

Научная статья

УДК 664.8.037.59:634.75

EDN YJLXKJ

<https://doi.org/10.22450/1999-6837-2026-20-1-77-89>

### Исследование качества свежей и быстрозамороженной земляники как компонента пищевых систем

Василина Сергеевна Нечаева<sup>1</sup>, Ольга Валентиновна Голуб<sup>2</sup>,  
Вера Александровна Петрук<sup>3</sup>, Олег Константинович Мотовилов<sup>4</sup>,  
Елена Валерьевна Бородай<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий  
Российской академии наук, Новосибирская область, Краснообск, Россия

<sup>1</sup> [nechaevavs@sfscs.ru](mailto:nechaevavs@sfscs.ru), <sup>2</sup> [golubov@sfscs.ru](mailto:golubov@sfscs.ru), <sup>3</sup> [petrukva@sfscs.ru](mailto:petrukva@sfscs.ru),

<sup>4</sup> [motovilovok@sfscs.ru](mailto:motovilovok@sfscs.ru), <sup>5</sup> [borodayev@sfscs.ru](mailto:borodayev@sfscs.ru)

**Аннотация.** Земляника садовая является востребованной ягодной культурой и ценным сырьем для производства функциональных пищевых продуктов. Цель работы – оценить влияние процесса замораживания на органолептические, физико-химические, колориметрические и микробиологические показатели ягод земляники сорта Фестивальная как пищевого сырья для обоснования возможности их использования в составе пищевых систем. Проведен сравнительный анализ качества свежих и быстрозамороженных ягод по стандартным методикам. Установлено сохранение высоких органолептических характеристик после замораживания, включая целостность ягод, выраженный аромат и гармоничный вкус. Выявлены значимые изменения физико-химических показателей: снижение массовой доли растворимых сухих веществ на 6,6 % и общего содержания сахаров на 25,5 % при одновременном увеличении массовой доли титруемых кислот на 6,7 % и золы на 15,3 %. Отмечена разнонаправленная динамика биологически активных соединений: содержание витамина С возросло на 25,0 %, массовая доля пищевых волокон увеличилась на 14,9 %, тогда как количество общих фенольных соединений и антоцианов снизилось на 21,1 и 26,1 % соответственно. Колориметрический анализ выявил изменение цвета: достоверно снизились значения координат L\*, a\*, b\* и C\* цветового пространства, что объективно подтвердило визуально наблюдаемое небольшое потемнение, снижение интенсивности красно-желтой окраски и насыщенности цвета, в то время как красно-оранжевый тон цвета (H<sup>0</sup>) существенно не изменился. Обнаружено значительное улучшение микробиологических показателей: количество мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов снизилось в 5,5 раза, плесневых грибов – на 27 %, дрожжей – на 59 %, при полном отсутствии бактерий группы кишечной палочки и сальмонелл. Сделан вывод, что процесс замораживания позволяет получить продукт, пригодный для использования в пищевых системах.

**Ключевые слова:** земляника, сорт, замораживание, качество, биологически активные соединения, цвет, микробиологическая безопасность, пищевые системы

**Для цитирования:** Нечаева В. С., Голуб О. В., Петрук В. А., Мотовилов О. К., Бородай Е. В. Исследование качества свежей и быстрозамороженной земляники как компонента пищевых систем // Дальневосточный аграрный вестник. 2026. Том 20. № 1. С. 77–89. <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2026-20-1-77-89>.

Original article

## Study of the quality of fresh and quick-frozen strawberries as a component of food systems

Vasilina S. Nechaeva<sup>1</sup>, Olga V. Golub<sup>2</sup>, Vera A. Petruk<sup>3</sup>,  
Oleg K. Motovilov<sup>4</sup>, Elena V. Borodai<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 3, 4, 5</sup> Siberian Federal Research Center of Agro-Biotechnologies  
of the Russian Academy of Sciences, Novosibirsk region, Krasnoobsk, Russian Federation

<sup>1</sup> [nechaevavs@sfscs.ru](mailto:nechaevavs@sfscs.ru), <sup>2</sup> [golubov@sfscs.ru](mailto:golubov@sfscs.ru), <sup>3</sup> [petrukva@sfscs.ru](mailto:petrukva@sfscs.ru),

<sup>4</sup> [motovilovok@sfscs.ru](mailto:motovilovok@sfscs.ru), <sup>5</sup> [borodayev@sfscs.ru](mailto:borodayev@sfscs.ru)

**Abstract.** Garden strawberries are a popular berry crop and a valuable raw material for the production of functional foods. The aim of this study was to evaluate the effect of freezing on the organoleptic, physicochemical, colorimetric, and microbiological properties of Festivalnaya strawberry variety as a food raw material to substantiate their use in food systems. A comparative quality analysis of fresh and quick-frozen berries was conducted using standard methods. High organoleptic characteristics were preserved after freezing, including berry integrity, distinct aroma, and harmonious flavor. Significant changes in physicochemical parameters were identified. A decrease in the mass fraction of soluble solids by 6.6% and total sugar content by 25.5%, with a simultaneous increase in the mass fraction of titratable acids by 6.7% and ash by 15.3% were identified. A multidirectional dynamics of biologically active compounds was noted. The vitamin C content increased by 25.0%, and the mass fraction of dietary fiber increased by 14.9%, while the amount of total phenolic compounds and anthocyanins decreased by 21.1% and 26.1%, respectively. Colorimetric analysis revealed a change in color. The values of the L\*, a\*, b\*, and C\* coordinates of the color space decreased significantly, which was objectively confirmed by a visually observable slight darkening, a decrease in the intensity of the red-yellow color and color saturation, while the red-orange color tone (H°) did not change significantly. A significant improvement in microbiological parameters was found. The number of mesophilic aerobic and facultative anaerobic microorganisms decreased by 5.5 times, mold fungi by 27%, and yeast by 59%, with a complete absence of coliform bacteria and salmonella. It has been concluded that the freezing process produces a product suitable for use in food systems.

**Keywords:** strawberries, variety, freezing, quality, bioactive compounds, color, microbiological safety, food systems

**For citation:** Nechaeva V. S., Golub O. V., Petruk V. A., Motovilov O. K., Borodai E. V. Study of the quality of fresh and quick-frozen strawberries as a component of food systems. *Dal'nevostochnyi agrarnyi vestnik*. 2026;20;1:77–89 (in Russ.). <https://doi.org/10.22450/1999-6837-2026-20-1-77-89>.

**Введение.** Земляника садовая (*Fragaria × ananassa* Duch.) – одна из наиболее востребованных ягодных культур, представляющая важное сырье для создания широкого ассортимента функциональных продуктов питания. Ее высокая пищевая и биологическая ценность обусловлена сложным биохимическим составом, включающим значительное количество витамина С, комплекса полифенольных соединений (флавоноидов, фенольных кислот), антоцианов и пищевых волокон [1]. Эти компоненты определяют выраженную антиоксидантную активность ягод, а также их доказанный профилактический по-

тенциал в отношении ряда хронических неинфекционных заболеваний, таких как сердечно-сосудистые патологии, диабет и некоторые виды онкологических заболеваний. В связи с этим основной технологической и экономической задачей как для производителей свежей продукции, так и для пищевой промышленности становится максимальное сохранение этого нутриентного профиля на всех этапах – от послеуборочной обработки и переработки до длительного хранения.

Многочисленные исследования свидетельствуют, что химический состав и, следовательно, пищевая ценность ягод

земляники в значительной степени зависят от генетических особенностей сорта и специфических почвенно-климатических условий региона возделывания.

Так, М. Ю. Акимов с соавторами, проведя исследования в условиях Центрально-Черноземного региона, выявил существенные, статистически значимые различия между изученными сортами по ключевым показателям, включающим содержание аскорбиновой кислоты, общего количества фенольных соединений и антоцианов [2]. Аналогичные выводы о сильном влиянии экстремальных факторов среды были сделаны О. Г. Мурзиной и Е. Н. Барсуковой для условий Камчатского края [3]. При этом отмечено, что стрессовые факторы могут как индуцировать синтез отдельных вторичных метаболитов, так и подавлять его. Подтверждение этой закономерности на примере еще одного региона можно найти в работе [4]. Здесь авторы также установили тесную корреляцию между содержанием аскорбиновой кислоты и калия в ягодах с сортовой принадлежностью и погодными условиями вегетационного периода в Республике Марий Эл. Совокупность этих данных доказывает необходимость проведения регионально ориентированных исследований, которые учитывали бы комплексное взаимодействие генотипа и среды при оценке сырья для переработки.

Другим важным направлением современных научных работ является изучение стабильности биологически активных соединений земляники в процессе послеуборочного хранения и применения различных технологий консервации.

И. В. Ершова исследовала изменение состава биофлавоноидов в свежих ягодах при хранении, показав, что эти изменения могут не просто снижать, но и качественно перераспределять антиоксидантную активность продукции [5]. Среди методов консервации технология быстрого замораживания рассматривается как один из наиболее щадящих в отношении термолабильных нутриентов. При этом Н. Л. Наумова с соавторами указывает, что замороженные ягоды по содержанию витаминов, минеральных соединений, клетчатки остаются сопоставимыми со свежим сырьем, что делает их перспективным ингредиентом для оздоровительного питания [6].

Этот вывод подтверждается данными других ученых. Так, А. D. Savitri с коллегами в исследовании [7] устанавливает, что при оптимальных режимах быстрой заморозки сохраняется значительная часть исходных полифенолов и антоцианов, что превосходит результаты, достигаемые традиционными методами термообработки.

Для успешной интеграции земляники в рецептуры функциональных пищевых систем недостаточно лишь ее высокой исходной ценности. Обязательным условием является обеспечение стабильного, воспроизводимого качества и безопасности сырья, что подчеркивается И. Д. Сазоновой [1]. Необходимость тщательной биохимической оценки сортового разнообразия в конкретных агроэкологических условиях иллюстрируют исследования не только для Центрально-Черноземного региона [2, 8], но и, например, для юга Амурской области [9], где авторы отмечают высокую зависимость накопления витамина С и фенольных соединений от погодных факторов года и агротехники.

Вопросы микробиологической безопасности, напрямую влияющие на сроки хранения и потребительские свойства, рассмотрены в исследованиях Г. П. Чекрыги с соавторами, где показан выраженный эффект низкотемпературного хранения в контролируемой атмосфере на подавление развития мезофильной микрофлоры и плесневых грибов [10].

Таким образом, анализ результатов научных работ [1–4, 6, 7, 9, 10] позволяет утверждать, что, с одной стороны, признана высокая пищевая ценность земляники садовой как сырья для функциональных продуктов, но вместе с тем остается потребность в комплексной оценке влияния быстрого замораживания на качество ягод конкретных сортов.

В этой связи **цель работы** – *оценить влияние процесса замораживания на органолептические, физико-химические, колориметрические и микробиологические показатели ягод земляники сорта Фестивальная как пищевого сырья для обоснования возможности их использования в составе пищевых систем.*

**Материалы и методы исследования.** Объектом исследований явились свежие ягоды земляники (*Fragaria L.*) сорта Фестивальная, выращенные в условиях

органического производства, основанного на применении сидерального удобрения, компоста и биологических методов борьбы с вредителями.

Ягоды собраны на биополигоне Федерального государственного бюджетного учреждения науки «Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук» в контейнеры со съемной крышкой из полиэтилентерефталата емкостью 500±20 г ранним утром в сухую погоду. Сбор ягод осуществлялся вручную; при этом оставляли чашечку и стебель (плодоножку) длиной около 1 см.

Быстрозамороженные ягоды земляники при температуре внутри продукции минус 18 °С получали при проведении следующих технологических операций: сортировка, мойка, сушка, замораживание (слой ягод 3–4 см; температура воздуха минус 32 °С), упаковка (пакеты из полиэтилена низкого давления с толщиной пленки 20 мкм емкостью 500±20 г), хранение (температура минус 18 °С, относительная влажность воздуха не более 95 %). Перед проведением исследований ягоды дефростировались в течение 3–4 часов при температуре (4±2) °С.

Внешний вид, степень зрелости, запах и вкус ягод земляники, наличие ягод больных, с повреждениями, с излишней внешней влажностью, посторонних примесей оценивали согласно требованиям, установленным ГОСТ 33953–2016 «Земляника свежая. Технические условия». Для определения крупноплодности и вкуса использована балльная система в соответствии с Программой и методикой сортоизучения плодовых, ягодных и орехоплодных культур (ВНИИСПК, 1999).

Внешний вид и цвет ягод земляники в замороженном состоянии; цвет, консистенцию, запах и вкус в размороженном состоянии; наличие посторонних примесей, температуру продукции оценивали согласно требованиям ГОСТ 33823–2016 «Фрукты быстрозамороженные. Общие технические условия». В работе применялись методы, регламентированные следующими стандартами, для исследования показателей качества и безопасности ягод земляники:

ГОСТ ISO 762–2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Определение содержания минеральных примесей»;

ГОСТ 26323–2014 «Продукты переработки фруктов и овощей. Методы определения содержания примесей растительного происхождения»;

ГОСТ ISO 2173–2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Рефрактометрический метод определения растворимых сухих веществ»;

ГОСТ 8756.13–87 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения сахаров»;

ГОСТ ISO 750–2013 «Продукты переработки фруктов и овощей. Определение титруемой кислотности»;

ГОСТ 34844–2022 «Производство пищевой. Определение массовой доли пищевых волокон»;

ГОСТ 25555.4–91 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения золы и щелочности общей и водорастворимой золы»;

ГОСТ 33824–2016 «Продукты пищевые и продовольственное сырье. Инверсионно-вольтамперометрический метод определения содержания токсичных элементов (кадмия, свинца, меди и цинка)»;

ГОСТ 24556–89 «Продукты переработки плодов и овощей. Методы определения витамина С».

Наличие фенольных соединений и антоцианов устанавливали спектрофотометрическим методом с реактивом Фолина-Чокальтеу при 760 нм [11] и в кислом метанольном экстракте при 525 нм [12] соответственно.

Цветовые координаты ягод определяли колориметрическим методом [13].

Микробиологические исследования осуществлялись согласно требованиям государственных стандартов:

ГОСТ 10444.15–94 «Продукты пищевые. Методы определения количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов»;

ГОСТ 10444.12–2013 «Микробиология пищевых продуктов и кормов для животных. Методы выявления и подсчета количества дрожжей и плесневых грибов»;

ГОСТ 31747–2012 «Продукты пищевые. Методы выявления и определения количества бактерий группы кишечных палочек (колиформных бактерий);

ГОСТ 31659–2012 «Продукты пищевые. Метод выявления бактерий рода *Salmonella*», а также методических указаний МУ 4.2.2723–10 «Лабораторная диагностика сальмонеллезов, обнаружение сальмонелл в пищевых продуктах и объектах окружающей среды».

Статистический анализ проводили с использованием программы Statistica 10. При этом все экспериментальные определения выполняли в 3–7 повторностях. Результаты представляли как среднее значение и стандартное отклонение.

Для оценки влияния фактора «процесс замораживания» на качественные характеристики ягод использовался однофакторный дисперсионный анализ и оценивалась сила этого влияния по показателю  $\eta_p^2$  (вклад фактора относительно ошибки). Тест Тьюки выполнялся для сравнения средних значений.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Проведенная оценка качества свежих ягод земляники показала их высокое товарное и помологическое соответствие, существенно превосходящее минимальные требования ГОСТ 33953–2016 для первого товарного сорта, поскольку данные ягоды обладали типичными для сорта признаками: овальной формой, ярко-, темно-красной окраской с блеском, выраженным земляничным запахом и гармоничным сладким вкусом с легкой кислотой нотой; при этом критические дефекты (загнившие, заплесневевшие ягоды, посторонние примеси) отсутствовали.

Физические параметры ягод земляники характеризовались следующими показателями: средний диаметр ягод составил  $26 \pm 1$  мм, что на 44 % превышает минимальную норму для промышленной переработки (18 мм согласно требованиям ГОСТ 33953–2016); средняя масса ягоды (10,1 г) соответствовала сортовой характеристике, что позволяет отнести сырье к категории крупноплодных с оценкой в 4 балла (крупные ягоды – 9–12 г); оценка вкуса составила 4 балла, что соответствует дескриптору «хороший вкус, с гармоничным сочетанием сахара и кислоты».

Высокое качество и однородность ягод земляники подтверждаются низкими значениями по допускаемым соответствующим стандартом отклонениям: массовая доля ягод с отклонениями от минимально-

го размера составила 5,0 %, а доля ягод, не соответствующих первому товарному сорту, – 7,5 %, что вдвое меньше предельной нормы (10,0 %); ягоды, не соответствующие даже второму сорту, составили 1,1 %, поврежденные вредителями и птицами – 0,4 %, при допустимых 2,0 % по каждому показателю.

Полученные данные согласуются с выводами других исследователей. Сорт ягод земляники Фестивальная известен своей адаптивностью и стабильным формированием ягод с хорошими вкусовыми качествами в различных регионах России [14–16]. Отмеченные крупный размер и высокие органолептические свойства определяют пригодность ягод для переработки [8, 17]. Низкий процент поврежденных (0,4 %) является следствием органической системы земледелия и биологической защиты, примененных на биополигоне, и подтверждает их эффективность.

Следовательно, ягоды земляники сорта Фестивальная, выращенные на биополигоне Сибирского федерального научного центра агробиотехнологий РАН, представляют собой высококачественное и стандартизированное сырье первого товарного сорта с отличными товарными характеристиками (крупноплодность и вкус составляют по 4 балла).

Такое исходное сырье оптимально для последующего технологического преобразования, включая быструю заморозку, с целью дальнейшего использования в составе пищевых систем. В рамках данного исследования ягоды земляники после их оценки в свежем виде подвергнуты быстрой заморозке с целью дальнейшего использования в качестве сырья для формирования пищевых систем. Исследования замороженного продукта проводились после его хранения в течение одного месяца при температуре минус 18 °С и последующей дефростации при температуре  $(7 \pm 1)$  °С.

Органолептическая оценка показала, что быстрозамороженные ягоды земляники полностью отвечают требованиям указанного государственного стандарта, а по ряду характеристик демонстрируют более высокий уровень, чем это предусмотрено нормативной документацией:

1. *Внешний вид и целостность.* После дефростации ягоды сохранили це-

лостность, характерную овальную форму, чашечку и плодоножку. Механические повреждения были минимальны: доля ягод со следами таких повреждений составила 5,9 %, что укладывается в допустимую нормативной документацией норму 10 % и подтверждает исходное качество свежего сырья за счет ручной уборки, щадящей мойки и сушки, режима заморозки (слой 3–4 см при температуре минус 32 °С). Как отмечается в ряде исследований, скорость замораживания минимизирует образование крупных кристаллов льда, разрушающих клеточные стенки и ведущих к потере формы [18, 19].

2. *Цвет.* Быстрозамороженные ягоды сохранили интенсивную, типичную для сорта окраску – от ярко- до темно-красной. После размораживания цвет ягод соответствовал требованиям нормативной документации, предъявляемым к быстрозамороженным фруктам. Это объясняется эффективностью замораживания для сохранения антоцианов – пигментов, ответственных за цвет, стабильность которых, по данным М. Ю. Акимова с соавторами, является значимым фактором качества заморозки [8]. Практика быстрой заморозки и последующего хранения при температуре минус 18 °С, отмеченная в обзоре [20], необходима для долгосрочного сохранения этих соединений.

3. *Запах, вкус и консистенция.* После дефростации ягоды обладали выраженным, свойственным землянике ароматом и сбалансированным, гармоничным вкусом. Консистенция оставалась плотной и сочной, без признаков чрезмерного размягчения или потери сока, что указывает на сохранение клеточной структуры. Этот результат обусловлен как исходным качеством сырья, так и условиями замораживания/размораживания. О. М. Блиникова с соавторами подчеркивает, что скорость замораживания напрямую влияет на минимизацию повреждений тканей и связанных с ними потерь ароматических веществ и сока [21]. Кроме того, значимую роль играют сортовые особенности. В частности, подтверждено, что сорта с плотной консистенцией мякоти, такие как Фестивальная, лучше переносят процессы замораживания/размораживания [8].

4. *Общее состояние и сыпучесть (для замороженного состояния).* В за-

мороженном состоянии ягоды не образовывали монолитных комков, оставались сыпучими. Это стало возможным благодаря сушке перед заморозкой, предотвращающей сильное смерзание, о важности которой указано в статье [17]. Дополнительным доказательством качественной технологии служат низкие потери массы ( $3,4 \pm 1,3$  %) и сока ( $5,8 \pm 0,7$  %) после размораживания, а также малый процент ягод, неравномерных по величине ( $6,2 \pm 1,0$  %), что соответствует данным работ, посвященных минимизации капельных потерь при быстрой заморозке [19].

Помимо органолептической оценки, проведен анализ физико-химических и микробиологических показателей ягод земляники, который подтвердил влияние процесса замораживания. В результате быстрого замораживания в ягодах произошли статистически значимые изменения ( $p < 0,05$ ) по большинству показателей (табл. 1–4). При этом дисперсионный анализ (табл. 5) показал, что фактор «процесс замораживания» оказал сильное влияние (сила влияния более 80 %) на основные биохимические, цветовые и микробиологические показатели. Однако статистически значимого влияния процесса замораживания не обнаружено на содержание растворимых пищевых волокон, токсичных элементов (свинца, кадмия), микроэлементов (цинка, меди) и тон цвета.

Биохимический состав ягод земляники (табл. 1) претерпел характерные для криопротекции изменения. Отмечается снижение массовой доли растворимых сухих веществ и сахаров на 6,6 и 25,5 % соответственно, что объясняется частичной потерей клеточного сока при дефростации. Одновременно происходит небольшое, но значимое увеличение массовой доли титруемых кислот (на 6,7 %) и золы (на 15,3 %), что может быть связано с относительным концентрированием этих компонентов на фоне потери влаги и сахаров.

Отмечено увеличение массовой доли общего количества пищевых волокон на 14,9 %, что повышает пищевую ценность продукта. При этом содержание токсичных элементов (свинец, кадмий) и микроэлементов (цинк, медь) оставалось стабильным и соответствовало нормативам безопасности, что указывает на неизменность минерального профиля ягод.

**Таблица 1 – Биохимический состав ягод земляники**

**Table 1 – Biochemical composition of strawberries**

**В процентах (in percent)**

Показатели	Свежие ягоды	Быстрозамороженные ягоды
Массовая доля растворимых сухих веществ	12,2±0,1 <sup>B</sup>	11,4±0,1 <sup>A</sup>
Массовая доля сахаров в том числе сахарозы	10,2±0,1 <sup>B</sup> 0,9±0,1 <sup>B</sup>	7,6±0,2 <sup>A</sup> 0,6±0,1 <sup>A</sup>
Массовая доля титруемых кислот (по лимонной)	0,90±0,02 <sup>B</sup>	0,96±0,01 <sup>A</sup>
Массовая доля пищевых волокон – всего в том числе нерастворимых растворимых (в том числе пектиновых)	1,95±0,06 <sup>B</sup> 1,44±0,06 <sup>B</sup> 0,51±0,07	2,24±0,09 <sup>A</sup> 1,60±0,03 <sup>A</sup> 0,64±0,11
Массовая доля золы	0,59±0,03 <sup>B</sup>	0,68±0,01 <sup>A</sup>
Содержание элементов, мг/кг:		
– свинец	0,016±0,004	0,017±0,004
– кадмий	0,0027±0,0006	0,0031±0,0007
– цинк	0,80±0,18	0,81±0,18
– медь	0,60±0,13	0,70±0,15
Примечания: различия средних значений в строке с разными прописными буквами существенны ( $p < 0,05$ ); сахарокислотный индекс свежих ягод равен 11,4±0,2 усл. ед., быстрозамороженных ягод – 8,0±0,2 усл. ед.		

**Таблица 2 – Биологически активные соединения ягод земляники**

**Table 2 – Biologically active compounds of strawberries**

**В мг/100 г (in mg/100 g)**

Показатели	Свежие ягоды	Быстрозамороженные ягоды
Массовая концентрация витамина С	71,984±1,253 <sup>B</sup>	90,018±1,355 <sup>A</sup>
Массовая концентрация общих фенольных соединений (по галловой кислоте)	283,068±12,913 <sup>B</sup>	223,203±13,208 <sup>A</sup>
Массовая концентрация антоцианов	78,174±4,062 <sup>B</sup>	57,735±3,30 <sup>A</sup>
Примечание: различия средних значений в строке с разными прописными буквами существенны ( $p < 0,05$ ).		

**Таблица 3 – Цветовые координаты ягод земляники**

**Table 3 – Color coordinates of strawberries**

Цветовые координаты	Свежие ягоды	Быстрозамороженные ягоды
$L^*$	47,03±0,18 <sup>B</sup>	43,09±0,14 <sup>A</sup>
$a^*$	30,09±0,33 <sup>B</sup>	27,05±0,19 <sup>A</sup>
$b^*$	19,25±0,84 <sup>B</sup>	16,62±0,44 <sup>A</sup>
$C^*$	35,73±0,24 <sup>B</sup>	31,75±0,10 <sup>A</sup>
$H^\circ$	32,61±1,40	31,57±0,85
Примечание: различия средних значений в строке с разными прописными буквами существенны ( $p < 0,05$ ).		

Таблица 4 – Микробиологические показатели ягод земляники

Table 4 – Microbiological indicators of strawberries

В КОЕ/г (in CFU/g)

Показатели	Свежие ягоды	Быстрозамороженные ягоды
Среднее количество КМАФАнМ	$(2,15 \pm 0,20) \times 10^{4B}$	$(0,39 \pm 0,08) \times 10^{4A}$
Среднее количество колоний плесневых грибов	$(1,59 \pm 0,17) \times 10^{2B}$	$(1,16 \pm 0,14) \times 10^{2A}$
Среднее количество колоний дрожжей	$(0,27 \pm 0,07) \times 10^{2B}$	$(0,11 \pm 0,04) \times 10^{2A}$
Примечание: различия средних значений в строке с разными прописными буквами существенны ( $p < 0,05$ ); БГКП в 0,1 г и патогенные микроорганизмы, в том числе сальмонеллы, в 25 г – отсутствовали.		

Таблица 5 – Статистическая значимость ( $F$ ,  $p$ ) и вклад фактора «процесс замораживания» ( $\eta_p^2$ ) для характеристик качества ягод земляникиTable 5 – Statistical significance ( $F$ ,  $p$ ) and the contribution of the "freezing process" factor ( $\eta_p^2$ ) for the quality characteristics of strawberries

Показатели	$F$ -значение	$p$ -значение	Сила влияния фактора ( $\eta_p^2$ ), %
Массовая доля растворимых сухих веществ	96,00	<0,001	96,0
Массовая доля сахаров	592,90	<0,001	99,3
в том числе сахарозы	16,00	<0,05	80,0
Массовая доля титруемых кислот	36,10	<0,01	90,0
Массовая доля пищевых волокон	21,03	<0,05	84,0
в том числе нерастворимых	19,24	<0,05	82,8
растворимых	3,42	>0,138	46,1
Массовая доля золы	27,11	<0,01	87,1
в том числе свинца	0,12	>0,75	2,8
кадмия	0,62	>0,48	13,4
цинка	0,01	>0,94	0,1
меди	0,70	>0,45	14,9
Массовая концентрация витамина С	286,49	<0,001	98,6
Массовая концентрация общих фенольных соединений	31,51	<0,01	88,7
Массовая концентрация антоцианов	45,74	<0,01	92,0
$L^*$	906,30	<0,001	99,6
$a^*$	192,36	<0,001	98,0
$b^*$	22,98	<0,01	85,2
$C^*$	684,20	<0,001	99,4
$H^\circ$	1,21	>0,333	23,3
Среднее количество КМАФАнМ	418,67	<0,001	99,1
Среднее количество колоний плесневых грибов	9,66	<0,05	70,7
Среднее количество колоний дрожжей	10,80	<0,05	73,0

Вследствие приведенных изменений сахарокислотный индекс снизился с 11,4 до 8,0 усл. ед., что сместило вкусовой баланс в сторону большей кислотности. Это согласуется с данными К. Simkova с соавторами о трансформации состава при замораживании [20].

Содержание биологически активных соединений изменилось разнонаправленно (табл. 2). Наблюдается увеличение содержания витамина С на 25,0 %, что, вероятно, связано с инактивацией аскорбатоксидазы при низкотемпературном шоке и высвобождением связанных форм аскорбиновой кислоты. Это отмечается в работах, посвященных замораживанию ягод [21]. В то же время, содержание общих фенольных соединений и антоцианов снизилось на 21,1 и 26,1 % соответственно. Такая частичная деградация чувствительных к окислению полифенолов возможна как во время фазового перехода воды, так и при последующем хранении. Подобные потери, однако, существенно ниже, чем при термообработке, что подтверждает эффективность быстрого замораживания для сохранения антиоксидантного потенциала [20].

Колориметрический анализ объективно зафиксировал изменения цвета ягод земляники (табл. 3), субъективно оцененные при органолептических исследованиях. Произошло достоверное снижение значений координат  $L^*$  (светлота),  $a^*$  (краснота) и  $C^*$  (насыщенность), что визуально соответствует небольшому потемнению и снижению интенсивности красного цвета замороженных ягод. Эти изменения коррелируют со снижением содержания антоцианов и соответствуют данным других исследований о влиянии замораживания на цвет плодов [18]. При этом тон цвета ( $H^\circ$ ) значимо не изменился.

Результаты микробиологического анализа ягод земляники (табл. 4) стали наиболее показательными. Технология заморозки привела к статистически значимому снижению количества мезофильных аэробных и факультативно-анаэробных микроорганизмов в 5,5 раз, плесневых

грибов – на 27 % и дрожжей – на 59 %. При этом в свежих и быстрозамороженных ягодах отсутствовали бактерии группы кишечной палочки (колиформы) и патогенные микроорганизмы, включая сальмонеллы. Полученные данные подтверждают консервирующий и saniрующий эффект процесса замораживания, который заключается не только в остановке роста, но и в гибели части вегетативных клеток микроорганизмов при образовании кристаллов льда. Данные результаты согласуются с выводами о повышении микробиологической безопасности замороженной продукции [22].

**Заключение.** Таким образом, процесс быстрого замораживания, основанный на использовании качественного сырья, позволил получить пищевой продукт, соответствующий требованиям нормативной документации по показателям качества и безопасности.

Несмотря на статистически значимые изменения в биохимическом составе и цвете, быстрозамороженные ягоды земляники сорта Фестивальная сохранили высокие органолептические свойства, существенную часть антиоксидантного потенциала и характеризуются микробиологической безопасностью, что проявилось в снижении численности мезофильной микрофлоры, дрожжей и плесневых грибов при отсутствии БГКП и сальмонелл.

Отмеченное увеличение массовой доли пищевых волокон и витамина С при умеренном снижении содержания фенольных соединений и антоцианов позволяет рассматривать полученный продукт как источник физиологически функциональных ингредиентов. Он является не только пригодным для непосредственного употребления, но и служит полноценной заменой свежим ягодам в межсезонный период. Полученные данные о его качестве позволяют рассматривать быстрозамороженные ягоды земляники как технологически перспективную основу для формирования сложных функциональных пищевых систем.

## Список источников

1. Сазонова И. Д. Ягодные культуры как сырье для технической переработки // Научные труды Северо-Кавказского федерального научного центра садоводства, виноградарства, виноделия. 2018. Т. 20. С. 125–134. EDN XZRGSL.
2. Акимов М. Ю., Жбанова Е. В., Лукьянчук И. В. Результаты исследования химического состава ягод земляники в условиях Центрально-Черноземного региона // Плодоводство и ягодоводство России. 2024. № 79. С. 26–36. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2024-79-26-36>. EDN EECUJH.
3. Мурзина О. Г., Барсукова Е. Н. Биохимический состав плодов земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) в условиях Камчатского края // Аграрная Россия. 2025. № 4. С. 29–34. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2025-4-29-34>. EDN FWOMYB.
4. Мухаметова С. В., Скочилова Е. А. Показатели плодов земляники (*Fragaria*) и содержание в них аскорбиновой кислоты и калия в условиях Республики Марий Эл // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование. 2021. № 4 (52). С. 70–77. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2021.4.70>. EDN YWYJJD.
5. Ершова И. В. Биофлавоноиды ягод земляники садовой в процессе их хранения // Современное садоводство. 2023. № 4. С. 115–126. [https://doi.org/10.52415/23126701\\_2023\\_0411](https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0411). EDN FMLBTH.
6. Наумова Н. Л., Бец Ю. А., Кудрявцев К. Н., Бобылева И. В., Чернова Т. А., Иванова О. В. Нутриентный профиль быстрозамороженных ягод // Вестник Красноярского государственного аграрного университета. 2024. № 7 (208). С. 186–193. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-7-186-193>. EDN LXWINA.
7. Savitri A. D., Wibisono S., Siswandono, Muhammad A. R., Soetjipto. The comparison of antioxidant properties between frozen and freeze-dried strawberries (*Fragaria* × *ananassa*) // Tropical Journal of Natural Product Research. 2025. Vol. 9. No. 2. P. 748. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v9i2.43>.
8. Акимов М. Ю., Жбанова Е. В., Макаров В. Н., Перова И. Б., Шевякова Л. В., Вржесинская О. А. [и др.]. Пищевая ценность плодов перспективных сортов земляники // Вопросы питания. 2019. Т. 88. № 2. С. 64–72. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10019>. EDN NGRZRK.
9. Пакулина А. П., Платонова Т. П., Решетник Е. И., Пашина Л. Л., Грибанова С. Л. Оценка биохимических показателей ягод земляники садовой (*Fragaria* × *ananassa* Duchesne) в условиях юга Амурской области // Вестник Камчатского государственного технического университета. 2024. № 68. С. 89–97. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2024-68-89-97>. EDN EIJJOT.
10. Чекрыга Г. П., Голуб О. В., Мотовилов О. К., Петрук В. А. Влияние условий и продолжительности хранения ягод земляники в полимерной упаковке на развитие микробных сообществ // Известия высших учебных заведений. Пищевая технология. 2023. № 5–6 (394). С. 67–72. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.5-6.10>. EDN IUDMHE.
11. İmrak B., Gölcü A. E., Çömlekçioğlu S. Quality characteristics of the cv. Albion strawberry (*Fragaria* × *ananassa* Duch.) in different locations // Turkish Journal of Agriculture and Forestry. 2024. Vol. 48. No. 5. P. 720–730. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3214>.
12. Методы биохимического исследования растений / под ред. А. И. Ермакова. Л. : Агропромиздат, 1987. 430 с.
13. Taghavi T., Patel H., Rafie R. Extraction solvents affect anthocyanin yield, color, and profile of strawberries // Plants. 2023. Vol. 12. No. 9. P. 1833. <https://doi.org/10.3390/plants12091833>.
14. Валитов А. В., Ахияров Б. Г., Федорова В. О. Новые сорта земляники садовой для условий Республики Башкортостан // Плодоводство и ягодоводство России. 2022. Т. 71. С. 21–28. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2022-71-21-28>. EDN GGOWKA.
15. Петрук В. А., Боровикова Т. В., Маркова И. Е. Хозяйственно-биологическая оценка сортов коллекции земляники садовой в лесостепи Новосибирской области // Си-

бирский вестник сельскохозяйственной науки. 2019. Т. 49. № 1. С. 35–43. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-1-5>. EDN EVVIAR.

16. Стольникова Н. П., Колесникова Н. П. Результаты изучения сортов земляники в условиях юга Западной Сибири // Плодоводство и ягодоводство России. 2018. Т. 54. С. 187–193. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2018-54-187-193>. EDN KGRIEM.

17. Заморская И. Л. Оценка технологических свойств ягод земляники садовой // Технические науки и технологии. 2018. № 2 (12). С. 216–221. EDN YLMPPN.

18. Da Silva D. L., Silveira A. S., Ronzoni A. F., Hermes C. J. L. Effect of freezing rate on the quality of frozen strawberries (*Fragaria × ananassa*) // International Journal of Refrigeration. 2022. Vol. 144. P. 46–54. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.07.006>.

19. Kurokawa M., Kasai T., Sugino A., Okada I., Kobayashi R. Investigation of the key factors that affect drip loss in Japanese strawberry cultivars as a result of freezing and thawing // International Journal of Refrigeration. 2022. Vol. 134. P. 189–196. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.11.004>.

20. Simkova K., Grohar M. C., Pelacci M., Veberic R., Jakopic J., Hudina M. The effect of freezing, frozen storage and thawing on the strawberry fruit composition // International Journal of Fruit Science. 2024. Vol. 24. No. 1. P. 186–199. <https://doi.org/10.1080/15538362.2024.2355920>.

21. Blinnikova O. M., Novikova I. M., Perfilova O. V., Blinnikova D. A. Quick freezing of garden strawberries to obtain biologically active ingredients // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. IOP Publishing, 2021. P. 012079. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012079>.

22. Stevanović S. M., Petrović T. S., Marković D. D. Changes of quality and free radical scavenging activity of strawberry and raspberry frozen under different conditions // Journal of Food Processing and Preservation. 2022. Vol. 46. No. 10. P. e15981. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15981>.

## References

1. Sazonova I. D. Berry crops as raw materials for technical processing. *Nauchnye trudy Severo-Kavkazskogo federal'nogo nauchnogo tsentra sadovodstva, vinogradarstva, vinodeliya*, 2018;20:125–134. EDN XZRGSL (in Russ.).

2. Akimov M. Yu., Zhbanova E. V., Lukyanchuk I. V. Results of the study of the chemical composition of strawberries in the conditions of the Central Chernozem region. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*, 2024;79:26–36. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2024-79-26-36>. EDN EECUJH (in Russ.).

3. Murzina O. G., Barsukova E. N. Biochemical composition of garden strawberry fruits (*Fragaria × ananassa* Duch.) in the Kamchatka krai. *Agrarnaya Rossiya*, 2025;4:29–34. <https://doi.org/10.30906/1999-5636-2025-4-29-34>. EDN FWOMYB (in Russ.).

4. Mukhametova S. V., Skochilova E. A. Indicators of strawberry fruits (*Fragaria*) and the content of ascorbic acid and potassium in them in the Mari El Republic. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta. Seriya: Les. Ekologiya. Prirodopol'zovanie*, 2021;4(52):70–77. <https://doi.org/10.25686/2306-2827.2021.4.70>. EDN YWYJDG (in Russ.).

5. Ershova I. V. Bioflavonoids of garden strawberries during storage. *Sovremennoe sadovodstvo*, 2023;4:115–126. [https://doi.org/10.52415/23126701\\_2023\\_0411](https://doi.org/10.52415/23126701_2023_0411). EDN FMLBTH (in Russ.).

6. Naumova N. L., Bets Yu. A., Kudryavtsev K. N., Bobyleva I. V., Chernova T. A., Ivanova O. V. Nutrient profile of quick-frozen berries. *Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2024;7(208):186–193. <https://doi.org/10.36718/1819-4036-2024-7-186-193>. EDN LXWIHA (in Russ.).

7. Savitri A. D., Wibisono S., Siswandono, Muhammad A. R., Soetjipto. The comparison of antioxidant properties between frozen and freeze-dried strawberries (*Fragaria × ananassa*). *Tropical Journal of Natural Product Research*, 2025;9;2:748. <https://doi.org/10.26538/tjnpr/v9i2.43>.

8. Akimov M. Yu., Zhbanova E. V., Makarov V. N., Perova I. B., Shevyakova L. V., Vrzhesinskaya O. A. [et al.]. Nutritional value of fruits of promising strawberry varieties.

*Voprosy pitaniya*, 2019;88;2:64–72. <https://doi.org/10.24411/0042-8833-2019-10019>. EDN NGRZRK (in Russ.).

9. Pakusina A. P., Platonova T. P., Reshetnik E. I., Pashina L. L., Griбанова S. L. Assessment of biochemical parameters of garden strawberries (*Fragaria × ananassa* Duchesne) in the south of Amur region. *Vestnik Kamchatskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2024;68:89–97. <https://doi.org/10.17217/2079-0333-2024-68-89-97>. EDN EJIJOT (in Russ.).

10. Chekryga G. P., Golub O. V., Motovilov O. K., Petruk V. A. Influence of conditions and duration of storage of strawberries in polymer packaging on the development of microbial communities. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedenii. Pishchevaya tekhnologiya*, 2023;5–6 (394):67–72. <https://doi.org/10.26297/0579-3009.2023.5-6.10>. EDN IUDMHE (in Russ.).

11. İmrak B., Gölcü A. E., Çömlekçioğlu S. Quality characteristics of the cv. Albion strawberry (*Fragaria x ananassa* Duch.) in different locations. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 2024;48;5:720–730. <https://doi.org/10.55730/1300-011X.3214>.

12. Ermakov A. I. (Eds.). *Methods of biochemical study of plants*, Leningrad, Agropromizdat, 1987, 430 p. (in Russ.).

13. Taghavi T., Patel H., Rafie R. Extraction solvents affect anthocyanin yield, color, and profile of strawberries. *Plants*, 2023;12;9:1833. <https://doi.org/10.3390/plants12091833>.

14. Valitov A. V., Akhiyarov B. G., Fedorova V. O. New varieties of garden strawberries for the conditions of the Republic of Bashkortostan. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*, 2022;71:21–28. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2022-71-21-28>. EDN GGOWKA (in Russ.).

15. Petruk V. A., Borovikova T. V., Markova I. E. Economic and biological assessment of varieties of the garden strawberry collection in the forest-steppe of the Novosibirsk region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki*, 2019;49;1:35–43. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2019-1-5>. EDN EVVIAR (in Russ.).

16. Stolnikova N. P., Kolesnikova N. P. Results of the study of strawberry varieties in the conditions of the south of Western Siberia. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii*, 2018;54:187–193. <https://doi.org/10.31676/2073-4948-2018-54-187-193>. EDN KGRIEM (in Russ.).

17. Zamorskaya I. L. Evaluation of technological properties of garden strawberries. *Tekhnicheskie nauki i tekhnologii*, 2018;2(12):216–221. EDN YLMPPN (in Russ.).

18. Da Silva D. L., Silveira A. S., Ronzoni A. F., Hermes C. J. L. Effect of freezing rate on the quality of frozen strawberries (*Fragaria × ananassa*). *International Journal of Refrigeration*, 2022;144:46–54. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2022.07.006>.

19. Kurokawa M., Kasai T., Sugino A., Okada I., Kobayashi R. Investigation of the key factors that affect drip loss in Japanese strawberry cultivars as a result of freezing and thawing. *International Journal of Refrigeration*, 2022;134:189–196. <https://doi.org/10.1016/j.ijrefrig.2021.11.004>.

20. Simkova K., Grohar M. C., Pelacci M., Veberic R., Jakopic J., Hudina M. The effect of freezing, frozen storage and thawing on the strawberry fruit composition. *International Journal of Fruit Science*, 2024;24;1:186–199. <https://doi.org/10.1080/15538362.2024.2355920>.

21. Blinnikova O. M., Novikova I. M., Perfilova O. V., Blinnikova D. A. Quick freezing of garden strawberries to obtain biologically active ingredients. *Proceedings from IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. (PP. 012079), IOP Publishing, 2021. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/845/1/012079>.

22. Stevanović S. M., Petrović T. S., Marković D. D. Changes of quality and free radical scavenging activity of strawberry and raspberry frozen under different conditions. *Journal of Food Processing and Preservation*, 2022;46;10:e15981. <https://doi.org/10.1111/jfpp.15981>.

© Нечаева В. С., Голуб О. В., Петрук В. А., Мотовилов О. К., Бородай Е. В., 2026

Статья поступила в редакцию 25.01.2026; одобрена после рецензирования 24.02.2026; принята к публикации 27.02.2026.

The article was submitted 25.01.2026; approved after reviewing 24.02.2026; accepted for publication 27.02.2026.

**Информация об авторах**

**Нечаева Василина Сергеевна**, младший научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук, [nechaevavs@sfsc.ru](mailto:nechaevavs@sfsc.ru);

**Голуб Ольга Валентиновна**, доктор технических наук, профессор, главный научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук, ORCID: 0000-0003-2561-9953, Author ID: 299690, [golubov@sfsc.ru](mailto:golubov@sfsc.ru);

**Петрук Вера Александровна**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук, [petrukva@sfsc.ru](mailto:petrukva@sfsc.ru);

**Мотовилов Олег Константинович**, доктор технических наук, доцент, главный научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук, ORCID: 0000-0003-2298-3549, Author ID: 388694, [motovilovok@sfsc.ru](mailto:motovilovok@sfsc.ru);

**Бородай Елена Валерьевна**, старший научный сотрудник, Сибирский федеральный научный центр агrobiотехнологий Российской академии наук, ORCID: 0000-0003-4350-085X, Author ID: 618751, [borodayev@sfsc.ru](mailto:borodayev@sfsc.ru)

**Information about the authors**

**Vasilina S. Nechaeva**, Junior Researcher, Siberian Federal Research Center of Agro-Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences, [nechaevavs@sfsc.ru](mailto:nechaevavs@sfsc.ru);

**Olga V. Golub**, Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher, Siberian Federal Research Center of Agro-Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences, ORCID: 0000-0003-2561-9953, Author ID: 299690; [golubov@sfsc.ru](mailto:golubov@sfsc.ru);

**Vera A. Petruk**, Candidate of Agricultural Sciences, Leading Researcher, Siberian Federal Research Center of Agro-Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences, [petrukva@sfsc.ru](mailto:petrukva@sfsc.ru);

**Oleg K. Motovilov**, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Chief Researcher, Siberian Federal Research Center of Agro-Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences, ORCID: 0000-0003-2298-3549, Author ID: 388694, [motovilovok@sfsc.ru](mailto:motovilovok@sfsc.ru);

**Elena V. Borodai**, Senior Researcher, Siberian Federal Research Center of Agro-Biotechnologies of the Russian Academy of Sciences, ORCID: 0000-0003-4350-085X, Author ID: 618751, [borodayev@sfsc.ru](mailto:borodayev@sfsc.ru)

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.**

**Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.**