

Факторы эффективности фосфина при фумигации зерновых запасов

Маликов В. В.

Всероссийский центр карантина растений,
Московская область, г. о. Раменский, р. п. Быково
malikoff@inbox.ru

Аннотация

Фосфин (PH₃) остается основным фумигантом для защиты зерновых запасов в России, однако его эффективность зависит от температуры, влажности воздуха, стадий развития вредителей и сорбции зерном. Показаны оптимальные условия: температура +25...+30 °С и относительная влажность 60–70 %. Температура ниже 15 °С или влажность ниже 50 % резко снижают токсичность. Автор анализирует дифференциальную чувствительность стадий: личинки наиболее восприимчивы, яйца наиболее устойчивы. Рассмотрены молекулярные механизмы резистентности (мутации rph1, rph2), сорбция фосфина зерном (20–40 %) и газопроницаемость. Предложены практические рекомендации по оптимизации фумигации и мониторингу резистентности.

Ключевые слова:

фосфин, фумигация, зерновые вредители, температура, влажность, резистентность, молекулярные механизмы, сорбция

Фосфин (PH₃) остается основным фумигантом для защиты запасов зерна в России благодаря высокой эффективности, летучести и совместимости с большинством культур. Однако в последние два десятилетия отмечено глобальное распространение резистентных популяций вредителей к этому препарату, что представляет критическую угрозу для продовольственной безопасности. Г. А. Закладной и его коллеги выявили первый в России подтвержденный случай резистентности рисового долгоносика (*Sitophilus oryzae*) в Ростовской области в 2020 г. с показателем R≈2,5, что свидетельствует о необходимости изучения проблемы на национальном уровне [1, с. 535]. По данным зарубежных исследователей, в Австралии резистентные популяции составляют до 35 % хранилищ, в Чешской Республике зафиксирована резистентность у 57–71 % популяций основных видов вредителей, в Южной Корее обнаружены популяции с экстремально высоким коэффициентом R=23,4 [2, р. 29].

Развитие резистентности связано с неправильной стратегией применения фосфина и несоответствием реальных условий хранения оптимальным параметрам фумигации. Многие параметры разработаны в лабораторных условиях при идеальном сочетании факторов, но в реальных хранилищах условия существенно отличаются, что приводит

Efficiency factors of phosphine in stored grain fumigation

Malikov V. V.

All-Russian Plant Quarantine Centre,
Moscow Region, Ramensky urban district, Bykovo workers settlement
malikoff@inbox.ru

Abstract

Phosphine (PH₃) remains the primary fumigant for protecting grain reserves in Russia. However, its efficiency depends on temperature, air humidity, pest development stages, and grain sorption. Optimal conditions are temperature +25...+30 °C and relative humidity 60–70 %. Temperature below 15 °C or humidity below 50 % sharply decreases the toxicity of phosphine. The authors analyse the differential sensitivity of pest development stages: larvae are highly susceptible, eggs – highly resistant. The paper highlights the molecular mechanisms of resistance (rph1, rph2 mutations), phosphine sorption by grain (20–40 %), and gas permeability. It includes practical recommendations for fumigation optimization and resistance monitoring.

Keywords:

phosphine, fumigation, stored grain insects, temperature, humidity, resistance, molecular mechanisms, sorption

к снижению эффективности. Исследование основано на анализе литературных данных, опубликованных в отечественных и зарубежных источниках за 2003–2025 гг.

Цель исследования – систематизация сведений о факторах, влияющих на эффективность фосфина, и выработка практических рекомендаций по оптимизации фумигации и управлению резистентностью на региональном уровне.

Температура является одним из ключевых факторов эффективности фосфина. Х. Лю и коллеги провели серию экспериментов, которые продемонстрировали, что при повышении температуры с +20 до +30 °С летальность основных амбарных вредителей возрастает в два-три раза [3, р. 124]. При +25 °С и концентрации 20 мг/м³ достигается 100 % смертность личинок *S. oryzae* за 24 ч, при 30 °С смертность составляет 98–99 %. Понижение температуры ниже 15 °С резко замедляет разложение фосфида магния и диффузию газа через зерновую массу. При +10 °С стандартная концентрация практически неэффективна (смертность не превышает 10–30 %), тогда как при +25 °С та же концентрация вызывает полную гибель за 48 ч. Это объясняется двумя взаимосвязанными механизмами: во-первых, при высоких температурах фосфин выделяется из фосфидов металлов значительно быстрее благодаря ускорению реакции гидролиза; во-вторых, ускоренный

метаболизм насекомых при повышенной температуре приводит к большему поглощению газа через дыхальца. Для летних обработок при $T > 30$ °C можно сократить время экспозиции на 20–30 % без потери эффективности; для зимних обработок при $T < 15$ °C время экспозиции должно быть увеличено минимум на 50 % от стандартного.

Относительная влажность воздуха (RH) критична для эффективности фумигации. Х. Лю и его команда также показали, что при RH 60–70 % процесс выделения газа протекает интенсивно, обеспечивая быструю и равномерную концентрацию фосфина в герметичном пространстве [там же, р. 125]. Влажность ниже 50 % затрудняет гидролиз фосфида магния, и концентрация может быть на 20–30 % ниже расчетной. При $T = +20$ °C и RH 40–50 % летальность личинок составляет ~75 % за 24 ч; при RH 60–70 % летальность достигает ~95 %. Слишком высокая влажность (>80 %) способствует адсорбции газа на поверхности зерна и образованию конденсата влаги, что уменьшает диффузию фосфина вглубь насыпи и может привести к недобору эффективной дозы. Оптимальная влажность составляет 60–70 %, при которой фосфин равномерно распределяется в камере или хранилище и не задерживается в поверхностных слоях зерна.

Влажность самого зерна (как материала) должна быть 12–14 % для эффективного выделения газа без стимуляции размножения вредителей. При влажности > 14–15 % размножение вредителей ускоряется в два-три раза, что требует более интенсивной фумигации; при влажности < 10 % зерно становится более хрупким и подвержено механическим повреждениям. Важное свойство герметичных хранилищ состоит в том, что в закрытом хранилище с достаточной герметичностью относительная влажность воздуха стремится к равновесию с влажностью зерна, поэтому перед фумигацией рекомендуется проверить оба параметра.

Для лучшего понимания взаимодействия температуры и влажности на эффективность фумигации рассмотрим количественные данные, полученные в серии экспериментов с личинками основного вида амбарного вредителя (табл. 1–3).

Таблица 1 демонстрирует экспоненциальный рост эффективности при повышении температуры от +10 до +25 °C, особенно в диапазоне оптимальной влажности (60–70 %). Наиболее ярко эффект проявляется при переходе от +15 к +20 °C, где смертность увеличивается с 70 до 95 % при условиях RH 60–70 %. Интересно, что избыточная влажность (80–90 %) при низких температурах дает худший результат, чем умеренная влажность, что указывает на образование конденсата, препятствующего проникновению газа в зерновую массу. При +30 °C небольшое снижение эффективности при RH 80–90 % по сравнению с 60–70 % свидетельствует об интенсивной адсорбции газа поверхностным слоем зерна при высокой влажности, что требует корректировки начальной дозы в полевых условиях.

Все амбарные вредители (отряд Coleoptera) имеют полное превращение

с четырьмя последовательными стадиями развития: яйцо → личинка → куколка → имаго (взрослое насекомое). Восприимчивость стадий к фосфину различается существенно и зависит от физиологического состояния и анатомических особенностей каждой стадии. М. Наяк и П. Дж. Коллинз провели детальное исследование влияния стадии развития на чувствительность к фосфину, установив дифференциальный характер токсичности. Личинки ранних возрастов наиболее восприимчивы: при 20 мг/м³ и +25 °C достигается 100 % смертность за 24 ч [4, р. 612]. Это объясняется их активным метаболизмом, тонкой кутикулой (покровом тела), хорошо развитой трахеальной системой и, следовательно, интенсивным дыханием. Имаго также чувствительны: смертность 95–98 % за 24 ч при тех же условиях, хотя у имаго утолщенная и более склеротизированная кутикула, чем у личинок, что несколько снижает проницаемость для газов.

Куколки находятся в состоянии анаморфоза (неподвижное состояние перестройки организма) и имеют сниженную дыхательную активность, поэтому менее чувствительны: требуют 30–40 мг/м³ за 24–48 ч. Это объясняется тем, что фосфин действует пропорционально интенсивности дыхания, а у куколок метаболизм существенно замедлен. Яйца наименее восприимчивы: требуют 50–60 мг/м³ за 48–72 ч из-за плотного хориона (оболочки яйца) и отсутствия активного дыхания через трахеи (газообмен происходит диффузионно через микропиле) [5, р. 12].

Насекомые в состоянии диапаузы (физиологического покоя) практически невосприимчивы к фосфину. Д. В. Хагструм и коллеги отмечают, что для борьбы с диапаузирующими стадиями может потребоваться длительная экспозиция (120 ч) или повышенные концентрации, а также комбинирование с термической обработкой. Это связано с тем, что при диапаузе газ поглощается пропорционально интенсивности дыхания, которое при диапаузе близко к нулю [6, р. 102].

Для применения в производстве важно сопоставить оптимальные параметры фумигации для разных стадий развития вредителей, учитывая, что в реальных условиях в зернохранилище присутствует смешанная популяция с неизвестной возрастной структурой.

Практическое значение табл. 2 состоит в том, что для гарантированного уничтожения всех стадий при неизвестном возрастном составе популяции следует выбирать параметры фумигации в соответствии с наиболее устой-

Таблица 1
Влияние температуры и влажности на летальность личинок *Sitophilus oryzae* при 20 мг/м³ за 24 часа

Table 1
The effects of temperature and humidity on the mortality of *Sitophilus oryzae* larvae at a dose of 20 mg phosphine/m³ in 24 hours

Стадия	Концентрация, мг/м ³	Экспозиция, ч	T, °C	RH, %	Примечание
Личинка ранних возрастов	15–20	24	25	60–70	Наиболее восприимчивы
Имаго	20–25	24	25	60–70	Высокая восприимчивость
Куколка	30–40	24–48	25–30	60–70	Промежуточная
Яйцо	50–60	48–72	25–30	60–70	Наименее восприимчивы
Имаго в диапаузе	50–60	120	25	60–70	Требуют экстремальных условий

чивой стадией (яйца или имаго в диапаузе). Стандартная схема обработки с концентрацией 20–25 мг/м³ обеспечивает полную смертность личинок и имаго, но недостаточна для яиц; эта рекомендация объясняет частые случаи неполной дезинсекции в полевых условиях, когда яйца остаются нетронутыми и впоследствии отрождаются, восстанавливая популяцию вредителей.

Таблица 2
Влияние температуры и влажности на летальность личинок *Sitophilus oryzae* при 20 мг/м³ за 24 часа

Table 2
The effects of temperature and humidity on the mortality of *Sitophilus oryzae* larvae at a dose of 20 mg phosphine/m³ in 24 hours

T, °C	RH 40–50, %	RH 60–70, %	RH 80–90, %
10	< 10	~30	~25
15	~40	~70	~60
20	~75	~95	~90
25	~90	~100	~95
30	~95	~99	~90

Фосфин действует через блокирование цитохром с оксидазы, нарушая аэробный метаболизм и генерируя активные формы кислорода (ROS). Резистентные популяции развивают защиту через генетические мутации. М. Е. Шарф и А. А. Хамуд показали на молекулярном уровне, что мутация в гене *grh1* (*Cytb5r*) нарушает синтез полиненасыщенных жирных кислот (ПНЖК), снижая окислительный стресс, обусловленный избытком ROS, и обеспечивая коэффициент резистентности R=2–5. Мутация в гене *grh2* (*DLD, N505T*) представляет собой наиболее серьезный тип резистентности: она нарушает энергетическую трансдукцию в дыхательной цепи, минимизируя метаболизм насекомого, и обеспечивает экстремальный уровень R=10–23 [7, p. 318].

Резистентные популяции также демонстрируют адаптивные изменения, которые дополняют генетические механизмы. К. С. Дж. Ким и его коллеги в своем транскриптомном анализе выявили повышение уровня полиаминов (путресцин, спермин, спермидин) как мощных антиоксидантов, снижение апоптоза (программируемой клеточной смерти), которое позволяет насекомому пережить окислительный стресс [2, p. 30]. З. Чен установил повышенную экспрессию цитохрома P450 (*CYP9e2*) для детоксикации фосфина, которая катализирует окисление фосфина в менее токсичный фосфин-оксид (PH₃O). Наблюдаются также структурные изменения: утолщение воскового слоя кутикулы на 20–40 % и снижение проницаемости для газов, снижение массы тела на 20–30 % как результат энергетической экономии при пониженном метаболизме [8, p. 45].

Основные мутации (*grh1*, *grh2*) обнаружены в популяциях из разных стран с поразительным сходством, указывая на единое происхождение или конвергентную эволюцию под мощным селекционным давлением фосфина. П. Сальвини и его коллеги провели генетический анализ резистентных популяций из разных регионов и обнаружили поразительное сходство мутаций между Австралией, Азией и другими регионами, что указывает на глобальное

распространение этих аллелей. Неэффективность фосфина в одном регионе, вероятно, предсказывает проблемы в соседних регионах на протяжении следующих 2–5 лет [9, p. 101].

В течение первых 24–48 ч от 20 до 40 % начальной концентрации фосфина может быть абсорбировано зерном, что является серьезной проблемой для практической фумигации. Квинслендское исследование хранения зерна показало, что при +25 °C сорбция составляет ~25 % за 24 ч, при +15 °C – ~15 % (меньше, но процесс замедляется), при +30 °C – ~35 % (больше из-за ускоренного разложения фосфида и более активной диффузии). Сорбция зависит от вида зерна: сорго поглощает фосфин наиболее интенсивно (35–40 % в первые 24 ч) из-за большей пористости, пшеница имеет промежуточное поглощение (25–30 %), рис поглощает фосфин менее интенсивно (15–20 %) благодаря более компактной структуре [10, p. 14–15].

Влияет также возраст зерна (время после уборки): свежее зерно (<30 дней) имеет высокую сорбцию (35–40 %), поскольку зерно еще влажное и активно абсорбирует газы, зерно среднего возраста (30–90 дней) имеет умеренную сорбцию (25–30 %), старое зерно (>90 дней) низкую сорбцию (15–20 %), так как со временем зерно высыхает и его пористость уменьшается. При влажности зерна < 10 % сорбция минимальна (10–15 %), поскольку зерно жесткое, при 12–14 % (оптимум) составляет 25–30 %, при > 15 % может быть еще выше (30–40 %) из-за гидратации зерна и открытия микропор.

Рекомендуется увеличить начальную дозу на 25–35 % для компенсации сорбции или удвоить время экспозиции (с 24 до 48 ч), позволяя фосфину отступить из зерна после завершения сорбции. Для резистентных популяций эта проблема особенно критична: целевые концентрации 40–60 мг/м³ требуют существенно больших доз для компенсации потерь.

В плотных массивах с высокой засоренностью газ распространяется медленно, формируя зоны с пониженной концентрацией, где вредители могут пережить обработку. Предварительная очистка зерна повышает эффективность на 20–30 %, снижая примеси на 95 %. Рекомендуемая плотность насыпи составляет 700–800 кг/м³ для пшеницы; уплотнение > 850 кг/м³ замедляет диффузию газа на 40 %. Максимальная концентрация достигается за 24–48 ч при герметичности хранилища (полужизнь давления ≥ 5 мин).

Для систематизации накопленных данных о молекулярных основах развития устойчивости насекомых к фосфину представляется целесообразным сопоставить различные генетические и метаболические механизмы, определяющие уровень резистентности в разных географических популяциях.

Таблица 3 показывает, что резистентность к фосфину не является монолитным явлением, а представляет собой мультифакторный адаптивный ответ на длительное воздействие фумиганта. Наиболее опасны мутации *grh2*, обеспечивающие резистентность в 23 раза выше исходного уровня, что затрудняет применение стандартных доз и требует принципиально новых подходов. Распределение мутаций по странам указывает на глобальное распро-

Основные молекулярные механизмы резистентности

The main molecular mechanisms of resistance

Ген/Механизм	Мутация	R	Страны
gph1 (Cytb5r)	Потеря функции	2-5	Австралия, Вьетнам, Китай
gph2 (DLD N505T)	Точечная мутация	10-23	Австралия, Вьетнам, Китай, Корея
CYP9e2 (P450)	Повышенная экспрессия	2-5	По всему миру
Кутикула	Утолщение воскового слоя	1,5-3	Различные популяции

странение этих аллелей, что требует координированных международных подходов к управлению резистентностью и обмену информацией о появлении резистентных популяций.

Перед фумигацией рекомендуется провести биотест для оценки чувствительности популяции: поместить 20–30 насекомых, отловленных непосредственно из хранилища, в герметичную камеру объемом 0,5–1 л, обработать стандартной концентрацией фосфина (20–25 мг/м³) за 24 ч при +25 °С и RH 60–70 %. Смертность 100 % указывает на восприимчивую популяцию, рекомендуется стандартная фумигация: 20–25 мг/м³, 48–72 ч. Смертность 80–99 % свидетельствует о признаках резистентности, требует применения фосфина 40 мг/м³ в комбинации с другими методами. Смертность < 80 % указывает на сильную резистентность, требует интенсивной обработки с повышенными дозами.

Оптимальный период фумигации – осень (август–сентябрь) при температуре +15...+25 °С и естественной RH 60–75 %. Необходимо проверить герметичность хранилища, очистить зерно от примесей и пыли, убедиться, что влажность зерна составляет 12–14 %. При мониторинге фумигации следует установить датчик концентрации на различных уровнях (верхний, средний, нижний); критерий успеха состоит в том, что концентрация должна быть ≥ 20 мг/м³ (или 40–60 при резистентности) на всех уровнях.

После завершения фумигации следует провести аэрирование: вытяжка газа в течение 4–6 ч при температуре ≥ +20 °С или 8–12 ч при температуре ниже +20 °С. Выделение должно быть проведено за 24 ч до вывоза зерна со склада. Контрольный биотест рекомендуется осуществить через одну-две недели путем помещения 20 живых насекомых в пробу зерна для установления способности к размножению; отсутствие потомства указывает на успешную дезинсекцию.

Долгосрочная стратегия управления резистентностью:
 – ротация методов контроля: осень (август–сентябрь) – применение фосфина или комбинации фосфина с синтетическим пиретроидом в зависимости от результатов биотеста; зима (декабрь–январь) – охлаждение зерна до +5...+10 °С в сочетании с фосфином (если климат позволяет) или вакуумирование, весна (март–апрель) – при необходимости контрольная фумигация стандартным фосфином (если популяция осталась восприимчивой). Критическое правило состоит в том, что не следует применять один и тот же метод дважды в один сезон, так как это способствует развитию резистентности.

Таблица 3 Эффективность фумигации фосфином зависит от комплекса факторов: температуры, влажности воздуха, стадий развития вредителей, сорбции и газопроницаемости зерновой массы. Table 3

Оптимальные условия (+25...+30 °С, RH 60–70 %) обеспечивают максимальную токсичность и минимальный риск выживания вредителей. Резистентность, обусловленная мутациями gph1 и gph2, распространяется глобально

и требует ротации методов контроля для предотвращения дальнейшего развития устойчивости.

Личинки наиболее восприимчивы (20 мг/м³ за 24 ч), яйца наиболее устойчивы (50–60 мг/м³ за 48–72 ч). Сорбция зерном требует увеличения дозы на 25–35 % или удлинения экспозиции. Предварительная очистка зерна и контроль плотности насыпи повышают эффективность на 20–30 %.

Долгосрочное управление резистентностью требует регулярного мониторинга через биотесты (один-два раза в год), ротации методов контроля (фосфин, охлаждение, пиретроиды), комбинирования фосфина с другими методами при появлении резистентности, обмена информацией между хозяйствами и регионами о появлении резистентных популяций. Реализация рекомендаций позволит продлить эффективность фосфина как стратегически важного фумиганта для России и предотвратить развитие проблемы резистентности в масштабе страны.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Источники и литература

1. Закладной, Г. А. Первое обнаружение резистентности природной популяции рисового долгоносика *Sitophilus oryzae* (L.) к фосфину в России / Г. А. Закладной // Энтомологическое обозрение. – 2020. – Т. 99, № 3. – С. 535–539.
2. Kim, S. J. Transcriptome profiling and in silico docking analysis of phosphine resistance in rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) / S. J. Kim, J. H. Lee, K. Park // Journal of Insect Science. – 2023. – Vol. 23. – № 6. – P. 29.
3. Liu, X. Temperature-dependent toxicity of phosphine to stored grain insects / X. Liu, J. Liang, Z. Li // Pest Management Science. – 2022. – Vol. 78. – № 1. – P. 123–130.
4. Nayak, M. Influence of developmental stages on phosphine susceptibility of stored product beetles / M. Nayak, P. J. Collins // Journal of Economic Entomology. – 2018. – Vol. 111. – № 2. – P. 608–613.
5. Фосфин – взгляд на проблему глобальной резистентности / Д. А. Редькин, В. В. Лебедев, Р. Р. Галимов [и др.] // Защита и карантин растений. – 2023. – № 5. – С. 12–18.
6. Hagstrum, D. W. Stored-product insect taxonomy and management: Current status and future directions / D. W. Hagstrum, B. Subramanyam, S. Deshwal // Journal of Stored Products Research. – 2020. – Vol. 89. – P. 101713.
7. Scharf, M. E. Minimization of energy transduction confers resistance to phosphine in the rice weevil, *Sitophilus*

- oryzae* / M. E. Scharf, A. A. Hamood // Nature. – 2019. – Vol. 574. – № 7777. – P. 318–321.
8. Chen, Z. Gene expression profiling of cytochrome P450 monooxygenases in phosphine-resistant stored-product insects / Z. Chen, R. W. Beeman, M. E. Scharf // Insect Molecular Biology. – 2024. – Vol. 33. – № 1. – P. 45–58.
 9. Salvini, P. Genetic conservation of phosphine resistance in the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.) / P. Salvini, B. Davey, H. Cheng // PLoS Genetics. – 2016. – Vol. 12. – № 4. – P. e1005985.
 10. Queensland Grain Storage and Pest Management Research // Department of Agriculture and Fisheries, Queensland. – Brisbane: Final Report, 2017. – 285 p.

References

1. Zakladnoy, G. A. Pervoe obnaruzhenie rezistentnosti prirodnoy populyatsii risovogo dolgonosika *Sitophilus oryzae* (L.) k fosfinu v Rossii [First detection of phosphine resistance in a field population of the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.) in Russia] / G. A. Zakladnoy // Entomologicheskoe obozrenie [Entomological Review]. – 2020. – Vol. 99. – № 3. – P. 535–539.
2. Kim, S. J. Transcriptome profiling and in silico docking analysis of phosphine resistance in rice weevil, *Sitophilus oryzae* (Coleoptera: Curculionidae) / S. J. Kim, J. H. Lee, K. Park // Journal of Insect Science. – 2023. – Vol. 23. – № 6. – P. 29.
3. Liu, X. Temperature-dependent toxicity of phosphine to stored grain insects / X. Liu, J. Liang, Z. Li // Pest Management Science. – 2022. – Vol. 78. – № 1. – P. 123–130.
4. Nayak, M. Influence of developmental stages on phosphine susceptibility of stored product beetles / M. Nayak, P. J. Collins // Journal of Economic Entomology. – 2018. – Vol. 111. – № 2. – P. 608–613.
5. Redkin, D. A. Fosfin – vzglyad na problemu globalnoy rezistentnosti [Phosphine – looking at the problem of global resistance] / D. A. Redkin, V. V. Lebedev, R. R. Galimov, O. V. Fedorov // Zashchita i karantin rasteniy [Plant Protection and Quarantine]. – 2023. – № 5. – P. 12–18.
6. Hagstrum, D. W. Stored-product insect taxonomy and management: Current status and future directions / D. W. Hagstrum, B. Subramanyam, S. Deshwal // Journal of Stored Products Research. – 2020. – Vol. 89. – P. 101713.
7. Scharf, M. E. Minimization of energy transduction confers resistance to phosphine in the rice weevil, *Sitophilus oryzae* / M. E. Scharf, A. A. Hamood // Nature. – 2019. – Vol. 574. – № 7777. – P. 318–321.
8. Chen, Z. Gene expression profiling of cytochrome P450 monooxygenases in phosphine-resistant stored-product insects / Z. Chen, R. W. Beeman, M. E. Scharf // Insect Molecular Biology. – 2024. – Vol. 33. – № 1. – P. 45–58.
9. Salvini, P. Genetic conservation of phosphine resistance in the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.) / P. Salvini, B. Davey, H. Cheng // PLoS Genetics. – 2016. – Vol. 12. – № 4. – P. e1005985.
10. Queensland Grain Storage and Pest Management Research // Department of Agriculture and Fisheries, Queensland. – Brisbane: Final Report, 2017. – 285 p.

Информация об авторе:

Маликов Виталий Валерьевич – аспирант Всероссийского центра карантина растений (140150, Российская Федерация, Московская область, г. о. Раменский, р. п. Быково, ул. Пограничная, д. 32; e-mail: malikoff@inbox.ru).

About the author:

Vitaly V. Malikov – Postgraduate Student at the All-Russian Plant Quarantine Centre (32 Pogranchnaya str., Bykovo workers settlement, Ramensky urban district, Moscow Region, 140150, Russian Federation; e-mail: malikoff@inbox.ru).

Для цитирования:

Маликов, В. В. Факторы эффективности фосфина при фумигации зерновых запасов / В. В. Маликов // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Сельскохозяйственные науки». – 2026. – № 1 (86). – С. 68–72.

For citation:

Malikov, V. V. Faktory effektivnosti fosfina pri fumigatsii zernovykh zapasov [Efficiency factors of phosphine in stored grain fumigation] / V. V. Malikov // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Agricultural Sciences". – 2026. – № 1 (86). – P. 68–72.

Дата поступления рукописи: 23.01.2026

Прошла рецензирование: 26.01.2026

Принято решение о публикации: 16.02.2026

Received: 23.01.2026

Reviewed: 26.01.2026

Accepted: 16.02.2026