

УДК 631.563.8 : 546.214

Влияние процесса озонирования на качественные показатели зерна озимой пшеницы

¹ Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I

² Панинская средняя общеобразовательная школа Панинского муниципального района Воронежской области

КОРРЕСПОНДЕНЦИЯ:

Баскаков Иван Васильевич
394087, г. Воронеж, ул. Мичурина, 1
E-mail: vasic2@yandex.ru

ЗАЯВЛЕНИЕ О ДОСТУПНОСТИ ДАННЫХ:
данные текущего исследования доступны по запросу у корреспондирующего автора.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Баскаков, И. В., Оробинский, В. И., Гиевский, А. М., Чернышов, А. В., & Чернова, О. В. (2023). Влияние процесса озонирования на качественные показатели зерна озимой пшеницы. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (1), 177–189. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.396>

ПОСТУПИЛА: 27.12.2022

ПРИНЯТА: 05.03.2023

ОПУБЛИКОВАНА: 30.03.2023

КОНФИКТ ИНТЕРЕСОВ:

авторы сообщают об отсутствии конфликта интересов.



И. В. Баскаков¹, В. И. Оробинский¹, А. М. Гиевский¹,
А. В. Чернышов¹, О. В. Чернова²

АННОТАЦИЯ

Введение. Озонирование позволяет провести дезинсекцию зерна, предпосевную обработку семян, дезинфекцию зерноскладов, дезодорацию продукции, санацию повреждённых зерновок. Однако озонирование способствует протеканию ряда химических реакций, которые оказывают влияние на зерно.

Цель. Определение влияния режимов озонной обработки на качественные показатели зерна озимой пшеницы.

Материалы и методы. При получении озоновоздушной смеси использовали регулируемый по концентрации озонатор производства ООО «ОЗОН ПРОМ-ТЕХ», генерация озона в котором происходит благодаря импульсным преобразователям напряжения и частоты из воздуха. Качественные показатели зерна определяли по соответствующим ГОСТам.

Результаты. Установлено, что озонная обработка зернового материала в течение 1–4 часов с концентрацией озона в диапазоне 1,24–2,62 мг/м³ способствует повышению содержания клейковины в зерне озимой пшеницы с 21 % до 23–24 %. При этом показатель ИДК увеличился с 68 единиц в контрольном варианте до 71...81 единиц в экспериментальных образцах. Содержание белка в зерне повысилось с 9,74 % до 10,69–15,0 % в зависимости от режима озонной обработки. Стекловидность зерна при озонировании в исследуемом диапазоне концентраций колебалась в диапазоне от -5 до 7 % относительно контрольного значения равного 58 %. Содержание жира в зерне изменялось вокруг контроля в 0,95–1,2 раз. Большие экспозиции, как правило, негативно сказывались на качестве зерна.

Выводы. Рациональное время озонирования составило 100 мин при концентрации озона в озоно-воздушной смеси около 1,6 мг/м³. Это позволит увеличить содержание клейковины и белка в зерне на 2 %, жира — в 1,2 раза, показатель ИДК возрастёт на 7 единиц, а стекловидность — на 4 %. При этом рациональная доза озонной обработки составила 179 мг-мин/м³.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

озонная обработка, озимая пшеница, качественные показатели зерна, рациональные режимы озонирования

The Influence of the Ozonation Process on the Quality Indicators of Winter Wheat Grain

¹ Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great

² Paninskaya secondary general education school of Paninsky municipal district of the Voronezh region

Ivan V. Baskakov¹, Vladimir I. Orobinsky¹, Aleksey M. Gievsky¹, Aleksey V. Chernyshov¹, Olga V. Chernova²

CORRESPONDENCE:

Ivan V. Baskakov

Address: 1, Michurina street, Voronezh, 394087

E-mail: vasich2@yandex.ru

FOR CITATIONS:

Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gievsky, A. M., Chernyshov, A. V., & Chernova, O. V. (2023). The Influence of the ozonation process on the quality indicators of winter wheat grain. *Storage and Processing of Farm Products*, (1), 177–189. <https://doi.org/10.36107/spfp.2023.396>

RECEIVED: 27.12.2022

ACCEPTED: 05.03.2023

PUBLISHED: 30.03.2023

DECLARATION OF COMPETING

INTEREST: none declared.



ABSTRACT

Background. Ozonation makes it possible to carry out grain disinfection, pre-sowing seed treatment, disinfection of grain storage, deodorization of products, sanitation of damaged grain. However, ozonation promotes a number of chemical reactions that affect the grain.

Purpose. Determination of the influence of ozone treatment regimes on the quality indicators of winter wheat grain.

Materials and Methods. When obtaining an ozone-air mixture, a concentration-controlled ozonizer manufactured by OZON PROM-TECH LLC was used, in which ozone generation occurs due to pulsed voltage and frequency converters from the air. The quality indicators of grain were determined according to the relevant GOST standards.

Results. It was found that ozone treatment of grain material for 1–4 hours with an ozone concentration in the range of 1.24–2.62 mg/m³ increases the gluten content in winter wheat grain from 21 % to 23–24 %. At the same time, the IDC indicator increased from 68 units in the control variant to 71–81 units in experimental samples. The protein content in the grain increased from 9.74 % to 10.69–15.0 %, depending on the mode of ozone treatment. The vitreous content of the grain during ozonation in the studied concentration range ranged from -5 to 7 % relative to the control value of 58 %. The fat content in the grain varied around the control by 0.95–1.2 times. Large exposures, as a rule, negatively affected the quality of grain.

Conclusions. The rational ozonation time was 100 minutes with an ozone concentration in the ozone-air mixture of about 1.6 mg/m³. This will increase the content of gluten in grain by 2 %, protein – by 2 %, fat – by 1.2 times, the IDC index will increase by 7 units, and vitreous – by 4 %. At the same time, the rational dose of ozone treatment was 179 mg·min/m³.

KEYWORDS

ozone treatment, winter wheat, grain quality indicators, rational ozonation regimes

ВВЕДЕНИЕ

Всё большую популярность приобретают экологически чистые технологии обработки сельскохозяйственного сырья, при которых не происходит образования вредных побочных продуктов. При этом процесс озонирования является одним из самых перспективных в агропромышленном комплексе (Авдеева & Безгина, 2014; Морозова, 2020; Нечаев, 2022; Сигачева, 2015; Baskakov et al., 2020a; Baskakov et al., 2020b). Озонная обработка позволяет провести предпосевную обработку семян (Авдеева и соавт., 2015; Долговых & Огнев, 2014; Сигачева & Пинчук, 2012) продезинсекцировать зерновой ворох (Закладной и соавт., 2003; Rozado et al., 2008; Baskakov et al., 2022), продезинфицировать зерносклады (Нормов, Федоренко, 2009), продезодорировать сельскохозяйственное сырьё (László et al., 2008), просанировать повреждённые рабочими органами специализированного оборудования плоды (Baskakov et al., 2020), проинтенсифицировать сушку влажного урожая (Буханцов, 2012а; Буханцов, 2012б; Буханцов, 2012в; Голубкович с соавт., 2002; Пахомов и соавт., 2013а; Пахомов и соавт., 2013б), увеличить сроки безопасного хранения продукции (Закладной & Осман, 2011) и т.д. При этом после выполнения заданной функции озон распадается до молекулярного кислорода, не образуя побочных вредных веществ. Однако озонирование способствует протеканию ряда химических реакций, которые трудно предсказать. Атомарный кислород, образующийся при распаде озона, настолько активен, что начинает вступать во взаимодействие с различными веществами. Причём это приводит к распаду уже имеющихся химических соединений и образованию новых. При достаточной экспозиции озон проникает внутрь зерновки, взаимодействуя с её органическими компонентами. В результате химический состав зерна может измениться, что повлияет на его качество (Авдеева и соавт., 2013а; Авдеева и соавт., 2013б; Пинчук и соавт., 2014; Сорокин & Морозова, 2018).

Озон активизирует протекающие в зерновке процессы. Поэтому даже предпосевная обработка семян, которая проводится за несколько месяцев до получения нового урожая, влияет на содержание макро- и микроэлементов в выращиваемом зерне. Сигачева и Пинчук (2012) установили, что озонирование посевного материала яровой пшеницы сорта Маринка в течение 15 и 45 минут при кон-

центрации озона 85 и 170 мг/м³ способствует снижению содержания железа и цинка в будущей зерновке на 2...3 мкг/кг и 5...7,5 мкг/кг соответственно. При этом не изменялось или повышалось количество кальция — до 0,11%, натрия — до 0,03 г/кг, марганца — до 3,34 мг/кг. Содержание фосфора, калия, магния, меди в зависимости от режимов озонирования посевного материала варьировало вокруг контрольных значений, как в положительную сторону, так и в отрицательную. Наилучшую эффективность показала озонная предпосевная обработка семян в течение 15 мин при концентрации озона в озоновоздушной смеси 170 мг/м³. При этом в выращенном зерне содержание кальция повысилось на 0,11%, калия — на 0,08 г/кг, марганца — 2,67 мг/кг, меди — 0,33 мг/кг, но снизилось количество фосфора на 0,05%, магния — на 0,06 г/кг, железа — на 2 мг/кг, цинка — на 5 мг/кг (Морозова, 2020; Сигачева, Пинчук, 2012). Кроме того, предпосевная озонная обработка посевного материала при тех же режимах отразилась на повышении наличия белка в выращенной зерновке. Так, в контрольном варианте белка в зерне содержалось 12,55%, а в экспериментальных образцах его количество увеличилось на 0,94...2,3% в зависимости от условий озонирования (Сигачева, 2015).

Озонирование способствует санации семян, благодаря чему их потенциальные возможности реализуются в большей степени. Это подтверждают исследования Сорокина и Морозовой (2018), которые на протяжении трёх лет изучали влияние предпосевной озонной обработки семян яровой пшеницы сорта Дарья на содержание белка в выращенном зерне. При этом озонирование проводили с концентрацией озона в озоновоздушной смеси 1,5 мг/м³ в течение 20 минут и концентрацией 2,8 мг/м³ в течение 30 мин. В результате установлено, что предпосевная озонная обработка семян способствовала повышению содержания белка в выращенном зерне в 2015 году с 10,2% до 11,4 и 11,1% соответственно режиму. Однако в 2016 году данный параметр от контрольного значения варьировал на -0,3 и 0,7%. В 2017 году предпосевное озонирование посевного материала обеспечило повышение содержания белка в выращенном зерне с 8,54% до 8,63 и 8,71%. Следовательно, в среднем за три года озонная обработка семян способствовала повышению белковистости в зерновке. При озонировании посевного материала в течение 20 мин при концентрации озона в озоновоздушной смеси

1,5 мг/м³ увеличение содержания белка в выращенном зерне составило 0,33%, а при озонировании в течение 30 мин и концентрации озона 2,8 мг/м³ — 0,59% (Сорокин & Морозова, 2018).

Озонная обработка способствует изменению состояния внутренних тканей зерновки. Это подтверждают исследования Авдеевой и Безгиной (2013), которые изучали влияние процесса озонирования на электропроводность зерна озимой пшеницы. В результате установлено, что озонирование с дозой озона 14,7 г · с/м³ способствует активизации клеточных мембран. Это отражается в снижении электропроводности зерна с 133,4 до 104,1 мкСм/см. Также озонирование оказывает влияние на строение эндосперма и его консистенцию, что подтверждают исследования Долговых и Огнева (2014), которые установили, что в результате озонной обработки с концентрацией озона в озоновоздушной смеси 2,128 г/м³ стекловидность зерна возрастала, относительно контрольного значения 62%, в зависимости от режима обработки до 2%. При этом масса 1 л зерна в контрольном варианте составляла 753 г/л, а в экспериментальных образцах натура варьировала на -3 и 6 г/л. Массовая доля сырой клейковины в контроле составляла 21,4%, а при озонной обработке повысилась на 0,2 и 1,1%. Причём её качество по ИДК варьировала на ±2, относительно контрольного значения 65 единиц.

Исследования по влиянию процесса озонирования на качественные показатели зерна крайне скудны ввиду сложности обоснования и интерпретации колебаний результатов исследований. Некоторые авторы отмечают, что процесс озонирования оказывает некоторое воздействие на состояние зерновки. Например, при исследовании возможности использования озона с целью снижения уровня афлатоксинов в зерне кукурузы было отмечено, что операция способствовала образованию в зерне жирорастворимых продуктов (Prudente & King, 2002). Однако, на данный момент подобные исследования малочисленны и разрозненны.

Цель исследования: определить влияние режимов озонной обработки на качественные показатели зерна озимой пшеницы. Задача исследования состоит в установлении рациональных режимов озонной обработки, обеспечивающих наилучшее качество зерна. Фактором, оказывающим наибольшее влияние на качественные показатели зерна

при озонировании, является доза озонной обработки, которую можно определить путем произведения времени экспозиции на концентрацию озона в озоновоздушной смеси. За критерии оценки эффективности процесса озонирования было принято улучшение показателей качества зерна, таких как: содержание в зерне белка, жира, клейковины, а также стекловидность зерна.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объект

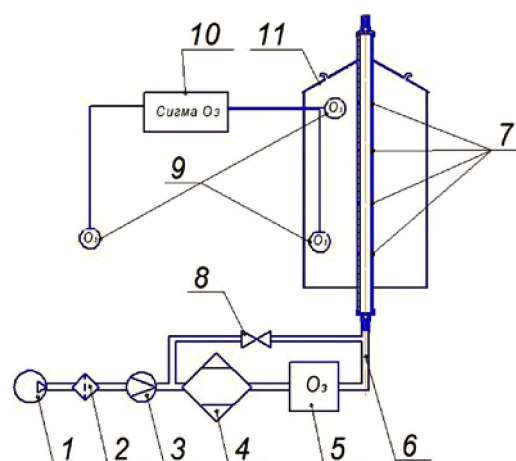
Объектом исследования является процесс взаимодействия зерна с озоновоздушной смесью.

Оборудование

При получении озоновоздушной смеси использовали регулируемый по концентрации озонатор модели ОВ производства ООО «ОЗОН ПРОМ-ТЕХ» г. Коломна с барьерным типом газового разряда. Генерация озона в нём происходит из атмосферного воздуха, благодаря импульсным преобразователям напряжения и частоты. Схема лабораторной установки представлена на Рисунке 1. Её принцип действия следующий. Компрессор 1

Рисунок 1

Схема лабораторной установки



Примечание: 1 — компрессор воздушный; 2 — фильтр воздушный; 3 — расходомер; 4 — осушитель воздуха; 5 — озонатор ОВ регулируемый; 6 — газопровод; 7 — распределитель; 8 — кран; 9 — датчик концентрации озона; 10 — сигнализатор Сигма О₃; 11 — ёмкость

нагнетает воздушный поток через фильтр 2, расходомер 3, осушитель воздуха 4 в озонатор 5. Далее озоновоздушная смесь через распределитель 7 поступает в зерновой слой, находящийся в ёмкости 11. Для более равномерного распределения газа нижние отверстия в распределителе 7 имеют меньший диаметр, чем более верхние. Поскольку интерес представляли небольшие концентрации озона, то для её поддержания в озоновоздушную смесь подавали небольшой объём (примерно 15 %) атмосферного воздуха через отдельный газовод, перекрывающийся краном 8. Для определения концентрации озона внутри межзернового пространства использовали газоанализатор «Сигма-ОЗ» 10 с электрохимическими датчиками «Сигма-ОЗ.ДЭ» 9. Существенной разницы значений на входе и выходе из ёмкости 11 не выявлено ввиду слишком малого объёма и массы зерна.

Процедура исследования

Для подтверждения и расширения представленных данных в ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ проводили лабораторные исследования по изучению влияния озонной обработки на качественные показатели зерна озимой пшеницы. Перед проведением исследований посредством лабораторного решетного отсева У1-ЕРЛ-2-1 было отобрано 6,2 кг зерна средней влажностью 14 %, имеющего ширину зерновок более 2,0 мм. Урожай твёрдой озимой пшеницы был собран за месяц до эксперимента. Озонирование проводили в течение 4 часов в ёмкости, из которой ежечасно извлекали опытный образец массой 1,2 кг для проведения соответствующих экспериментов. Расход озоновоздушной смеси в среднем составлял 0,65 м³/ч, температура окружающего воздуха — 18 °С, относительная влажность воздуха — 43 %. При проведении озонной обработки концентрация озона внутри ёмкости колебалась в диапазоне 1,24...2,62 мг/м³ (Таблица 1), её измеряли каждые 10 мин. Контрольный образец массой 1,2 кг не подвергался озонированию.

Таблица 1

Условия озонирования зерна озимой пшеницы

Время опыта, мин	Концентрация озона в озоновоздушной смеси, мг/м ³			Примечание
	через 10 мин	в среднем за час	в среднем за опыт	
10	1,72	1,62	1,62	Образец №1 1 час озонной обработки
20	1,8			
30	1,56			
40	1,76			
50	1,56			
60	1,32	1,48	1,55	Образец №2 2 часа озонной обработки
70	1,24			
80	1,4			
90	1,36			
100	1,54			
110	1,56	2,17	1,76	Образец №3 3 часа озонной обработки
120	1,8			
130	2,2			
140	2,26			
150	2,0			
160	2,04	2,45	1,93	Образец №4 4 часа озонной обработки
170	2,2			
180	2,32			
190	2,32			
200	2,4			
210	2,36			
220	2,4			
230	2,62			
240	2,6			

Методы

Отобранные образцы исследовали в лаборатории массовых анализов ФГБОУ ВО Воронежский ГАУ согласно действующим стандартам. При определении количества и качества клейковины руководствовались требованиями ГОСТ Р 54478–2011¹. Содержание белка в зерне находили по ГОСТ 10846–91². При определении стекловидности использовали ГОСТ 10987–76³. Содержание жира в зерне находили согласно требованиям ГОСТ 29033–91⁴.

¹ ГОСТ Р 54478–2011. (2012). *Зерно. Методы определения количества и качества клейковины в пшенице*. М.: Стандартинформ.

² ГОСТ 10846–91. (2009). *Зерно и продукты его переработки. Метод определения белка*. М.: Стандартинформ.

³ ГОСТ 10987–76. (2009). *Зерно. Методы определения стекловидности*. М.: Стандартинформ.

⁴ ГОСТ 29033–91. (2004). *Зерно и продукты его переработки. Метод определения жира*. М.: Стандартинформ.

Обработка экспериментальных данных

При обработке полученных результатов исследований и получении уравнений регрессии использовали программу Microsoft Office Excel, в частности универсальный инструмент технического анализа «Построение линии тренда (аппроксимация и сглаживание)».

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для решения поставленной задачи исследования необходимо провести эксперимент по озонной обработке зерна при разных режимах озонирования и проанализировать полученные результаты исследований, что позволит установить рациональные режимы операции, обеспечивающие наилучшие качественные показатели зерна.

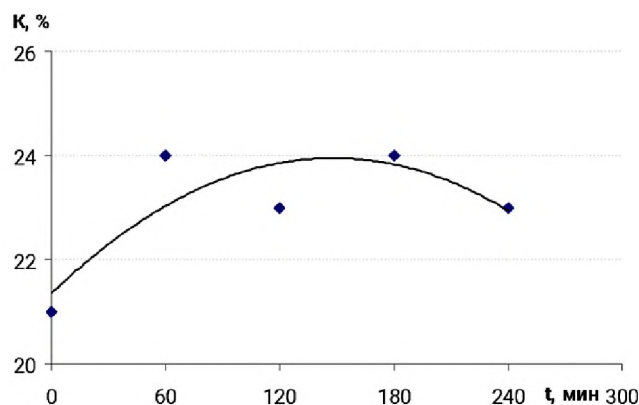
На основе проведённых лабораторных исследований получены результаты, представленные в Таблице 2.

Результаты исследований по влиянию процесса озонирования на содержание в зерне клейковины и её качество

Озонирование зерна способствовало увеличению содержания в нём клейковины на 2...3 % относительно контрольного значения 21 % (Рисунок 2).

Рисунок 2

Зависимость содержания клейковины (K) в зерне от времени озонной обработки (t)



Аппроксимация полученных значений подчиняется полиномиальной зависимости второй степени

$$K = -0,0001 \cdot t^2 + 0,0352 \cdot t + 21,343, \quad (1)$$

где K — количество клейковины в зерне, %; t — время озонной обработки, мин.

Анализ Рисунка 2 и формулы 1 показывает, что наибольшее расчётное значение содержания клейковины в зерне при округлении до целого числа получается в диапазоне времени озонирования от 80 до 240 мин. Это говорит о том, что озонная обработка в течение указанного периода при концентрации озона в озонозвоздушной смеси 1,55–1,93 мг/м³

Таблица 2

Влияние озонной обработки зерна на его качественные показатели

Время озонной обработки, мин	Средняя концентрация озона, мг/м ³	Доза озонной обработки, мин·мг/м ³	Содержание клейковины, %	Качество клейковины ИДК, ед.	Содержание белка, %	Стекловидность, %
0 (контроль)	0	0	21	68	9,74	58
60	1,62	97,2	24	81	15,0	65
120	1,55	186	23	71	11,97	59
180	1,76	316,8	24	77	10,69	53
240	1,93	463,2	23	76	12,13	

примерно равноценна по данному параметру. При этом озонирование будет способствовать увеличению содержания клейковины в зерне на 3%. Данный параметр в зависимости от дозы, т.е. произведении времени обработки на концентрацию озона, имеет следующий вид (Рисунок 3).

Аппроксимация полученных экспериментальных точек показала, что содержание клейковины в зерне в зависимости от дозы озонной обработки подчиняется полиномиальной зависимости второй степени

$$K = -0,00003 \cdot d^2 + 0,0188 \cdot d + 21,408, \quad (2)$$

где d — доза озонной обработки, мин·мг/м³.

Анализ Рисунка 3 и формулы 2 показывает, что наибольшее расчётное значение содержания клейковины в зерне при округлении до целого числа получается в диапазоне доз озонирования от 145 до 481 мин·мг/м³.

Озонирование способствовало повышению показателя ИДК с 68 единиц до 71...81 единиц (Рисунки 4 и 5). Это может быть нежелательным, т.к. согласно ГОСТ Р 54478–2011 качество клейковины относится к категории хорошая если ИДК=43...77 единиц.

Следовательно, озонную обработку необходимо применять для зёрен, имеющих удовлетворительную крепкую клейковину. Это позволит повысить ИДК и возможно поспособствует переходу зерна

Рисунок 3

Зависимость содержания клейковины (K) в зерне от дозы озонной обработки (d)

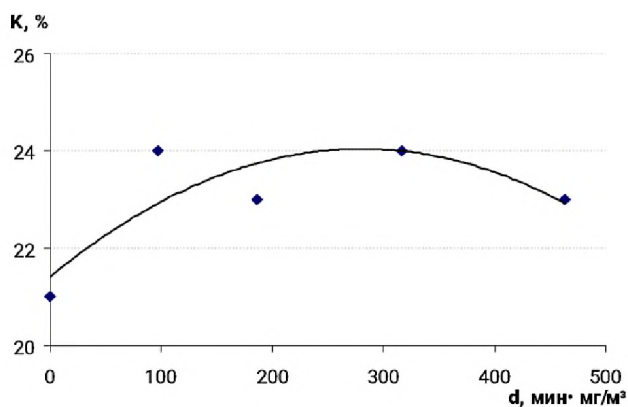


Рисунок 4

Зависимость качества клейковины по показателю ИДК от времени озонной обработки (t)

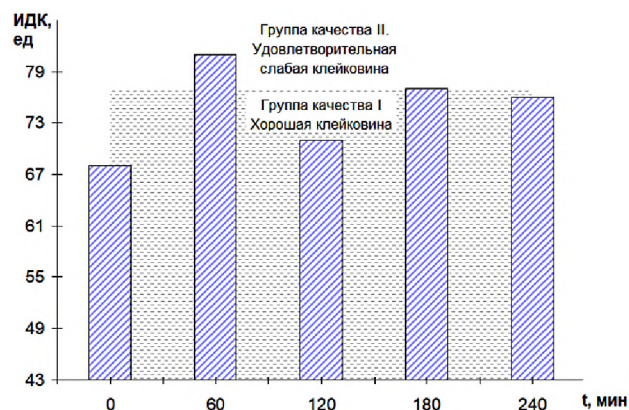
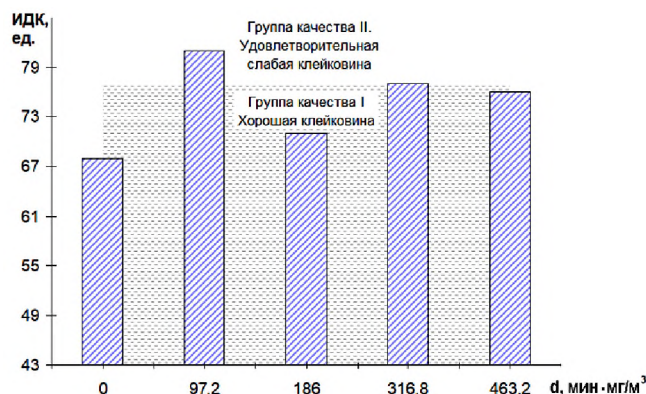


Рисунок 5

Зависимость качества клейковины по показателю ИДК от дозы озонной обработки (d)



в первую группу качества — хорошая. При этом улучшатся деформационные свойства клейковины. Если зерно по качеству клейковины находится в группе удовлетворительная слабая, то озонирование нежелательно, а если озонная обработка необходима, то следует максимально возможно уменьшать время обработки.

Полученные данные свидетельствуют о том, что озонная обработка противоречиво влияет на качество и количество клейковины. Некоторые авторы (Авдеева и соавт., 2013а) не смогли выявить достоверного влияния процесса озонирования на данный показатель, что может быть объяснимо завершившимся периодом послеуборочного дозревания зерна и слишком большими концентрациями озона в озонотехнологической смеси, которым противодействует зерно. Однако в нашем случае

изменения имели место, как и в ряде других исследований (Долговых & Огнев, 2014). Это может быть объяснено менее жесткими режимами озонной обработки и незавершившимся периодом послеуборочного дозревания зерна. Следовательно, необходимы дальнейшие исследования в данном направлении, которые позволили бы расширить банк экспериментальных данных.

Результаты исследований по влиянию процесса озонирования на содержание в зерне белков

Увеличение содержание клейковины сопровождается повышением количества белков в зерне. Озонирование способствовало увеличению содержания белка в зерне с 9,74% до 10,96...15,0% (Рисунок 6). Однако в зависимости от режима обработки данный показатель возрастал неравномерно.

Аппроксимация полученных экспериментальных точек показала, что содержание белков в зерне в зависимости от времени и дозы озонной обработки подчиняется полиномиальной зависимости второй степени

$$B = -0,0001 \cdot t^2 + 0,0288 \cdot t + 10,971, \quad (3)$$

$$B = -0,00002 \cdot d^2 + 0,0109 \cdot d + 11,224, \quad (4)$$

где B — содержание белка в зерне, %.

Анализ Рисунка 6 и формулы 3 показывает, что наибольшее расчётное значение содержания белков в зерне при округлении до десятых получается в ди-

Рисунок 6

Зависимость содержания белков (B) в зерне от времени озонной обработки (t)

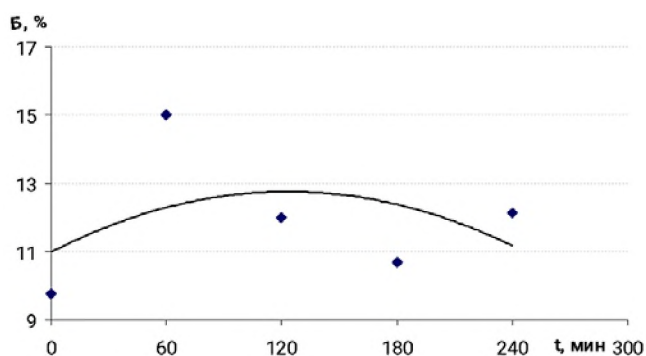
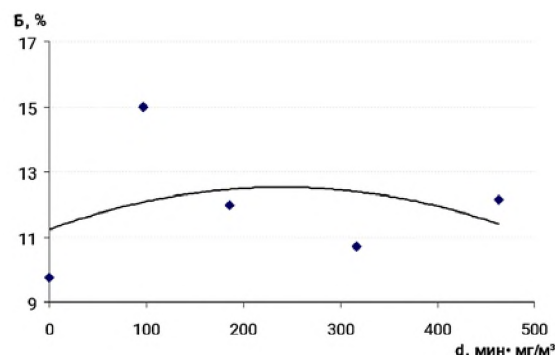


Рисунок 7

Зависимость содержания белков (B) в зерне от дозы озонной обработки (d)



апазоне времени озонирования от 114 до 174 мин. Это говорит о том, что озонная обработка в течение указанного периода при концентрации озона в озонотвоздушной смеси 1,55–1,93 мг/м³ оказывает одинаковое влияние на данный параметр. При этом озонирование будет способствовать увеличению содержания белка в зерне до 2 %. Данный параметр в зависимости от дозы озонной обработки представлен на Рисунке 7.

Анализ Рисунка 7 и формулы 4 показывает, что наибольшее расчётное значение содержания белка в зерне при округлении до десятых получается в диапазоне доз озонирования от 219 до 326 мин · мг/м³.

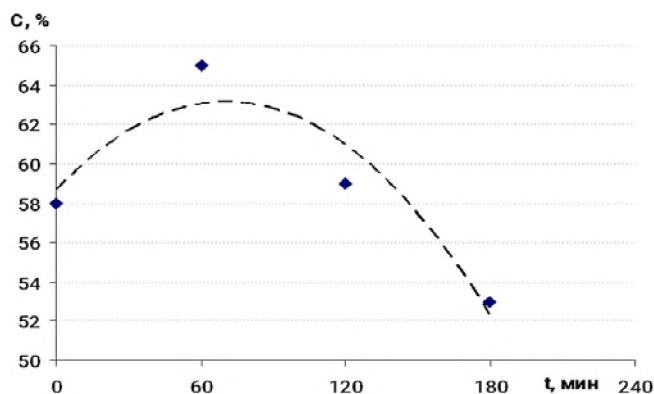
Полученные данные свидетельствуют о том, что озонная обработка оказывает влияние на содержание белка в свежесобранном зерне. Некоторые авторы (Сорокин & Морозова, 2018; Сигачева & Пинчук, 2012) отмечали положительное влияние процесса озонирования на данный показатель. Однако объём подобных исследований слишком мал, чтобы можно было выработать практические рекомендации, они задают только направление для более глубокого изучения озонной обработки зерна.

Результаты исследований по влиянию процесса озонирования на стекловидность зерна и содержание в нём жира

Озонирование способствовало изменению стекловидности зерна на –5...7 % относительно контрольного значения 58 % (Рисунок 8). При этом экспозиции более 2 часов снижали данный параметр, а меньшее время обработки — повышало.

Рисунок 8

Зависимость стекловидности зерна (C) от времени озонной обработки (t)



Статистическая обработка экспериментальных точек показала, что стекловидность зерна в зависимости от времени и дозы озонной обработки подчиняется полиномиальной зависимости второй степени

$$C = -0,0009 \cdot t^2 + 0,1275 \cdot t + 58,65, \quad (5)$$

$$C = -0,0003 \cdot d^2 + 0,0607 \cdot d + 58,875, \quad (6)$$

где C — стекловидность зерна, %.

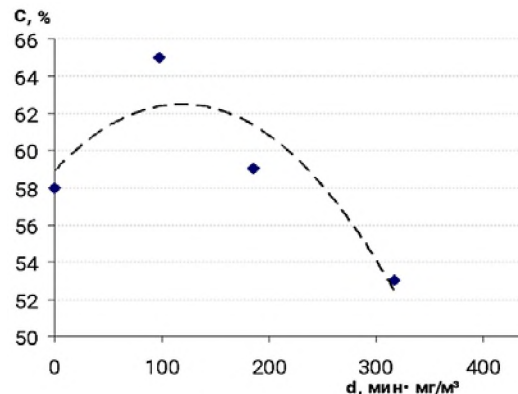
Анализ Рисунка 8 и формулы 5 показывает, что наибольшее расчётное значение стекловидности зерна при округлении до целого числа получается в диапазоне времени озонирования от 44 до 98 мин. Это говорит о том, что озонная обработка в течение указанного периода при концентрации озона в озоновоздушной смеси около $1,6 \text{ мг/м}^3$ примерно равноценна по данному параметру. При этом озонирование будет способствовать увеличению стекловидности зерна на 4%. Данный параметр в зависимости от дозы озонной обработки представлен на Рисунке 9.

Анализ Рисунка 9 и формулы 6 показывает, что наибольшее расчётное значение стекловидности зерна при округлении до целого числа получается в диапазоне доз озонирования от 63 до $139 \text{ мин} \cdot \text{мг/м}^3$.

Результаты исследований свидетельствуют о том, что озонная обработка оказывает влияние на стекловидность свежесобранного зерна. Некоторые авторы (Долговых, Огнев, 2014) отмечали положительное влияние процесса озонирования на данный

Рисунок 9

Зависимость стекловидности зерна (C) от дозы озонной обработки (d)



показатель. Необходимо расширять экспериментальный банк исследований для выработки практических рекомендаций по применению озонной обработки зерна.

Озонирование зерна повлияло на содержание в нем жира, которое колебалось от 0,95 до 1,18 раза относительно контрольного значения. При этом рациональное время озонной обработки, при котором расчётное значение содержания жира при округлении до десятой максимально, находится в диапазоне 79...113 мин, а рациональная доза — $143...227 \text{ мин} \cdot \text{мг/м}^3$.

Полученные результаты согласуются с исследованиями других ученых (Prudente, King, 2002), которые также отмечали увеличение в зерне жирорастворимых продуктов при его озонировании.

Рациональные режимы озонной обработки зерна

Обобщая представленные данные можно составить Таблицу 3 рациональных режимов озонной обработки для каждого исследуемого показателя качества зерна.

Руководствуясь данными Таблицы 3 при озонной обработке, например при дезинсекции или другой какой-либо операции, одновременно с основной задачей можно улучшить один или несколько показателей качества зерна. Для этого следует проводить озонирование, придерживаясь предложенных ре-

Таблица 3

Рациональные режимы озонной обработки зерна при исследуемых условиях

Показатель	Режим озонирования, при котором получен наилучший показатель	
	Среднее время обработки, мин	Средняя доза обработки, мин·мг/м ³
Содержание клейковины	176	313
Качество клейковины ИДК	15	25
Содержание белка	144	272,5
Стекловидность	71	101
Содержание жира	96	185
В среднем	100	179

жимов. Если в каждом диапазоне определить среднее значение, то впоследствии можно их усреднить и тем самым найти рациональное время озонной обработки равное 100 мин и дозу — 179 мин · мг/м³. Этот режим позволит с максимальной эффективностью и минимальными отклонениями повысить качество озонированного зерна. Увеличивать продолжительность озонной обработки или применять большие дозы не рекомендуется из-за снижения некоторых показателей качества зерна.

ВЫВОДЫ

Таким образом, заявленную цель исследований по определению рациональных режимов озонной обработки зерна озимой пшеницы, которые позволяют получить наилучшие его качественные показатели в заданных условиях достичь удалось. Для улучшения качества зерна можно применять озонную обработку. Результаты исследований оказались ожидаемыми, поскольку озон влияет на целый спектр показателей, что способствует изменению характера протекающих в зерне процессов. В исследуемых условиях рациональное время озонирования при концентрации озона в озонотехнологической смеси 1,55–1,93 мг/м³ составило 100 мин. Озонная обработка при заданном режиме позволила увеличить содержание клейковины и белка в зерне на 2 %, жира — в 1,2 раза, показатель ИДК возрос на 7 единиц, а стекловидность — на 4 %. Как правило, сильно меняющиеся внешние параметры среды и объекта

не позволяют поддерживать заданную концентрацию газа, поэтому необходимо ориентироваться на рациональную дозу озонной обработки зернового материала, которая в рассматриваемых условиях составила 179 мг · мин/м³. Несмотря на то что, результаты исследований вполне соотносимы с наиболее приближенными по цели экспериментами, всё же имеются отличительные признаки, которые выражены в изменении качественных показателей зерна, в котором период послеуборочного дозревания незавершён. Необходимо расширять подобные исследования, как по количеству исследуемых факторов, так и по диапазону их варьирования. Это позволит в будущем лучше понять биохимические процессы, протекающие внутри зерновки при контакте с озоном и дать более точные практические рекомендации по применению процесса озонирования с целью улучшения качественных показателей зерна при озонной обработке с концентрацией озона в озонотехнологической смеси до 5 мг/м³.

АВТОРСКИЙ ВКЛАД

Баскаков Иван Васильевич — концептуализация, разработка методологии исследования, создание рукописи и её редактирование.

Оробинский Владимир Иванович — научное руководство исследованием, администрирование проекта.

Гиевский Алексей Михайлович — курирование данных, верификация данных, формальный анализ данных.

Чернышов Алексей Викторович — визуализация, проведение исследования, работа с программным обеспечением

Чернова Ольга Васильевна — ресурсы, создание черновика рукописи

ЛИТЕРАТУРА

- Авдеева, В. Н., & Безгина, Ю. А. (2013). Воздействие озонированного воздуха на качественные показатели пшеницы. *Вестник АПК Ставрополя*, (2), 97–100.
- Авдеева, В. Н., & Безгина, Ю. А. (2014). Влияние озона на качественные показатели озимой пшеницы. В *Аграрная наука, образование, производство: актуальные вопросы: Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием* (с. 131–133). Новосибирск: Новосибирский государственный аграрный университет.
- Авдеева, В. Н., Безгина, Ю. А., & Молчанов, А. Г. (2013а). Влияние озона на электропроводность зерна пшеницы. В *Методы и технические средства повышения эффективности использования электрооборудования в промышленности и сельском хозяйстве: Материалы 77 научно-практической конференции* (с. 3–5). Ставрополь: АГРУС.
- Авдеева, В. Н., Безгина, Ю. А., & Хаджихахметова, О. М. (2013б). Влияние озона на качество клейковины и электропроводность зерна пшеницы. В *Применение современных ресурсосберегающих инновационных технологий в АПК: Материалы III международной научно-практической конференции* (с. 3–5). Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет имени Императора Петра I.
- Авдеева, В. Н., Безгина, Ю. А., Авдеева, В. Н., & Любая, С. И. (2015). Озонирование — экологический способ обеззараживания зерносмесей. *Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья*, (3), 23–29.
- Буханцов, К. Н. (2012а). Озон и аэроионы: Возможности и проблемы использования для сушки зерна (Часть 1). *Хранение и переработка сельхозсырья*, (8), 11–17.
- Буханцов, К. Н. (2012б). Озон и аэроионы: Возможности и проблемы использования для сушки зерна (Часть 2). *Хранение и переработка сельхозсырья*, (9), 13–16.
- Буханцов, К. Н. (2012в). Озон и аэроионы: Возможности и проблемы использования для сушки зерна (Часть 3). *Хранение и переработка сельхозсырья*, (10), 18–20.
- Голубкович, А. В., Рудобашта, С. П., & Нуриев, Н. Н. (2002). Энергосбережение при активном вентилировании и низкотемпературной сушке зерна озono-воздушной смесью. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (8), 59–60.
- Долговых, О. Г., & Огнев, В. Н. (2014). Экологически безопасная предпосевная обработка семян пшеницы. *Инженерный вестник Дона*, (4), Статья 2565.
- Закладной, Г. А., & Осман, М. А. М. (2011). Биологическая оценка озона как средства борьбы с вредителями зерна и зернопродуктов. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (5), 8–9.
- Закладной, Г. А., Саеид, Е. К. М., & Коттева, Е. Ф. (2003). Биологическая активность озона в отношении вредителей зерна — рисового долгоносика и амбарного долгоносика. *Хранение и переработка сельхозсырья*, (4), 59–61.
- Морозова, Т. М. (2020). Воздействие озонозооного потока на посевные и фитосанитарные качества зерна яровой пшеницы. *Владимирский земледелец*, (4), 37–40. <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2020-10143>
- Нечаев, В. Н. (2022). Изучение физических способов и технических средств обеззараживания зерна: сетевой анализ. *Аграрный научный журнал*, (8), 90–97. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i8pp90-97>
- Нормов, Д. А., & Федоренко, Е. А. (2009). Обеззараживание зерна озонированием. *Комбикорма*, (4), 44.
- Пахомов, В. И., Максименко, В. А., & Буханцов, К. Н. (2013а). Энергосберегающая технология комбинированной высокотемпературной конвективной сушки и озono-воздушной обработки зерна (Часть 1). *Хранение и переработка сельхозсырья*, (5), 19–25.
- Пахомов, В. И., Максименко, В. А., & Буханцов, К. Н. (2013б). Энергосберегающая технология комбинированной высокотемпературной конвективной сушки и озono-воздушной обработки зерна (Часть 2). *Хранение и переработка сельхозсырья*, (6), 23–27.
- Пинчук, Л. Г., Сигачева, М. А., & Гридина, С. Б. (2014). Оценка белковистости зерна яровой мягкой пшеницы под влиянием предпосевного озонирования семян в Кузнецкой лесостепи. *Вестник Алтайского государственного аграрного университета*, (9), 5–8.
- Сигачева, М. А. (2015). Влияние предпосевного озонирования семян на урожайность и качество зерна яровой мягкой пшеницы в Кузнецкой лесостепи [Кандидатская диссертация, Кемеровский государственный сельскохозяйственный университет]. Кемерово, Россия.
- Сигачева, М. А., & Пинчук, Л. Г. (2012). Влияние предпосевного озонирования на химический состав зерна. В *Тенденции сельскохозяйственного производства в современной России: Материалы XI международной научно-практической конференции* (с. 129–131). Кемерово: Экспо-Сибирь.
- Сорокин, А. Н., & Морозова, Т. М. (2018). Влияние озонирования семян на урожайность и показатели качества зерна яровой пшеницы. *Владимирский земледелец*, (3), 32–35.
- Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gievsky, A. M., Gulevsky, V. A., & Chernyshov, A. V. (2022). Grain disinfestation with ozone-air mixture. *Earth and Environmental Science*, 1043, Article 012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012037>
- Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gulevsky, V. A., Gievsky, A. M., & Chernyshov, A. V. (2020a). Influence of ozonation in seed storage on corn grain yield and its quality. *Earth and Environmental Science*, 488, Article 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/488/1/012007>
- Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gulevsky, V. A., Gievsky, A. M., & Chernyshov, A. V. (2020b). Studies of the ozonation process when drying grain. *Earth and Environmental Sci-*

- ence, 422, Article 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012009>
- László, Z., Hovorka-Horváth, Z., Beszédes, S., Kertész, S., Gyimes, E., & Hodúr, C. (2008). Comparison of the effects of ozone, UV and combined ozone / UV treatment on the color and microbial counts of wheat flour. *Ozone: Science and Engineering*, 30(6), 413–417. <https://doi.org/10.1080/01919510802474607>
- ## REFERENCES
- Avdeeva, V. N., & Bezgina, Yu. A. (2013). Vozdeistvie ozonirovannogo vozdukh na kachestvennye pokazateli pshenitsy [The effect of ozonated air on the quality indicators of wheat]. *Vestnik APK Stavropol'ya [Bulletin of Agroindustrial Complex of Stavropol]*, (2), 97–100.
- Avdeeva, V. N., & Bezgina, Yu. A. (2014). Vliyanie ozona na kachestvennye pokazateli ozimoi pshenitsy [The effect of ozone on the quality indicators of winter wheat]. In *Agrarnaya nauka, obrazovanie, proizvodstvo: aktual'nye voprosy: Sbornik trudov Vserossiiskoi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem [Agricultural science, education, production: Topical issues: Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with international participation]* (pp. 131–133). Novosibirsk: Novosibirskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet.
- Avdeeva, V. N., Bezgina, Yu. A., & Khadzhiakhmetova, O. M. (2013a). Vliyanie ozona na kachestvo kleikoviny i elektroprovodnost' zerna pshenitsy [The effect of ozone on gluten quality and electrical conductivity of wheat grain]. In *Primenenie sovremennykh resursoberegayushchikh innovatsionnykh tekhnologii v APK: Materialy III mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii [The application of modern resource-saving innovative technologies in agriculture: Materials of the 3rd international scientific and practical conference]* (pp. 3–5). Voronezh: Voronezhskii gosudarstvennyi agrarnyi universitet imeni Imperatora Petra I.
- Avdeeva, V. N., Bezgina, Yu. A., & Molchanov, A. G. (2013b). Vliyanie ozona na elektroprovodnost' zerna pshenitsy [The effect of ozone on the electrical conductivity of wheat grain]. In *Metody i tekhnicheskie sredstva povysheniya effektivnosti ispol'zovaniya elektrooborudovaniya v promyshlennosti i sel'skom khozyaistve: Materialy 77 nauchno-prakticheskoi konferentsii [Methods and technical means of increasing the efficiency of the use of electrical equipment in industry and agriculture: Materials of the 77th scientific and practical conference]* (pp. 3–5). Stavropol': AGRUS.
- Avdeeva, V. N., Bezgina, Yu. A., Avdeeva, V. N., & Lyubaya, S. I. (2015). Ozonirovanie — ekologicheskii sposob obezzarazhivaniya zernosmesi [Ozonation is an ecological method of disinfection of grain mixtures]. *Vestnik gosudarstvennogo agrarnogo universiteta Severnogo Zaural'ya [Bulletin of the State Agrarian University of the Northern Trans-Urals]*, (3), 23–29.
- Prudente, A., & King, J. M. (2002). Efficacy and safety evaluation of ozonation to degrade aflatoxin in corn. *Journal of Food Science*, 67(6), 2866–2872. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2002.TB08830.X>
- Rozado, A. F., Faroni, L. R. D., Urruchi, W.M. I., Guedes, R. N. C., & Paes, J. L. (2008). Aplicação de ozônio contra Sitophilus zeamais e Tribolium castaneum em milho armazenado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(3), 282–285. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662008000300009>
- Bukhantsov, K. N. (2012a). Ozon i aeroiony: Vozmozhnosti i problemy ispol'zovaniya dlya sushki zerna (Chast' 1) [Ozone and aeroions: Possibilities and problems of use for grain drying (Part 1)]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and Processing of Farm Products]*, (8), 11–17.
- Bukhantsov, K. N. (2012b). Ozon i aeroiony: Vozmozhnosti i problemy ispol'zovaniya dlya sushki zerna (Chast' 2) [Ozone and aeroions: Possibilities and problems of use for grain drying (Part 2)]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and Processing of Farm Products]*, (9), 13–16.
- Bukhantsov, K. N. (2012c). Ozon i aeroiony: Vozmozhnosti i problemy ispol'zovaniya dlya sushki zerna (Chast' 3) [Ozone and aeroions: Possibilities and problems of use for grain drying (Part 3)]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and Processing of Farm Products]*, (10), 18–20.
- Dolgovykh, O. G., & Ognev, V. N. (2014). Ekologicheski bezopasnaya predposevnaya obrabotka semyan pshenitsy [Environmentally safe pre-sowing treatment of wheat seeds]. *Inzhenernyi vestnik Dona [Engineering Bulletin of the Don]*, (4), Article 2565.
- Golubkovich, A. V., Rudobashta, S. P., & Nuriev, N. N. (2002). Energoberezhenie pri aktivnom ventilirovani i nizkotemperaturnoi sushke zerna ozono-vozdushnoi smes'yu [Energy saving during active ventilation and low-temperature drying of grain with an ozone-air mixture]. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya [Storage and Processing of Farm Products]*, (8), 59–60.
- Morozova, T. M. (2020). Vozdeistvie ozonovozdushnogo potoka na posevnye i fitosanitarne kachestva zerna yarovoi pshenitsy [The effect of ozone-air flow on the sowing and phytosanitary qualities of spring wheat grain]. *Vladimirskii zemledelets [Vladimir Farmer]*, (4), 37–40. <https://doi.org/10.24411/2225-2584-2020-10143>
- Nechaev, V. N. (2022). Izuchenie fizicheskikh sposobov i tekhnicheskikh sredstv obezzarazhivaniya zerna: setevoi analiz [Study of physical methods and technical means of grain disinfection: network analysis]. *Agrarnyi nauchnyi zhurnal [Agricultural Scientific Journal]*, (8), 90–97. <https://doi.org/10.28983/asj.y2022i8pp90-97>
- Normov, D. A., & Fedorenko, E. A. (2009). Obezzarazhivanie zerna ozonirovaniem [Disinfection of grain by ozonation]. *Kombikorma [Compound Feed]*, (4), 44.
- Pakhomov, V. I., Maksimenko, V. A., & Bukhantsov, K. N. (2013a). Energoberegayushchaya tekhnologiya kom-

- binirovannoi vysokotemperaturnoi konvektivnoi sushki i ozono-vozdushnoi obrabotki zerna (Chast' 1) [Energy-saving technology of combined high-temperature convective drying and ozone-air grain processing (Part 1)]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (5), 19–25.
- Pakhomov, V. I., Maksimenko, V. A., & Bukhantsov, K. N. (2013b). Energoberegayushchaya tekhnologiya kombinirovannoi vysokotemperaturnoi konvektivnoi sushki i ozono-vozdushnoi obrabotki zerna (Chast' 2) [Energy-saving technology of combined high-temperature convective drying and ozone-air grain processing (Part 2)]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (6), 23–27.
- Pinchuk, L. G., Sigacheva, M. A., & Gridina, S. B. (2014). Otsenka belkovistosti zerna yarovoi myagkoi pshenitsy pod vliyaniem predposevnogo ozonirovaniya semyan v Kuznetskoi lesostepi [Evaluation of the protein content of spring soft wheat grain under the influence of pre-sowing ozonation of seeds in the Kuznetsk forest-steppe]. *Vestnik Altaiskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Bulletin of the Altai State Agrarian University], (9), 5–8.
- Sigacheva, M. A. (2015). *Vliyanie predposevnogo ozonirovaniya semyan na urozhainost' i kachestvo zerna yarovoi myagkoi pshenitsy v Kuznetskoi lesostepi* [The effect of pre-sowing ozonation of seeds on the yield and grain quality of spring soft wheat in the Kuznetsk forest-steppe] [Candidate Dissertation, Kemerovskii gosudarstvennyi sel'skokhozyaistvennyi universitet]. Kemerovo, Russia.
- Sigacheva, M. A., & Pinchuk, L. G. (2012). Vliyanie predposevnogo ozonirovaniya na khimicheskii sostav zerna [The effect of pre-sowing ozonation on the chemical composition of grain]. In *Tendentsii sel'skokhozyaistvennogo proizvodstva v sovremennoi Rossii: Materialy XI mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii* [The Trends of agricultural production in modern Russia: Materials of the 11th International Scientific and Practical Conference] (pp. 129–131). Kemerovo: Ekspo-Sibir'.
- Sorokin, A. N., & Morozova, T. M. (2018). Vliyanie ozonirovaniya semyan na urozhainost' i pokazateli kachestva zerna yarovoi pshenitsy [The effect of seed ozonation on the yield and quality indicators of spring wheat grain]. *Vladimirskii zemledelets* [Vladimir Farmer], (3), 32–35.
- Zakladnoi, G. A., & Osman, M. A. M. (2011). Biologicheskaya otsenka ozona kak sredstva bor'by s vreditel'nyimi zernami i zernoproduktami [Biological assessment of ozone as a means of pest control of grain and grain products]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (5), 8–9.
- Zakladnoi, G. A., Saeed, E. K. M., & Kogteva, E. F. (2003). Biologicheskaya aktivnost' ozona v otnoshenii vreditel'nykh zern — risovogo dolgonosika i ambarnogo dolgonosika [Biological activity of ozone against grain pests — rice weevil and barn weevil]. *Khrenenie i pererabotka sel'khozsyrya* [Storage and Processing of Farm Products], (4), 59–61.
- Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gievsky, A. M., Gulevsky, V. A., & Chernyshov, A. V. (2022). Grain disinfection with ozone-air mixture. *Earth and Environmental Science*, 1043, Article 012037. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1043/1/012037>
- Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gulevsky, V. A., Gievsky, A. M., & Chernyshov, A. V. (2020a). Influence of ozonation in seed storage on corn grain yield and its quality. *Earth and Environmental Science*, 488, Article 012007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/488/1/012007>
- Baskakov, I. V., Orobinsky, V. I., Gulevsky, V. A., Gievsky, A. M., & Chernyshov, A. V. (2020b). Studies of the ozonation process when drying grain. *Earth and Environmental Science*, 422, Article 012009. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/422/1/012009>
- László, Z., Hovorka-Horváth, Z., Beszédes, S., Kertész, S., Gyimes, E., & Hodúr, C. (2008). Comparison of the effects of ozone, UV and combined ozone / UV treatment on the color and microbial counts of wheat flour. *Ozone: Science and Engineering*, 30(6), 413–417. <https://doi.org/10.1080/01919510802474607>
- Prudente, A., & King, J. M. (2002). Efficacy and safety evaluation of ozonation to degrade aflatoxin in corn. *Journal of Food Science*, 67(6), 2866–2872. <https://doi.org/10.1111/J.1365-2621.2002.TB08830.X>
- Rozado, A. F., Faroni, L. R. D., Urruchi, W. M. I., Guedes, R. N. C., & Paes, J. L. (2008). Aplicação de ozônio contra *Sitophilus zeamais* e *Tribolium castaneum* em milho armazenado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 12(3), 282–285. <https://doi.org/10.1590/s1415-43662008000300009>