

## ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ

УДК 533.9.082.74: 631.53.027.34:633.18: 633.15

DOI: 10.26897/2687-1149-2023-5-73-77



## Применение СВЧ-энергии для улучшения показателей безопасности зернового сырья

**Черкасова Эльмира Исламовна** <sup>✉</sup>, канд. с.-х. наук, доцент

e.cherkasova@rgau-msha.ru <sup>✉</sup>; <https://orcid.org/0000-0002-2495-2028>; Scopus Autor ID: 57216812784; Researcher ID: AAD-5493-2022

**Антонова Ульяна Юрьевна**, канд. техн. наук, доцент

uantonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>; Scopus Autor ID: 57216809631; Researcher ID: AAD-5690-2022

**Голиницкий Павел Вячеславович**, канд. техн. наук, доцент

gpv@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7303-1658>; Scopus Autor ID: 57216809753; Researcher ID: AAD-6305-2022

**Кравченко Игорь Николаевич**, д-р техн. наук, профессор

kravchenko-in@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>; Scopus Autor ID: 7004969160; Researcher ID: B-9463-2018

**Пупкова Дарья Александровна**, ассистент

bogolyubova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0273-2796>; Scopus Autor ID: 57488490600; Researcher ID: AAD-6559-2022

Российский государственный аграрный университет – МСХА имени К.А. Тимирязева; 127434, Российская Федерация, г. Москва, ул. Тимирязевская, 49

**Аннотация.** Обеспечение безопасности зернового сырья при хранении является актуальной проблемой. Метод микроволнового излучения – наиболее эффективный и экологичный способ обработки зерна. Для получения продукции, отвечающей требованиям качества и безопасности, необходимо определить эффективные режимы воздействия. С этой целью на установке МкП-1200 с режимом действия 2450 МГц исследовалось обеззараживание зерна кукурузы и риса в зависимости от скорости нагрева и времени воздействия микроволнового излучения на зерно. Микробиологические показатели зерна, определенные по стандартной методике, показали видовое разнообразие микроорганизмов на необработанном зерне. Максимальное обеззараживание зерна риса наблюдалось при скорости нагрева 0,63...0,71°C/с, времени обработки 122...171 с. Максимальное обеззараживание зерна кукурузы наблюдалось при интенсивности нагрева 0,6...0,69°C/с. Электромагнитное поле сверхвысокой частоты минимизирует показатели микробиологической обсемененности и обеспечивает наилучшие показатели безопасности и качества зерна при хранении.

**Ключевые слова:** СВЧ-энергия, метод микроволнового излучения, обеззараживание, обсемененность микроорганизмами, качество, безопасность, зерновое сырье

**Формат цитирования:** Черкасова Э.И., Антонова У.Ю., Голиницкий П.В., Кравченко И.Н., Пупкова Д.А. Применение СВЧ-энергии для улучшения показателей безопасности зернового сырья // *Агроинженерия*. 2023. Т. 25, № 5. С. 73-77. <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-73-77>.

© Черкасова Э.И., Антонова У.Ю., Голиницкий П.В., Кравченко И.Н., Пупкова Д.А., 2023

## ORIGINAL ARTICLE

### Application of microwave energy to improve the safety indicators of raw grain

**Elmira I. Cherkasova** <sup>✉</sup>, CSc (Ag), Associate Professor

e.cherkasova@rgau-msha.ru <sup>✉</sup>; <https://orcid.org/0000-0002-2495-2028>; Scopus Autor ID: 57216812784; Researcher ID: AAD-5493-2022

**Uliana Yu. Antonova**, CSc (Eng), Associate Professor

uantonova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0003-0126-3550>; Scopus Autor ID: 57216809631; Researcher ID: AAD-5690-2022

**Pavel V. Golinitzkiy**, CSc (Eng), Associate Professor

gpv@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7303-1658>; Scopus Autor ID: 57216809753; Researcher ID: AAD-6305-2022

**Igor N. Kravchenko**, DSc (Eng), Professor

kravchenko-in@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-1826-3648>; Scopus Autor ID: 7004969160; Researcher ID: B-9463-2018

**Daria A. Pupkova**, Assistant Professor

bogolyubova@rgau-msha.ru; <https://orcid.org/0000-0002-0273-2796>; Scopus Autor ID: 57488490600; Researcher ID: AAD-6559-2022

Russian State Agrarian University – Moscow Timiryazev Agricultural Academy; 49, Timiryazevskaya Str., Moscow, 127434, Russian Federation

**Abstract.** Ensuring the safety of grain raw materials during storage is an urgent problem. The most efficient and environmentally friendly method is the microwave radiation method. To obtain products that meet the requirements

of quality and safety, it is necessary to determine the effective modes of exposure. For this purpose, the decontamination of corn and rice grain depending on the heating rate and time of microwave radiation exposure on the grain was studied on the МкР-1200 unit with the 2450 MHz mode of action. Microbiological indices of grain determined according to standard methodology showed species diversity of microorganisms on untreated grain. Maximum disinfection of rice grain was observed at a heating rate of 0.63 to 0.71°C/s, treatment time of 122 to 171 s. Maximum disinfection of corn grain was observed at a heating rate of 0.6 to 0.69°C/s. The electromagnetic field of ultra-high frequency minimises indicators of microbiological contamination and provides the best indicators of safety and quality of grain during storage.

**Keywords:** microwave energy, disinfection, contamination with microorganisms, quality, safety, grain raw materials

**For citation:** Cherkasova E.I., Antonova U.Yu., Golinitkiy P.V., Kravchenko I.N., Pupkova D.A. Application of microwave energy to improve the safety indicators of raw grain. *Agricultural Engineering (Moscow)*, 2023;25(5):73-77. (In Rus.). <https://doi.org/10.26897/2687-1149-2023-5-73-77>.

**Введение.** Одним из ключевых направлений агропромышленного комплекса является повышение безопасности и качества сырья и продукции. Безопасность и качество продукции являются основой конкурентоспособности и успешной работы предприятия [1], поэтому необходимо обеспечить безопасность используемого сырья и сохранить качество готового продукта во всей цепочке «Производство-хранение-переработка-реализация».

Качество зерна ухудшается при поражении микроорганизмами грибной и бактериальной этиологии. Вредоносность инфекций, заражающих сырьё, часто повышается благодаря образованию в нём токсинов, продуцирующих многочисленные фитопатогенные грибы. При этом замечаются как ухудшение технологических свойств зерна, так и искажённость химического состава: гидрализуется белок и накапливаются продукты его составляющих (аммиак, амиды, пептиды и другие вещества), изменяется структура крахмала и замечается рост токсичных веществ. При отклонении от условий оптимальных режимов хранения, ввиду увеличенной температуры и относительной влажности воздуха, отмечается растрескивание внутренней части зерновки – эндосперма, возникает самосогревание, и в результате – несоответствие готовой продукции показателям качества. Обеспечение безопасности зернового сырья является проблемой не только в нашей стране, но и в зарубежных странах [2-4].

Снизить количество нежелательных микроорганизмов и сохранять при этом качественные показатели зерна можно путём дезинфекции, хранения сырья при пониженной температуре, многоступенчатой очистки и технологических приёмов (шелушение, шлифование, сушка, инфракрасное излучение, применение ультразвуковой очистки и гамма-лучей). Но данные методы являются экономически нецелесообразными и неспособными максимально обезвредить сырьё. Воздействие СВЧ-энергии, объединяющей электромагнитное и тепловое поле [5], одинаково влияет как на снижение загрязнённости сырья, так и на сохранение пищевой ценности продукции.

**Цель исследований:** использование энергии сверхвысокой частоты для обеспечения безопасности зерна при хранении.

**Материалы и методы.** Проведен анализ применения эффективных способов высокочастотной и сверхвысокочастотной энергии в отраслях агропромышленного комплекса [5-10]. Изучено воздействие сверхвысоких частот на зерновое сырьё кукурузы и риса [7].

Исследование проводилось на лабораторной установке МкР-1200. Воздействующим параметром являлось СВЧ-поле с режимом действия 2450 МГц.

В исследовании применялась методика активного планирования. Выбран двухфакторный план эксперимента по Коно-2, отличающийся показателями экономичности и точными статистическими данными.

Определение общего микробного числа и плесневых грибов в исследуемых образцах производилось в соответствии с ГОСТ 12044-93 «Семена сельскохозяйственных культур. Методы определения заражённости болезнями».

**Результаты и их обсуждение.** В ходе исследования микробиологических показателей зерна риса выявлено видовое разнообразие микроорганизмов: *Cladosporium*, *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium* и *Mucor*. Технологические этапы, сопровождаемые повреждением зерна, способствуют размножению нежелательной микрофлоры [8].

Изучалась заражённость зерна риса в зависимости от параметров СВЧ-энергии (табл. 1). На основании проведенных исследований определялись оптимальные параметры СВЧ-поля, построена поверхность отклика (рис. 1).

Наиболее оптимальные режимы находятся в плоскости: скорость нагрева  $V_t = 0,65...0,68^\circ\text{C}/\text{с}$ ; время обработки  $\tau = 150...160$  с. Данные значения получились на вариантах 1, 5, 7, 9. Температура нагрева продукта изменялась в диапазоне  $t = 68...95^\circ\text{C}$ . Результатами исследования установлено, что СВЧ-воздействие снижает заражённость продукции грибами р. *Aspergillus* до безопасных пределов.

Таблица 1

Изменение показателей заражённости зерна риса в зависимости от параметров СВЧ-энергии

Table 1

Changes in indicators of rice grain contamination depending on the parameters of microwave energy

Вариант Option	Экспозиция, τ, с Exposition, τ, s	Скорость нагрева, Vt, °C/c Heating rate, Vt, °C/s	Температура нагрева зерна риса, t °C Heating temperature of rice grain, t, °C	Заражённость возбудителями, КОЕ/г Infection with pathogens, CFU/g		
				Aspergillum	Penicillum	Alternaria
1	180	0,8	95	0	0	0
2	180	0,4	60	21·10 <sup>3</sup>	64,7·10 <sup>3</sup>	19·10 <sup>3</sup>
3	60	0,8	65	24·10 <sup>3</sup>	17·10 <sup>3</sup>	11,3·10 <sup>3</sup>
4	60	0,4	30	113·10 <sup>3</sup>	139·10 <sup>3</sup>	1·10 <sup>5</sup>
5	120	0,8	78	3·10 <sup>3</sup>	9·10 <sup>3</sup>	0,33·10 <sup>3</sup>
6	120	0,4	38	218·10 <sup>3</sup>	101·10 <sup>3</sup>	196·10 <sup>3</sup>
7	180	0,6	88	0	1,67·10 <sup>3</sup>	0,33·10 <sup>3</sup>
8	60	0,6	40	217·10 <sup>3</sup>	102·10 <sup>3</sup>	178·10 <sup>3</sup>
9	120	0,6	68	1·10 <sup>4</sup>	7·10 <sup>3</sup>	11,7·10 <sup>3</sup>
10	Контроль / Control			126·10 <sup>3</sup>	76,3·10 <sup>3</sup>	84·10 <sup>3</sup>

При несоблюдении условий хранения (повышенные влажность и температура) на рисовом зерне обнаруживаются грибы *p. Penicillium*, выявляется зеленоватый налёт<sup>1</sup> [9]. Повреждающий эффект грибов *Penicillium* проявляется в вялом плесневении, что приводит к отравлению зародыша зерновки токсинами. Вредные свойства грибов рода *Penicillium* связаны не только с токсичными метаболитами (аммиак, продукты окисления жирных кислот и др.), но и с механическим повреждением клеток<sup>2,3</sup> [11]. Поскольку это внутренняя инфекция, то при помощи современных методов обработки её практически невозможно очистить. При этом споры данного вида устойчивы к температурным перепадам и могут выдерживать температуру выше 175°C.

Зависимость влияния параметров СВЧ-поля на заражённость зерна риса грибами *p. Penicillium* представлена рисунке 2.

<sup>1</sup> Цугленок Г.И., Юсупова Г.Г., Головина Т.А. Термическое воздействие СВЧ-поля на продовольственное зерно пшеницы. Красноярск: Изд-во Красноярского государственного аграрного университета, 2005. 125 с.

<sup>2</sup> Цугленок Н.В., Кунгс Я.А. Влияние энергии СВЧ-поля на заражённость и качество зернового хлеба. Красноярск: Изд-во Красноярского государственного аграрного университета, 2005. 103 с.

<sup>3</sup> Цугленок Н.В., Цугленок Г.И., Юсупова Г.Г. Комплексная система обеззараживания зерна и продуктов его переработки. Красноярск: Изд-во Красноярского государственного аграрного университета, 2004. 210 с.

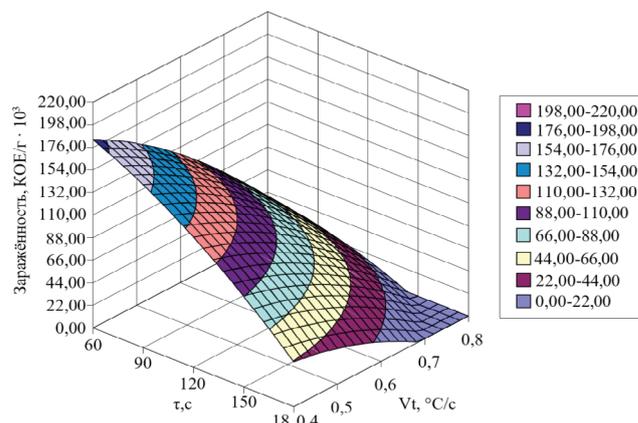


Рис. 1. Влияние СВЧ-поля на обсеменённость зерна риса грибами *p. Aspergillus*

Fig. 1. Effect of microwave field on *Aspergillus* fungi contamination of rice grain

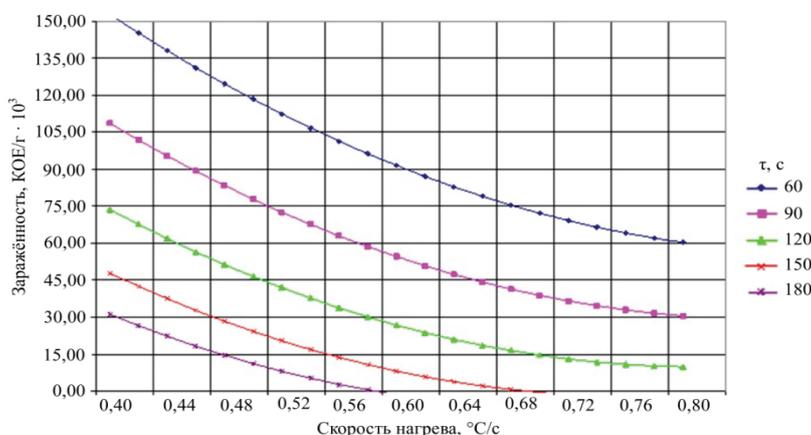


Рис. 2. Заражённость зерна риса грибами *p. Penicillium* в зависимости от параметров СВЧ-поля

Fig. 2. Infection of rice grain with *Penicillium* fungi depending on the microwave field parameters

Экспериментально установлена область благоприятного режима: время обработки  $t = 122-171$  с; скорость нагрева  $V_t = 0,56...0,68^\circ\text{C}/\text{c}$ . Губительными для грибов оказались режимы 1 и 7. В образце 9 численность грибов имеет самые безопасные пределы, а в вариантах 4, 6, 8 наблюдается активизация роста грибной инфекции.

Исследован состав микроорганизмов кукурузного зерна и получены значения о результатах воздействия СВЧ-энергии на зараженность грибами (табл. 2, рис. 3, 4). Анализ данных таблицы 2 показывает, что наиболее эффективными режимами являются 1, 2, 5,

7, 9. В данных режимах температура нагрева зерна составляет от  $65$  до  $85^\circ\text{C}$ . При температуре выше  $85^\circ\text{C}$  наблюдается денатурация белков, поэтому наивысшая температура нагрева должна составлять  $75^\circ\text{C}$ . Рост нежелательной микрофлоры наблюдается при температуре  $51^\circ\text{C}$  (8 вариант).

Изменение зараженности зерна кукурузы грибами рода *Aspergillus* в зависимости от скорости нагрева СВЧ-энергии представлено на рисунке 4. При интенсивности нагрева  $0,6...0,69^\circ\text{C}/\text{c}$  замечается максимальное снижение количества микроорганизмов.

Таблица 2

Изменение показателей зараженности зерна кукурузы в зависимости от параметров СВЧ-энергии

Table 2

Changes in indicators of corn grain contamination depending on the parameters of microwave energy

Вариант Option	Экспозиция, $\tau$ , с Exposition, $\tau$ , s	Скорость нагрева, $V_t, ^\circ\text{C}/\text{c}$ Heating rate, $V_t, ^\circ\text{C}/\text{s}$	Температура нагрева зерна кукурузы, $t, ^\circ\text{C}$ Heating temperature of corn grain, $t, ^\circ\text{C}$	Зараженность возбудителями, КОЕ/г Infection with pathogens CFU/g				
				<i>Mucor</i>	<i>Fusarium</i>	<i>Aspergillum</i>	<i>Penicillum</i>	<i>Alternaria</i>
1	180	0,8	85	0	0	0	0	0
2	180	0,4	67	$1 \cdot 10^2$	0	0	0	0
3	60	0,8	57	$4 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^2$
4	60	0,4	40	$5 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$2 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$
5	120	0,8	70	0	0	0	0	0
6	120	0,4	50	$3 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$9 \cdot 10^5$
7	180	0,6	75	0	0	0	0	0
8	60	0,6	51	$3 \cdot 10^2$	$6 \cdot 10^2$	$4 \cdot 10^5$	$5 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^5$
9	120	0,6	65	$1 \cdot 10^2$	0	0	$1 \cdot 10^2$	$1 \cdot 10^2$
10	Контроль / Control			$5 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$3 \cdot 10^5$	$1 \cdot 10^5$	$8 \cdot 10^5$

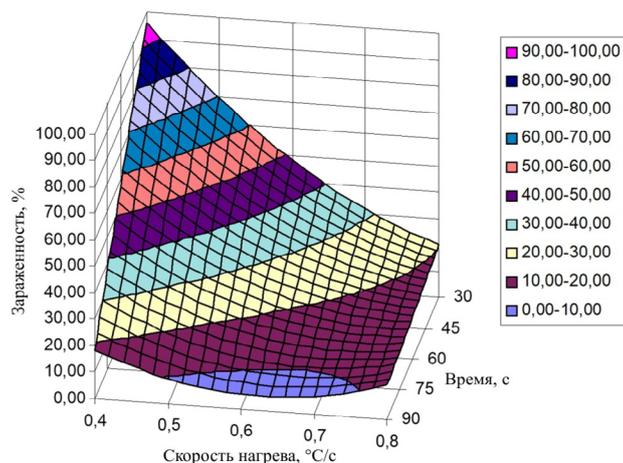


Рис. 3. Изменение зараженности зерна кукурузы грибами рода *Aspergillus* в зависимости от параметров СВЧ-энергии

Fig. 3. Changes in the infection of corn grain with *Aspergillus* fungi depending on the parameters of microwave energy

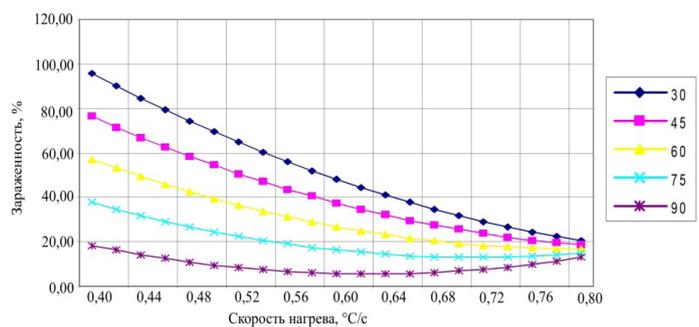


Рис. 4. Изменение зараженности зерна кукурузы грибами рода *Aspergillus* в зависимости от скорости нагрева СВЧ-энергии

Fig. 4. Changes in the infection of corn grain with *Aspergillus* fungi depending on the heating rate of microwave energy

## Выводы

Использование энергии сверхвысокой частоты позволило снизить заражённость зерна риса и зерна кукурузы до минимальных пределов.

## Список использованных источников

1. Юсупова Г.Г., Кретова Ю.И., Черкасова Э.И. Проблемы экологической безопасности зернового продовольственного сырья и способы их решения // Хранение и переработка сельхозсырья. 2005. № 9. С. 16-17. EDN: YIQAOR.
2. Clarke J.H. Fungi in stored products. *Pest Management*. 1969;15:473-481. <https://doi.org/10.1080/04345546909415314>
3. Orton C.R. Seed-borne parasites. *West Virginia Agricultural and Forestry Experiment Station Bulletins* 245. 1931.
4. Wallace H.A., Sinha R.N. Microflora of stored grain in international trade. *Mycopathologia*. 1975;57(3):171-176. <https://doi.org/10.1007/BF00551424>
5. Черкасова Э.И. Использование СВЧ-поля для обеспечения микробиологической безопасности продуктов растительного происхождения // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Пищевые и биотехнологии». 2014. Т. 2, № 1. С. 67-71. EDN: RZCMMML
6. Белов А.А., Сторчевой В.Ф., Белова М.В., Коробков А.Н. СВЧ-установка для обеззараживания зерна и продуктов его переработки // Известия Тимирязевской сельскохозяйственной академии. 2014. № 6. С. 101-107. EDN: TLABPX.
7. Кретова Ю.И., Черкасова Э.И. Проблемы и пути решения экологической безопасности зернового продовольственного сырья // Наука ЮУрГУ: Материалы 63-й научной конференции. Т. 1. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. С. 49-52. EDN: RAAUJJ.
8. Способ обработки смеси крупы с овощами: патент RU № 2292164 C1, МПК A23L 1/10, A23B9/02; № 2005119352/13 / Н.В. Цугленок, Р.Х. Юсупов, Г.Г. Юсупова [и др.]. Заяв. 21.06.2005; Опубл. 27.01.2007. EDN: BYVKOV.
9. Бастрон А.В., Мещеряков А.В., Цугленок Н.В. Технология и технические средства обеззараживания семян энергией СВЧ-поля // Вестник КрасГАУ. 2007. № 1. С. 268-271. EDN: HWIFSJ.
10. Юсупова Г.Г., Юсупов Р.Х., Черкасова Э.И., Толмачева Т.А., Черкасова М.О. Влияние энергии СВЧ-поля на пищевую ценность многокомпонентных крупяных смесей // Хлебопродукты. 2014. № 12. С. 48-51. EDN: TDRPMX.
11. Юсупова Г.Г., Жидких Л.А. Обеспечение микробиологической безопасности зерна, муки и хлеба // Хлебопечение России. 2007. № 2. С. 26-28. EDN: NCYJWJ.

## Вклад авторов

Э.И. Черкасова – концептуализация  
 У.Ю. Антонова – методология, создание окончательной версии рукописи и её редактирование  
 П.В. Голиницкий – информационные ресурсы и аналитика  
 И.Н. Кравченко – проведение обзора литературы  
 Д.А. Пупкова – визуализация, создание черновика рукописи

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов и несут ответственность за плагиат

Статья поступила 29.05.2023; после рецензирования и доработки 11.09.2023, принята к публикации 12.09.2023

Рекомендуемые режимы обработки для зерна кукурузы: скорость нагрева 0,6...0,69°C/с и время обработки 154-165 с; для зерна риса – 0,56...0,68°C/с и 122-171 с.

## References

1. Yusupova G.G., Kretova Yu.I., Cherkasova E.I. Problems of environmental safety of grain food raw materials and ways to solve them. *Storage and Processing of Farm Products*. 2005;9:16-17. (In Rus.)
2. Clarke J.H. Fungi in stored products. *Pest Management*. 1969;15:473-481. <https://doi.org/10.1080/04345546909415314>
3. Orton C.R. Seed-borne parasites. *West Virginia Agricultural and Forestry Experiment Station Bulletins* 245. 1931.
4. Wallace H.A., Sinha R.N. Microflora of stored grain in international trade. *Mycopathologia*. 1975;57(3):171-176. <https://doi.org/10.1007/BF00551424>
5. Belov A.A., Storchevov V.F., Belova M.V., Korobkov A.N. Microwave unit for disinfection of grain and grain products. *Izvestiya of Timiryazev Agricultural Academy*. 2014;6:101-107. (In Rus.)
6. Cherkasova E.I. Use of superhigh frequency field for microbiological safety of plant products. *Bulletin of South Ural State University. Series: Food and Biotechnology*. 2014;2(1):67-71 (In Rus.)
7. Kretova Yu.I., Cherkasova E.I. Problems and solutions to the environmental safety of grain food raw materials. *Nauka YUUrGU: Materialy 63-y nauchnoy konferentsii*. Vol. 1. Chelyabinsk: SUSU Publishing Center. 2011;1:49-52. (In Rus.)
8. Tsuglenok N.V., Yusupov R.Kh., Yusupova G.G., Tsuglenok G.I., Cherkasova E.I., Zdanovich Ju.I. Method for processing of groats-and-vegetable mixture: Patent RU № 2292164 C1, МПК A23L 1/10, A23B9/02; № 2005119352/13 (In Rus.)
9. Bastron A.V., Meshcheryakov A.V., Tsuglenok N.V. Technology and technical means of disinfecting seeds with microwave energy. *Bulletin of KSAU*. 2007;1:268-271. (In Rus.)
10. Yusupova G.G., Yusupov R.Kh., Cherkasova E.I., Tolmacheva T.A., Cherkasova M.O. Influence of microwave field energy on the nutritional value of multicomponent cereal mixtures. *Khlebo-produkty*. 2014;12:48-51. (In Rus.)
11. Yusupova G.G., Zhidkikh L.A. Maintenance of microbiological safety of flour, grain, and bread. *Baking in Russia*. 2007;2:26-28. (In Rus.)

## Contribution of the authors

E.I. Cherkasova – conceptualization  
 U.Yu. Antonova – methodology, finalizing (reviewing) and editing the draft  
 P.V. Golinitzkiy –resources and formal analysis  
 I.N. Kravchenko – literature review;  
 D.A. Pupkova – visualization, original draft preparation

## Conflict of interests

The authors declare no conflict of interests regarding the publication of this article and bear equal responsibility for plagiarism

Received 29.05.2023; revised 11.09.2023; accepted 12.09.2023