

ОЗОННАЯ ДЕЗИНСЕКЦИЯ ЗЕРНА ОТ АМБАРНОГО ДОЛГОНОСИКА И БУЛАВОУСОГО ХРУЩАКА

✉ Баскаков И.В., Оробинский В.И., Василенко В.В., Гиевский А.М.

Voronezhskiy gosudarstvennyy agrarnyy universitet im. imperatora Petra I

Воронеж, Россия

✉ e-mail: vasich2@yandex.ru

Изучены способы борьбы с наиболее распространенными в центральных регионах Российской Федерации вредными насекомыми, которые наносят ущерб сельскохозяйственной продукции в период хранения. Эксперимент проведен в лабораторных условиях путем дезинсекции озонированием зернового вороха озимой пшеницы. Объект исследований – амбарные долгоносики (*Sitophilus granaries* L.) и булавоусые хрущаки (*Tribolium confusum* L.). Отмечено, что рекомендуемые в настоящее время для дезинсекции концентрации озона могут быть опасны для здоровья обслуживающего персонала. Исследована возможность проведения озонной обработки при меньших значениях (до 5 мг/м³). Установлено, что для полного уничтожения амбарного долгоносика достаточна концентрация озона в диапазоне 3–5 мг/м³ при экспозиции 300 мин. Поскольку поддерживать постоянное содержание газа сложно, следует ориентироваться на дозу озонной обработки свыше 1315 мг·мин/м³. Для полного уничтожения булавоусого хрущака следует озонировать при заданных параметрах не менее 460 мин. Доза озонной обработки должна превышать 1935 мг·мин/м³. Озонирование следует проводить до момента гибели примерно половины насекомых. Оставшаяся часть вредителей погибает в течение следующих суток после обработки, так как озон, воздействуя на гемолимфу, практически исключает вероятность выживания жуков после их парализации. Применение исследованных показателей концентрации газа способствует повышению качества семян зерновых культур. Озонная дезинсекция с указанными параметрами может быть объединена с операцией предпосевной подготовки посевного материала. За счет высокой активности озона такие концентрации достаточно быстро распадаются на молекулярный кислород, что значительно снижает риск отравления человека.

Ключевые слова: озонирование, семена, зерно, озонная дезинсекция зерна, вредители зерна

OZONE DISINFECTION OF GRAIN FROM GRANARY WEEVIL AND CONFUSED FLOUR BEETLE

✉ Baskakov I.V., Orobinsky V.I., Vasilenko V.V., Gievsky A.M.

Voronezh State Agrarian University n.a. Emperor Peter the Great

Voronezh, Russia

✉ e-mail: vasich2@yandex.ru

The methods of combating the most common harmful insects in the central regions of the Russian Federation, which cause damage to agricultural products during storage, were studied. The experiment was carried out in laboratory conditions by ozonation disinsection of a grain heap of winter wheat. The object of research is granary weevils (*Sitophilus granaries* L.) and confused flour beetles (*Tribolium confusum* L.). It is noted that the currently recommended ozone concentrations for disinfection can be dangerous for the health of service personnel. The possibility of ozone treatment at lower values (up to 5 mg/m³) was investigated. It was found that ozone concentration in the range of 3-5 mg/m³ at an exposure of 300 min is sufficient for the complete destruction of the granary weevils. Since it is difficult to maintain a constant gas content, it is necessary to focus on the dose of ozone treatment over 1315 mg·min/m³. For the complete destruction of the confused flour beetles, at least 460 min should be ozonated at the specified parameters. The dose of ozone treatment should exceed 1935 mg·min/m³. Ozonation should be carried out until about half of the insects die. The remaining part of the pests dies within the next day after the treatment, since ozone, acting on the hemolymph, practically eliminates the possibility of survival of beetles after their paralysis. The use of the studied gas concentration indicators contributes to improving the quality of grain seeds.

Ozone disinfection with the specified parameters can be combined with the operation of pre-sowing preparation of the seed material. Due to the high activity of ozone, such concentrations quickly decompose into molecular oxygen, which significantly reduces the risk of human poisoning.

Keywords: ozonation, seeds, grain, ozone disinfection of grain, grain pests

Для цитирования: Баскаков И.В., Оробинский В.И., Василенко В.В., Гиевский А.М. Озонная дезинсекция зерна от амбарного долгоносика и булавоусого хрущака // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2022. Т. 52. № 5. С. 42–48. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-5-5>

For citation: Baskakov I.V., Orobinsky V.I., Vasilenko V.V., Gievsky A.M. Ozone disinfection of grain from granary weevil and confused flour beetle. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2022, vol. 52, no. 5, pp. 42–48. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2022-5-5>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

ВВЕДЕНИЕ

В период хранения в зерне могут размножаться вредные насекомые, которые уничтожают значительную часть урожая. В связи с этим происходит не только снижение физического веса зерна, но и повышение токсичности зернового вороха из-за увеличения содержания в нем продуктов жизнедеятельности вредителей. Зараженное зерно нельзя использовать на фураж, чтобы избежать уменьшения продуктивности животных или падежа. Из-за вредителей в мире ежегодно портится около 15% выращенного урожая [1–4]. В России значительная часть зерна заражена долгоносиками и хрущачами. Согласно ГОСТ 13586.6–93 данные вредители имеют коэффициент вредоносности в зависимости от их вида от 0,4 до 1,5. Зараженность зерна амбарным долгоносиком и булавоусым хрущачом в России суммарно составляет около 40%. При этом опасно даже невысокое содержание вредителей, поскольку развиваются они быстро и качество зерна и продуктов его переработки значительно снижается. В настоящее время для борьбы с вредителями зерна преимущественно применяют различные дорогостоящие химические препараты, которые опасны как для человека, так и для окружающей среды. Поэтому идет активный поиск новых, экологически безопасных методов дезинсекции [5–10]. Наиболее перспективным в данном направлении считается процесс озонирования [11–15]. Озонная обработка не требует предварительного производства газа, поскольку

озоновоздушную смесь можно получать из воздуха посредством применения специального оборудования – озонаторов. При этом после дезинсекции озон превращается в кислород, не только не загрязняя атмосферу, но даже обогащая ее. В связи с этим исследование, направленные на изучение процесса озонирования для предотвращения развития вредителей зерна или их уничтожения, являются актуальными.

Цель исследований – определить режимы озонной обработки вредителей зерна, обеспечивающие эффективное уничтожение амбарного долгоносика и булавоусого хрущака при дезинсекции, в лабораторных условиях.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Проведенные ранее исследования позволили определить эффективность озонной обработки против вредителей зерна. Однако примененные в данных экспериментах концентрации озона в озоновоздушной смеси значительны (от 70 до 2000 мг/м³). Такое содержание газа не только губительно для насекомых, но также очень опасно и для человека. Применение озоновоздушной смеси при данных концентрациях может быть опасно для обслуживающего персонала. Высокое содержание газа в озоновоздушной смеси негативно влияет на посевные качества зерна. Поэтому следует определить эффективность озонной дезинсекции вредителей зерна в лабораторных условиях при концентрации озона до 5 мг/м³. Данное

содержание газа способствует повышению качественных показателей семян зерновых культур, таких как энергия прорастания, всхожесть, сила роста и т.д. Следовательно, при достаточной эффективности озонной дезинсекции с указанными параметрами ее можно будет объединять с операцией предпосевной подготовки посевного материала. Кроме того, за счет высокой активности озона такие концентрации достаточно быстро распадаются на молекулярный кислород, что значительно снижает риск отравления человека.

Для определения эффективности различных режимов озонной обработки насекомых разделили на пять групп, каждую из которых поместили в индивидуальный воздухопроницаемый контейнер. Четыре образца в четырехкратной повторности впоследствии подвергали озонированию, а пятый вариант оставался в естественных условиях и служил контролем. Жуки, неспособные двигаться, считались мертвыми, поскольку возврат парализованных особей к жизни зафиксировано не было. Эффективность озонной обработки, выраженную в процентах, определяли путем деления числа мертвых вредителей к их общему числу до опыта.

Озонирование проводили в герметичной стеклянной емкости, которая имеет подводящие и отводящие озонозодушную смесь магистрали. Концентрацию озона определяли на выходе посредством газоанализатора «Сигма-03», оснащенного двумя электрохимическими датчиками «Сигма-03.ДЭ», один из которых определял уровень газа в рабочей зоне, другой – в отработавшем газе. Четыре контейнера с вредителями помещали внутрь емкости. Первый образец озонировали на протяжении 5 ч. В дальнейшем образцы извлекали из емкости через 50–60 мин. Концентрация озона в отработавшей озонозодушной смеси варьировала от 3,3 до 5,0 мг/м³, ее определяли каждые 10 мин с погрешностью 0,02 мг/м³ (см. табл. 1).

Данные табл. 1 свидетельствуют о том, что поддерживать заданное значение концентрации озона в озонозодушной смеси на протяжении достаточно большего про-

Табл. 1. Параметры озонной обработки вредителей зерна

Table 1. Parameters of ozone treatment of grain pests

Время озонирования, мин	Концентрация озона, мг/м ³	Доза озона, мг·мин/м ³
0–10	4,82	48,2
11–20	5,0	50,0
21–30	5,0	50,0
31–40	3,34	33,4
41–50	4,0	40,0
51–60	4,23	42,3
61–70	5,0	50
71–80	3,96	39,6
81–90	4,02	40,2
91–100	5,0	50,0
101–110	3,48	34,8
111–120	5,0	50
121–130	4,62	46,2
131–140	4,0	40,0
141–150	4,3	43,0
151–160	5,0	50,0
161–170	4,2	42,0
171–180	3,98	39,8
181–190	4,52	45,2
191–200	4,34	43,4
201–210	4,65	46,5
211–220	4,58	45,8
221–230	4,72	47,2
231–240	4,43	44,3
241–250	4,21	42,1
251–260	4,14	41,4
261–270	4,28	42,8
271–280	4,42	44,2
281–290	3,96	39,6
291–300	4,37	43,7
Выемка 1-й партии Среднее за 300 мин	4,386	Суммарно 1316
301–310	3,88	38,8
311–320	3,94	39,4
321–330	4,21	42,1
331–340	4,1	41,0
341–350	4,17	41,7
Выемка 2-й партии Среднее за 350 мин	4,339	Суммарно 1519
351–360	3,52	35,2
361–370	3,78	37,8
371–380	2,98	29,8
381–390	5,0	50,0
391–400	5,0	50,0
Выемка 3-й партии Среднее за 400 мин	4,304	Суммарно 1722
401–410	2,76	27,6
411–420	3,51	35,1
421–430	3,84	38,4
431–440	3,68	36,8
441–450	3,75	37,5
451–460	3,89	38,9
Выемка 4-й партии Среднее за 460 мин	4,208	Суммарно 1936

межутка времени сложно. Кроме того, не все озонаторы имеют возможность регулировки данного параметра. Поэтому большое значение имеет «доза озонной обработки», которую можно получить путем умножения концентрации озона на время экспозиции. Данный показатель проще контролировать при дезинсекции. Одну и ту же дозу можно получить при высокой концентрации озона, но в маленьком промежутке времени эксперимента, или при низкой концентрации озона, но большой экспозиции. Все озонаторы индивидуальны и поддерживать заданный режим по содержанию газа в рабочей смеси они не могут. Прекращение процесса при достижении определенной дозы озонной обработки возможно путем несложных расчетов. Уровень ПДК озона в рабочей зоне непрерывно контролировали, превышение его в ходе эксперимента не отмечено. Расход озонозооной смеси на протяжении всего опыта был постоянный и составлял 1 м³/ч. Температура окружающего воздуха находилась в диапазоне 22–24 °С, относительная влажность рабочей смеси варьировала от 55 до 60%.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эксперимент проведен в условиях лаборатории Воронежского государственного аграрного университета им. императора Петра I. Результаты обработки озонной дезинсекцией амбарных долгоносиков и булавоусых хрущаков, развивавшихся в зерновом ворохе озимой пшеницы, представлены в табл. 2 и 3.

Анализ табл. 2, 3 показывает, что озонная обработка против рассматриваемых вредителей зерна достаточно эффективна. Причем более восприимчивы к воздействию озонозооной смеси оказались жуки амбарного долгоносика. За 300 мин озонирования при средней концентрации озона 4,386 мг/м³ и дозе 1316 мг·мин/м³ погибли 60% насекомых. В дальнейшем за 5 ч наблюдений после обработки данный показатель увеличился на 10%, через 12 ч смертность составила 100%. При этом жуков булавоусого хрущака погибло через сутки наблюдений 30%.

За следующие 50 мин озонирования доза озонной обработки достигла 1519 мг·мин/м³. При этом воздействие озонозооной сме-

Табл. 2. Эффективность озонной обработки при озонировании амбарного долгоносика

Table 2. Efficiency of ozone treatment during ozonation of granary weevil

Показатель	Доза озона, мг·мин/м ³			
	1316	1519	1722	1936
Общая эффективность озонной дезинсекции, %:	100	100	100	100
В том числе погибло жуков, экз.:				
при обработке	60	60	70	80
после обработки:				
через 5 ч	70	80	80	90
через 12 ч	100	100	100	100

Табл. 3. Эффективность озонной обработки при озонировании булавоусого хрущака

Table 3. Efficiency of ozone treatment during ozonation of confused flour beetle

Показатель	Доза озона, мг·мин/м ³			
	1316	1519	1722	1936
Общая эффективность озонной дезинсекции, %:	30	40	50	100
В том числе погибло жуков, экз.:				
при обработке	20	30	30	30
после обработки:				
через 5 ч	20	30	40	60
через 12 ч	30	30	40	90
через 24 ч	30	40	50	100

си на амбарного долгоносика практически не изменилось. Сразу после обработки погибли 60% жуков. Через 5 ч наблюдений данный показатель повысился на 20%. Оставшаяся часть вредителей погибла через 12 ч после обработки, при этих же параметрах 30% жуков булавоусого хрущака погибли в процессе озонирования и 10% – после суток наблюдений. Поэтому эффективность озонной дезинсекции в этих условиях против данного вредителя составила всего 40%.

Дальнейшие 50 мин озонирования позволили достичь дозы озонной обработки 1722 мг/м³. При данных условиях эффективность дезинсекции против амбарного долгоносика была схожа с предыдущими параметрами, т.е. 70% жуков погибли сразу, а оставшиеся – через 12 ч наблюдений. Такая же динамика отмечена и в опыте с булавоусым хрущакком. Сразу после озонирования 30% особей были парализованы или мертвы. Еще 10% жуков погибли в течение следующих 5 ч наблюдений за ними. Через сутки после озонирования эффективность процесса против булавоусого хрущака достигла 50%.

Следующий час озонирования позволил достичь дозы озонной обработки 1936 мг·мин/м³. Действие озоновоздушной смеси на жуков амбарного долгоносика увеличилось. Сразу после озонирования погибли 80% вредителей, а оставшаяся часть – в течение 12 ч наблюдений. При этих же условиях эффективность процесса озонирования для дезинсекции жуков булавоусого хрущака также возросла. Сразу после озонной обработки 30% особей были парализованы и затем погибли. Данный показатель увеличился в 2 раза через 5 ч после озонирования и в 3 раза – через 12 ч. Через сутки наблюдений смертность жуков булавоусого хрущака достигла 100%. Общая эффективность озонной дезинсекции при заданном режиме через сутки после обработки составила 100% как против амбарного долгоносика, так и против булавоусого хрущака.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для уничтожения амбарного долгоносика при концентрации озона в озоновоздушной смеси в диапазоне 3,3–5,0 мг/м³ необходимы 300 мин обработки и доза 1316 мг·мин/м³. Гибель всех вредителей происходит через 12 ч. Для уничтожения булавоусого хрущака при концентрации озона в озоновоздушной смеси в диапазоне 3,3–5,0 мг/м³ требуется 460 мин дезинсекции и доза 1936 мг·мин/м³. Полная гибель насекомых наступает через 24 ч после озонирования.

В случае высокой озонопроизводительности озонатора необходимо рассчитать время дезинсекции, поделив рекомендуемые дозы озона на текущую концентрацию в конкретном опыте. Озонировать до полного истребления вредителей зерна не рекомендуется, поскольку озонная обработка имеет эффект последствия, который способствует вымиранию жуков в течение следующих суток после дезинсекции. Для прекращения процесса обеззараживания зернового вороха можно ориентироваться на парализацию половины численности жуков.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гагкаева Т.Ю., Гаврилова О.П. Зараженность зерна грибами *Fusarium* в Краснодарском и Ставропольском краях // Защита и карантин растений. 2014. № 3. С. 30–32.
2. Закладной Г.А. Зерно: не только произвести, но и сохранить // Защита и карантин растений. 2015. № 10. С. 37–40.
3. Соколов Е.А. Защита зерна от комплекса вредителей запасов карантинного значения // Вестник защиты растений. 2008. № 1. С. 55–56.
4. Закладной Г.А., Марков Ю.Ф. Цифровые технологии на защите зерна // Хлебопродукты. 2021. № 3. С. 62–64.
5. Морозова Т.М. Воздействие озоновоздушного потока на посевные и фитосанитарные качества зерна яровой пшеницы // Владимирский земледелец. 2020. № 4 (94). С. 37–40. DOI 10.24411/2225-2584-2020-10143.
6. Авдеева В.Н., Безгина Ю.А., Любая С.И. Озонирование – экологический способ обеззараживания зерносмесей // Вестник государственного аграрного университета Северного Зауралья. 2015. № 3 (29). С. 23–29.

7. Магомедов Р.К., Яковлев П.А. Испытание углекислого газа для обеззараживания зернопродукции от амбарных вредителей // Защита и карантин растений. 2021. № 2. С. 38–40.
8. Мордкович Я.Б., Яковлев П.А. Основные методы обеззараживания зерна от вредителей запасов // Защита и карантин растений. 2019. № 12. С. 24–25.
9. Пащенко В.М., Пылаева О.Н., Меньшова Т.В. Устройство для уничтожения амбарных вредителей зерна // Сельский механизатор. 2013. № 5. С. 22–23.
10. Сагитов А.О., Сарсенбаева Г.Б., Темиржанов М.Б. Эффективность действия ионизирующего излучения на вредителей зерна и продуктов его переработки // Аграрная наука. 2019. № S2. С. 139–141.
11. Баскаков И.В. Влияние озонной обработки на вредителей зерна // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2019. Т. 12. № 3 (62). С. 41–46. DOI: 10.17238/issn2071-2243.2019.3.41.
12. Нормов Д.А., Федоренко Е.А. Обеззараживание зерна озонированием // Комбикорма. 2009. № 4. С. 44.
13. Осман М.А.М., Закладной Г.А. Озон – альтернатива фумигантам // Защита и карантин растений. 2008. № 3. С. 56.
14. Закладной Г.А., Саеид Е.К.М., Козтева Е.Ф. Биологическая активность озона в отношении вредителей зерна – рисового долгоносика и амбарного долгоносика // Хранение и переработка сельхозсырья. 2003. № 4. С. 59–61.
15. Закладной Г.А., Осман М.А.М. Биологическая оценка озона как средства борьбы с вредителями зерна и зернопродуктов // Хранение и переработка сельхозсырья. 2011. № 5. С. 8–9.
1. Gagkaeva T.Yu., Gavrilova O.P. Contamination of grain with Fusarium fungi in the Krasnodar and Stavropol territories. *Zashchita i karantin rastenii = Board of Plant Protection and Quarantine*, 2014, no 3, pp. 30–32. (In Russian).
2. Zakladnoi G.A. Grain: not only to produce, but also to preserve. *Zashchita i karantin rastenii = Board of Plant Protection and Quarantine*, 2015, no. 10, pp. 37–40. (In Russian).
3. Sokolov E.A. Protection of grain from the pest complex of quarantine stocks. *Vestnik zashchity rastenii = Bulletin of Plant Protection*, 2008, no. 1, pp. 55–56. (In Russian).
4. Zakladnoi G.A., Markov Yu.F. Digital technologies for grain protection. *Khleboprodukty = Bread products*, 2021, no. 3, pp. 62–64. (In Russian).
5. Morozova T.M. Impact of ozone-air flow on seed and phytosanitary characteristics of spring wheat grain. *Vladimirskii zemledelets = Vladimir agricolist*, 2020, no. 4 (94), pp. 37–40. (In Russian). DOI 10.24411/2225-2584-2020-10143.
6. Avdeeva V.N., Bezgina Yu.A., Lyubaya S.I. 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*, 2015, no.3 (29), pp. 23–29. (In Russian).
7. Magomedov R.K., Yakovlev P.A. Carbon dioxide testing for disinfection of grain products from barn pests. *Zashchita i karantin rastenii = Board of Plant Protection and Quarantine*, 2021, no. 2, pp. 38–40. (In Russian).
8. Mordkovich Ya.B., Yakovlev P.A. Basic methods of grain disinfection from storage pests. *Zashchita i karantin rastenii = Board of Plant Protection and Quarantine*, 2019, no. 12, pp. 24–25. (In Russian).
9. Pashchenko V.M., Pylaeva O.N., Men'shova T.V. The device for the destruction of grain storage pests. *Sel'skii mekhanizator = Selskiy Mechanizator*, 2013, no. 5, pp. 22–23. (In Russian).
10. Sagitov A.O., Sarsenbaeva G.B., Temirzhanov M.B. Efficiency of ionizing effects radiation on pests of grain stocks and grain products. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*, 2019, no. S2, pp. 139–141. (In Russian).
11. Baskakov I.V. Grain ozonous treatment and its influence on stored-grain pests and insects. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Bulletin of the Voronezh State Agrarian University*, 2019, vol. 12, no. 3 (62), pp. 41–46. (In Russian). DOI: 10.17238/issn2071-2243.2019.3.41.
12. Normov D.A., Fedorenko E.A. Disinfection of grain by ozonation. *Kombikorma = Compound feed*, 2009, no. 4, pp. 44. (In Russian).
13. Osman M.A.M., Zakladnoi G.A. Ozone is an alternative to fumigants. *Zashchita i karantin rastenii = Board of Plant Protection and Quarantine*, 2008, no. 3, pp. 56. (In Russian).

14. Zakladnoi G.A., Saeed E.K.M., Kogteva E.F. Biological activity of ozone against grain pests – rice weevil and barn weevil. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya = Storage and processing of farm products*, 2003, no. 4, pp. 59–61. (In Russian).
15. Zakladnoi G.A., Osman M.A.M. Biological assessment of ozone as a means of pest control of grain and grain products. *Khranenie i pererabotka sel'khozsyrya = Storage and processing of farm products*, 2011, no 5, pp. 8–9. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Баскаков И.В.**, доктор сельскохозяйственных наук, профессор; **адрес для переписки:** Россия, 394087, Воронеж, ул. Мичурина, 1; e-mail: vasich2@yandex.ru

Оробинский В.И., доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой, декан

Василенко В.В., доктор технических наук, профессор

Гиевский А.М., доктор технических наук, профессор

AUTHOR INFORMATION

✉ **Ivan V. Baskakov**, Doctor of Science in Agriculture, Professor; **address:** 1, Michurina str., Voronezh, 394087, Russia; e-mail: vasich2@yandex.ru

Vladimir I. Orobinsky, Doctor of Science in Agriculture, Department Head, Dean

Vladimir V. Vasilenko, Doctor of Science in Engineering, Professor

Alexei M. Gievsky, Doctor of Science in Engineering, Professor

Дата поступления статьи / Received by the editors 25.04.2022
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 02.08.2022
Дата публикации / Published 25.11.2022