье	Образец		
	Контрольный	I опытный	II опытный
Молоко цельное 3,6 %-й жирности	90,5	90,5	90,5
Молоко обезжиренное сухое (93 % сухих веществ)	4,5	4,5	4,5
Молоко обезжиренное 0,05 %-й жирности	5,0	5,0	5,0
Порошок гидроксилированного (водорастворимого) фуллерена C <sub>60</sub> (ОН) <sub>20-24</sub>	–	0,00010	0,00019
Итого	100	100	100

В лабораторных условиях производили модельные образцы биойогурта по 250 г каждый. Закваска состояла из лиофильно высушенных штаммов — *Streptococcus thermophilus*, *Lactobacillus delbrueckii ssp. bulgaricus*, *Lactobacillus acidophilus*, *Bifidobacterium lactis*. Всего в эксперименте было три образца биойогурта: контрольный производили по рецептуре таблицы 2, в I опытный образец на этапе нормализации вносили 0,00010 кг от массы смеси сухого порошка фуллерена C<sub>60</sub>(ОН)<sub>20-24</sub>, во II – 0,00019 кг.

Технологическая схема производства модельных образцов биойогурта представлена на рисунке 1.

Как видно из рисунка 1, последовательность операций при производстве опытных образцов биойогурта до заквашивания была традицион-

ной и включала приемку и подготовку сырья, нормализацию по массовым долям жира и СОМО (способом смешивания в соответствии с рассчитанными рецептурами таблицы 2), очистку, гомогенизацию, пастеризацию и охлаждение до температуры заквашивания. На этапе заквашивания в подготовленную нормализованную смесь вносили лиофилизированную закваску (0,5 г на 1 кг смеси). Одновременно с закваской вводили в смесь сухой порошок гидроксилированного фуллерена (0,04–0,08 % от массы смеси), тщательно перемешивали в течение 15 мин и ставили в термостат при температуре 41±2 °С для сквашивания. Окончание сквашивания (ферментации) определяли по титруемой кислотности (табл. 3).

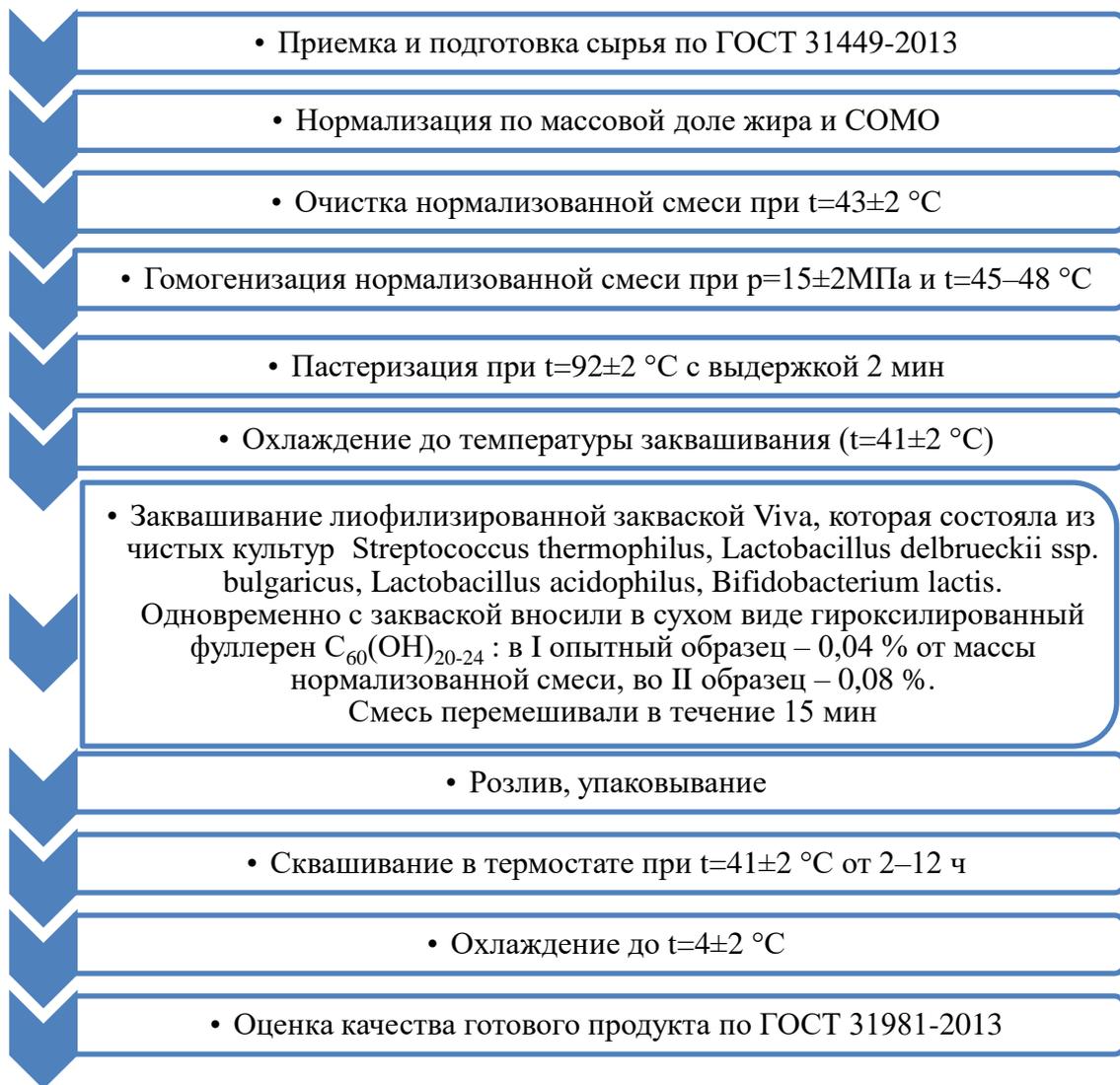


Рис. 1. Технологическая схема производства биоюгурта с гидроксигированным фуллереном

Таблица 3

**Кислотность молочного сгустка и продолжительность сквашивания опытных образцов биоюгурта**

Показатель	Образец		
	контрольный	I опытный	II опытный
Кислотность молочного сгустка, °Т	74	81	80
Продолжительность сквашивания, ч	8,0	7,0	6,5

Как видно из данных таблицы 3, процесс сквашивания прекращали при титруемой кислотности 74–80 °Т и направляли продукт на охлаждение до температуры 4±2 °С. Продолжительность сквашивания у II опытного образца была на 1,5 ч меньше по сравнению с контрольным. Это позволит экономить затраты на производство биоюгурта. Таким образом, можно

предположить, фуллерен, входящий в состав молочной смеси стимулировал рост и размножение молочнокислой закваски, используемой в эксперименте.

На заключительном этапе производства оценивали качество полученного продукта по органолептическим показателям (рис. 2).

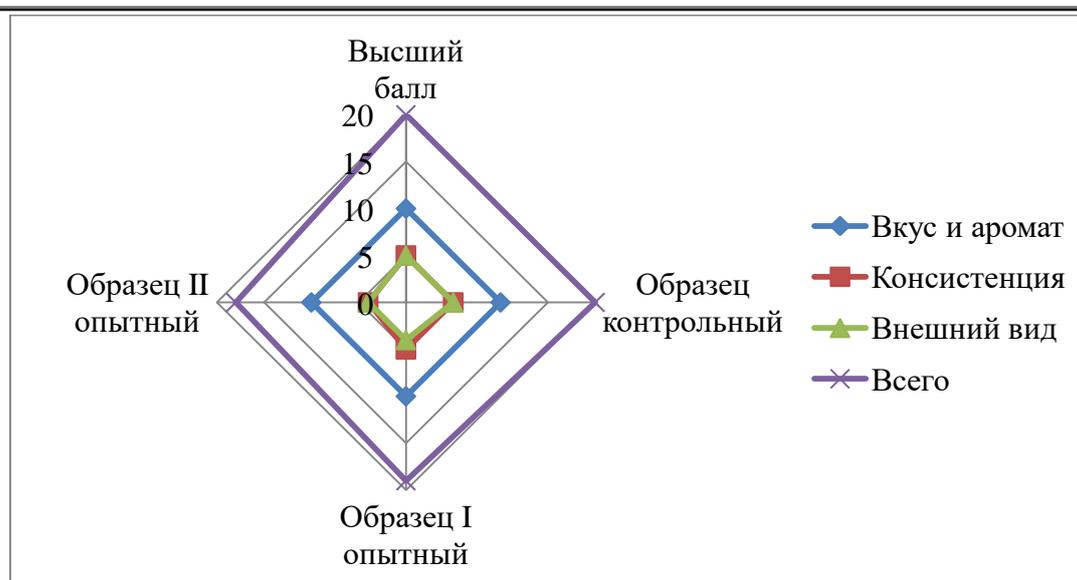


Рис. 2. Органолептическая оценка качества опытных образцов биоогурта

Как видно из рисунка 2, минимальное количество баллов было установлено у II опытного образца биоогурта (18 баллов) по сравнению с контрольным (20 баллов), это связано с незначительным выделением сыворотки на поверхности стустка (нежелательный синерезис), крупинчатостью стустка и нетипичным сероватым цветом готового продукта. При оценке I опытного образца были получены такие же органолептические характеристики, за исключением сыворотки на поверхности стустка. В опытных образцах биоогурта фуллерен набух, стал мягким, но его частички неравномерно распределялись в стустке и

придавали сероватый цвет продукту. В целом, если нивелировать крупинчатость и нетипичный оттенок опытных образцов биоогурта, по вкусу, аромату и консистенции они были идентичны контрольному образцу. Необходимо проводить дальнейшие исследования по определению этапа внесения данного вещества.

Для исследования количества молочнокислых микроорганизмов в готовом продукте опытные образцы были направлены в испытательный центр ФБУ «Красноярский ЦСМ». Результаты протоколов испытаний представлены в таблице 4.

Таблица 4

**Количество молочнокислых микроорганизмов в биоогурте в конце срока хранения, КОЕ/г**

Показатель	Норма по ТР ТС 033/2013	ГОСТ 31981-2013	Образец		
			Контрольный	I опытный	III опытный
Кол-во молочнокислых микроорганизмов	Не менее $1 \cdot 10^6$	Не менее $1 \cdot 10^6$	$3,0 \cdot 10^6$	$4,0 \cdot 10^7$	$5,0 \cdot 10^7$

Из таблицы 3 видно, количество молочнокислых микроорганизмов в конце срока хранения (5-е сутки) во всех опытных образцах возросло по сравнению с контрольным: в I опытном образце – в 13,3 раза (при внесении 0,04 % фуллерена от массы смеси), во II – в 16,6 раза (при внесении 0,08 % фуллерена). Значительный рост молочнокислых микроорганизмов в опытных образцах по сравнению с контрольным можно объяснить использованием в рецептуре

биоогурта гидроксидированного фуллерена (0,04–0,08 % от массы смеси).

**Выводы.** На основании проведенных исследований можно заключить, что при производстве биоогурта использование в рецептуре гидроксидированного фуллерена  $C_{60}(OH)_{20-24}$  (0,08 % от массы смеси) позволяет провести процесс сквашивания за 6,5 ч, что на 1,5 ч меньше по сравнению с контрольным образцом, способствует качественному повышению количества мо-

лочнокислых микроорганизмов в 16,6 раза, при незначительном ухудшении цвета на 2 балла (нетипичный для молочных продуктов) и крупчатости сгустка.

Краснояр. гос. аграр. ун-т. Красноярск, 2017. 83 с.

#### Список источников

1. Красноярский краевой статистический ежегодник 2020. URL: <https://krasstat.gks.ru/folder/30015> (дата обращения: 21.09.2021).
2. ГОСТ 31981-2013. Йогурты. Общие технические. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107778> (дата обращения: 21.09.2021).
3. Тамим А.И., Робинсон Р.К. Йогурт и аналогичные кисломолочные продукты: научные основы и технологии / пер. с англ. под науч. ред. Л.А. Забодаловой. СПб.: Профессия, 2003. 664 с.
4. Создан новый метод получения растворимых фуллеренов. URL: <https://indicator.ru/chemistry-and-materials/sozdan-novyi-metod-polucheniya-rastvorimyykh-fullerenov-13-03-2020.htm> (дата обращения: 22.09.2021).
5. Потехин В. Фуллерен, его производство, свойства и применение. URL: <https://втораяиндустриализация.рф/fulleren-allotropnaya-forma-ugleroda> (дата обращения: 20.09.2021).
6. Влияние водорастворимого фуллерена С-60 на качество ржаного хлеба / А.И. Машанов, Г.Н. Чурилов, Н.В. Присухина [и др.] // Вестник КрасГАУ. 2021. № 4. С. 148–153.
7. Федорова Е.Г. Методы исследования молока и молочных продуктов: учеб. пособие /

#### References

1. Krasnoyarskij kraevoj statisticheskij ezhegodnik 2020. URL: <https://krasstat.gks.ru/folder/30015> (data obrascheniya: 21.09.2021).
2. GOST 31981-2013. Jogurty. Obschie tehicheskie. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200107778> (data obrascheniya: 21.09.2021).
3. Tamim A.J., Robinson R.K. Jogurt i analogichnye kislomolochnye produkty: nauchnye osnovy i tehnologii / per. s angl. pod nauch. red. L.A. Zabodalovoj. SPb.: Professiya, 2003. 664 s.
4. Sozdan novyj metod polucheniya rastvorimyykh fullerenov. URL: <https://indicator.ru/chemistry-and-materials/sozdan-novyi-metod-polucheniya-rastvorimyykh-fullerenov-13-03-2020.htm> (data obrascheniya: 22.09.2021).
5. Potehin V. Fulleren, ego proizvodstvo, svoystva i primenenie. URL: <https://vtorayaindustrializaciya.rf/fulleren-allotropnaya-forma-ugleroda> (data obrascheniya: 20.09.2021).
6. Vliyanie vodorastvorimogo fullerena S-60 na kachestvo rzhanogo хлеба / A.I. Mashanov, G.N. Churilov, N.V. Prisuhina [i dr.] // Vestnik KrasGAU. 2021. № 4. S. 148–153.
7. Fedorova E.G. Metody issledovaniya moloka i molochnyh produktov: ucheb. posobie / Krasnoyar. gos. agrar. un-t. Krasnoyarsk, 2017. 83 s.

