



Научная статья

05.18.01 – Технология обработки, хранения и переработки злаковых, бобовых культур, крупяных продуктов, плодоовощной продукции и виноградарства (технические науки)

УДК 664.8.022

doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.007

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЁ

Ксения Николаевна Нициевская<sup>1</sup>, Василина Сергеевна Нечаева<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Сибирский федеральный научный центр агробиотехнологий Российской академии наук, Краснообск, Россия

<sup>1</sup> aksuta88@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7302-106X>

<sup>2</sup> vasilinatsr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8108-6226>

**Аннотация.** В статье представлены литературные данные биохимического состава плодов земляники садовой, которые отличаются высоким содержанием пектиновых веществ (в пределах до 1,4 %) и сахаров (до 8,1 %). В качестве объектов исследования было предложено взять образцы земляники садовой в свежем виде. Образцы подвергались воздействию ультразвукового поля посредством использования в процессе технологической обработки растительного сырья прибора «Волна». Параметры различия экспериментальных образцов заключались в использовании различного содержания воды при расчете соотношения относительно плоды земляники садовой / вода. Постоянными параметрами оставались мощность обработки экспериментальных образцов и продолжительность ультразвукового воздействия на образцы. В процессе обработки экспериментальные образцы подвергались анализу данных по показателям: активная кислотность, вязкость и температура в процессе обработки. Проведено обобщение полученных данных в табличном и графическом изображении. Установлены закономерности повышения температуры с изменением периодичности замера в процессе технологической обработки плодового сырья. Представлена модель регрессионной зависимости изменения температуры в процессе обработки сырья в свежем виде. Графически представлены изменения активной кислотности образцов в соответствии с их кодировкой. Исследованы изменения вязкости образцов в процессе обработки образцов, отличия которых в изменении количественного содержания водной фракции. Обобщены данные по показателю «вязкость» в процессе хранения у образцов, прошедших полный процесс технологической обработки.

**Ключевые слова:** плоды, земляника садовая, плоды свежие, ультразвук, вязкость, активная кислотность, температура, цветовые характеристики.

**Для цитирования:** Нициевская К. Н., Нечаева В. С. Влияние ультразвукового воздействия на растительное сырьё // Ползуновский вестник. 2021. № 2. С. 55–62. doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.007.

Original article

## THE EFFECT OF ULTRASONIC EXPOSURE ON PLANT RAW MATERIALS

Ksenia N. Nitsievskaya<sup>1</sup>, Vasilina S. Nechaeva<sup>2</sup>

<sup>1, 2</sup> Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences, Krasnoobsk, Russia

<sup>1</sup> aksuta88@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7302-106X>

<sup>2</sup> vasilinatsr@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8108-6226>

© Нициевская К. Н., Нечаева В. С., 2021

**Abstract.** The article presents the literature data on the biochemical composition of strawberry fruits, which are characterized by a high content of pectin substances (up to 1.4 %) and sugars (up to 8.1 %). As objects of research, it was proposed to take samples of fresh garden strawberries. The samples were exposed to an ultra-sound field by using the "Wave" device in the process of processing the growing raw materials. The parameters of the difference between the experimental samples consisted in the use of different water content when calculating the ratio relative to strawberry fruit / water. The processing power of the experimental samples and the duration of ultrasonic exposure to the samples remained constant parameters. During processing, the experimental samples were subjected to data analysis on the indicators-active acidity, viscosity and temperature during processing. The obtained data are summarized in a tabular and graphical image. The laws of temperature increase with a change in the frequency of measurement in the process of technological processing of fruit raw materials are established. A model of the regression dependence of the temperature change during the processing of raw materials in fresh form is presented. The changes in the active acidity of the samples in accordance with their encoding are graphically presented. The changes in the viscosity of samples during the processing of samples, the differences of which are in the change in the quantitative content of the water fraction, are investigated. Generalized data on the indicator "viscosity" in the storage process for samples that have passed the full process of technological processing.

**Keywords:** fruit, strawberry, fresh fruit, ultrasound, viscosity, active acidity, temperature, color characteristics.

**For citation:** Nitsievskaya, K. N. & Nechaeva, V. S. (2021). The effect of ultrasonic exposure on plant raw materials. *Polzunovskiy vestnik*, (2), 55-62. (In Russ.). doi: 10.25712/ASTU.2072-8921.2021.02.007.

## ВВЕДЕНИЕ

Земляника (*Fragaria*), род ягодных многолетних травянистых растений семейства розовых. Около 50-ти видов (по другим данным, 20–25) произрастают в Евразии, Америке; в Российской Федерации – 7 видов. В диком виде наиболее распространена Земляника лесная (*Fragaria vesca*). В качестве ягодной культуры в основном выращивают крупноплодную Землянику садовую или ананасную (*Fragaria grandiflora*, *Fragaria ananassa*) [1, 2].

Привлекательный красный цвет ягоде придают ликопин (каротиноидный пигмент),  $\alpha$ - и  $\beta$ -каротины. За очаровательный аромат ягоды отвечают эфирные масла, сложные эфиры, спирты. Благодаря гармоничному сочетанию сахаров и кислот, нежной мякоти, легкой усваиваемости питательных веществ ягоды земляники представляют большую

ценность как продукт диетического питания [3]. Земляника – не просто вкусный десерт, каким считают ее многие. На самом деле она очень полезна и важна для нашего рациона, так как насыщает организм необходимыми веществами [4].

Плоды и ягоды как растительные сочные объекты с преобладанием воды в составе не имеют высокой энергетической ценности: 100 г съедобной части дают всего 30–100 ккал [5]. Основным энергетическим материалом в составе служат легкоусвояемые углеводы, преобладающие в сухом веществе (таблица 1) [6].

Энергетическая ценность плодов невысока из-за большого содержания воды, но плодово-ягодные продукты являются сильными химическими регуляторами процесса пищеварения, поскольку влияют на биохимические процессы пищеварения и обмена веществ [1].

Таблица 1 – Углеводный состав плодов, % [6]

Table 1 - Carbohydrate composition of fruits, % [6]

Вид	Сахара		Пектиновые вещества	Клетчатка	Аскорбиновая кислота
	Всего	Сахароза			
Земляника садовая	3,7–8,1	–	0,7–1,4	4,0	20–55
Жимолость съедобная	4–13,2	–	1,64	–	40–130
Смородина черная	7,8–8,8	0,3	0,5–0,9	2,4–3,5	47–374
Арония черноплодная	8,6	8,3	0,77	3,31	20,83

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЁ

Аскорбиновая кислота обладает антиоксидантными свойствами, способностью препятствовать развитию процессов свободно-радикального окисления, приводящих к негативным последствиям [7]. Витамин С (формы и метаболиты аскорбиновой кислоты) участвует в окислительно-восстановительных реакциях, функционировании иммунной системы, способствует усвоению железа и нормальному кроветворению [8]. Дефицит витамина С в рационе питания приводит к рыхлости и кровоточивости десен, носовым кровотечениям вследствие повышенной проницаемости и ломкости кровеносных капилляров. Установленный уровень физиологической потребности человека в витамине С – 45...110 мг/сут [9].

Большинство плодов и ягод содержат в сопоставимых с потребностями человека количествах лишь один или два витамина. К моновитаминным культурам относятся арония (витамин Р), ирга (Р), малина (Р и редко В 9); к бивитаминным – земляника, смородина черная (С + Р или редко С + Р + В9), цветные смородины (С + Р) [10].

**Цель исследования:** получение продукции из плодов земляники садовой в свежем виде с использованием ультразвуковой обработки.

**Методика исследований.** В качестве исследуемого материала были взяты свежие плоды (ягоды) земляники садовой сорта «Даренка» (характеризовались ранним сроком созревания и крупноплодностью, выращенные на территории Новосибирской области, производитель ИП Шубина). Качество плодов оценивали согласно ГОСТ 33953-2016 (калибровка плодов производилась по наибольшему поперечному диаметру с использованием штангенциркуля).

Свежие плоды земляники садовой предварительно не измельчали и не подвергали

мойке, только удаляли чашелистики. В предварительно стерилизованные стеклянные бутылки номинальным объемом 1000 мл помещали свежие плоды и заливали дистиллированной водой в разном соотношении (рисунок 1).

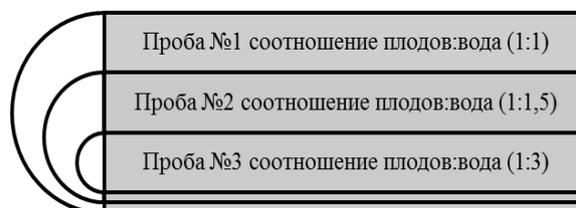


Рисунок 1 – Соотношение рецептурных ингредиентов

Figure 1 - Ratio of recipe ingredients

Кодировка образцов в пробах проводилась согласно продолжительности обработки, мин. (таблица 1).

Проведение эксперимента основывалось на использовании ультразвуковой волны с помощью аппарата УЗТА «Волна», с длиной волны 100 н.метров и продолжительностью воздействия ультразвука от 10 до 30 минут (каждые 10 минут производили измерение температуры экспериментальных образцов продукта и pH).

Измерения активной кислотности проводили на приборе pH-метр с помощью аппарата «Нитрон», принцип работы прибора основан на применении метода прямой потенциометрии, измерение температуры проводили термометром.

Измерение вязкости проводили на вискозиметре серии SV-A, при температуре образцов  $t = 20,0 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Схема эксперимента представлена на рисунке 2.

Таблица 2 - Кодировка экспериментальных образцов

Table 2 - Coding of experimental samples

Показатель	Свежие плоды											
	Проба №1				Проба №2				Проба №3			
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Время воздействия УЗ, мин	б/о*	10	20	30	б/о	10	20	30	б/о	10	20	30

\* Примечание «б/о» – без обработки



Рисунок 2 – Порядок проведения эксперимента

Figure 2 - The order of the experiment

### РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Согласно порядку проведения эксперимента (рисунок 3), «приемка сырья» включала визуальный анализ плодов земляники садовой в свежем состоянии. У свежих плодов сердцевидная форма, мякоть темно-красная,

плотная, хорошего кисло-сладкого вкуса. Семянки многочисленные, желтоватые, слабо вдавленные в мякоть.

Качество свежих плодов земляники садовой должно соответствовало требованиям и нормам, указанным в таблице 3.

Таблица 3 – Сравнительный анализ свежих плодов земляники садовой согласно нормативной документации

Table 3 - Comparative analysis of fresh fruits of garden strawberries in accordance with regulatory documents

ГОСТ 33953-2016 (первого сорта) [11]	Земляника садовая сорт «Даренка»
<i>Внешний вид</i>	
Ягоды с характерными признаками помологического сорта, без следов земли. Допускаются небольшие дефекты при условии, что они не влияют на общий внешний вид, качество, сохраняемость и товарный вид продукта в упаковке: дефект формы, наличие белого пятна размером не более 1/10 поверхности ягоды, легкая поверхностная примятость	Ягоды хорошо сформировавшиеся, не перезревшие, свежие, не мытые, без наличия земли, типичной для помологического сорта формы и окраски, без повреждений.
<i>Запах и вкус</i>	
Свойственные данному помологическому сорту без постороннего запаха и (или) привкуса	Свойственные данному помологическому сорту без постороннего запаха и (или) привкуса
<i>Степень зрелости</i>	
Ягоды однородные по степени зрелости	Ягоды однородные по степени зрелости
<i>Размер ягод по наибольшему поперечному диаметру, мм, не менее (для потребления в свежем виде и для промышленной переработки)</i>	
18,0	20,5 ± 1,0
<i>Степень зрелости: ягоды однородные по степени зрелости (для потребления в свежем виде и для промышленной переработки)</i>	
Ягоды однородные по степени зрелости	соответствует НД
<i>Наличие ягод загнивших, увядших, заплесневевших, сильно помятых, с излишней внешней влажностью</i>	
Не допускается	Не имелось
<i>Наличие посторонней примеси</i>	
Не допускается	Не имелось

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЁ

Согласно установленным нормативным требованиям, исходное сырье в виде плодов земляник свежей соответствует требованиям нормативного документа ГОСТ 33953-2016 как продукция первого сорта.

На этапе «подготовка компонентов» у свежих плодов были удалены чашелистики,

исследованы pH дистиллированной воды ( $pH = 4,62$ ) и температура ( $t = 25,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ ).

Технологическая обработка сырья проводилась согласно методике, описанной в разделе «Материалы и методы». С интервальностью 20 минут проводили измерение температуры и pH образцов, результаты представлены на рисунках 4–6.

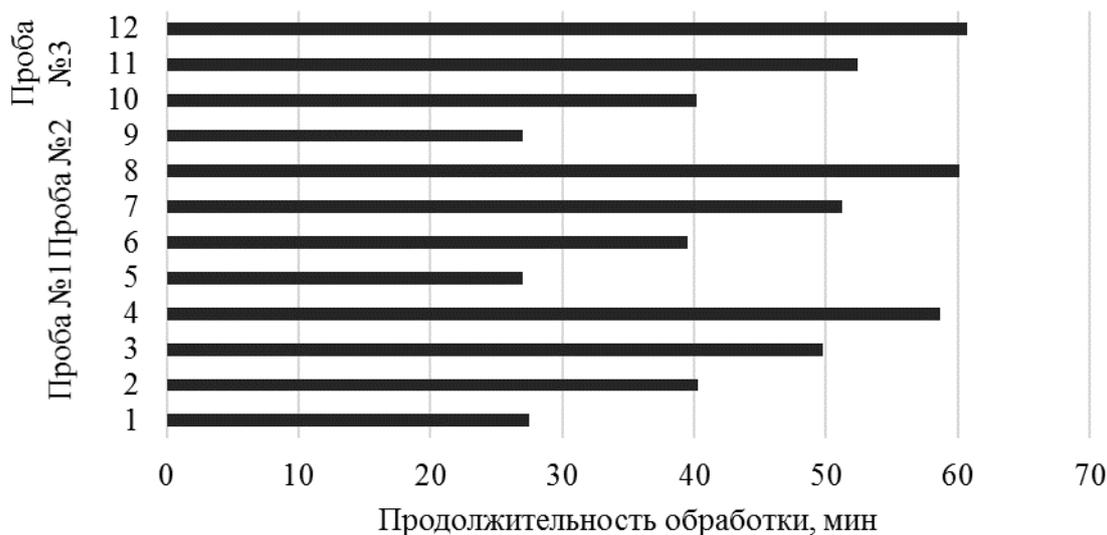


Рисунок 3 – Исследование температуры образцов из свежих плодов земляники садовой в разные временные интервалы,  $P \geq 0,95$

Figure 3 - Study of the temperature of samples from fresh fruits of garden strawberries in different time intervals,  $P \geq 0.95$

Визуализация данных по экспериментальным образцам обработки свежих плодов земляники садовой по показателю «температура» при различной продолжительности указывает на пропорциональное изменение согласно временному интервалу обработки вывели регрессионную зависимость:

$$y = 1,09x + 28,07 \text{ при } R^2 = 0,98.$$

При сравнении данных по обработке плодов земляники садовой максимальная температура в процессе обработки обнаружена в пробе № 3 образца № 12, который

характеризовался высоким содержанием водной фракции (таблица 3), поэтому можно утверждать, что при увеличении соотношения воды в образцах отмечается нагрев быстрее и интенсивнее по всему объему, увеличение температуры пропорционально времени обработки, так каждые последующие 10 минут обработки увеличивали температуру жидкой части образца на  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Во временном интервале 10 минут исследованы изменения показателя pH, данные представлены на рисунке 4.



Рисунок 4 – Изменения показателя рН в процессе технологической обработки,  $P \geq 0,95$

Picture 4 - Changes in pH during technological processing,  $P \geq 0.95$

Данные кислотности по экспериментальным образцам указывали на снижение продукции в кислую сторону при увеличении временного интервала, что связано с экстрагированием органических кислот из плодов в объем водной фракции.

Визуальные изменения плодов земляники садовой в свежем виде наблюдали отделение семянок от плодов и нарушение покрова, полного разрушения плодов не обнаружено.

Цветовые характеристики образцов

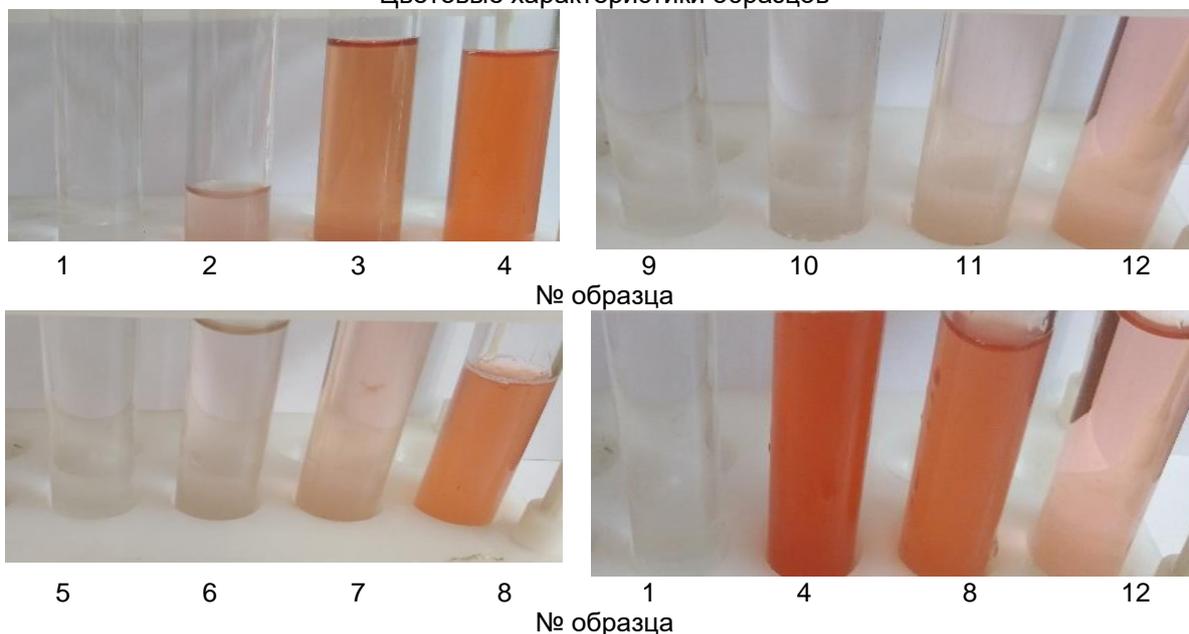


Рисунок 5 – Цветовые характеристики образцов

Figure 5 - Color characteristics of samples

Анализируя данные рисунка 6, установлено, что наибольшая экстракция получена в образцах с наименьшим содержанием водной фракции при продолжительности обработки в течение 30 минут.

В экспериментальных образцах происходило динамическое повышение вязкости экстрактивной фракции с увеличением продолжительности обработки с 10 до 30 минут (рисунок 6).

## ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА РАСТИТЕЛЬНОЕ СЫРЬЁ

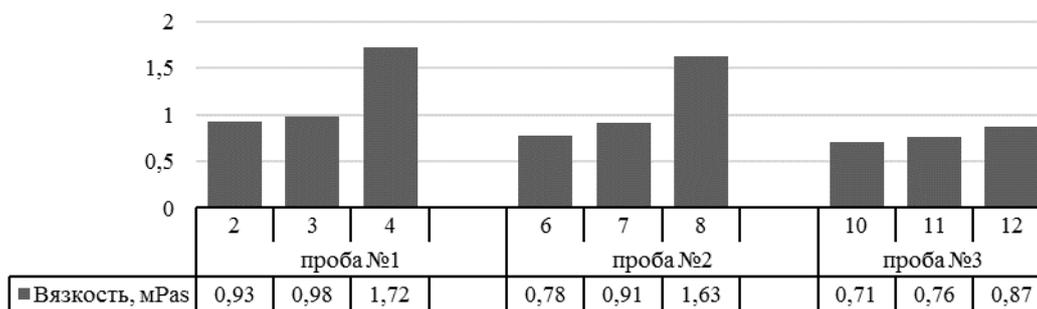


Рисунок 6 – Измерение вязкости водной фракции ( $t = 20,0 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ , ( $P \geq 0,95$ )

Figure 6 - Measurement of the viscosity of the water fraction ( $t = 20.0 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ , ( $P \geq 0.95$ )

Динамика при экстракции из плодов земляники садовой в свежем виде объяснялась большим количеством свободной воды в

плодах. В процессе хранения получили следующие количественные данные показателя «вязкость» (рисунок 7).

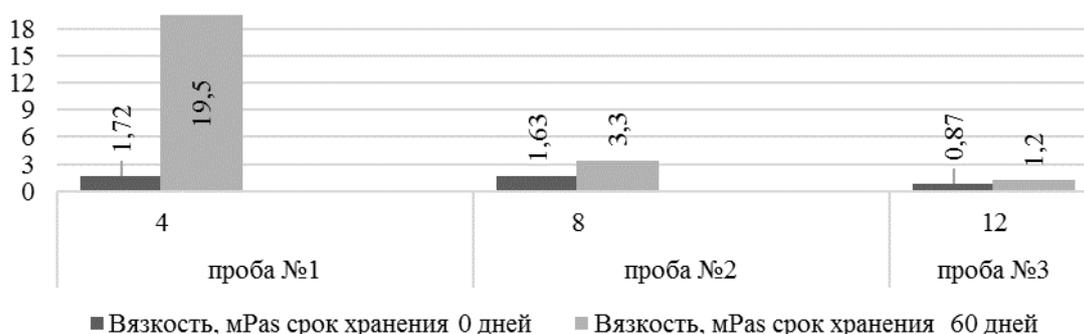


Рисунок 7 – Измерение вязкости водной фракции в процессе хранения ( $t = 4 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ , ( $P \geq 0,95$ )

Figure 7 - Measurement of the viscosity of the water fraction during storage ( $t = 4 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ ),  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ , ( $P \geq 0.95$ )

В процессе хранения при  $t = 4 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$  наблюдали изменение вязкости водной фракции образцов. При измерении температура образцов была приравнена к первоначальной температуре, используемой при определении вязкости ( $t = 20,0 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Наблюдали скачкообразную динамику в образце № 4 в 19 раз (с 1,72 до 19,5  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ), в образце № 8 в 2 раз (с 1,63 до 3,3  $\text{mPa} \cdot \text{s}$ ).

### ВЫВОДЫ

Обработка плодов земляники садовой в свежем виде позволила получить различные вариации продукции по органолептическим и физико-химическим показателям. Установлены зависимости увеличения температуры во временном интервале в разных экспериментальных образцах. При смещении в кислую сторону предполагается снижение микробной обсемененности образцов в процессе обра-

ботки от первоначальных данных, что позволит обеззараживать и экстрагировать одновременно. Полученную основу возможно будет использовать для приготовления желе-ных кондитерских изделий.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Нечаев А.П. Пищевая химия : учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлениям: 552400 «Технология продуктов питания» / А.П. Нечаев, С.Е. Траубенберг, А.А. Кочеткова. СПб. : ГИОРД, 2003. 640 с.
2. Никиточкина Т.Д. Земляника // Большая российская энциклопедия. Том 10. [сайт]. URL : <https://bigenc.ru/agriculture/text/2381812#litra> (дата обращения: 04.03.2021).
3. Kalt W. 2001. Health functional phytochemicals of fruit. Horticultural Reviews. № 27. С. 269–315.
4. Акимов М.Ю., Макаров В.Н., Жбанова Е.В. Роль плодов и ягод в обеспечении человека жизненно важными биологически активными веще-

ствами // Достижения науки и техники АПК. 2019. Т. 33. № 2. С. 56–60.

5. Sturm K., Koron D., Stampar F. 2003. The composition of fruit of different strawberry varieties depending upon maturity stage. *Food Chemistry* 83 : 417–422.

6. Экспертиза дикорастущих плодов, ягод и травянистых растений. Качество и безопасность. Новосибирск : Изд-во Сиб. ун-та, 2007. 214 с.

7. Prior RL, Cao G. 2000. Antioxidant phytochemicals in fruit and vegetables: diet and health implications. *HortScience*. № 35. С. 588–592.

8. Bojarska Ju.E., Zadernowski R., Czaplicki S. Ellagic acid content in fruits of selected strawberry cultivars. *Polish Journal of Natural Science*. 2011. № 26 (2). С. 171–177.

9. Нормы физиологических потребностей в энергии и пищевых веществах для различных групп населения Российской Федерации. Методические рекомендации МР 2.3.1.2432-08. М. : Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора, 2009. 36 с.

10. Kris-Etherton P.M., Hecker K.D., Bonanome A., Coval S.M., Binkoski A.E., Hilpert K.F. [et al.] 2002. Bioactive compounds in foods: their role in the prevention of cardiovascular disease and cancer. *American Journal of Medicine* 113 : 71S–88S.

11. ГОСТ 33953-2016. Земляника свежая. Технические условия : введен в действие приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2016 г. № 1851-ст : дата введения 2017-07-01. Москва : Изд-во стандартов, 2017. 18 с.

### Информация об авторах

К. Н. Нициевская – кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий Российской академии наук.

В. С. Нечаева – младший научный сотрудник Сибирского федерального научного центра агробιοтехнологий Российской академии наук.

### REFERENCES

1. Nechaev, A.P., Traubenberg, S.E. & Kochetkova, A.A. (2003). *Cibum chemiae: artem enim*

*university alumni studendo in partes: 552400 "Technology cibum products"*. SPb. : GIORD. (In Russ.).

2. Nikitochkina, T.D. (2008). *Zemlyanika. Bolshaya rossiyskaya enciklopediya*. Retrieved from <https://bigenc.ru/agriculture/text/2381812#litra>. (In Russ.).

3. Kalt, W. (2001). Saludem eget phytochemicals fructus. *Horticultural Reviews*, (27), 269-315.

4. Akimov, M.Yu., Makarov, V.N. & Zhbano-va, E.V. (2019). The role of fruits and berries in providing humans with vital biologically active substances. *Dostizheniya nauki i tekhniki APK*, 33(2), 56-60. (In Russ.).

5. Sturm, K., Koron, D. & Stampar, F. (2003). Compositionem fructus diversis fragum varietates secundum maturitatis tempus. *Cibum Chemiae*, (83), 417-422.

6. Examen silvestris fructus, bacas et herbaceum plantis. Qualitas et saludem. (2007) Novosibirsk : Sib Libellorum Domus. un-ta. (In Russ.).

7. Prior, RL & Cao, G. (2000). Antioxidant phytochemicals in fructus et legumina: victu et sanitas se habet. *Hort Science*, (35), 588-592.

8. Bojarska, Ju.E., Zadernowsk, R. & Czaplicki, S. (2011). Ellagic acid content in fruits of selected strawberry cultivars. *Polish Journal of Natural Science*, 26(2), 171-177.

9. Normas physiologica indiget in virtute, et cibus substantiis pro diversis coetibus populi in Russian Foederatio. Applicando commendation : МР 2.3.1.2432-08. (2009). Moscow: Foederati Centrum enim Munditia et Epidemiology de Rospotrebnadzor. (In Russ.).

10. Kris-Etherton, P.M., Hecker, K.D., Bonanome, A., Coval, S.M., Binkoski, A.E., Hilpert, K.F., Griel, A.E. & Etherton, T.D. (2002). Bioactive componit in cibus: eorum munus, ne cardiovasculares morbo et cancer. *American Journal of Medicine*, (113), 71-88.

11. Fresh strawberries. Specifications. (2017). *HOST 33953-2016 from 01 Jul 2017*. Moscow : Standards Publishing House. (In Russ.).

### Information about the authors

K. N. Nitsievskaya – Candidate of Technical Sciences, Leading Researcher at the Siberian Federal Research Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences.

V. S. Nechaeva – junior researcher at the Siberian Federal Scientific Center of Agrobiotechnology of the Russian Academy of Sciences.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare that there is no conflict of interest.

Статья поступила в редакцию 21.04.2021; одобрена после рецензирования 12.05.2021; принята к публикации 24.05.2021.

The article was received by the editorial board on 21 Apr 21; approved after editing on 12 May 21; accepted for publication on 24 May 21.