

¹Е. В. Бречко, ²А. А. Садовский, ²С. И. Корзан, ²А. С. Данилюк, ¹И. К. Кишко

¹РУП «Институт защиты растений», г. Минск, Республика Беларусь

²РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук
Беларуси по продовольствию», г. Минск, Республика Беларусь

ОЗОНовые ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ЗАЩИТЫ ЗЕРНА ОТ ВРЕДИТЕЛЕЙ В ПЕРИОД ХРАНЕНИЯ

Аннотация. В статье представлены результаты исследований влияния озono-воздушной обработки на численность имаго рисового долгоносика (*Sitophilus oryzae* L.) из отряда жесткокрылые (Coleoptera) в поисковом имитационном опыте с использованием экспериментальной стендовой установки металлического силоса, заполненного зерном. Определено, что биологическая активность озона реализуется при концентрации 10 мг/М³ с учетом трехкратной обработки и экспозиции 5 часов в течение 5 суток. Экспериментальные условия обеспечивали постепенное нарастание концентрации озона до значений, обладающих выраженным дезинсекционным эффектом в отношении насекомых-вредителей, а последующая динамика носила стабилизационный характер. Максимальные показатели биологической эффективности (до 100 %) достигнуты в образцах, размещенных в центральной части емкости стендовой установки металлического силоса, у периферии емкости значения эффективности были несколько ниже.

Ключевые слова: озон, обработка, металлический силос, зерно, пшеница, имаго рисового долгоносика, биотесты, биологическая эффективность

¹E. V. Brechko, ²A. A. Sadouski, ²S. I. Korzan, ²A. S. Danilyuk

¹RUE « Institute of Plant Protection», Minsk, Republic of Belarus

²RUE «Scientific and Practical Center for Foodstuffs of the National
Academy of Sciences of Belarus», Minsk, Republic of Belarus

OZONE TECHNOLOGIES FOR PROTECTING GRAIN FROM PESTS DURING STORAGE

Abstract. This article presents the results of a study examining the effects of ozone-air treatment on the abundance of adult rice weevils (*Sitophilus oryzae* L.) from the order Coleoptera in an exploratory simulation experiment using an experimental stand-alone setup of a metal silo filled with grain. It was determined that ozone exhibits biological activity at a concentration of 10 mg/M³, taking into account three treatments and a 5-hour exposure over 5 days. The experimental conditions ensured a gradual increase in ozone concentration to values having a pronounced disinfestation effect on insect pests, and the subsequent dynamics were of a stabilizing nature. Maximum biological efficiency (up to 100 %) was achieved in samples placed in the central part of the metal silo stand-alone setup; efficiency values were somewhat lower near the periphery of the container.

Keywords: ozone, treatment, metal silo, grain, wheat, rice weevil imago, biotests, biological effectiveness

Введение. Обеспечение безопасного и длительного хранения зерновых запасов остается одной из ключевых задач агропромышленного комплекса. Потери зерна вследствие повреждений вредителями, по данным ФАО, достигают 10,0–12,8 %, а при отсутствии защитных мероприятий могут превышать 30–50 %. В условиях активной международной торговли возрастает риск распространения насекомых и клещей, способных формировать скрытую форму зараженности и приводить к значительным экономическим потерям.

Современная фитосанитарная обстановка в зернохранилищах определяется сочетанием климатических факторов, особенностей конструкций складских сооружений и ограниченной

эффективностью традиционных методов защиты. Особенно уязвимыми являются металлические силосы, где перепады температур способствуют образованию конденсата, плесневению и самосогреванию зерна, создавая благоприятные условия для развития вредителей.

Исследования РУП «Институт защиты растений» (2021–2022 гг.) показали, что в семенных зернохранилищах при хранении семян яровых и озимых зерновых колосовых культур встречается 22 вида вредителей, причем доминантными видами являются мучной клещ (*Acarus siro* L.), обыкновенный волосатый клещ (*Tyrophagus putrescentiae* Schr.), рисовый долгоносик (*Sitophilus oryzae* L.), короткоусый мукоед (*Cryptolestes ferrugineus* Steph.) [1]. В фуражных зернохранилищах в период хранения зерна кукурузы встречалось 19 видов вредителей запасов, при этом амбарная огневка (*Plodia interpunctella* Hbn.) и бархатистый грибоед (*Typhaea stercorea* L.) характеризовались как доминантны. Особую опасность представляют насекомые-вредители, формирующие скрытую форму зараженности, что затрудняет своевременное выявление и контроль.

Следует отметить, что ассортимент препаратов для защиты зерна от вредителей запасов, включенных в «Государственный реестр средств защиты растений и удобрений, разрешенных к применению на территории Республики Беларусь», весьма ограничен. А также их применение лимитировано целым рядом факторов: температурным режимом, герметичностью помещений, высокой токсичностью, риском загрязнения продукции, а в некоторых случаях необходимостью использования специализированного оборудования. В связи с этим возрастает потребность в альтернативных, экологически безопасных технологиях.

Теоретическая часть. В мире известно 420 видов вредителей запасов, обитающих на территории зернохранилищ, перерабатывающих предприятий, комбикормовых заводов, элеваторов, металлических силосов. В РФ определено 125 видов, на Украине – 116, в странах Европы – около 100 видов, в Республике Беларусь – более 40.

Доказано, что амбарные вредители наносят прямой и косвенный ущерб: первый выражается в потере массы зерновых продуктов, ухудшении их качества, снижении посевных свойств, загрязнении экскрементами; второй – связан с тем, что насекомые могут вызвать самосогревание зерна и перемещение влаги в зерновой массе, способствуют распространению микрофлоры и т. д. Продукты жизнедеятельности вредителей небезопасны для человека и животных, поскольку в поврежденном зерне понижается содержание белка, липидов, витаминов и появляется мочевая кислота, вызывающая ряд заболеваний [2]. Следует отметить, что предельно допустимые уровни токсичных элементов, микотоксинов, пестицидов, радионуклидов и зараженности вредителями в зерне, поставляемом на кормовые/пищевые цели регулируются согласно ТР ТС 015/2011[3].

Вместе с тем, исходя из биологических особенностей, большинство членистоногих характеризуется отсутствием диапаузы, в связи с чем, при благоприятных условиях они могут размножаться и вредить в складских помещениях в течение круглого года. Определено, что 1 жук амбарного и 1 жук рисового долгоносиков уничтожают за свою жизнь (250–300 дней) до 80 зерен [4]. От зерна, из которого вышли жуки, остается обычно только оболочка и теряется до 50,0 % общей массы. За время развития внутри зерновки амбарный долгоносик съедает более 40,0 % сухого вещества.

При сильном заражении рисовым долгоносиком и зерновым точильщиком зерно пшеницы и ячменя может быть уничтожено на 80,0 %. Согласно данным [5] установлено, что вред, причиненный вредителями запасов, выражается в потере всхожести семян пшеницы: амбарный долгоносик снижает ее на 92,0 %, малый мучной хрущак – на 53,0 %, рисовый долгоносик – на 75,0 %, суринамский мукоед – на 25,0 %.

Следует отметить, что абиотический фактор (температура и относительная влажность воздуха) является одним из предикторов, регулирующим динамику численности амбарных вредителей, как в зимний, так и весенне-летний периоды. В результате сравнительного анализа установлено, что на протяжении зимнего периода 2019–2020 гг. (декабрь–январь–февраль) при варьировании положительных температур воздуха от +0,1...+2,5 °С численность клещей была очень высокой и нарастала от 168 до 862 ос./кг зерна. В то время как в зимний период 2009–2010 гг., когда преобладали отрицательные температуры (до –13,9 °С), численность клещей в хранящемся фуражном зерне снижалась от 228 до 21 ос./кг. Подобное наблюдение можно объяснить тем, что клещи способны выживать при температуре воздуха –10...–15 °С: питающиеся стадии 3–8 суток, гипопус – 124–330 суток. В связи с этим необходим постоянный контроль за развитием популяций вредителей в период хранения сельскохозяйственной продукции.

Козичем И. А. установлено, что понижение и установление отрицательных температур воздуха до -17°C с дополнительным охлаждением зерна путем естественного проветривания позволяет снизить численность вредителей лишь на 50–60 % [6].

Наиболее радикальным приемом для дезинсекции складов является химический метод. В Беларуси для защиты зерна от вредителей запасов в «Государственный реестр...» (2 февраля 2026) включены 12 препаратов, относящихся к 4 химическим классам с различными действующими веществами. Неорганические вещества составляют 50,0 %, пиретроиды – 33,4 %, фосфорорганические соединения и комбинированные препараты – по 8,3 %.

В негерметичных складских помещениях препараты вносятся только методом влажной дезинсекции, в герметичных, кроме влажной дезинсекции проводят аэрозольную дезинсекцию и фумигацию [7].

Однако по проведению фумигации существует ряд ограничений: обязательна полная герметизация объекта; невозможна обработка партии по частям, начав ввод таблеток, нельзя прерывать процесс; слабая эффективность против хлебных клещей; зерно не защищено от нового заражения; опасность отравления людей газом; длительный простой предприятия; ограничения по температуре: зерна – не ниже $+15,0^{\circ}\text{C}$, наружного воздуха – не ниже $+10,0^{\circ}\text{C}$, внутри помещений – не выше $+25,0^{\circ}\text{C}$, негативные экологические последствия для окружающей среды.

Имеются сведения о резистентности насекомых и клещей к химическим препаратам при их систематическом применении, что негативно сказывается на фитосанитарной ситуации в зернохранилищах. Так, в Российской Федерации первое обнаружение резистентности природной популяции рисового долгоносика к фосфину выявлено в 2020 г. [8]. Опасность резистентности в том, что при каждой фумигации выживают самые устойчивые насекомые, которые в последующих поколениях дают более устойчивое к фосфину потомство. В результате препараты теряют эффективность.

В связи с вышеперечисленным, альтернативным методом защиты зерна от вредителей запасов становится электрофизический – озонирование. Озон (O_3) – газообразное вещество, высокоактивная аллотропная модификация кислорода; при обычных температурах – газ светло-голубого цвета с характерным острым запахом. Озон нестабилен и легко распадается, образуя высокоактивные атомы кислорода, обладающие сильными окислительными свойствами.

Анализ литературных источников показал, что встречается множество исследований о влиянии озono-воздушной смеси на вредителей запасов. Суть метода заключается в том, что половые клетки насекомых и клещей наиболее чувствительны к мутагенному воздействию озона, которое приводит к химическим изменениям в хромосомах, а в результате и к стерилизации особей [9–11].

Основными преимуществами озонирования являются: хорошая растворимость в воде, отсутствие токсинов в обрабатываемом материале, мощные окислительные свойства газа, бактерицидные и фунгицидные функции, уничтожение большинства вирусов, бактерий, грибов, восстановление чистоты воздуха. Кроме обеззараживания зерновой продукции, осуществляется одновременная дезинсекция поверхностей помещения и оборудования. Генерация озона осуществляется по месту его использования. При этом не требуется остановка производства на длительное время, специальная герметизация помещений, приобретение, хранение, транспортировка препаратов и их утилизация. В результате стоимость дезинсекции методом озонирования снижается на 30,0–50,0 % по сравнению с традиционными методами.

Установлено, что биологическая активность озона зависит от его концентрации, продолжительности воздействия, вида вредителя, стадии его развития, а также температуры и влажности зерна. Выявлено, что озонная обработка в течение 1 ч с концентрацией озона в озono-воздушной смеси 5–15 мг/м³ достаточно эффективно подавляла наиболее распространенных вредителей зерна. Так, сразу после обработки погибали или были парализованы 86,1 % амбарного долгоносика и 90,5 % зерновой моли [12].

По данным ученых из Всероссийского научно-исследовательского института зерна и продуктов его переработки, плодовитость жуков амбарного и рисового долгоносиков, выживших после низко концентрированного озонирования, снижалась соответственно на 19 % и 46 %. Зерновой точильщик погибал после 15 ч озонной обработки в течение 10 сут. Наибольшую устойчивость к озону проявляли особи суринамского мукоеда и малого мучного хрущака. Их количество даже после 20 ч озонной обработки сокращалось лишь на 50,0 %. Однако увеличение концентрации озона в озono-воздушной смеси до 1400 мг/м³ способствовало подавлению всех изучаемых вредителей в течение 1 ч [13].

Таким образом, при низких концентрациях озона для уничтожения насекомых требуется большая экспозиция обработки — до нескольких часов. Насекомые погибают в течение последующих 3–5 сут. Имеет значение, как стадия развития, так и образ жизни насекомых. Наиболее устойчивой к озону является куколка, а также насекомые ведущие скрытый образ жизни. Вредители, обитающие в межзерновом пространстве, доступнее для воздействия озона.

Однако в условиях нашей республики отсутствуют данные по изучению влияния озонирования на численность вредителей запасов в металлических силосах, что и обуславливает проведение исследований. Все вышеизложенное свидетельствует о большой важности рассматриваемой проблемы и необходимости концентрации усилий для разработки технологии защиты фуражного зерна от вредителей запасов в металлических силосах с использованием дезинсектирующих свойств озона.

Объекты и методы исследований. В качестве объекта обработки использовали зерно фуражной пшеницы массой 1 тонна влажностью 11,9 %. В качестве тест-объекта использовали лабораторную культуру имаго рисового долгоносика *Sitophilus oryzae* L. из отряда жесткокрылые *Coleoptera* семейства долгоносики *Dryophthoridae*, который образует скрытую форму зараженности. В каждый биотест помещали по 50 взрослых особей вредителя без разделения по полу, вместе с небольшим количеством корма (50 г пшеницы), что моделировало реальную ситуацию зараженности зерна. Биотесты представляли собой мешочки (садки) из плотной ткани (мельничный газ), обеспечивающие свободный доступ озono-воздушной смеси к насекомым, но исключающие их выход за пределы тестовой системы.

Зерно пшеницы загружали в металлическую герметичную емкость экспериментальной установки (рис. 1), имитирующую условия хранения зерна в металлических силосах. При этом размещали биотесты на разной высоте и диаметре емкости согласно табл. 1. Такое размещение обеспечивало оценку эффективности озонирования в различных зонах зерновой массы с учетом возможных градиентов концентрации озона. К биотестам прикрепляли веревки с соответствующими данными для их извлечения при отборе образцов.

По окончании погружения биотестов, установка была загерметизирована. Зерновую массу в стендовой установке продували озono-воздушной смесью. Обработка включала 10 циклов, каждый из которых состоял из:

- ♦ активной фазы озонирования продолжительностью 5 часов;
- ♦ с перерывами в 15 минут после каждого часа работы озонатора;
- ♦ время между началом обработки 1–2 сут.

Данный подход позволил имитировать промышленный режим с периодическим воздействием озона. План-график проведения экспериментальных исследований представлен в табл. 2.

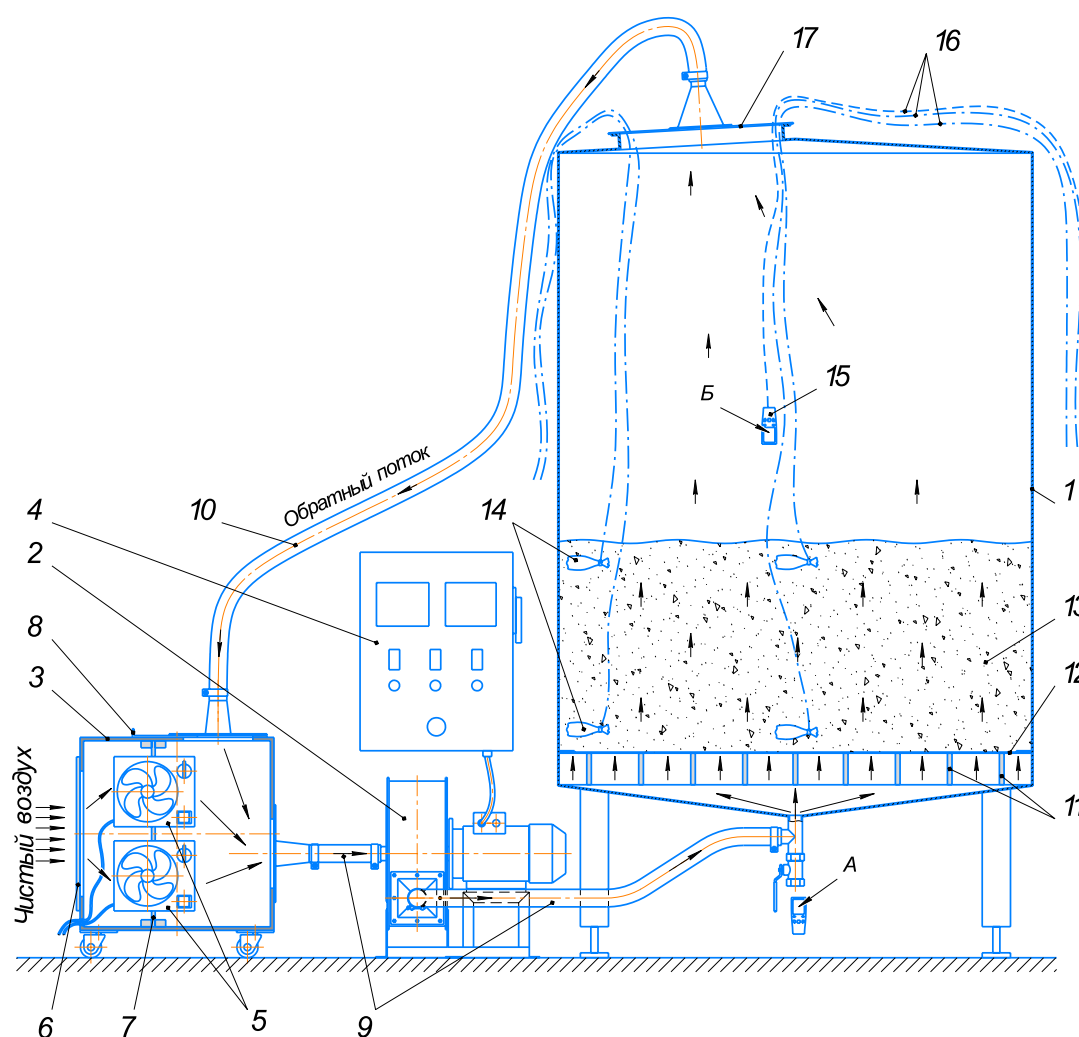
Образцы 1–4 находились в зерне 5 сут., образцы 5–8–9 сут., образцы 9–12–14 сут. и образцы 13–16–19 сут. Таким образом, в каждом временном блоке схема располагалась следующим образом: образцы с номерами, кратными четырем, соответствовали разным сочетаниям высоты и положения по диаметру емкости (низ/верх, стенка/центр), обеспечивая возможность сопоставления влияния распределения озона по высоте и сечению зернового слоя.

Концентрацию озона в рабочей зоне (емкости) и на выходе определяли посредством газоанализатора. Измерения на выходе из зерновой массы позволяли оценить реальный уровень озона, прошедший через слой зерна и биотесты. Уже через 15 минут от начала подачи озonoвоздушной смеси концентрация составила 1,4 мг/М³, через 30 минут — 1,52 мг/М³, а через 45 минут достигла 10 мг/М³. Таким образом, экспериментальные условия обеспечивали постепенное нарастание концентрации озона до значений, обладающих выраженным инсектицидным эффектом в отношении насекомых-вредителей.

Для оценки эффективности обработки осуществляли выборку зараженных образцов:

- ♦ после 3-го, 5-го, 7-го и 10-го цикла озонирования, т. е. на 5-е, 9-е, 14-е и 19-е сут;
- ♦ всего отбирали по 4 образца в день учета: с нижнего уровня — биотест (садок) по центру и у стенки; с верхнего уровня — биотест (садок) по центру и у стенки.

Оценку влияния озono-воздушной обработки на численность имаго проводили в лаборатории РУП «Институт защиты растений», где отобранные биотесты после экспозиции (5-е, 9-е, 14-е и 19-е сут.) озоном помещали в хладотермостат при температуре +25,0 °С и наблюдали за их состоянием. Опыт включал 4 блока. Учеты вредителя проводили в течение 2-х недель для каждого временного блока. Подсчитывали количество живых, мертвых и парализованных имаго рисового долгоносика в динамике с учетом кратности обработок.



- 1 – емкость накопительная; 2 – вентилятор центробежный; 3 – установка озонирования;
 4 – пульт управления; 5 – озонаторы; 6 – решетка с фильтром; 7 – перегородка секционная; 8 –
 заслонка; 9 – патрубки подводящие; 10 – патрубок отводящий;
 11 – решетка; 12 – сетка; 13 – зерно; 14 – мешки с зараженным зерном; 15 – анализатор озона;
 16 – веревки для вытягивания мешков с зараженным зерном и анализатора озона из емкости;
 17 – люк с крышкой; А, Б – зоны замера концентрации озона

Рис. 1. Принципиальная схема экспериментальной установки для озонирования зерна

Fig. 1. Schematic diagram of an experimental setup for grain ozonation

Т а б л и ц а 1. Порядок размещения биотестов в емкости

Table 1. The order of placing biotests in a container

Номер образца	Размещение биотестов в емкости
1, 5, 9, 13	от дна установки на глубине 10 см у стенки (нижний слой)
2, 6, 10, 14	от дна установки на глубине 10 см в центре (нижний слой)
3, 7, 11, 15	от дна установки на глубине 110 см у стенки (верхний слой)
4, 8, 12, 16	от дна установки на глубине 110 см в центре (верхний слой)

Т а б л и ц а 2. План-график проведения экспериментальных исследований

Table 2. Schedule for conducting experimental studies

Сутки	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
Порядок обработки	+		+		+		+		+		+		+		+		+		+
Отбор образцов					+				+					+					+

Температурный режим +25,0 °С был выбран как оптимальный для жизнедеятельности имаго рисового долгоносика, что позволяло корректно оценить последствия воздействия озона без дополнительного стрессового влияния температуры. При каждом учете подсчитывали количество живых, мертвых и парализованных особей. Парализованных жуков выделяли как отдельную категорию с нарушенной координацией движений и отсутствием способности к нормальной активности.

Биологическую эффективность после применения озонирования определяли по формуле:

$$\Xi = \frac{M + \Pi}{M + \Pi + Ж} \cdot 100, \quad (1)$$

где Ξ – биологическая эффективность, %; M – количество мертвых вредителей, ос.; Π – количество парализованных вредителей, ос.; $Ж$ – количество живых вредителей, ос.

Таким образом, эффективность характеризовала долю особей (погибших и необратимо парализованных), относительно общего исходного количества насекомых в биотесте.

Результаты и их обсуждение. В 2025 г. по описанной выше методике произвели закладку поискового эксперимента по изучению влияния озono-воздушной обработки на численность вредителей запасов в стендовой установке металлического силоса, расположенного на территории опытного производства РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (г. Марьино Горка, ул. Калинина, 21). Визуализация поискового эксперимента приведена на рис. 2.

Отбор биотестов производили после завершения экспозиции озном для образцов 1–4 через 5 сут., образцов 5–8–9 сут., образцов 9–12–14 сут. и образцов 13–16–19 сут.

Отобранные образцы извлекали из стендовой установки металлического силоса и перемещали в хладотермостат в лаборатории РУП «Институт защиты растений», где хранили при температуре +25,0 °С в течение 2-х недель (рис. 3).

Биологическую эффективность после применения озонирования определяли по формуле (1). При этом парализованные насекомые относили к мертвым, поскольку они не восстанавливали свое состояние до нормального.

Биологическую эффективность для каждого образца рассчитывали относительно текущего состояния популяции: при втором, третьем и четвертом учетах подсчет живых, мертвых и парализованных насекомых проводили без учета результатов предыдущих наблюдений.

Результаты испытаний представлены в виде детализированной таб. 3, отражающей показатели по каждому образцу с учетом экспозиции озном и продолжительности выдерживания биотестов в термостате.

Для образцов 1–4, отобранных после 5 сут. экспозиции озном (3 цикла по 5 часов), спустя 2 сут. после обработки наблюдали выраженный дезинсекционный эффект озона. В образце 2 (нижний слой, в центре) количество живых насекомых составило 8 особей из 50, при этом мертвых и парализованных – 42 особи, что соответствует биологической эффективности 84,0 %. Для образцов 1 и 3 (верхний и нижний слои, у стенки) эффективность была несколько ниже – 36,0 и 38,0 % соответственно, что отражает частичное воздействие озона при менее благоприятном распределении газа в толще зерна. Для образца 4 (верхний слой, в центре) эффективность достигала 60,0 %, что также указывает на преимущество центральной зоны по сравнению с краевой.

При последующем хранении в хладотермостате этих же образцов отмечали снижение биологической эффективности, рассчитанной относительно текущего состояния популяции. Так, на 4-е сут. после обработки в образце 1 в живых оставалось 29 особей из 32 ранее учтенных, мертвых – 3, эффективность составила 9,4 %. В образце 2 живыми были 6 особей из 8, эффективность – 25,0 %. Образцы 3 и 4 на 4-е сут. показывали отсутствие гибели, а на 9-е и 14-е сут. после обработки во всех четырех образцах гибель насекомых практически не фиксировалась. Это свидетельствует о том, что основной дезинсекционный эффект озона реализуется в первые дни после обработки, а последующая динамика носит стабилизационный характер.



Рис. 2. Закладка поискового эксперимента
Fig. 2. Search experiment tab

Рис. 3. Контейнеры с биотестами, помещенные в хладотермостат (лабораторный опыт, РУП «Институт защиты растений»)
Fig. 3. Containers with bioassays placed in a refrigeration thermostat (laboratory experiment, RUE «Institute of Plant Protection»)



Т а б л и ц а 3. Результаты исследований влияния озono-воздушной обработки на численность имаго рисового долгоносика
T a b l e 3. Results of studies on the effect of ozone-air treatment on the number of adult rice weevils

Экспозиция озонoм, сут.	Сутки после обработки	Номер образца	Имаго рисового долгоносика, ос.			Э, %
			живые (Ж)	мертвые (М)	парализо-ванные (П)	
5	2	1	32	17	1	36,0
		2	8	41	1	84,0
		3	31	18	1	38,0
		4	20	29	1	60,0
	4	1	29	3	0	9,4
		2	6	2	0	25,0
		3	31	0	0	0,0
		4	20	0	0	0,0
	9	1	29	0	0	0,0
		2	6	0	0	0,0
		3	31	0	0	0,0
		4	19	0	1	5,0
	14	1	29	0	0	0,0
		2	6	0	0	0,0
		3	31	0	0	0,0
		4	19	0	0	0,0
9	0	5	37	13	0	26,0
		6	0	50	0	100
9	0	7	12	38	0	76,0
		8	29	21	0	42,0
	5	5	36	1	0	2,7
		6	-	-	-	-
		7	11	1	0	8,3
		8	27	2	0	6,9
	10	5	34	2	0	5,6
		6	-	-	-	-
		7	10	1	0	9,1
		8	27	0	0	0
	14	5	33	1	0	2,9
		6	-	-	-	-
		7	10	0	0	0
		8	27	0	0	0
14	0	9	28	22	0	44,0
		10	19	31	0	62,0
		11	11	39	0	78,0
		12	39	11	0	22,0
	5	9	22	6	0	21,4
		10	12	7	0	36,8
		11	10	1	0	9,1
		12	39	0	0	0,0
	9	9	22	0	0	0,0
		10	12	0	0	0,0
		11	10	0	0	0,0
		12	33	6	0	15,4
	14	9	19	3	0	13,6
		10	11	1	0	8,3
		11	9	1	0	10,0
		12	30	3	0	9,1
19	0	13	9	41	0	82,0
		14	0	50	0	100
		15	26	24	0	48,0
		16	10	40	0	80,0
	4	13	9	0	0	0,0
		14	-	-	-	-
		15	23	2	1	11,5
		16	10	0	0	0,0

Окончание табл. 3

Экспозиция озоном, сут.	Сутки после обработки	Номер образца	Имаго рисового долгоносика, ос.			Э, %
			живые (Ж)	мертвые (М)	парализованные (П)	
19	9	13	8	1	0	11,1
		14	-	-	-	-
		15	22	1	0	4,3
		16	10	0	0	0,0
	14	13	7	1	0	12,5
		14	-	-	-	-
		15	20	2	0	9,1
		16	10	0	0	0,0

В образцах 9–12, отобранных спустя 14 сут. экспозиции озоном (7 циклов по 5 часов), первичный учет в тот же день также выявил высокую чувствительность имаго рисового долгоносика к озону. В образце 11 (верхний слой, у стенки) было уничтожено 39 особей из 50, что показало биологическую эффективность на уровне 78,0 %. В образце 9 погибло 22 особи (44,0 %), в образце 10–31 особь (62,0 %), а в образце 12–11 особей (22,0 %). Полученные данные демонстрируют, что даже при одинаковой экспозиции озона различия в расположении биотестов приводят к значимым вариациям в дезинсекционном эффекте. При последующих учетах (на 5-е, 9-е, 14-е сут.) наблюдали постепенную стабилизацию численности: в большинстве случаев количество живых насекомых изменялось незначительно, а рассчитываемая эффективность максимально достигала до 36,8 %, что указывает на ослабление действия остаточного озона.

Наиболее высокие показатели эффективности в завершающем блоке опыта (образцы 13–16, экспозиция озоном – 19 сут. (10 циклов по 5 часов)) были зафиксированы при первичном учете. В образце 14 все 50 особей были мертвыми (эффективность 100 %), в образце 13 погибла 41 особь (82,0 %), в образце 15–24 особи (48,0 %), а в образце 16–40 особей (80,0 %). Полученные результаты подчеркивают, что при оптимальном сочетании расположения биотестов и параметров подачи озono-воздушной смеси возможно достижение практически полной гибели имаго рисового долгоносика. При повторных учетах спустя 4-е, 9-е и 14-е сут. после обработки гибель вредителя были минимальной (эффективность достигала 12,5 %), что consistently с ранее установленной тенденцией: основной поражающий эффект озона реализуется в первые сутки после обработки.

Визуальные наблюдения за погибшими и парализованными имаго, проведенные при анализе содержимого биотестов, подтвердили выраженный стрессовый характер воздействия озона: насекомые демонстрировали потерю подвижности, нарушенную координацию и последующую гибель. Фотоматериалы (рис. 4) фиксировали типичную картину массовой гибели жуков после озонирования, что хорошо согласуется с количественными данными.

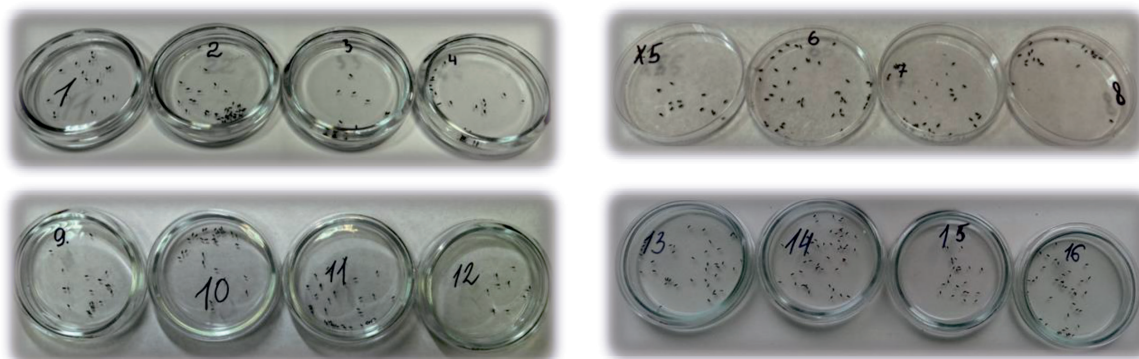


Рис. 4. Контрольные образцы биотестов имаго рисового долгоносика под влиянием озono-воздушной обработки зерна

Fig. 4. Control samples of biotests of rice weevil imago under the influence of ozone-air treatment of grain

Полученные нами данные согласуются с результатами Г. А. Закладного, согласно которым для защиты от вредителей запасов применимо использование низкой концентрации озона с повторяющимися циклами. Так, цикл длительностью до 14 ч допускает понижение концентрации до 0,02 г/м³, при этом гибель рисового долгоносика обеспечивается временем экспозиции 4 ч [14].

Заключение. Полученные результаты исследований свидетельствуют о высоком дезинсекционном эффекте озона в отношении имаго рисового долгоносика при обработке зерновой массы пшеницы. Пространственная неоднородность эффективности, выраженная в различиях между образцами по высоте и положению в диаметре экспериментальной стендовой установки металлического силоса, указывает на важность оптимизации системы распределения озono-воздушной смеси в реальных зернохранилищах. Максимальные показатели биологической эффективности (до 100 %) достигнуты в образцах, где обеспечивалась наибольшая интенсивность контакта насекомых с озоном, тогда как в менее благоприятных по газообмену зонах эффективность была ниже, полученные данные будут использоваться при совершенствовании конструкций установок и обосновании режимов озонирования с целью получения максимально равномерного дезинсекционного эффекта в полном объеме зерновой массы.

Список использованных источников

1. Бречко, Е. В. Структурные показатели сообществ членистоногих в период длительного хранения семян зерновых колосовых культур / Е. В. Бречко // Земледелие и растениеводство. – № 2. – 2025. – С. 35–40.
2. Закладной, Г. А. Вредители хлебных запасов / Г. А. Закладной // Защита и карантин растений. – 2006. – № 6. – С. 2–7.
3. О безопасности зерна : ТР ТС 015/2011 : срок действия с 01.07.2013. – Минск : Госстандарт, БелГИСС, 2018. – 32 с.
4. Хлопцева, Р. И. Биологическая защита зерна при хранении от вредных насекомых / Р. И. Хлопцева. – М.: ВНИИТЭИагропром. – 1988. – 57 с.
5. Санин, В. Предупредить потери хранящегося зерна от амбарных вредителей и грызунов / В. Санин, Ю. Санин // Главный агроном. – 2008. – № 11. – С. 70–72.
6. Козич, И. А. Обоснование мероприятий по защите зерна и продуктов его переработки от амбарных вредителей : автореф. дис. ... канд. с.-х. наук : 06.01.07 / И. А. Козич ; Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т защиты растений. – Прилуки, 2014. – 23 с.
7. Закладной, Г. А. Путеводитель по вредителям хлебных запасов и простор как средство борьбы с ними / Г. А. Закладной, Е. А. Соколов, Е. Ф. Когтева. – М. : МГОУ. – 2003. – 107 с.
8. Закладной, Г. А. Первое обнаружение резистентности природной популяции рисового долгоносика *Sitophilus oryzae* L. (Coleoptera: Dryophthoridae) к фосфину в России / Г. А. Закладной // Энтомологическое обозрение. – 2020. – Т. 99, № 3. – С. 535–539.
9. Применение процесса озонирования в сельском хозяйстве / И. В. Баскаков [и др.] // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2016. – № 3 (50). – С. 120–126.
10. Новый экологически чистый метод борьбы с вредителями мукомольного производства / З. В. Ловкис [и др.] // Весці Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі. Серыя аграрных навук. – 2005. – № 1. – С. 109–111.
11. Дезинсекция методом озонирования в мукомольном производстве / Т. П. Троцкая [и др.] // Материалы XI международной научно-практической конференции «Современные технологии сельскохозяйственного производства» / Мин. сельск. хоз. и прод. Респ. Беларусь, Гродн. гос. агр. универ. – Гродно, 2008. – С. 480–481.
12. Баскаков, И. В. Влияние озонной обработки на вредителей зерна / И. В. Баскаков // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. – 2019. – № 3 (62). – С. 41–46.
13. Закладной, Г. А. Биологическая активность озона в отношении вредителей зерна – рисового долгоносика и амбарного долгоносика / Г. А. Закладной, Е. Ф. М. Сасед, Е. Ф. Когтева // Хранение и переработка сельхозсырья. – 2003. – № 4. – С. 59.
14. Закладной, Г. А. Озон и зерно: монография / Г. А. Закладной ; Всерос. науч.-исслед. ин-т зерна и продуктов его переработки – Федеральный науч. центр пищевых систем им. В. М. Горбатова. – М. : Центр подготовки специалистов, 2023. – 137 с.

Информация об авторах

Бречко Елена Владимировна, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории энтомологии РУП «Институт защиты растений» (ул. Мира, 2, аг. Прилуки, 223011, Минский р-н, Минская обл., Республика Беларусь).

E-mail: belizr@izr.by

Садовский Александр Александрович, кандидат технических наук, начальник отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: sadouski.a@gmail.com

Корзан Сергей Иванович, кандидат технических наук, старший научный сотрудник отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: seroga.korzanmc@mail.ru

Данилюк Александр Сергеевич, научный сотрудник отдела новых технологий и техники РУП «Научно-практический центр Национальной академии наук Беларуси по продовольствию» (ул. Козлова, 29, 220037, г. Минск, Республика Беларусь).

E-mail: newteh@belproduct.com

Кишко Ирина Константиновна, младший научный сотрудник лаборатории энтомологии РУП «Институт защиты растений» (ул. Мира, 2, аг. Прилуки, 223011, Минский р-н, Минская обл., Республика Беларусь).

E-mail: belizr@izr.by

Information about the authors

Brechko Elena Vladimirovna, PhD (agricultural), leading researcher of the entomology laboratory of the RUE «Institute of Plant Protection» (2, Mira st., agricultural settlement of Priluki, 223011, Minsk region, Republic of Belarus).

E-mail: belizr@izr.by

Sadouski Aleksandr Alexandrovich, PhD (Technical), Head of the Department of New Technologies and Technology of RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: sadouski.a@gmail.com

Korzan Sergey Ivanovich, PhD (Technical), Senior Researcher of the Department of New Technologies and Technology of RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: seroga.korzanmc@mail.ru

Danilyuk Aleksandr Sergeyevich, Researcher of the Department of New Technologies and Technology of RUE «Scientific and Practical Center of the National Academy of Sciences of Belarus for Food» (29, Kozlova str., 220037, Minsk, Republic of Belarus).

E-mail: newteh@belproduct.com

Kishko Irina Konstantinovna, Junior Researcher at the Entomology Laboratory of the RUE «Institute of Plant Protection» (2, Mira st., agricultural settlement of Priluki, 223011, Minsk region, Republic of Belarus).

E-mail: belizr@izr.by