

## Разработка биотехнологии получения фитовеществ из вторичных продуктов переработки зерна

А. В. Битюкова<sup>1</sup>, А. А. Амелкина<sup>1</sup>, А. В. Евтеев<sup>1</sup>, А. В. Банникова\*<sup>1</sup>

ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова»,  
410012, Россия, г. Саратов, Театральная площадь, 1

Дата поступления в редакцию: 09.01.2019  
Дата принятия в печать: 21.03.2019

\*e-mail: [annbannikova@gmail.com](mailto:annbannikova@gmail.com)



© А. В. Битюкова, А. А. Амелкина, А. В. Евтеев, А. В. Банникова, 2019

**Аннотация.** Предложен новый биотехнологический подход комплексной переработки вторичных продуктов зерновых с целью получения новых продуктов питания и функциональных ингредиентов, включающие углеводно-белковый концентрат, концентраты пищевых волокон, биологически активные вещества (БАВ), полифенолы и ксилоолигосахариды (КОС). Разработанная комплексная биотехнология биотрансформации овсяных отрубей включала использование химического, гидротермического и ферментативного методов экстракции, позволяющих получить функциональные ингредиенты с антиоксидантной и пребиотической активностью. Полученные в результате данного исследования, углеводно-белковые концентраты содержат значительное количество белка, продуктов гидролиза полисахаридов (глюкоза, мальтодекстрины) и свободных полифенолов. Были получены концентраты БАВ, содержащие КОС и фенольные соединения. Данные концентраты, помимо полифенолов, содержание которых доходило до 67 % от общего их количества в овсяных отрубях, также включают: белок до 6,9 %, углеводы до 80,7 %, в том числе КОС, обладающие пребиотическими свойствами – от 35,3 % до 71,5 %, и золу 11,3 %. Экспериментальные данные свидетельствуют о высокой антиоксидантной активности полученных экстрактов полифенолов. Различия в антиоксидантной активности экстрактов полифенолов при различных методах экстракции связаны с полнотой извлечения и стабильностью извлекаемых фенольных соединений. Установлено, что ультразвуковая обработка улучшает кинетику экстракции и выход полифенолов на начальной стадии при увеличении антиоксидантной активности. Результаты исследования по изменению показателя антиоксидантной активности концентрата полифенолов в процессе хранения не выявили изменений в течение 8 месяцев при температуре  $20 \pm 1$  °C и относительной влажности воздуха  $70 \pm 5$  %. Исследование динамики роста штаммов микроорганизмов *Lactobacillus acidophilus* и *Bifidobacterium bifidum* на средах, содержащих концентрат КОС, подтвердило наличие пребиотических свойств и их избирательность. Отмечено, что накопление биомассы пребиотических культур происходит быстрее при использовании питательных сред с применением концентрата КОС и лактулозы по сравнению с молоком. Таким образом, подтверждена целесообразность разработки биотехнологии трансформации овсяных отрубей в функциональные ингредиенты, что в дальнейшем позволит применять их в новых технологических решениях продуктов и ингредиентов с бифидогенными свойствами.

**Ключевые слова.** Фитовещества, пребиотики, ксилоолигосахариды, вторичные продукты переработки зерна

**Для цитирования:** Разработка биотехнологии получения фитовеществ из вторичных продуктов переработки зерна / А. В. Битюкова, А. А. Амелкина, А. В. Евтеев [и др.] // Техника и технология пищевых производств. – 2019. – Т. 49, № 1. – С. 5–13. DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-5-13>.

Original article

Available online at <http://fptt.ru/>

## New Biotechnology for the Production of Phytochemicals from Secondary Products of Grain Processing

A.V. Bityukova<sup>1</sup>, A.A. Amelkina<sup>1</sup>, A.V. Evteev<sup>1</sup>, A.V. Bannikova\*<sup>1</sup>

N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University,  
1, Teatralnaya Square, Saratov, 410012, Russia

Received: January 01, 2019  
Accepted: March 21, 2019

\*e-mail: [annbannikova@gmail.com](mailto:annbannikova@gmail.com)



© A.V. Bityukova, A.A. Amelkina, A.V. Evteev, A.V. Bannikova, 2019

**Abstract.** The present research features a new biotechnological approach for complex processing of secondary cereal products. The approach makes it possible to obtain new functional foods and ingredients, such as carbohydrate-protein concentrate, dietary fiber concentrates, biologically active substances, polyphenols, and xylo-oligosaccharides. The complex biotechnology involves oat

bran biotransformation and includes chemical, hydrothermal, and enzymatic methods of extraction, which allows manufacturers to obtain functional ingredients with antioxidant and prebiotic properties. The concentrates obtained as a result of the study contained a significant amount of protein, hydrolysis products of polysaccharides (glucose, maltodextrins), and free polyphenols. The experiment produced concentrates of biologically active substances containing xylo-oligosaccharides and phenolic compounds. The content of polyphenols was 67% of the total amount in oat bran, protein – 6.9%, carbohydrates – 80.7% xylo-oligosaccharides which prebiotic properties 35.3%–71.5%, and ash 11.3%. The obtained data indicated a high antioxidant activity of polyphenol extracts. The differences in antioxidant activity between various methods of extraction are associated primarily with the completeness of extraction and the stability of the extracted phenolic compounds. Ultrasonic treatment proved beneficial for the extraction kinetics and the polyphenol yield at the initial stage, with an increase in antioxidant properties. As for the antioxidant activity of polyphenol concentrate during storage, the research did not reveal changes for 8 months at a temperature of  $20 \pm 1^\circ\text{C}$  and a relative humidity of  $70 \pm 5\%$ . The study of the growth dynamics of *Lactobacillus acidophilus* and *Bifidobacterium bifidum* in media containing xylo-oligosaccharide concentrate confirmed the presence of prebiotic properties and their selectivity. The accumulation of biomass of prebiotic cultures occurred faster with the use of nutrient media with the use of xylo-oligosaccharide concentrate and lactulose, as compared with milk. Thus, the research confirmed the feasibility of biotechnology for transforming oat bran into functional ingredients, which makes it possible to use them in new technological solutions for products with bifidogenic properties.

**Keywords.** Phytosubstance, prebiotics, xylooligosaccharides, secondary products of grain processing

**For citation:** Bityukova AV, Amelkina AA, Evteev AV, Bannikova AV. New Biotechnology for the Production of Phytocompounds from Secondary Products of Grain Processing. Food Processing: Techniques and Technology. 2019;49(1):5–13. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.21603/2074-9414-2019-1-5-13>.

### Введение

Современная концепция здорового питания предполагает повышение биологической ценности пищевых продуктов путем введения функциональных ингредиентов (био корректоров), являющихся источниками важных биологически активных веществ (БАВ). Сбалансированные функциональные продукты питания предназначены не только для обеспечения организма человека необходимыми питательными веществами и энергией, но и для поддержания здоровья за счет снижения риска возникновения заболеваний. Одним из приоритетов мировой политики в области здорового образа жизни является необходимость устранения дефицита микро- и макроэлементов в рационе человека [12–15].

Вторичные продукты переработки зерна богаты источниками физиологически функциональных ингредиентов, биотрансформация которых позволит получить ряд БАВ с различной химической природой и широким спектром физиологических эффектов. Суммарное содержание полифенолов достаточно полно установлено в овощах, фруктах, специях, напитках. Согласно литературным данным лидерами среди источников полифенолов являются: специи – гвоздика, мята, бадьян, содержащие от 15188 до 5460 мг/100 г полифенолов, и ягоды – арония черноплодная, бузина черная, голубика, черная смородина, содержащие от 1756 до 758 мг/100 г полифенолов [1, 6]. Однако последние исследования показали, что общее содержание фитовеществ и антиоксидантная активность цельного зерна недооценена в литературе. Большинство фенольных веществ содержится в связанном состоянии в зерновых: 85 % в зерне кукурузы, 76 % в зерне пшеницы и 75 % в овсе. Согласно литературным данным альтернативным сырьевым источником для получения полифенолов могут служить цельнозерновые злаки, общее содержание полифенолов в которых находится наравне с традиционными сырьевыми источниками

фенольных антиоксидантов – ягодами. Так количество полифенолов в пшенице может достигать до 1459 мг/100 г, в рисе – до 313 мг/100 г, во ржи – до 255 мг/100 г [2, 3, 5].

Фитовещества зерновых включают антиоксиданты, которые сконцентрированы во внешней оболочке зёрен злаковых культур, где их содержание достигает 80 % от общего количества в зерне. Это обуславливает рост объёмов производства для населения хлебных продуктов из цельнозерновой муки или с добавлением отрубей, а также интенсивное использование нативных антиоксидантов в других целях [10, 11, 20]. Зерновые отруби также содержат ксилановые полисахариды, которые могут быть преобразованы в ксилоолигосахариды (КОС). Многочисленные исследования препаратов КОС показали многообразие биологических свойств, проявляемых этой группой углеводов. Они антиканцерогенны, подавляют активность патогенных и энтерогнистных кишечных бактерий, антигиперлипидемичны, проявляют митогенную, антиоксидантную и пребиотическую активность, а также выступают в роли противовоспалительных и антиаллергических агентов. Однако важнейшим свойством КОС является их пребиотическая активность – избирательное стимулирование роста пробиотической микрофлоры кишечника человека [7–9].

Проблема комплексной переработки вторичных зерновых ресурсов является актуальной и требует научно обоснованных технологических решений. Особенно в свете того, что Россия – крупнейший импортер зерна. Это обуславливает насущную необходимость его глубокой переработки и созданию линейки качественных и безопасных продуктов и ингредиентов функциональной направленности. Настоящее исследование связано с разработкой технологии комплексной переработки вторичного зернового сырья путем биотрансформации зернового полимерного комплекса клеточных стенок отрубей

гидротермическим, химическим и ферментативными методами. Таким образом, цель исследования – разработка биотехнологии функциональных ингредиентов из вторичных зерновых продуктов для расширения ассортимента функциональных продуктов питания.

#### Объекты и методы исследования

Для получения экстрактов предварительно измельченные отруби заливали дистиллированной водой в соотношении 1/10 и гомогенизировали в течение 30 мин с помощью погружного гомогенизатора ULAB US-4102 при 6000 об/мин. При гидротермическом методе экстракции отруби подвергали ультразвуковому воздействию в лабораторной ультразвуковой ванне «Сапфир 2,5» (35 кГц, 30 мин, температура 50 °С). Полученную суспензию термостатировали при 55 °С в течение 3,5 ч. Далее, центрифугировали (4000 об/мин в течение 20 минут) на лабораторной центрифуге UC-1536E и отделяли супернатант. После промывки дистиллированной водой и центрифугирования при тех же условиях осадок повторно подвергали гидролизу: гидромодуль в ацетатном буфере (рН 4,0) как 1:10; гомогенизация в течение 30 мин УЗВ (35 кГц, 60 мин, температура 60 °С); термостатирование полученной суспензии при 55 °С в течение 3,5 ч; промывка и отделение супернатанта центрифугированием; экстракция остаточных количеств полифенолов из осадка, отношение осадка к этиловому спирту как 1:1; гомогенизация в течение 30 мин при 6000 об/мин, и УЗВ (35 кГц, 30 мин, температура 30 °С); объединение и концентрирование супернатантов второй и третьей стадий экстракции на испарителе ротационном ИР-1М3 при температуре  $60 \pm 5$  °С в разряженной среде до конечной влажности  $30 \pm 2$  %. Таким образом, был получен концентрат биологически активных веществ (БАВ).

При ферментативном методе экстракции измельченные отруби обрабатывали ферментными препаратами «Амилोलюкс А» – а-амилазой (0,01 % к массе отрубей) и «Глюколюкс А» – глюкоамилазой (0,006 % к массе отрубей) в ацетатном буферном растворе (рН = 5) в соотношении 1:100 и гомогенизировали в течение 30 мин. Полученную суспензию подвергали термостатированию при 55 °С в течение 33,0 ч. Через 2,5 ч после начала термостатирования вносили ферментный препарат протеазы («Протосубтилин ГЗ А», 0,005 % к массе отрубей). По окончании процесса гидролиза полученную суспензию нагревали до  $100 \pm 2$  °С в течение 10 мин для инактивации ферментов. Жидкую фазу отделяли центрифугированием при 4000 об/мин в течение 20 мин. Осадок промывали три раза дистиллированной водой и снова подвергали центрифугированию. Твёрдый осадок подвергали ферментативному гидролизу при гидромодуле 1:10 в ацетатном буфере (рН = 4)  $\alpha$ -1,4-глюкогидролазой с амилолитической активностью 4000 ед./г (ферментные препараты «Целлолюкс А», «Амилोलюкс А», «Глюкаварин Г18Х»), обладающей ферулоэсте-

разной, гемицеллюлазной, ксилазной и целюлазной активностями, в течение 4,5 часов при 55 °С. По окончании экстракции ферменты инактивировали кипячением в течение 10 мин с последующим разделением фракций центрифугированием (4000 об/мин, 20 мин). Полученный таким образом супернатант концентрировали на ротационном испарителе при температуре  $60 \pm 5$  °С до конечной влажности  $30 \pm 2$  %.

В отличие от предыдущих методов экстракции при химическом методе предварительно измельченные отруби подвергали гидратированию в 0,2М водном растворе соляной кислоты в соотношении 1:10 и последующей гомогенизации в течение 30 мин. Полученную суспензию термостатировали дважды в течение 60 мин при 55 °С. По окончании термостатирования отделяли супернатант центрифугированием (4000 об/мин в течение 20 минут). Осадок промывали дистиллированной водой и центрифугировали при тех же условиях. К нерастворимому осадку добавляли дистиллированную воду (1:10) и доводили до рН 4,0 с помощью ледяной уксусной кислоты. Далее, вносили 22 г химически чистого хлорида натрия (NaCl) и термостатировали в течение 8 часов при 55 °С. После завершения данного процесса гидролизат центрифугировали (4000 об/мин в течение 20 минут) и отделяли супернатант. Осадок промывали трижды дистиллированной водой и отделяли надосадочный слой центрифугированием. Полученные таким образом супернатанты объединяли и концентрировали до конечной влажности  $30 \pm 2$  %.

Для получения концентрата полифенолов и КОС проводили спиртовую экстракцию полученных концентратов. Соотношение сиропа к этанолу (98 %) – 1:3. Вследствие воздействия этанола на сироп происходит разделение фракций, растворение в водном растворе спирта фенольных соединений и осаждение КОС. Центрифугирование при 5000 об/мин в течение 25 минут позволяет в полной мере разделить фракции двух независимых сред. Надосадочный спиртовой слой жидкости, состоящий из антиоксидантов на основе фенольных соединений, концентрировали до конечной влажности 30 % и затем лиофильно высушивали до конечной влажности  $8 \pm 1$  %.

Исследование пребиотических свойств ксилоолигосахаридов, полученных путем биомодификации овсяных отрубей, проводили согласно ГОСТ 10444.11-89 [17]. Для установления пребиотических свойств были использованы штаммы микроорганизмов *Lactobacillus acidophilus* (*L. acidophilus*) и *Bifidobacterium bifidum* (*B. bifidum*). Выращивание пребиотических культур проводили на стандартных средах с добавлением исследуемых пребиотиков (ксилоолигосахаридов и смесь БАВ, состоящую из ксилоолигосахаридов и полифенолов) из расчета 2 % массовой доли в культуральной жидкости в течение 72 часов. В качестве контроля использовали стандартную питательную среду

с добавлением лактулозы и обезжиренного молока. Массовая доля вносимой стартерной культуры составила 2 %. Определение количество клеток микроорганизма *L. acidophilus* проводили согласно ГОСТ 10444.11-2013 [16]. Метод подсчета клеток микроорганизма *B. bifidum* осуществляли согласно МУК 4.2.999-00 [18].

### Результаты исследований и их обсуждение

В настоящее время перспективным направлением в совершенствовании технологий переработки вторичных продуктов растительного сырья, включая зерновые, является создание новых биотехнологических подходов, основанных на использовании ферментных препаратов и усовершенствованной гидротермической обработки, в частности ультразвукового воздействия (УЗВ), позволяющего интенсифицировать процесс экстракции. Для каждой конкретной биотехнологии необходимо научно обосновать выбор ферментных препаратов или технологические параметры УЗВ с учётом специфичности к компонентам сырья, оптимальных параметров их действия, а также схемы последовательности воздействия на биополимерный комплекс сырья с целью получения различных промежуточных продуктов, которые могут иметь самостоятельное физиологическое действие на организм человека.

В связи с вышеперечисленным на первом этапе исследований изучали был изучен химический состав овсяных отрубей, как наиболее важных вторичных продуктов переработки зерна. Отруби овса представляют собой материал клеточных стенок, содержащий ценные макронутриенты (белок, крахмал и пищевые волокна) и комплекс фитовеществ с антиоксидантными свойствами (фенольные кислоты, флавоноиды, полифенолы, кумарины и т. д.). Благодаря этому отруби имеют огромный потенциал для применения в составе продуктов питания. Однако сегодня незначительная часть производимых отрубей в РФ потребляется в составе пищевых продуктов. Путём измельчения и дополнительной гидротермической обработки, регулированных биомодификаций растворимости полимеров матрикса отрубей диапазон использования их может быть значительно расширен за счет получения новых функциональных пищевых ингредиентов, оказывающих физиологическое воздействие на организм человека и животных. Технологические показатели исследуемых отрубей были определены в соответ-

ствии с нормативно-техническими документами. В исследуемых овсяных отрубях, отобранных для эксперимента, содержание пестицидов, токсичных элементов, микотоксинов, зараженность и загрязнённость вредителями хлебных запасов и содержание ГМО соответствовало требованиям ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [19].

Нами разработаны три метода трансформации многокомпонентного субстрата отрубей для получения продуктов с заданными функциональными свойствами, улучшенными показателями качества при максимальном их выходе (рис. 1). Методология направленного биокатализа предусматривает более полное использование сырья (отрубей), увеличение выхода целевых продуктов (полифенолов, гидролизатов гемицеллюлоз, углеводно-белковых концентратов, пищевых волокон, экстрактов пребиотической и антиоксидантной направленности) с заданными функциональными свойствами, а также решение экологических проблем за счет замены кислотного и щелочного гидролиза.

Физико-химический состав углеводно-белковых концентратов, полученных после первого этапа гидролиза, состоящих из продуктов гидролиза крахмала и белка, представлен в таблице 1.

Анализируя данные таблицы 1, можно сделать вывод, что влияние метода экстракции на процесс извлечения продуктов гидролиза белков и углеводов незначительно и не превышает границы абсолютной погрешности измерений при доверительной вероятности  $P = 0,95$  по соответствующим методикам испытаний. Углеводно-белковые концентраты характеризуется как продукты, содержащие значительное количество белка и продуктов гидролиза – полисахаридов (глюкоза, мальтодекстрины). Кроме этого, в углеводно-белковых концентратах содержится от 0,06 % до 0,08 % свободных полифенолов (ПФ).

В ходе исследований были получены концентраты БАВ, содержащие КОС и фенольные соединения (табл. 2). Полученные концентраты, помимо полифенолов, содержание которых доходило до 67 % от общего их количества в овсяных отрубях ( $1,5 \pm 0,2$  %), также включают: белок до 6,9 %, углеводы до 80,7 %, в том числе КОС, обладающие пребиотическими свойствами – 35,3 % до 71,5 %, и золу 11,3 %. Внешний вид концентрата полифенолов – мелкокристаллический порошок светло-желтого либо светло-коричневого цвета с ванильно-зерновым запахом. Осажденные этанолом КОС аналогич-

Таблица 1 – Физико-химический состав углеводно-белковых концентратов в абсолютно сухом веществе (в а.с.в.)

Table 1 – Physico-chemical composition of carbohydrate-protein concentrates in absolutely dry matter

Физико-химические показатели	Углеводно-белковый концентрат		
	Гидротермический метод	Химический метод	Ферментативный метод
Влажность, %	29,8	30,2	30,5
Сырой протеин в а.с.в, %	39,5	40,3	40,1
Углеводы (общие) в а.с.в,%	55,3	52,9	55,1
Зола в а.с.в, %	4,6	5,0	4,5
Полифенолы в а.с.в, %	0,06	0,07	0,07

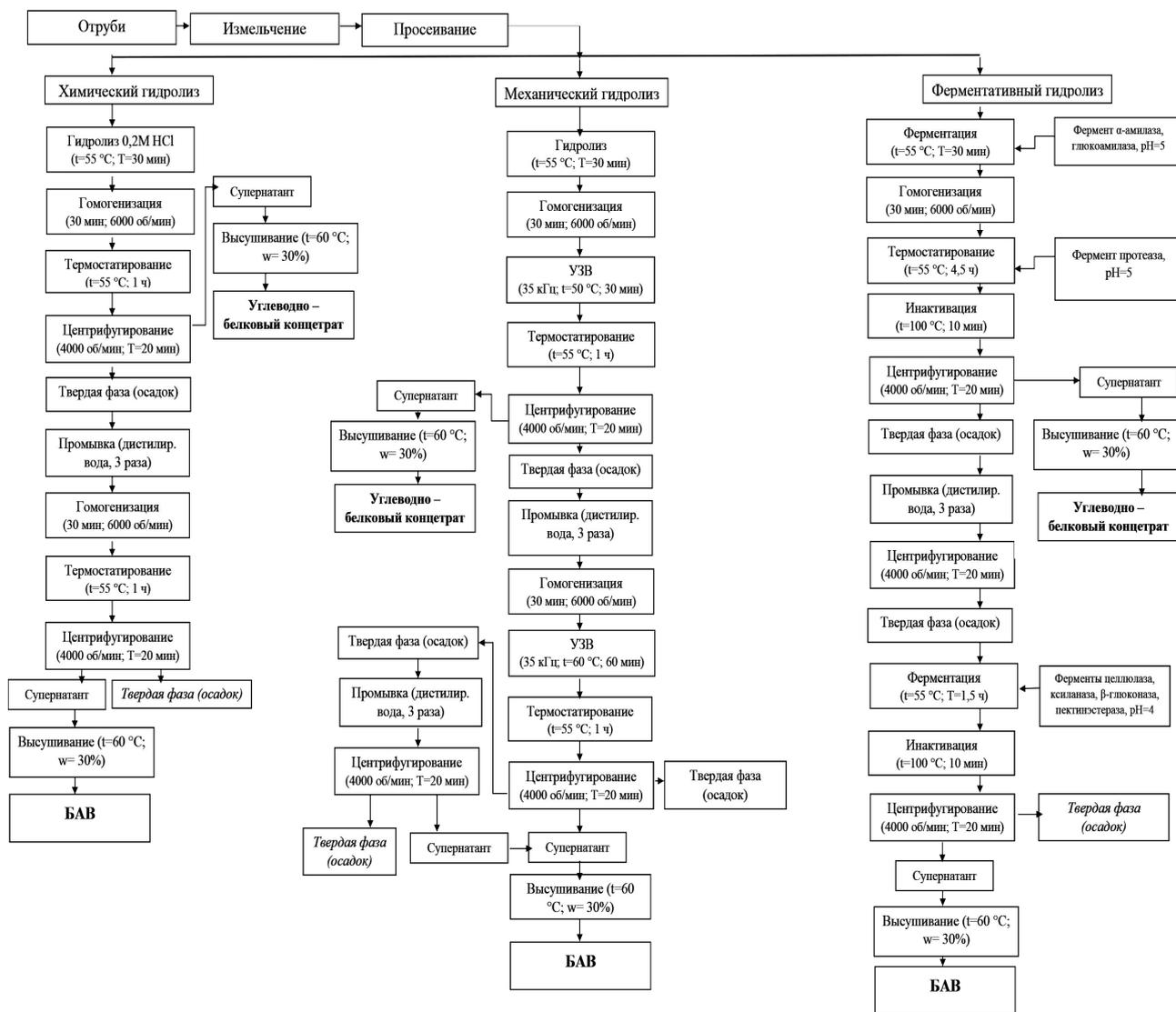


Рисунок 1 – Технологическая схема комплексной переработки зерновых с получением экстрактов пребиотической и антиоксидантной направленности

Figure 1 – Technological scheme of complex processing of grain with obtaining prebiotic and antioxidant extracts

но подвергают высушиванию в сушильном шкафу до конечной влажности  $8 \pm 1$  %. При этом получают мелко дисперсный порошок светло-коричневого цвета с незначительным зерновым запахом.

Пребиотики – неусваиваемые пищевые ингредиенты, способствующие пролиферации и адсорбции бифидо- и лактобактерий в кишечнике [4]. К ним относят лактулозу, лактосахарозу, галакто-, фрукто-, изомальтоолигосахариды, лизоцим, дрожжевые экстракты, низко-осахаренную кукурузную патоку, ячменно-солодовый экстракт, гидролизаты

казеина и сывороточных белков, муцин, пантетин, лактоферрин и другие [5, 11]. Были проведены исследования пребиотической активности полученных экстрактов с помощью ферментативного гидролиза. Для установления пребиотических свойств были использованы штаммы микроорганизмов *Lactobacillus acidophilus* и *Bifidobacterium bifidum*.

Согласно данным, представленным на рисунке 2, количество клеток *L. acidophilus* на среде с добавлением концентрата КОС составило  $2,8 \times 10^{11}$  КОЕ/см<sup>3</sup> на 3 сутки культивирования. Этот показатель на

Таблица 2 – Физико-химический состав концентратов БАВ

Table 2 – Physical and chemical composition of biologically active concentrates

Метод экстракции	Влажность, %	Протеин в а.с.в, %	Зола в а.с.в, %	Углеводы:		ПФ, в а.с.в, %
				КОС в а.с.в, %	Остаточные углеводы в а.с.в, %	
Гидротермический метод	31,2	6,7	10,9	35,3	45,3	1,0
Химический метод	30,6	6,3	10,5	60,4	22,2	0,7
Ферментативный метод	29,4	5,9	10,3	71,5	11,0	0,8

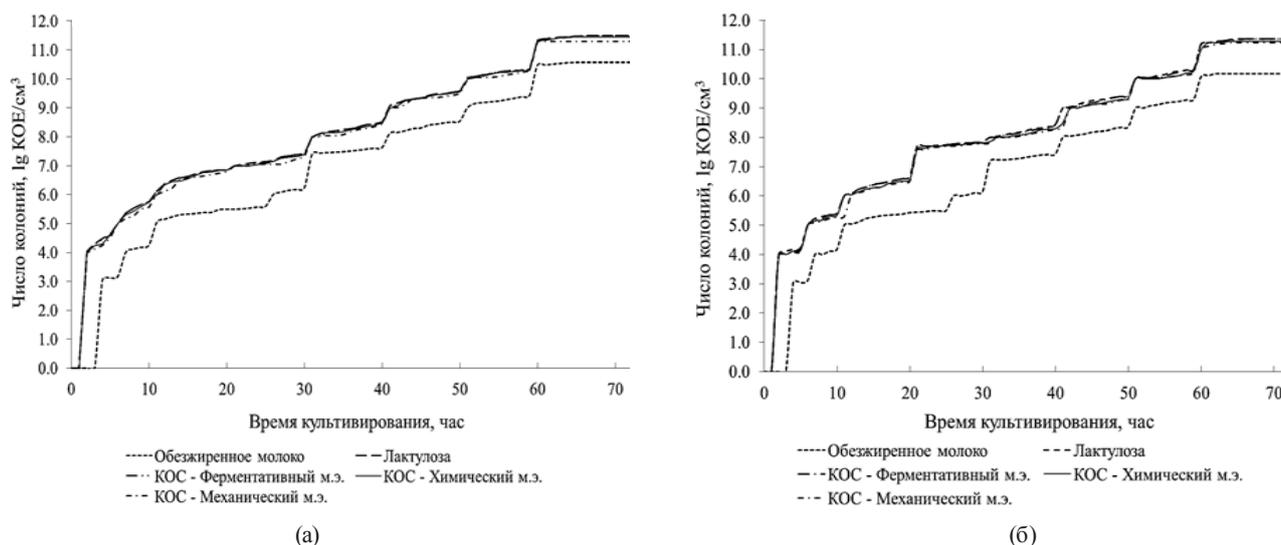


Рисунок 2 – Динамика роста микроорганизма (а) *L. acidophilus* и (б) *B. bifidum* культивировании на различных средах

Figure 2 – The dynamics of (a) *L. acidophilus* and (b) *B. bifidum* in various media

$2,4 \times 10^{11}$  КОЕ/см<sup>3</sup> больше, чем в числе колоний, выросших на обезжиренном молоке. При дальнейшем культивировании количество клеток *L. acidophilus* не увеличивалось. Число колоний *B. bifidum* на 3 сутки на среде с добавлением концентрата КОС составило  $1,9 \times 10^{11}$  КОЕ/см<sup>3</sup>, что на  $1,7 \times 10^{11}$  КОЕ/см<sup>3</sup> превышает число колоний, выросших на обезжиренном молоке. Дальнейшее культивирование не приводило к увеличению биомассы микроорганизма *B. bifidum*. Показано, что полученные экстракты различными методами проявляли пребиотическую активность, сравнимую с известным пребиотиком лактулозой.

Известно, что производные гидроксibenзойной и гидроксикоричной кислот, входящие в состав полифенольных соединений, обладают высокими антиоксидантными свойствами. Антирадикальная активность (АРА или АОА) полифенолов отрубей определяли методом АРА, основанном на реакции стабильного свободного радикала 2,2'-дифенилпикрилгидразила с подвижный атомом водорода или электроном в спиртовом растворе исследуемого вещества. Массовая доля вносимых полифенолов в реакционную среду составляла 30, 20, 10 и 5 мг/см<sup>3</sup> [4].

Данные таблицы 3 свидетельствуют о высокой антиоксидантной активности полученных полифенолов. Различия в антиоксидантной активности между разными методами экстракции связаны с полнотой

извлечения и стабильностью извлекаемых фенольных соединений. Установлено, что ультразвуковая обработка улучшает кинетику экстракции и выход полифенолов на начальной стадии. При этом потребляется меньше энергии, чем при обычной экстракции, а антиоксидантная активность полученного экстракта повышается. Результаты исследования по изменению показателя антиоксидантной активности (антирадикальной активности) концентрата полифенолов в процессе хранения не выявили ее изменений в течение 8 месяцев при температуре  $20 \pm 1$  °С и относительной влажности воздуха  $70 \pm 5$  %.

Таким образом, подтверждена целесообразность глубокой переработки вторичных зерновых продуктов с получением экстрактов пребиотической и антиоксидантной направленности. Исследования подтвердили значительный бифидогенный эффект полученных экстрактов, что открывает перспективы их использования в технологии синбиотичных продуктов питания.

### Выводы

В результате экспериментальной работы исследован потенциал вторичного зернового сырья в качестве источника получения эссенциальных компонентов, а именно полифенолов и ксилоолигосахаридов. В результате изучения влияния трех видов экстракции на процесс извлечения биологически ценных веществ из овсяных отрубей были получены углеводно-белковый концентрат, концентраты БАВ,

Таблица 3 – Антиоксидантная активность препаратов полифенолов из овсяных отрубей

Table 3 – Antioxidant activity of oat bran polyphenol preparations

Концентрация препарата ПФ, мг/см <sup>3</sup>	Антиоксидантная активность, у.е.а./ см <sup>3</sup>		
	Механический	Химический	Ферментативный
30	1052,0	965,2	1130,0
20	865,4	752,7	921,1
10	408,0	344,1	493,6
5	158,6	121,8	270,2

КОС и полифенолов. Изучение физико-химических и биологических свойств полученных ингредиентов также указало на целесообразность применяемых технологий экстракции. Углеводно-белковые концентраты характеризуются как продукты, содержащие значительное количество белка и продуктов гидролиза полисахаридов (глюкоза, мальтодекстрины). Концентраты БАВ, помимо полифенолов, содержание которых доходило до 67 % от общего их количества в овсяных отрубях, также включали: белок до 6,9 %, углеводы до 80,7 %, в том числе КОС от 35,3 % до 71,5 %, и золу 11,3 %. Подтвержден пребиотический эффект концентратов КОС по величине

стимулирования роста и развития пробиотических культур микроорганизмов. Кроме этого, доказана антиоксидантная активность концентратов полифенолов, не меняющаяся в течение 8 месяцев. В результате исследования экспериментально обоснована технология комплексной переработки зернового сырья, в частности овсяных отрубей, для получения БАВ, обладающих рядом положительных биологически активных свойств.

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Список литературы

1. Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereal breads / J. Chlopicka, P. Pasko, S. Gorinstein [et al.] // *LWT – Food Science and Technology*. – 2012. – Vol. 46, № 2. – P. 548–555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.009>.
2. Plant prebiotics and human health: Biotechnology to breed prebiotic-rich nutritious food crops / S. Dwivedia, K. Sahrawat, N. Puppala [et al.] // *Electronic Journal of Biotechnology*. – 2014. – Vol. 17, № 5. – P. 238–245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2014.07.004>.
3. Gibson, G. R. *Prebiotics: Development and Application* / G. R. Gibson, R. A. Rastall. – England : John Wiley and Sons Ltd, 2006. – 256 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470023150>.
4. Alginate-based encapsulation of extracts from beta Vulgaris cv. beet greens: Stability and controlled release under simulated gastrointestinal conditions / N. Gorbunova, A. Bannikova, A. Evteev [et al.] // *LWT*. – 2018. – Vol. 93. – P. 442–449. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.075>.
5. Synergistic and suppressive effects of dietary phenolic acids and other phytochemicals from cereal extracts on nuclear factor kappa B activity / A. S. Hole, S. Grimmer, M. R. Jensen [et al.] // *Food Chemistry*. – 2012. – Vol. 133, № 3. – P. 969–977. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.017>.
6. Kaprelyants, L. *Biotechnological approaches for the production of functional foods and supplements from cereal raw materials* / L. Kaprelyants, O. Zhurlova // *Харчова наука і технологія*. – 2014. – Vol. 27, № 2. – P. 15–19.
7. Kaprelyants, L. *Technology of wheat and rye bran biotransformation into functional ingredients* / L. Kaprelyants, O. Zhurlova // *International Food Research Journal*. – 2017. – Vol. 24, № 5. – P. 1975–1979.
8. Капрельянц, Л. В. *Биоактивные соединения и пищевые волокна в новых разработанных зерновых продуктах* / Л. В. Капрельянц, О. С. Волошенко, О. Д. Журлова // *Зерновые продукты и комбикорма*. – 2012. – Т. 47, № 3. – С. 17–21.
9. Development of gluten-free cereal bar for gluten intolerant population by using quinoa as major ingredient / R. Kaur, P. Ahluwalia, A. P. Sachdev [et al.] // *Journal of Food Science and Technology*. – 2018. – Vol. 55, № 9. – P. 3584–3591. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3284-x>.
10. Increasing the Antioxidant Activity, Total Phenolic and Flavonoid Contents by Optimizing the Germination Conditions of Amaranth Seeds / J. X. Perales-Sánchez, C. Reyes-Moreno, M. A. Gómez-Favela [et al.] // *Plant Foods for Human Nutrition*. – 2014. – Vol. 69, № 3. – P. 196–202. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0430-0>.
11. Reddy, S. S. Production of prebiotics and antioxidants as health food supplements from lignocellulosic materials using multienzymatic hydrolysis / S. S. Reddy, C. Krishnan // *International Journal of Chemical Sciences*. – 2010. – Vol. 3, № 3. – P. 535–549.
12. Roberfroid, M. B. Prebiotics and probiotics: are they functional foods? / M. B. Roberfroid // *American Journal of Clinical Nutrition*. – 2000. – Vol. 71, № 6. – P. 1682–1687. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.6.1682S>.
13. Singh, R. D. Prebiotic potential of oligosaccharides: A focus on xylan derived oligo-saccharides / R. D. Singh, J. Banerjee, A. Arora // *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. – 2015. – Vol. 5, № 1. – P. 19–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.11.003>.
14. Tunland, B. C. Nondigestible Oligo- and Polysaccharides (Dietary Fiber): Their Physiology and Role in Human Health and Food / B. C. Tunland, D. Meuer // *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. – 2002. – Vol. 1, № 3. – P. 73–92. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2002.tb00009.x>.
15. Lactic Acid Bacteria as a Cell Factory for the Delivery of Functional Biomolecules and Ingredients in Cereal-Based Beverages: A Review / D. M. Waters, A. Mauch, A. Cofey [et al.] // *Critical reviews in food science and nutrition*. – 2015. – Vol. 55, № 4. – P. 503–552. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.660251>.
16. ГОСТ 10444.11-2013. *Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества мезофильных молочнокислых микроорганизмов*. М. : Стандартинформ, 2014.
17. ГОСТ 10444.11-89. *Продукты пищевые. Методы определения молочнокислых микроорганизмов*. М. : Стандартинформ, 2010.

18. МУК 4.2.999-00. Определение количества бифидобактерий в кисломолочных продуктах.
19. ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза «О безопасности пищевой продукции». – 2011.
20. Тутельян, В. А. Биологически активные вещества растительного происхождения. Флавонолы и флавоны: распространенность, пищевые источники, потребление / В. А. Тутельян, Н. В. Лашнева // Вопросы питания. – 2013. – Т. 82, № 1. – С. 4–22.

### References

1. Chlopicka J, Pasko P, Gorinstein S, Jedryas A, Zagrodzki P. Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereal breads. *LWT – Food Science and Technology*. 2012;46(2):548–555. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2011.11.009>.
2. Dwivedia S, Sahrawat K, Puppala N, Ortiz R. Plant prebiotics and human health: Biotechnology to breed prebiotic-rich nutritious food crops. *Electronic Journal of Biotechnology*. 2014;17(5):238–245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejbt.2014.07.004>.
3. Gibson GR, Rastall RA. *Prebiotics: Development and Application*. England: John Wiley and Sons Ltd; 2006. 256 p. DOI: <https://doi.org/10.1002/9780470023150>.
4. Gorbunova N, Bannikova A, Evteev A, Evdokimov I, Kasapis S. Alginate-based encapsulation of extracts from beta Vulgaris cv. beet greens: Stability and controlled release under simulated gastrointestinal conditions. *Lwt-Food Science and Technology*. 2018;93:442–449. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.075>.
5. Hole AS, Grimmer S, Jensen MR, Sahistrom S. Synergistic and suppressive effects of dietary phenolic acids and other phytochemicals from cereal extracts on nuclear factor kappa B activity. *Food Chemistry*. 2012;133(3):969–977. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.02.017>.
6. Kaprelyants L, Zhurlova O. Biotechnological approaches for the production of functional foods and supplements from cereal raw materials. *Food Science and Technology*. 2014;27(2):15–19.
7. Kaprelyants L, Zhurlova O. Technology of wheat and rye bran biotransformation into functional ingredients. *International Food Research Journal*. 2017;24(5):1975–1979.
8. Kaprelyants LV, Voloshenko OS, Zhurlova ED. Bioaktivnye soedineniya i pishchevye volokna v novykh razrabotannykh zernovykh produktakh [Bioactive Compounds and Dietary Fibre in Advanced Cereal Products]. *Grain Products and Mixed Fodder's*. 2012;47(3):17–21. (In Ukr.).
9. Kaur R, Ahluwalia P, Sachdev PA, Kaur A. Development of gluten-free cereal bar for gluten intolerant population by using quinoa as major ingredient. *Journal of Food Science and Technology-Mysore*. 2018;55(9):3584–3591. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13197-018-3284-x>.
10. Perales-Sánchez JXK, Reyes-Moreno C, Gomez-Favela MA, Milan-Carrillo J, Cuevas-Rodriguez E, Valdez-Ortiz A, et al. Increasing the Antioxidant Activity, Total Phenolic and Flavonoid Contents by Optimizing the Germination Conditions of Amaranth Seeds. *Plant Foods for Human Nutrition*. 2014;69(3):196–202. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11130-014-0430-0>.
11. Reddy SS, Krishnan C. Production of prebiotics and antioxidants as health food supplements from lignocellulosic materials using multienzymatic hydrolysis. *International Journal of Chemical Sciences*. 2010;3(3):535–549.
12. Roberfroid MB. Prebiotics and probiotics: are they functional foods? *American Journal of Clinical Nutrition*. 2000;71(6):1682S–1687S. DOI: <https://doi.org/10.1093/ajcn/71.6.1682S>.
13. Singh RD, Banerjee J, Arora A. Prebiotic potential of oligosaccharides: A focus on xylan derived oligo-saccharides. *Bioactive Carbohydrates and Dietary Fibre*. 2015;5(1):19–30. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.bcdf.2014.11.003>.
14. Tunland BC, Meuer D. Nondigestible Oligo – and Polysaccharides (Dietary Fiber): Their Physiology and Role in Human Health and Food. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2002;1(3):73–92. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2002.tb00009.x>.
15. Waters DM, Mauch A, Coffey A, Arendt EK, Zannini E. Lactic Acid Bacteria as a Cell Factory for the Delivery of Functional Biomolecules and Ingredients in Cereal-Based Beverages: A Review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 2015;55(4):503–520. DOI: <https://doi.org/10.1080/10408398.2012.660251>.
16. State Standard 10444.11-2013. Microbiology of food and animal feeding stuffs. Methods for detection and enumeration of mesophilic lactic acid bacteria. Moscow: Standartinform; 2014.
17. State Standard 10444.11-89. Food products. Methods for determination of the lactic acid bacteria. Moscow: Standartinform; 2010.
18. МУК 4.2.999-00. Определение количества бифидобактерий в кисломолочных продуктах [Recommended Practices No.4.2.999-00 Measuring the amount of bifidobacteria in fermented milk products].
19. ТР ТС 021/2011. Технический регламент Таможенного союза “О безопасности пищевой продукции” [RP of the Customs Union 021/2011. Technical regulations of the Customs Union “On food safety”]. 2011.
20. Tutelyan VA, Lashneva NV. Biologically active substances of plant origin. Flavonols and flavones: prevalence, dietary sources and consumption. *Problems of Nutrition*. 2013;82(1):4–22. (In Russ.).

**Битюкова Анна Вячеславовна**

аспирант, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 410012, Россия, г. Саратов, Театральная площадь, 1, тел.: + 7 (919) 831-77-17, e-mail: nurka\_bit@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-2055-9912>

**Амелькина Александра Алексеевна**

специалист учебно-научно испытательной лаборатории по определению качества пищевой и с/х продукции, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 410012, Россия, г. Саратов, Театральная площадь, 1, тел.: + 7 (927) 118-65-49, e-mail: amelkina.alexandra2012@yandex.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-9050-1033>

**Евтеев Александр Викторович**

ведущий специалист учебно-научно испытательной лаборатории по определению качества пищевой и с/х продукции, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 410012, Россия, г. Саратов, Театральная площадь, 1, тел.: + 7 (987) 838-19-65, e-mail: ewteew@gmail.com  
 <https://orcid.org/0000-0002-6155-3851>

**Банникова Анна Владимировна**

д-р техн. наук, профессор кафедры технологии продуктов питания, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н. И. Вавилова», 410012, Россия, г. Саратов, Театральная площадь, 1, тел.: + 7 (937) 245-12-20, e-mail: annbannikova@gmail.com  
 <http://orcid.org/0000-0002-8299-7208>

**Anna V. Bityukova**

Postgraduate, N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatrnaya Square, Saratov, 410012, Russia, phone: + 7 (919) 831-77-17, e-mail: nurka\_bit@mail.ru  
 <https://orcid.org/0000-0003-2055-9912>

**Alexandra A. Amelkina**

Specialist of the Scientific-Research Laboratory for the Determination of Quality of Foods and Agricultural products, N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatrnaya Square, Saratov, 410012, Russia, phone: + 7 (927) 118-65-49, e-mail: amelkina.alexandra2012@yandex.ru  
 <https://orcid.org/0000-0001-9050-1033>

**Alexander V. Evteev**

Leading Specialist of the Scientific-Research Laboratory for the Determination of Quality of Foods and Agricultural products, N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatrnaya Square, Saratov, 410012, Russia, phone: + 7 (987) 838-19-65, e-mail: ewteew@gmail.com  
 <https://orcid.org/0000-0002-6155-3851>

**Anna V. Bannikova**

Dr.Sci.(Eng.), Professor of the Department of Food Technology, N.I. Vavilov Saratov State Agrarian University, 1, Teatrnaya Square, Saratov, 410012, Russia, phone: + 7 (937) 245-12-20, e-mail: annbannikova@gmail.com  
 <http://orcid.org/0000-0002-8299-7208>