



## Растениеводство Crop production


DOI: 10.22363/2312-797X-2024-19-3-401-418

УДК 631.53.02:631.53.027.34

EDN BOAEUZ

*Научная статья / Research article*

### Оценка эффективности перспективных способов предпосевной обработки семян озимой пшеницы на основе анализа состояния посевов и биологической урожайности

А.В. Брагинец , О.Н. Бахчевников  Аграрный научный центр «Донской», г. Зерноград, Российская Федерация  
 oleg-b@list.ru

**Аннотация.** Выполнен полевой опыт по определению влияния предпосевной обработки семян перспективными способами (ультрафиолетовое излучение, озонирование, обработка низкочастотным электромагнитным полем) на состояние посевов и биологическую урожайность озимой пшеницы. Полученные результаты сравнили с результатами традиционной обработки путем протравливания семян химическим препаратом. Установлено, что предпосевная обработка озонem и УФ-излучением стимулировала прорастание семян и повысила их полевую всхожесть. Биологическая урожайность контроля была превышена для делянок, семена на которых были обработаны УФ-излучением — на 5,8 % и озонem — на 2,34 %. Обработка семян электромагнитным полем не привела к повышению урожайности. Данные по фактической урожайности подтвердили эту тенденцию. На делянках с обработкой семян УФ-излучением и озонem масса соломы, зерна и их соотношение достоверно превысили контроль. Химический анализ показал существенное превышение над контролем лишь для зерна с делянок, семена на которых были обработаны озонem: содержание белка выше на 4,2 %, а клейковины — на 5,2 %. Результаты, полученные в ходе полевого эксперимента, в основном согласуются с результатами предыдущих опубликованных исследований. Сочетание воздействия озона и УФ-излучения в предпосевной обработке семян позволит обеспечить обеззараживание и стимулирование прорастания, тем самым повысить полевую всхожесть,

© Брагинец А.В., Бахчевников О.Н., 2024

This work is licensed under a Creative Commons Attribution 4.0 International License  
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/legalcode>

густоту стеблестоя, повысить полевую всхожесть, густоту стеблестоя, урожайность и улучшить качество зерна. Эти способы показали лучшие результаты в сравнении со способом протравливания семян и могут быть рекомендованы для внедрения в производство

**Ключевые слова:** зерновые культуры, обеззараживание семян, стимулирование прорастания семян, качество зерна, урожай зерна

**Вклад авторов:** Брагинец А.В. — подготовка опыта, выполнение полевых опытов и сбор данных; Бахчевников О.Н. — анализ данных и их интерпретация, подготовка рукописи.

**Заявление о конфликте интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Финансирование. Благодарности.** Исследования проведены в соответствии с планом НИР на 2022—2024 гг. ФГБНУ «Аграрный научный центр «Донской» по теме № 0505-2022-0007.


**История статьи:** поступила в редакцию 25 января 2023 г., принята к публикации 8 апреля 2024 г.

**Для цитирования:** Брагинец А.В., Бахчевников О.Н. Оценка эффективности перспективных способов предпосевной обработки семян озимой пшеницы на основе анализа состояния посевов и биологической урожайности // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Агрономия и животноводство. 2023. Т. 19. № 3. С. 401—418. doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-3-401-418

## Estimation of the efficiency of perspective seed treatment methods of winter wheat seeds based on analysis of crop condition and biological yields

Andrey V. Braginets , Oleg N. Bakhchevnikov  

Donskoy Agricultural Research Center, Zernograd, Russian Federation

 oleg-b@list.ru

**Abstract.** Field experiment on determining the effect of seed presowing treatment by promising methods (ultraviolet radiation, ozonation, low-frequency electromagnetic field) on the state of crops and biological yield of winter wheat was carried out. The results obtained were compared with the results of conventional seed treatment with chemical agent. It was found that presowing treatment with ozone and UV radiation stimulated seed germination and increased their field germination. Biological yield of control plants was higher for plots where seeds were treated with UV radiation and ozone by 5.8 and 2.34%, respectively. Seed treatment with electromagnetic fields did not result in higher yields. Actual yield data confirmed this trend. Straw and grain weight and their ratio significantly exceeded the control value in the plots where seeds were treated with UV radiation and ozone. Chemical analysis showed that only grain from plots where seeds were treated with ozone had significant excess over the control value: protein and gluten content was higher by 4.2 and 5.2%, respectively. The results obtained in the field experiment are largely consistent with the results of previous published studies. The combination of exposure to ozone and UV radiation during presowing treatment of seeds will provide disinfection and stimulation of germination, increase field germination, plant density, yields, and improve grain quality. These methods have shown better results in comparison with the method of seed treatment by chemical agent and, therefore, they can be recommended for implementation in production. Their combined use will make it possible to carry out effective disinfection and stimulation of germination, as well as to increase the yield and quality of grain.

**Key words:** grain crops, seed disinfection, stimulation of seed germination, grain quality, grain yields

**Author contributions.** Braginets A.V. designed the experiments, field experiments and collected the data, Bakhchevnikov O.N. analyzed the data, wrote the manuscript.

**Conflicts of interest.** The authors declared no conflicts of interest.

**Acknowledgments.** The research was performed in accordance with the research plan for 2022–2024 of Donskoy Agricultural Research Center (no. 0505-2022-0007).

**Article history:** Received: 25 January 2023. Accepted: 8 April 2024.

**For citation:** Braginets AV, Bakhchevnikov ON. Estimation of the efficiency of perspective seed treatment methods of winter wheat seeds based on analysis of crop condition and biological yields. *RUDN Journal of Agronomy and Animal Industries*. 2023;19(3):401–418. (In Russ.). doi: 10.22363/2312-797X-2024-19-3-401-418

## Введение

Для растениеводства приоритетом в сфере научных исследований является поиск эффективных способов повышения всхожести семян и урожайности сельскохозяйственных культур [1].

Как известно, быстрое и равномерное прорастание семян после посева, а также их высокая всхожесть являются основой для получения в последующем обильного урожая [2]. Также необходимо защитить растения от болезней, вызываемых патогенными микроорганизмами, для чего перед посевом выполняют обеззараживание семян [3]. Для выполнения этих требований производят предпосевную обработку семян, сочетающую стимулирование их прорастания и обеззараживание.

При предпосевной обработке часто применяют различные химические препараты [4]. Но обработка семян химикатами осложнена тем, что последние являются сильнодействующими ядами для человека и животных [5]. Проблему создает и то, что патогенные микроорганизмы приобретают резистентность к определенным препаратам, что вынуждает периодически увеличивать их дозу или заменять на другие [6].

Применение электрофизических способов для предпосевной обработки семян имеет значительные преимущества перед традиционной обработкой химикатами [7], так как при высокой эффективности экологически безопасно и значительно меньше способствует появлению резистентности микроорганизмов [8, 9]. Для предпосевной обработки используют различные электрофизические способы, состоящие в воздействии на семена электромагнитного поля с разной длиной волны [10]. Применяют такие виды электромагнитного поля, как ультрафиолетовое излучение, СВЧ-излучение, импульсное электрическое поле, гамма-излучение и др. [11, 12].

Помимо электрофизических способов для предпосевной обработки семян перспективно озонирование, позволяющее эффективно уничтожать патогенные микроорганизмы и стимулировать прорастание [13, 14], а также исключаящее загрязнение окружающей среды [15].

Опубликованы многочисленные результаты исследований, показывающие высокую эффективность представленных выше способов предпосевной обработки семян. Однако большинство этих работ посвящено рассмотрению эффективности

лишь одного конкретного перспективного способа предпосевной обработки семян определенных видов растений. Практически отсутствуют сравнительные исследования эффективности различных способов обработки, выполненные на примере одного вида растений в аналогичных условиях. В силу различных условий проведения опытов и параметров обработки семян в каждом конкретном исследовании сложно их сопоставить для определения наиболее эффективных способов.

**Цель исследования** — определить эффективность перспективных способов предпосевной обработки семян озимой пшеницы на основе анализа состояния посевов в процессе вегетации и биологической урожайности.

## Материалы и методы исследования

Исследование выполнено в Зерноградском районе Ростовской области в 2021—2022 гг. Был выполнен полевой опыт по определению влияния предпосевной обработки семян перспективными способами (ультрафиолетовое излучение, озонирование, обработка низкочастотным электромагнитным полем) на состояние посевов и урожайность мягкой озимой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) сорта «Амбар» [16].

Предпосевную обработку семян пшеницы производили за 24 часа до высева. Были приняты нижеследующие параметры различных способов обработки семян.

Обработку ультрафиолетовым излучением проводили на установке с общей мощностью светодиодов 230 Вт, диапазон длины волны излучения которых составлял 200...380 нм [17]. Облучение проводили в течение 30 мин, расстояние между светодиодами и зерном составляло 10 см. Семена обрабатывали без предварительного увлажнения.

Обработку семян газообразным озоном производили в течение 15 мин. Концентрация озона в озонированной смеси составляла 60 мг/м<sup>3</sup> [18]. Обработку выполняли путем пропускания потока семян по трубе, имеющей боковые отверстия, в которые подавалась озono-воздушная смесь, нагнетаемая центробежным вентилятором.

Семена пшеницы подвергали действию низкочастотного электромагнитного поля [19] по методике А.И. Пахомова (Патент № 2781897 РФ. Способ подавления фитопатогенов). Семена предварительно увлажняли до достижения влажности 14 %, после чего подвергали действию электромагнитного поля при прохождении через рабочую камеру экспериментальной установки. Параметры обработки: магнитная индукция  $B = 100$  мТл, частота поля — 20 Гц, доза воздействия — 200 мТл·с, продолжительность облучения — 5 с [20, 21].

В качестве контроля для сравнения с перспективными способами применяли традиционный — предпосевную обработку путем протравливания семян химическими препаратами. В данном случае использовали фунгицидный препарат «Скарлет» (100 г/л имазалила + 60 г/л тебуконазола) дозой 0,4 л/т (расход рабочей жидкости — 10 л/т) [22, 23].

Опытный посев семян озимой пшеницы выполнили 1 октября 2021 г. Предшественник — подсолнечник. Семена посеяли на 4 делянках размером 20×0,3 м,

на каждой из них были только семена, предварительно обработанные одним из перечисленных выше способов. Норма высева семян — 230 кг/га (5,2 млн шт./га). Каждый полевой опыт выполняли в 4 повторностях.

В процессе вегетации озимой пшеницы контролировали состояние ее посевов с применением стандартных методик по показателям: полевая всхожесть, сохранность растений в зимний период, выживаемость растений к уборке, густота стояния и др. Обследование посевов проводили в каждый из сезонов года.

Для наиболее точного определения эффективности предпосевной обработки семян по стандартной методике на пробных площадках по 0,25 м<sup>2</sup> в четырехкратной повторности на каждой опытной делянке 1 июля 2022 г. при наступлении восковой спелости зерна определяли биологическую урожайность озимой пшеницы и ее структуру. При этом внимание уделяли показателям развития растений, позволяющим судить о стимулирующем действии предпосевной обработки на последующую вегетацию.

Уборку опытных делянок производили зерноуборочным комбайном Sampro-Rozenlev SR2010 5 июля 2022 г. Затем дополнительно определяли урожайность сплошным методом учета, взвешивая обмолоченное зерно с каждой делянки сразу после его уборки.

Из собранного с каждой делянки зерна отбирали пробы, в которых в лаборатории стандартными методами определяли содержание протеина, клейковины (глутена) и крахмала, а также натуру зерна по ГОСТ 10840—2017.

Оценку статистической достоверности превышения значений показателей развития растений и урожайности над контролем проводили методом определения существенности различий между выборками по наименьшей существенной разности, вычисляя значение НСР при 5%-м (НСР<sub>05</sub>) уровне значимости.

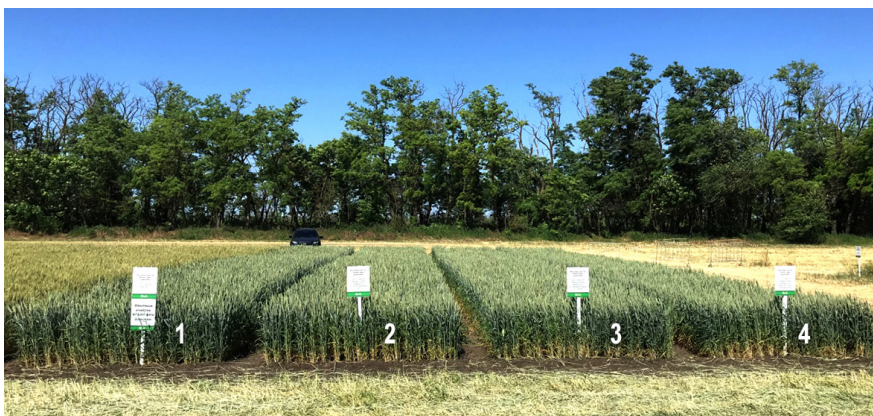
## Результаты исследования и обсуждение

Обследование посевов показало, что в осенний период на всех делянках были получены дружные всходы, состояние посевов озимой пшеницы оптимальное, признаков поражения грибковыми заболеваниями не зафиксировано. В то же время полевая всхожесть семян была выше на делянках с обработкой ультрафиолетом и озоном. Раньше всего всходы появились на делянке с обработкой семян озоном, а затем УФ-излучением.

В зимний период посевы на всех делянках имели хорошую сохранность, определенную методом биологического контроля, при этом значительных отличий по этому показателю не выявили.

В весенний период посевы также имели хорошее состояние, однако наметилась тенденция лучшего развития растений, выращенных из семян, обработанных ультрафиолетовым излучением и озоном. Эта тенденция продолжилась и в дальнейшем, приведя к более густому стеблестоя на делянках с этими видами обработки семян, что в последующем положительно сказалось на урожайности. Растения на делянках с другими видами обработки несколько уступали в развитии

растениям с предпосевной обработкой ультрафиолетом и озоном. Впрочем, как видно на рис. 1, все четыре делянки с различными видами предпосевной обработки по состоянию на 8 июня демонстрировали хорошее состояние посевов, в т. ч. интенсивную окраску растений, отсутствие изреженности и полегания.



**Рис. 1.** Состояние опытных делянок озимой пшеницы на 8 июня 2022 г. (фаза цветения). Семена были обработаны различными способами: 1 – протравливание; 2 – УФ-излучение; 3 – низкочастотное электромагнитное поле; 4 – озонирование

Источник: выполнено А.В. Брагинцом, О.Н. Бахчевниковым

**Fig. 1.** State of winter wheat experimental plots on June 8, 2022 (flowering). The seeds were treated by different methods: 1 – treatment with chemical agent; 2 – UV radiation; 3 – low frequency electromagnetic field; 4 – ozonation

Source: created by A.V. Braginet, O.N. Bakhchevnikov

Некоторые результаты обследования состояния опытных посевов озимой пшеницы в процессе вегетации приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Состояние в процессе вегетации посевов озимой пшеницы, семена которой были обработаны различными способами**

Показатель	Способ предпосевной обработки семян			
	Протравливание препаратом Скарлет (контроль)	Ультрафиолетовое излучение	Низкочастотное электромагнитное поле	Озонирование
Период от посева до всходов, сут.	11	10	11	9
Полевая всхожесть, %	87,2	91,7	87,4	92,1
Сохранность в зимний период, %	91,2	92,0	91,3	91,7
Выживаемость к уборке, %	87,2	88,0	87,4	87,8

State of winter wheat crops which seeds were treated with different methods

Parameter	Method of seed treatment			
	Scarlet chemical agent (control)	UV radiation	Low frequency electromagnetic field	Ozonation
Period from sowing to seedling, days	11	10	11	9
Field germination, %	87.2	91.7	87.4	92.1
Winter survival, %	91.2	92.0	91.3	91.7
Survival to harvest, %	87.2	88.0	87.4	87.8

Анализ результатов обследования состояния посевов, приведенных в табл. 1, показывает, что предпосевная обработка озоном и УФ-излучением стимулировала прорастание семян и повысила их полевую всхожесть. В то же время предпосевная обработка электрофизическими способами не оказала существенного влияния на сохранность в зимний период и выживаемость растений пшеницы к уборке по сравнению с протравливанием.

После достижения восковой спелости зерна пшеницы при влажности менее 14 % определили биологическую урожайность и выполнили оценку ее структуры. Состояние посевов на момент определения биологической урожайности показано на рис. 2.



**Рис. 2.** Состояние опытных делянок озимой пшеницы на 1 июля 2022 г. (восковая спелость). Семена были обработаны различными способами: 1 – протравливание; 2 – УФ-излучение; 3 – низкочастотное электромагнитное поле; 4 – озонирование

Источник: выполнено А.В. Брагинцом, О.Н. Бахчевниковым

**Fig. 2.** State of winter wheat experimental plots on July 1, 2022 (wax ripeness). The seeds were treated with different methods: 1 – treatment with chemical agent; 2 – UV radiation; 3 – low frequency electromagnetic field; 4 – ozonation

Source: created by A.V. Braginets, O.N. Bakhchevnikov

Результаты оценки биологической урожайности озимой пшеницы, семена которой предварительно были обработаны различными способами, приведены в табл. 2 и на рис. 3.

Таблица 2

**Биологическая урожайность озимой пшеницы, семена которой предварительно были обработаны различными способами**

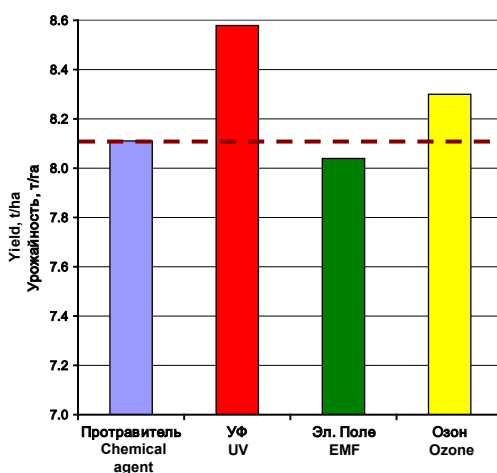
Показатель	Способ предпосевной обработки семян			
	Протравливание препаратом Скарлет (контроль)	Ультрафиолетовое излучение	Низкочастотное электромагнитное поле	Озонирование
Количество растений на 1 м <sup>2</sup> , шт.	307	325	234	343
Количество продуктивных стеблей на 1 м <sup>2</sup> , шт.	585	613	531	646
Продуктивная кустистость	1,91	1,89	2,27	1,88
Масса чистого зерна, г	795,4	839,3	786,0	821,9
Количество зерен в колосе, шт.	34	35	37	32
Масса колоса, г	1,36	1,37	1,48	1,26
Масса 1000 зерен, г	39,98	40,93	40,45	39,28
Влажность, %	10,7	11	11,2	11
Биологическая урожайность, т/га	8,11	8,58	8,04	8,3
НСР <sub>05</sub>	—	0,46	0,08	0,19

Table 2

**Biological yield of winter wheat which seeds were pretreated with different methods**

Parameter	Method of seed treatment			
	Scarlet chemical agent (control)	UV radiation	Low frequency electromagnetic field	Ozonation
Number of plants per 1 m <sup>2</sup>	307	325	234	343
Number of productive stems per m <sup>2</sup>	585	613	531	646
Ear bearing capacity	1.91	1.89	2.27	1.88
Weight of grains, g	795.4	839.3	786.0	821.9
Number of grains per ear	34	35	37	32
Ear weight, g	1.36	1.37	1.48	1.26
1000 grain weight, g	39.98	40.93	40.45	39.28
Moisture content, %	10.7	11	11.2	11
Biological yield, t/ha	8.11	8.58	8.04	8.3
LSD <sub>05</sub>	—	0.46	0.08	0.19





**Рис. 3.** Сравнение биологической урожайности озимой пшеницы, семена которой были обработаны различными способами

Источник: выполнено А.В. Брагинцом, О.Н. Бахчевниковым в программе Microsoft Excel 2007

**Fig. 3.** Comparison of biological yield of winter wheat which seeds were treated with different methods

Source: created by A.V. Braginets, O.N. Bakhchevnikov in Microsoft Excel 2007

Как видно из табл. 2 и рис. 3, биологическая урожайность контрольной делянки (протравливание семян) была значительно превышена делянками, семена на которых были обработаны УФ-излучением — на 5,8 % и озоном — на 2,34 %. Делянка, семена на которой были предварительно обработаны электромагнитным полем, не показала более высокой биологической урожайности (меньше контроля на 0,86 %).

Непосредственные причины разной биологической урожайности пшеницы с различной обработкой семян, видимо, состоят в большем количестве растений и продуктивных стеблей на этих делянках, что явилось следствием лучшей всхожести в результате стимулирования прорастания в ходе предпосевной обработки.

Для определения сравнительной эффективности различных способов предпосевной обработки семян пшеницы и их влияния на вегетацию растений представляют интерес также данные о массе соломы и ее отношении к массе зерна (табл. 3, рис. 4).

Таблица 3

**Урожай зерна и соломы озимой пшеницы, семена которой предварительно были обработаны различными способами**

Показатель	Способ предпосевной обработки семян			
	Протравливание препаратом Скарлет	Ультрафиолетовое излучение	Низкочастотное электромагнитное поле	Озонирование
Масса соломы с 1 м <sup>2</sup> , г	1089,1	1295,9	1079,3	1282,5
Масса зерна с 1 м <sup>2</sup> , г	795,4	839,3	786,0	821,9

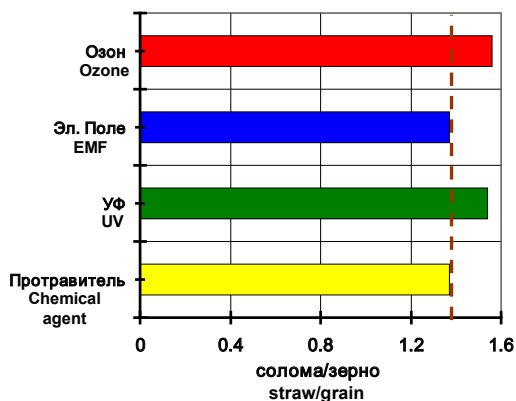
Окончание табл. 3

Показатель	Способ предпосевной обработки семян			
	Протравливание препаратом Скарлет	Ультрафиолетовое излучение	Низкочастотное электромагнитное поле	Озонирование
Соотношение массы соломы и зерна	1,37	1,54	1,37	1,56
HCP <sub>05</sub>	—	0,17	0	0,18

Table 3

**Grain and straw yield data for winter wheat which seeds were pretreated with different methods**

Parameter	Method of seed treatment			
	Scarlet chemical agent (control)	UV radiation	Low frequency electromagnetic field	Ozonation
Weight of straw per 1 m <sup>2</sup> , g	1089.1	1295.9	1079.3	1282.5
Weight of grain per 1 m <sup>2</sup> , g	795.4	839.3	786.0	821.9
Straw to grain weight ratio	1.37	1.54	1.37	1.56
LSD <sub>05</sub>	—	0.17	0	0.18



**Рис. 4.** Соотношение массы соломы и зерна озимой пшеницы, семена которой предварительно были обработаны различными способами

Источник: выполнено А.В. Брагинцом, О.Н. Бахчевниковым в программе Microsoft Excel 2007

**Fig. 4.** Ratio of straw to grain weight of winter wheat which seeds were pretreated by different methods

Source: created by A.V. Braginet, O.N. Bakhchevnikov in Microsoft Excel 2007

Анализ данных табл. 3 показывает, что на делянках с обработкой семян УФ-излучением и озоном масса соломы, масса зерна и их соотношение достоверно превысили контроль, тогда как показатели делянки с обработкой электромагнитным полем практически равны контролю. Это показывает, что растения на делянках с обработкой УФ и озоном лучше развивались, сформировав большую вегетативную массу, в итоге дав лучший урожай.

Непосредственно после уборки определили фактическую урожайность пшеницы на опытных делянках и сравнили ее с биологической (табл. 4).

Таблица 4

**Биологическая и фактическая урожайность озимой пшеницы, семена которой предварительно были обработаны различными способами**

Показатель	Способ предпосевной обработки семян			
	Протравливание препаратом Скарлет	Ультрафиолетовое излучение	Низкочастотное электромагнитное поле	Озонирование
Биологическая урожайность, т/га	8,11	8,58	8,04	8,3
Фактическая урожайность, т/га	5,90	6,22	5,87	6,07
НСР <sub>05</sub> (для фактической урожайности)	—	0,32	0,04	0,16

Table 4

**Biological and actual yields of winter wheat which seeds were pretreated with different methods**

Parameter	Method of seed treatment			
	Scarlet chemical agent (control)	UV radiation	Low frequency electromagnetic field	Ozonation
Biological yield, t/ha	8.11	8.58	8.04	8.3
Actual yield, t/ha	5.90	6.22	5.87	6.07
LSD <sub>05</sub> (for actual yield)	—	0.32	0.04	0.16

Данные по фактической урожайности в табл. 4 подтверждают тенденцию, установленную при анализе данных биологической урожайности, а именно, что урожай на делянках, где семена были обработаны УФ-излучением и озоном, был значимо выше по сравнению с контролем — на 5,42 и 2,88 % соответственно. На делянке же с предпосевной обработкой электромагнитным полем фактическая урожайность была незначительно ниже, достоверно не отличаясь от контроля (протравливание). Таким образом, картина распределения эффективности способов

предпосевной обработки семян, установленная при вычислении биологической урожайности пшеницы (см. табл. 2, рис. 3), была подтверждена при обработке данных по фактической урожайности (см. табл. 4).

Проведен лабораторный анализ проб зерна, взятых на опытных делянках в ходе их уборки, и определено содержание в них протеина, клейковины (глутена) и крахмала, а также натура зерна (табл. 5, рис. 5.).

Таблица 5

**Результаты лабораторного анализа зерна озимой пшеницы, семена которой предварительно были обработаны различными способами**

Показатель	Способ предпосевной обработки семян			
	Протравливание	Ультрафиолетовое излучение	Низкочастотное электромагнитное поле	Озонирование
Протеин, %	11,16	11,12	11,06	11,63
Клейковина, %	17,3	17,2	17,0	18,2
Крахмал, %	67,3	67,3	67,4	67,0
Натура зерна, г/л	786	795	788	785

Table 5

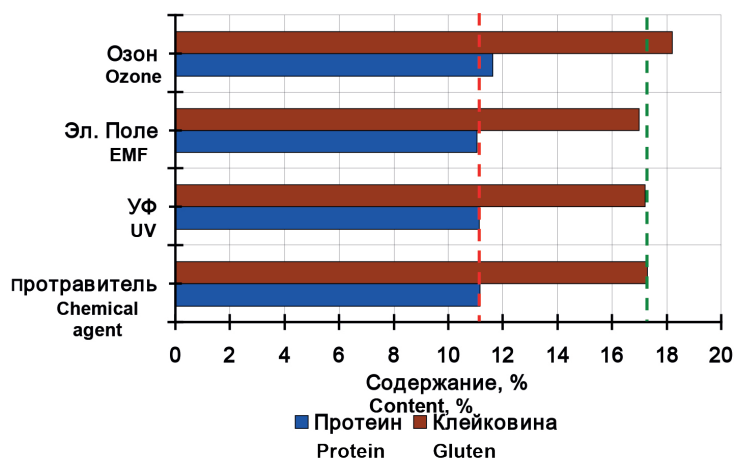
**Results of laboratory analysis of winter wheat grain which seeds were pretreated with different methods**

Parameter	Method of seed treatment			
	Scarlet chemical agent (control)	UV radiation	Low frequency electromagnetic field	Ozonation
Protein, %	11.16	11.12	11.06	11.63
Gluten, %	17.3	17.2	17.0	18.2
Starch, %	67.3	67.3	67.4	67.0
Grain-unit, g/L	786	795	788	785

Как видно из данных в табл. 5, значения натуры зерна, полученного с разных опытных делянок, почти одинаковы. Также достоверно не отличаются от контроля и значения содержания крахмала в зерне с опытных делянок. Таким образом, анализ показал, что вид предпосевной обработки семян впоследствии практически не влияет на натуру зерна и содержание в нем крахмала.

Однако данные по содержанию протеина и клейковины (глутена) по отношению к контролю (см. рис. 5) заметно отличаются от характера данных по урожайности, а также по натуре зерна и содержанию крахмала. По этим показателям отмечено существенное превышение над контролем для зерна с делянок, семена на которых были обработаны озоном: содержание белка выше на 4,2 % ( $\text{НСР}_{05} = 0,43$ ), а клейковины — на 5,2 % ( $\text{НСР}_{05} = 0,9$ ). В то же время содержание протеина и глутена

в зерне с полянок, семена на которых были обработаны электромагнитным полем и УФ-излучением, оказалось незначительно ниже значений контроля.



**Рис. 5.** Содержание протеина и клейковины в зерне озимой пшеницы, семена которой предварительно были обработаны различными способами

Источник: выполнено А.В. Брагинцом, О.Н. Бахчевниковым в программе Microsoft Excel 2007

**Fig. 5.** Protein and gluten content in winter wheat grain, seeds of which were pretreated with different methods

Source: created by A.V. Braginets, O.N. Bakhchevnikov in Microsoft Excel 2007

Таким образом, предпосевная обработка семян газообразным озоном впоследствии улучшает качество спелого зерна озимой пшеницы, увеличивая содержание в нем протеина и клейковины (глутена).

Результаты полевого эксперимента в основном согласуются с результатами предыдущих опубликованных исследований.

В частности, подтверждено стимулирующее действие предпосевной обработки УФ-излучением [24, 25] и озоном [13, 14, 26] на прорастание семян пшеницы и последующее развитие растений, приводящее к увеличению урожайности, так как, судя по всему, растения из таких семян лучше выживают и развиваются, у них формируется большее количество продуктивных стеблей.

В то же время обработка семян низкочастотным электромагнитным полем не привела к стимулированию их прорастания и увеличению урожайности, хотя для аналогичных исследований имеются положительные результаты [19, 27, 28], скорее всего потому, что при разработке этого способа воздействия упор делался на подбор параметров, обеспечивающих лишь обеззараживание семян [21, 29]. Поэтому к перспективным направлениям исследований можно отнести усовершенствование этого способа предпосевной обработки для получения дополнительного эффекта стимулирования развития растений.

Биологическая и фактическая урожайность, полученная в результате обработки семян УФ-излучением, газообразным озоном и электромагнитным полем, была больше или равна урожайности растений, семена которых были подвергнуты протравливанию. Это доказывает, что использованные электрофизические способы предпосевной обработки также позволяют эффективно уничтожать патогенную микрофлору, предупреждая последующее поражение растений. Результаты для способов обработки УФ-излучением и озоном согласуются с данными ранее опубликованных исследований [12, 15, 18]. Результаты полевого опыта, свидетельствующие о подавлении патогенных микроорганизмов действием низкочастотного электромагнитного поля, получены впервые.

Результаты анализа, показывающие повышенное содержание белка и клейковины в зерне в результате предпосевной обработки семян пшеницы озоном, соответствуют результатам предыдущих исследований [26, 30].

Анализируя полученные результаты, можно предположить, что сочетание воздействия озона и УФ-излучения в ходе предпосевной обработки семян пшеницы позволит не только обеспечить эффективное обеззараживание и стимулирование прорастания, но и повысить урожайность и улучшить качество зерна.

### Заключение

В результате полевого опыта достоверно установлено, что предпосевная обработка семян озимой пшеницы ультрафиолетовым излучением и газообразным озоном повышает полевую всхожесть, густоту стеблестоя, биологическую и фактическую урожайность за счет эффективного обеззараживания и стимулирования прорастания семян. Эти способы обработки показали лучшие результаты в сравнении с традиционным способом протравливания семян и могут быть рекомендованы для внедрения в производство.

Способ предпосевной обработки семян низкочастотным электромагнитным полем не показал превышения показателей эффективности перед способом протравливания семян, однако он может служить ему заменой, обеспечивая безопасное обеззараживание семян с низкой себестоимостью.

Из изученных способов предпосевной обработки лишь озонирование семян пшеницы обеспечило в дальнейшем получение более качественного зерна с более высоким содержанием протеина и глютена.

Совместное действие газообразного озона и УФ-излучения в ходе предпосевной обработки семян пшеницы позволит повысить урожайность и качество зерна.

### Список литературы

1. Babu U., Shukla A.K., Kumar A., Meena R.K. Effect of sowing methods and nutrients on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.): a review // Current Research in Agriculture and Farming. 2021. Vol. 2. № 2. P. 18—22. doi: 10.18782/2582-7146.135
2. Carrera-Castano G., Calleja-Cabrera J., Pernas M., Gomez L., Onate-Sanchez L. An updated overview on the regulation of seed germination // Plants. 2020. Vol. 9. № 6. P. 703. doi: 10.3390/plants9060703

3. Los A., Ziuzina D., Bourke P. Current and future technologies for microbiological decontamination of cereal grains // *Journal of Food Science*. 2018. Vol. 83. № 6. P. 1484–1493. doi: 10.1111/1750-3841.14181
4. Пилыпенко Н.Г., Андреева О.Т., Сидорова Л.П., Харченко Н.Ю. Влияние предпосевной обработки семян на развитие болезней и продуктивность зерновых культур // *Кормопроизводство*. 2022. № 1. С. 37–42.
5. Долженко В.И., Лаптев А.Б. Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность // *Плодородие*. 2021. № 3. С. 71–75. doi: 10.25680/S19948603.2021.120.13
6. Чекмарев В.В., Кобыльская Г.В., Бучнева Г.Н., Корабельская О.И. Резистентность грибов рода *Fusarium* к протравителям семян // *Защита и карантин растений*. 2011. № 3. С. 19–21.
7. Костин В.И., Дозоров А.В., Исайчев В.А. К вопросу о стимуляции сельскохозяйственных растений под действием физических и химических факторов при обработке семян // *Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии*. 2018. № 2. С. 67–77. doi: 10.18286/1816-4501-2018-2-67-77
8. Пахомов А.И., Максименко В.А., Буханцов К.Н., Ватутина Н.П. Экспериментальное определение параметров магнитного обеззараживания зерна // *Аграрный научный журнал*. 2019. № 3. С. 84–89. doi: 10.28983/asj.y2019i3pp84-89
9. Цуленок Н.В. Анализ эффективного использования электрофизических методов обработки семян // *Вопросы науки и образования*. 2019. № 21. С. 46–59.
10. Rifna E.J., Ramanan K.R., Mahendran R. Emerging technology applications for improving seed germination // *Trends in Food Science & Technology*. 2019. Vol. 86. P. 95–108. doi: 10.1016/j.tifs.2019.02.029
11. Araujo S.D.S., Paparella S., Dondi D., Bentivoglio A., Carbonera D., Balestrazzi A. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology // *Frontiers in Plant Science*. 2016. Vol. 7. P. 646. doi: 10.3389/fpls.2016.00646
12. Sirohi R., Tarafdar A., Gaur V.K., Singh S., Sindhu R., Rajasekharan R., Madhavan A., Binod P., Kumar S., Pandey A. Technologies for disinfection of food grains: Advances and way forward // *Food Research International*. 2021. Vol. 145. P. 110396. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110396
13. Баскаков И.В., Орбинский В.И., Гиевский А.М., Чернышев А.В., Тарасенко А.П. Влияние предпосевного озонирования семян на урожайность сельскохозяйственных культур // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. 2019. Т. 12. № 4. С. 13–20. doi: 10.17238/issn2071-2243.2019.4.13
14. Pandiselvam R., Mayoorkha V.P., Kothakota A., Sharmila L., Ramesh S.V., Bharathi C.P., Gomathy K., Srikanth V. Impact of ozone treatment on seed germination — a systematic review // *Ozone: Science & Engineering*. 2020. Vol. 42. № 4. P. 331–346. doi: 10.1080/01919512.2019.1673697
15. Tiwari B.K., Brennan C.S., Curran T., Gallagher E., Cullen P.J., O'Donnell C.P. Application of ozone in grain processing // *Journal of Cereal Science*. 2010. Vol. 51. № 3. P. 248–255. doi: 10.1016/j.jcs.2010.01.007
16. Марченко Д.М., Иванисов М.М., Рыбась И.А., Некрасов Е.И., Романюкина И.В., Чухненко Ю.Ю. Итоги селекционной работы по озимой мягкой пшенице для непаровых предшественников в Аграрном научном центре «Донской» // *Зерновое хозяйство России*. 2020. № 6. С. 3–9. doi: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-3-9
17. Upadhyay A.K., Chormule S.R., Kuiry B.M., Ram B.S., Pani S.S., Punia Y. Effect of UV radiation on seeds physiological parameter: A review // *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2020. Vol. 9. № 6. P. 1877–1879.
18. Wu J.N., Doan H., Cuenca M.A. Investigation of gaseous ozone as an antifungal fumigant for stored wheat // *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2006. Vol. 81. № 7. P. 1288–1293. doi: 10.1002/jctb.1550
19. Maffei M.E. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution // *Frontiers in Plant Science*. 2014. Vol. 5. P. 445. doi: 10.3389/fpls.2014.00445
20. Пахомов А.И. Аналитическая оценка и учет свойств электромагнитных полей в устройствах агрообеззараживания // *Техника и оборудование для села*. 2022. № 9. С. 40–44. doi: 10.33267/2072-9642-2022-9-40-44
21. Пахомов А.И. Метод резонансно-низкочастотного обеззараживания зерна: биофизическое обоснование и инновационные преимущества // *Техника и оборудование для села*. 2022. № 1. С. 30–34. doi: 10.33267/2072-9642-2022-1-30-34
22. Казанцева Т.П., Чихичина Т.В., Лебедев В.Б., Юсупова Д.А., Кудимова Л.М., Стрижков Н.И., Сибикеева Ю.Е. Эффективность предпосевной обработки семян озимой и яровой пшеницы, кукурузы фунгицидным протравителем Скарлет // *Агро XXI*. 2008. № 7–9. С. 16–18.
23. Горина И.Н. Имазалилсодержащие протравители для зерновых колосовых культур // *Защита и карантин растений*. 2013. № 4. С. 55–57.

24. Левина Н.С., Тертышная Ю.В., Бидей И.А., Елизарова О.В. Влияние ультрафиолетового излучения на посевные качества и вегетацию яровой пшеницы и ярового ячменя // АПК России. 2019. Т. 26. № 3. С. 344—350.
25. Kondrateva N.P., Baturina K.A., Ilyasov I.R., Korepanov R.I., Kasatkina N.I., Kuryleva A.G. Effect of treatment of seeds of grain crops by ultraviolet radiation before sowing // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 433. № 1. P. 012039. doi: 10.1088/1755-1315/433/1/012039
26. Sigacheva M.A., Pinchuk L.G. The influence of pre-sowing ozonization of soft spring wheat on the yieldness and its structure in the forest and steppe zone of Kuznetsk basin // Research Journal of Agricultural Science. 2015. Vol. 47. № 4. P. 245—249.
27. Teixeira da Silva J.A., Dobranszki J. Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? // Protoplasma. 2015. Vol. 253. P. 231—248. doi: 10.1007/s00709-015-0820-7
28. Afzal I., Saleem S., Skalicky M., Javed T., Bakhtavar M.A., ul Haq Z., Kamran M., Shahid M., Sohail Saddiq M., Afzal A. et al. Magnetic field treatments improves sunflower yield by inducing physiological and biochemical modulations in seeds // Molecules. 2021. Vol. 26. № 7. P. 2022. doi: 10.3390/molecules26072022
29. Пахомов А.И. Биофизика и экспериментальный поиск ингибирующих гармоник магнитообеззараживающего оборудования // Техника и оборудование для села. 2021. № 6. С. 32—35. doi: 10.33267/2072-9642-2021-6-32-35
30. Пинчук Л.Г., Сигачева М.А., Гридина С.Б. Оценка белковистости зерна яровой мягкой пшеницы под влиянием предпосевного озонирования семян в Кузнецкой лесостепи // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. 2014. № 9. С. 5—8.

## References

1. Babu U, Shukla AK, Kumar A, Meena RK. Effect of sowing methods and nutrients on growth and yield of wheat (*Triticum aestivum* L.): a review. *Current Research in Agriculture and Farming*. 2021;2(2):18—22. doi: 10.18782/2582-7146.135
2. Carrera-Castano G, Calleja-Cabrera J, Pernas M, Gomez L, Onate-Sanchez L. An updated overview on the regulation of seed germination. *Plants*. 2020;9(6):703. doi: 10.3390/plants9060703
3. Los A, Ziuzina D, Bourke P. Current and future technologies for microbiological decontamination of cereal grains. *Journal of Food Science*. 2018;83(6):1484—1493. doi: 10.1111/1750-3841.14181
4. Pilipenko NG, Andreeva OT, Sidorova LP, Kharchenko NY. Effect of pre-sowing seed treatment on disease development and productivity of grain crops. *Fodder Production*. 2022;(1):37—42. (In Russ.).
5. Dolzhenko VI, Laptiev AB. Modern range of plant protection means: biological efficiency and safety. *Plodorodie*. 2021;(3):71—75. (In Russ.). doi: 10.25680/S19948603.2021.120.13
6. Chekmarev VV, Kobylskaya GV, Buchneva GN, Korabelskaya OI. Resistance of fungi of *Fusarium* genus to seed dressing preparations. *Plant Protection and Quarantine*. 2011;(3):19—21. (In Russ.).
7. Kostin VI, Dozorov AV, Isaychev VA. To the issue of stimulation of agricultural plants under the influence of physical and chemical factors for seed treatment. *Vestnik of Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2018;(2):67—77. (In Russ.). doi: 10.18286/1816-4501-2018-2-67-77
8. Pakhomov AI, Maksimenko VA, Bukhantsov KN, Vatutina NP. Experimental characterization of the parameters of grain's magnetic disinfection. *Agrarian Scientific Journal*. 2019;(3):84—89. (In Russ.). doi: 10.28983/asj.y2019i3pp84-89
9. Tsuglenok NV. Analysis of effective use of electrophysical methods of seed treatment. *Science and Education Issues*. 2019;(21):46—59. (In Russ.).
10. Rifna EJ, Ramanan KR, Mahendran R. Emerging technology applications for improving seed germination. *Trends in Food Science & Technology*. 2019;86:95—108. doi: 10.1016/j.tifs.2019.02.029
11. Araujo SDS, Paparella S, Dondi D, Bentivoglio A, Carbonera D, Balestrazzi A. Physical methods for seed invigoration: advantages and challenges in seed technology. *Frontiers in Plant Science*. 2016;7:646. doi: 10.3389/fpls.2016.00646
12. Sirohi R, Tarafdar A, Gaur VK, Singh S, Sindhu R, Rajasekharan R, et al. Technologies for disinfection of food grains: Advances and way forward. *Food Research International*. 2021;145:110396. doi: 10.1016/j.foodres.2021.110396



13. Baskakov IV, Orobinsky VI, Gievsky AM, Chernyshev AV, Tarasenko AP. The effect of presowing ozonation of seeds on the yield of agricultural crops. *Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2019;12(4):13–20. (In Russ.). doi: 10.17238/issn2071-2243.2019.4.13
14. Pandiselvam R, Mayookha VP, Kothakota A, Sharmila L, Ramesh SV, Bharathi CP, et al. Impact of ozone treatment on seed germination — a systematic review. *Ozone: Science & Engineering*. 2020;42(4):331–346. doi: 10.1080/01919512.2019.1673697
15. Tiwari BK, Brennan CS, Curran T, Gallagher E, Cullen PJ, O'Donnell CP. Application of ozone in grain processing. *Journal of Cereal Science*. 2010;51(3):248–255. doi: 10.1016/j.jcs.2010.01.007
16. Marchenko DM, Ivanisov MM, Rybas IA, Nekrasov EI, Romanyukina IV, Chukhnenko YY. The results of breeding work with the winter bread wheat for non-fallow forecrops in the Agricultural Research Center “Donskoy”. *Grain Economy of Russia*. 2020;(6):3–9. (In Russ.). doi: 10.31367/2079-8725-2020-72-6-3-9.
17. Upadhyay AK, Chormule SR, Kuiry BM, Ram BS, Pani SS, Punia Y. Effect of UV radiation on seeds physiological parameter: A review. *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 2020;9(6):1877–1879.
18. Wu JN, Doan H, Cuenca MA. Investigation of gaseous ozone as an antifungal fumigant for stored wheat. *Journal of Chemical Technology & Biotechnology*. 2006;81(7):1288–1293. doi: 10.1002/jctb.1550
19. Maffei ME. Magnetic field effects on plant growth, development, and evolution. *Frontiers in Plant Science*. 2014;5:445. doi: 10.3389/fpls.2014.00445
20. Pakhomov AI. Analytical assessment and consideration of the properties of electromagnetic fields in agro-disinfection devices. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022;(9):40–44. (In Russ.). doi: 10.33267/2072-9642-2022-9-40-44.
21. Pakhomov AI. The method of resonant-low-frequency disinfection of grain: biophysical substantiation and innovative advantage. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2022;(1):30–34. (In Russ.). doi: 10.33267/2072-9642-2022-1-30-34.
22. Kazantseva TP, Chikhichina TV, Lebedev VB, Jusupova DA, Kudimova LM, Strizhkov NI, Sibikeeva JE. Effectiveness of pre-sowing treatment of seeds of winter and spring wheat, corn with fungicide Scarlet. *Agro XXI*. 2008;(7–9):16–18. (In Russ.).
23. Gorina IN. Imazalil-containing disinfecting agents for grain crops. *Protection and Quarantine of Plants*. 2013;(4):55–57. (In Russ.).
24. Levina NS, Tertyshnaya YV, Bidey IA, Elizarova OV. Ultraviolet radiation influence on the sowing qualities and vegetation of spring wheat and spring barley. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2019;26(3):344–350. (In Russ.).
25. Kondrateva NP, Baturina KA, Ilyasov IR, Korepanov RI, Kasatkina NI, Kuryleva AG. Effect of treatment of seeds of grain crops by ultraviolet radiation before sowing. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*. 2020;433:012039. doi: 10.1088/1755-1315/433/1/012039
26. Sigacheva MA, Pinchuk LG. The influence of pre-sowing ozonization of soft spring wheat on the yieldness and it's structure in the forest and steppe zone of Kuznetsk basin. *Research Journal of Agricultural Science*. 2015;47(4):245–249.
27. Teixeira da Silva JA, Dobranszki J. Magnetic fields: how is plant growth and development impacted? *Protoplasma*. 2015;253:231–248. doi: 10.1007/s00709-015-0820-7
28. Afzal I, Saleem S, Skalicky M, Javed T, Bakhtavar MA, ul Haq Z, Kamran M, Shahid M, Sohail Saddiq M, Afzal A, et al. Magnetic field treatments improves sunflower yield by inducing physiological and biochemical modulations in seeds. *Molecules*. 2021;26(7):2022. doi: 10.3390/molecules26072022
29. Pakhomov AI. Biophysics and experimental search for inhibiting harmonics of magnetic disinfecting equipment. *Machinery and Equipment for Rural Area*. 2021;(6):32–35. (In Russ.). doi: 10.33267/2072-9642-2021-6-32-35.
30. Pinchuk LG., Sigacheva MA., Gridina SB. Evaluation of protein content of soft spring wheat grain under the effect of ozone pre-sowing seed treatment in the Kuznetsk forest-steppe. *Bulletin of Altai State Agricultural University*. 2014;(9):5–8. (In Russ.).

**Об авторах:**

Брагинец Андрей Валерьевич — кандидат технических наук, младший научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской», Российская Федерация, 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, д. 3; e-mail: AI.55552015@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-7188-4179 SPIN-код: 6352-1932

*Бахчевников Олег Николаевич* — кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела переработки продукции растениеводства, ФГБНУ Аграрный научный центр «Донской», Российская Федерация, 347740, Ростовская обл., г. Зерноград, Научный городок, д. 3; e-mail: oleg-b@list.ru  
ORCID: 0000-0002-3362-5627 SPIN-код: 3350-9055

**About authors:**

*Braginets Andrey Valerievich* — Candidate of Technical Sciences, Junior Researcher, Department of Vegetable Feedstock Processing, Donskoy Agricultural Research Center, 3 Nauchny Gorodok st., Zernograd, Rostov region, 347740, Russian Federation; e-mail: A1.55552015@yandex.ru  
ORCID: 0000-0002-7188-4179 SPIN-code: 6352-1932

*Bakhchevnikov Oleg Nikolaevich* — Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher, Department of Vegetable Feedstock Processing, Donskoy Agricultural Research Center, 3 Nauchny Gorodok st., Zernograd, Rostov region, 347740, Russian Federation; e-mail: oleg-b@list.ru  
ORCID: 0000-0002-3362-5627 SPIN-code: 3350-9055