

## Оценка резистентности природных популяций вредителей зерновых запасов к фосфину

В. В. Маликов

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

### Аннотация

В современных условиях одна из важных задач государства – самообеспеченность зерновыми запасами, а для этого немаловажным фактором является сохранность зерна при сведении к минимуму его потерь и порчи от насекомых-вредителей.

Результаты последних исследований показали, что один из эффективных способов избавления от вредителей зерновых запасов – это применение газа фосфина. В России широкое распространение фосфин получил с начала 90-х гг. XX в.

В статье приведены итоги изучения устойчивости к фосфину всех стадий развития булавоусого хрущака (*Tribolium castaneum*), личинок капрового жука (*Trogoderma granarium* Ev.), имаго амбарного долгоносика (*Sitophilus granaries* L.). Исследования позволили установить очень тесную связь между смертностью всех стадий развития *Tribolium castaneum* природной и лабораторной популяций от концентрации фосфина. Также было доказано, что ростовская популяция всех стадий развития булавоусого хрущака более устойчива, чем лабораторная. При этом стадии имаго лабораторной и ростовской популяций обладают меньшей устойчивостью к фосфину, чем стадии яйца.

В ходе эксперимента установлена сильная связь между смертностью активных личинок природной и лабораторной популяций *Trogoderma granarium* Ev. от концентрации фосфина. В ходе пробит-анализа также определено, что петербургская популяция активных личинок капрового жука более устойчива, чем лабораторная, причем их устойчивость снижается по мере увеличения времени экспозиции.

Экспериментальными исследованиями установлена и математически описана зависимость смертности имаго природной и лабораторной популяции *Sitophilus granaries* L. от концентрации фосфина. Показатель резистентности к фосфину у имаго ставропольской, краснодарской и тамбовской популяций составил 1,5; 1,4 и 1,6 соответственно.

### Ключевые слова:

булавоусый хрущак, карповый жук, амбарный долгоносик, экспозиция, лабораторная популяция, фосфин, резистентность, имаго, смертность, концентрация

## Resistance assessment of natural populations of grain reserves pest to phosphine

V. V. Malikov

All-Russian Plant Quarantine Centre,  
Moscow Region, Ramenskiy  
malikoff@inbox.ru

### Abstract

In modern conditions, one of the most important tasks of the state is self-sufficiency in grain reserves. In this context, not least essential is the safety of grain while minimizing its losses and damage by insect pests.

According to resent investigations results, one of the efficient means against pests of grain reserves is the phosphine gas. Phosphine has been widely used in Russia since the early 90s of the XX century.

The article presents the study results on resistance to phosphine of the fusty flour beetle (*Tribolium castaneum*), larvae of the khapra beetle (*Trogoderma granarium* Ev.), imago of the wheat weevil (*Sitophilus granaries* L.) at every development stage.

We have estimated a very close dependence of the mortality of *Tribolium castaneum* at any development stage in natural and laboratory populations on the concentration of phosphine. The Rostov population of the mace-eared crustacean is better resistant to phosphine than the laboratory population at any development stage. At the same time, imago of both laboratory and Rostov populations are not as resistant to the action of the insecticide as the egg stage.

The study has identified a strong correlation between the mortality of active larvae in both natural and laboratory populations of *Trogoderma granarium* Ev. on one hand and the concentration of phosphine on the other. By the probit analysis results, the Petersburg population of active larvae of the khapra beetle is better resistant than the laboratory population, but their resistance will decrease as the exposure time increases.

Experimentally studied and mathematically described is the dependence of adult mortality in natural and laboratory populations of *Sitophilus granaries* L. on the concentration of phosphine. The resistance index to phosphine in imago of the Stavropol, Krasnodar and Tambov populations is 1.5; 1.4 and 1.6, respectively.

### Keywords:

fusty flour beetle, khapra beetle, wheat weevil, exposure, laboratory and natural populations, phosphine, resistance, imago, mortality, concentration

Потери зерна – большая проблема не только для России, но и для всего мира. В некоторых странах она достигает 50 %. Основная угроза для зерна – это насекомые-вредители, которые не только повреждают зёрна, что приводит к потере массы и снижению качества и жизнеспособности, но и делают зерно ядовитым.

Одним из опасных насекомых-вредителей для зерна является булавоусый хрущак (*Tribolium castaneum*). По данным Г. А. Закладного [1, с. 162], после месячного обитания жука в зерне пшеницы с массой 1 тыс. зерен 39,8 г при температуре +27 °С потери зерна составили 10 %. В среднем на стадии имаго это 0,15±0,01 мг за сутки, а на стадии развития личинки – 3,32±0,11 мг. Подобные исследования были проведены в Бухарском инженерно-технологическом институте [2, с. 27], где изучали влияние булавоусого хрущака на массу зерна пшеницы четвертого типа с содержанием сорной и зерновой примесей 0,2 и 6,0 % соответственно при температуре воздуха +2 °С. В результате исследований установлено, что в процессе жизнедеятельности данного вредителя масса сырья снижается на 37 %. Дальнейшее увеличение времени хранения привело к повышению потерь зерна до 92 %. Следовательно, булавоусый хрущак способен уничтожить от 10 до 37 % зерна, а при увеличении сроков хранения эти цифры могут повышаться в несколько раз. Для уничтожения насекомых разрабатывают и используют различные средства.

При проведении исследований использовали все стадии развития булавоусого хрущака *Tribolium castaneum*. Имаго ростовской популяции были помещены в лаборатории на зерновые запасы влажностью 15 %, которые на протяжении двух месяцев содержались в термостате при температуре +25 °С в целях получения в нужном количестве всех стадий развития *Tribolium castaneum* для проведения опытов.

Имаго лабораторной популяции были взяты из лабораторной культуры, содержащиеся в лаборатории без контакта с химическими веществами на протяжении свыше 55 лет.

Резистентность всех стадий развития булавоусого хрущака *Tribolium castaneum* к фосфину оценивали по экспресс-методу Detia Degesch. Внутрь пластиковой емкости объемом 5 л наливали воду в количестве 50 мл и помещали две пеллеты фосфида магния [3, с. 85] по 1 г каждая.

Яйца, личинки, куколки и имаго *Tribolium castaneum* фумигировали в стеклянных сосудах при различных концентрациях фосфина при температуре +25 °С и экспозиции 24 ч.

Температуру регулировали, помещая сосуды в термостаты. Необходимую относительную влажность воздуха (далее – ОВВ) создавали, наливая на дно сосудов растворы солей. После окончания экспозиции определяли количество погибших личинок.

Результаты оценки смертности для разных стадий развития лабораторной популяции после фумигации фосфином при различных концентрациях фосфина представлены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что самой чувствительной стадией к фосфину лабораторной популяции *Tribolium castaneum* является стадия имаго. Их гибель отмечена при концентрации фосфина 15 мг/м<sup>3</sup>; гибель всех имаго произошла в диапазоне 15–35 мг/м<sup>3</sup>.

Для стадии яйца лабораторной популяции *Tribolium castaneum* характерна заметно выраженная повышенная устойчивость к фосфину. Самые чувствительные яйца начинают погибать при концентрации фосфина 300 мг/м<sup>3</sup>; гибель всех яиц лабораторной популяции *Tribolium castaneum* зафиксирована в диапазоне 300–650 мг/м<sup>3</sup>.

Самые чувствительные куколки и личинки лабораторной популяции *Tribolium castaneum* начинают погибать при концентрациях фосфина 26 и 33 мг/м<sup>3</sup> соответственно. При этом гибель всех куколок происходит в более узком диапазоне (26–74 мг/м<sup>3</sup>), нежели гибель личинок (33–103 мг/м<sup>3</sup>). Отсюда можно заключить, что куколки менее устойчивы к фосфину, чем личинки.

Результаты оценки смертности для разных стадий развития ростовской популяции *Tribolium castaneum* после

Таблица 1  
Смертность для разных стадий развития лабораторной популяции *Tribolium castaneum* после фумигации фосфином

Table 1  
Mortality rates of different development stages of the laboratory population of *Tribolium castaneum* after phosphine fumigation

Яйцо		Личинка		Куколка		Имаго	
Концентрация фосфина, мг/м <sup>3</sup>	Смертность, %	Концентрация фосфина, мг/м <sup>3</sup>	Смертность, %	Концентрация фосфина, мг/м <sup>3</sup>	Смертность, %	Концентрация фосфина, мг/м <sup>3</sup>	Смертность, %
230	0	17	0	20	0	5	0
240	0	20	0	23	0	10	0
250	0	23	0	26	5	15	54
300	6	33	30	35	66	20	82
350	77	43	64	44	83	25	97
450	88	53	85	54	90	30	99
550	95	68	91	64	95	35	100
625	98	83	94	69	99	40	100
650	100	98	98	74	100	45	100
670	100	103	100	77	100	-	-
690	100	110	100	80	100	-	-

Смертность для разных стадий развития ростовской популяции *Tribolium castaneum* после фумигации фосфиномMortality rates of different development stages of the Rostov population of *Tribolium castaneum* after phosphine fumigation

Яйцо		Личинка		Куколка		Имаго	
Концентрация фосфина, мг/м <sup>3</sup>	Смертность, %	Концентрация фосфина, мг/м <sup>3</sup>	Смертность, %	Концентрация фосфина, мг/м <sup>3</sup>	Смертность, %	Концентрация фосфина, мг/м <sup>3</sup>	Смертность, %
230	0	17	0	20	0	5	0
240	0	20	0	23	0	10	0
250	0	23	0	26	0	15	0
300	0	33	0	35	0	20	37
350	10	43	17	44	8	25	55
450	65	53	50	54	49	30	61
550	70	68	59	64	64	35	79
625	85	83	76	69	76	40	90
650	89	98	81	74	80	45	95
670	90	103	89	77	88	-	-
690	92	110	92	80	90	-	-

фумигации фосфином при различных концентрациях фосфина представлены в табл. 2.

Из табл. 2 следует, что самой чувствительной стадией к фосфину ростовской популяции *Tribolium castaneum* является стадия имаго, так же как и лабораторной популяции. Однако, если для лабораторной популяции имаго начинают погибать, как было сказано выше, при концентрации 15 мг/м<sup>3</sup>, то для ростовской популяции требуется большая концентрация фосфина – 20 мг/м<sup>3</sup>. Часть имаго ростовской популяции *Tribolium castaneum* демонстрируют свою стойкость при максимальной концентрации фосфина – 45 мг/м<sup>3</sup> (при смертности всех имаго лабораторной популяции в диапазоне 15–35 мг/м<sup>3</sup>).

Так же, как и в случае с лабораторной популяцией, ростовская популяция стадии яйца наиболее устойчивая из всех стадий развития *Tribolium castaneum* после фумигации фосфином. Наименее устойчивые яйца ростовской *Tribolium castaneum* начинают погибать при концентрации фосфина 350 мг/м<sup>3</sup>; для лабораторной же популяции требуется концентрация фосфина на 50 мг/м<sup>3</sup> меньше, чем для ростовской. Наиболее устойчивые яйца ростовской популяции *Tribolium castaneum* демонстрируют свою стойкость при максимальной концентрации фосфина 690 мг/м<sup>3</sup>, в то время как все яйца лабораторной популяции погибают в диапазоне 300–650 мг/м<sup>3</sup>.

Личинки ростовской популяции *Tribolium castaneum* начинают погибать при концентрации фосфина 43 мг/м<sup>3</sup>, а куколки – при концентрации 44 мг/м<sup>3</sup> (для лабораторной популяции: личинки начинают гибнуть при концентрации 43 мг/м<sup>3</sup>, а куколки – при 26 мг/м<sup>3</sup>). Также следует отметить, что некоторые личинки ростовской популяции устойчиво переносят максимальную концентрацию фосфина (110 мг/м<sup>3</sup>) при смертности всех личинок лабораторной популяции в диапазоне 33–103 мг/м<sup>3</sup>. Наиболее устойчивые куколки ростовской популяции *Tribolium castaneum* демонстрируют свою стойкость при максимальной концентрации фосфина 80 мг/м<sup>3</sup> при смертности всех куколок лабораторной популяции в диапазоне 26–74 мг/м<sup>3</sup>.

Чтобы определить взаимосвязь между концентрацией фосфина и гибелью *Tribolium castaneum* на разных стадиях его развития был использован пробит-анализ. Для его проведения понадобилось перевести значения концентраций фосфина в десятичные логарифмы, а значения смертности *Tribolium castaneum* – в значения пробитов. Преобразованные данные представлены в табл. 3 и 4 для лабораторной и ростовской популяций соответственно.

Используя данные табл. 3 и 4, были построены уравнения регрессии резистентности к фосфину разных стадий развития *Tribolium castaneum* лабораторной и ростовской популяций, установлена сила связи между данными показателями и рассчитана смертельная концентрация фосфина, вызывающая гибель 99,9 % *Tribolium castaneum* на разных стадиях развития (СК-99,9) (табл. 5).

Согласно данным, приведенным в табл. 5, между смертностью *Tribolium castaneum* на разных стадиях развития и концентрацией фосфина выявлена очень тесная связь, поскольку коэффициент корреляции во всех случаях стремится к 1.

Что касается резистентности популяций к фосфину на разных стадиях развития, то о ней позволяет сделать вывод смертельная концентрация фосфина, вызывающая гибель 99,9 % *Tribolium castaneum* на разных стадиях развития (СК-99,9).

В ходе опытов установлено, что для стадии яйца *Tribolium castaneum* лабораторной популяции смертельная концентрация фосфина, вызывающая отмирание 99,9 % яиц, составила 651,48 мг/м<sup>3</sup>. Ростовская популяция оказалась более устойчивой к фосфину, для нее смертельная концентрация фосфина, вызывающая отмирание 99,9 % яиц, составила 841, мг/м<sup>3</sup>, что свидетельствует об устойчивости перед лабораторной популяцией в 1,3 раза.

Для стадии личинки *Tribolium castaneum* лабораторной популяции смертельная концентрация фосфина, вызывающая отмирание 99,9 % личинок, составила 103,28 мг/м<sup>3</sup>. Ростовская в 1,5 раз более устойчива к фосфину, чем лабораторная.

Таблица 3

Преобразованные данные концентраций фосфина и смертности разных стадий развития *Tribolium castaneum* лабораторной популяции

Table 3

Converted data on phosphine concentrations and mortality rates of different developmental stages of *Tribolium castaneum* laboratory population

Яйцо		Личинка		Куколка		Имаго	
Концентрация фосфина (X)	Смертность (Y)	Концентрация фосфина (X)	Смертность (Y)	Концентрация фосфина (X)	Смертность (Y)	Концентрация фосфина (X)	Смертность (Y)
2,3617	0	1,2304	0	1,3010	0	0,6990	0
2,3802	0	1,3010	0	1,3617	0	1,0000	0
2,3979	0	1,3617	0	1,4150	3,36	1,1761	5,1
2,4771	3,45	1,5185	4,48	1,5441	5,41	1,3010	5,92
2,5441	5,74	1,6335	5,36	1,6435	5,95	1,3979	6,55
2,6532	6,18	1,7243	6,04	1,7324	6,28	1,4771	6,88
2,7404	6,64	1,8325	6,34	1,8062	6,64	1,5441	7,33
2,7959	7,05	1,9191	6,55	1,8388	7,33	1,6021	8,09
2,8129	8,09	1,9912	7,05	1,8692	8,09	1,6532	8,09
2,8261	8,09	2,0128	8,09	1,8865	8,09	-	-
2,8388	8,09	2,0414	8,09	1,9031	8,09	-	-

Таблица 4

Преобразованные данные концентраций фосфина и смертности разных стадий развития *Tribolium castaneum* ростовской популяции

Table 4

Converted data on phosphine concentrations and mortality rates of different developmental stages of *Tribolium castaneum* Rostov population

Яйцо		Личинка		Куколка		Имаго	
Концентрация фосфина (X)	Смертность (Y)	Концентрация фосфина (X)	Смертность (Y)	Концентрация фосфина (X)	Смертность (Y)	Концентрация фосфина (X)	Смертность (Y)
2,3617	0	1,2304	0	1,3010	0	0,6990	0
2,3802	0	1,3010	0	1,3617	0	1,0000	0
2,3979	0	1,3617	0	1,4150	0	1,1761	0
2,4771	0	1,5185	0	1,5441	0	1,3010	4,67
2,5441	3,72	1,6335	4,05	1,6435	3,59	1,3979	5,13
2,6532	5,39	1,7243	5	1,7324	4,97	1,4771	5,28
2,7404	5,52	1,8325	5,23	1,8062	5,36	1,5441	5,81
2,7959	6,04	1,9191	5,71	1,8388	5,71	1,6021	6,28
2,8129	6,23	1,9912	5,88	1,8692	5,84	1,6532	6,64
2,8261	6,28	2,0128	6,23	1,8865	6,18	-	-
2,8388	6,41	2,0414	6,41	1,9031	6,28	-	-

Таблица 5

Статистические показатели резистентности к фосфину лабораторной и ростовской популяций *Tribolium castaneum* на разных стадиях развития

Table 5

Statistical resistance indices to phosphine of laboratory and Rostov populations of *Tribolium castaneum* at different development stages

Стадия развития	Популяция	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции, r	СК-99,9, мг/м <sup>3</sup>	Показатель резистентности
Яйцо	Лабораторная	$Y=16,7833x-39,1368$	0,958	651,48	1,0
	«Ростовская»	$Y=14,6928x-34,9072$	0,965	844,1	1,3
Личинки	Лабораторная	$Y=10,3094x-12,6736$	0,960	103,28	1,0
	«Ростовская»	$Y=9,0627x-11,7957$	0,953	156,39	1,5
Куколки	Лабораторная	$Y=12,8037x-15,9170$	0,956	74,99	1,0
	«Ростовская»	$Y=12,1192x-16,7153$	0,963	111,38	1,5
Имаго	Лабораторная	$Y=9,6367x-7,3600$	0,950	40,11	1,0
	«Ростовская»	$Y=8,3747x-7,2705$	0,909	68,25	1,7

Те же выводы можно применить и относительно стадии «куколка», устойчивость ростовской популяции превосходит устойчивость лабораторной популяции в 1,5 раза (смертельная концентрация фосфина, вызывающая отмирание 99,9 % куколок лабораторной популяции, составила 74,99 мг/м<sup>3</sup>, а для ростовской – 111,38 мг/м<sup>3</sup>).

Смертельная концентрация фосфина, вызывающая отмирание 99,9 % имаго *Tribolium castaneum* лабораторной популяции, составила 40,11 мг/м<sup>3</sup>. Для имаго *Tribolium castaneum* ростовской популяции смертельная концентрация фосфина, вызывающая отмирание 99,9 %, составила 68,25 мг/м<sup>3</sup>.

превысила лабораторную популяцию в 1,7 раз и составила 68,25 мг/м<sup>3</sup>.

Таким образом, из вышесказанного можно сделать вывод, что и для лабораторной, и ростовской популяций *Tribolium castaneum* стадия яйца обладает повышенной устойчивостью к фосфину, чего нельзя сказать о стадии имаго.

Также следует отметить, что на всех стадиях развития *Tribolium castaneum* ростовская популяция более устойчива к фосфину, чем лабораторная.

Далее проведено исследование устойчивости личинок капрового жука (*Trogoderma granarium* Ev.) – самого опасного из вредителей зернохранилищ, включенного в Перечень карантинных вредителей в нашей стране в 1935 г., к фосфину.

Капровый жук чрезвычайно многояден. Вредят личинки, а жуки всю свою короткую жизнь не питаются. Вредоносность личинок зарегистрирована более чем на 60 видах различных растительных продуктов. Наиболее сильные повреждения они причиняют хранящемуся зерну и зернопродуктам, семенам кукурузы, зернобобовых, масличных, бахчевых и других культур.

Капровый жук способен давать вспышки массового размножения, нередко вызывающие потери в 25 % хранящегося зерна. Известны случаи уничтожения личинками и до 70 % всей продукции [4, с. 74].

Вредоносность капрового жука обусловлена целым рядом его биологических особенностей. Он очень вынослив, способен переносить температуру выше 44,2 °С и выживать при минус 10 °С. При полном отсутствии пищи личинки могут длительное время голодать [5, с. 38].

Развитие капрового жука зависит от количества и качества пищи и температурного режима. При неблагоприятных условиях личинки впадают в состояние покоя (диапаузу), которое может длиться годами. Диапаузирующие личинки особенно устойчивы к различным фумигантам [6, с. 82].

Последний случай обнаружения капрового жука в России приходится на октябрь 2023 г., когда в Санкт-Петербурге в морском порту при проведении карантинного фитосанитарного контроля 260 т риса Россельхознадзором выявлен капровый жук [7].

Для эффективной борьбы с личинками *Trogoderma granarium* Ev. в случае их обнаружения важно установить зависимость смертности активных личинок природной и лабораторной популяций от химических веществ, а именно от фосфина в различных концентрациях.

Для проведения исследований использовали активные личинки *Trogoderma granarium* Ev., собранные в морском порту г. Санкт-Петербурга.

Личинки лабораторной популяции были взяты из лабораторной культуры, содержащиеся в лаборатории без контакта с химическими веществами на протяжении свыше 55 лет.

Активные личинки *Trogoderma granarium* Ev. фумигировали в стеклянных сосудах при различных концентрациях фосфина и разных экспозициях.

Температуру регулировали, помещая сосуды в термостаты. Необходимую ОВВ создавали, наливая на дно сосу-

дов растворы солей. После окончания экспозиции определяли количество погибших личинок.

Результаты оценки смертности личинок лабораторной и петербургской популяций *Trogoderma granarium* Ev. при температуре +26 °С после фумигации фосфином представлены в табл. 6 и 7 соответственно.

Из табл. 6 видно, что при увеличении концентрации фосфина наблюдалось сокращение экспозиции, при которой отмечалась массовая гибель личинок лабораторной популяции. Следует отметить, что при концентрации фосфина 10 мг/м<sup>3</sup> при экспозиции пять суток смертность личинок лабораторной популяции *Trogoderma granarium* Ev. составила лишь 14 %.

Увеличение концентрации фосфина до 15 мг/м<sup>3</sup> способствовало росту гибели личинок лабораторной популяции до 48 % на пятые сутки экспозиции. При применении концентрации фосфина 20–30 мг/м<sup>3</sup> и увеличении экспозиции газации отмечается гибель большей доли личинок лабораторной популяции *Trogoderma granarium* Ev., однако 100%-ной гибели личинок на пятые сутки достичь не удалось.

Таблица 6

Смертность личинок лабораторной популяции *Trogoderma granarium* Ev. при температуре +26 °С после фумигации фосфином

Table 6

Mortality of larvae of *Trogoderma granarium* Ev. laboratory population at 26 °C after phosphine fumigation

Концентрация фосфина, мг/м <sup>3</sup>	Смертность личинок (%) при экспозиции газации (сут.)				
	1	2	3	4	5
10	0	0	0	9	14
15	0	0	10	17	48
20	0	3	30	37	88
25	3	11	60	90	92
30	10	44	71	96	99
40	43	82	84	99	100
60	82	91	95	100	-
80	90	97	100	100	-
100	96	100	100	-	-
120	100	100	-	-	-

Таблица 7

Смертность личинок петербургской популяции *Trogoderma granarium* Ev. при температуре +26 °С после фумигации фосфином

Table 7

Mortality of larvae of *Trogoderma granarium* Ev. Petersburg population at 26 °C after phosphine fumigation

Концентрация фосфина, мг/м <sup>3</sup>	Смертность личинок (%) при экспозиции газации (сут.)				
	1	2	3	4	5
10	0	0	0	0	8
15	0	0	0	7	30
20	0	0	10	14	76
25	0	7	28	60	87
30	5	10	56	77	93
40	30	39	63	84	94
60	50	57	76	87	-
80	57	74	82	90	-
100	68	80	85	-	-
120	80	83	-	-	-



Для полной гибели личинок лабораторной популяции при фумигации фосфином в концентрации 40 мг/м<sup>3</sup> потребовалось пять суток. Увеличение концентрации фосфина до 60 мг/м<sup>3</sup> обеспечило 100%-ную гибель личинок в течение четырех суток; до 80 – в течение трех; до 100 и 120 мг/м<sup>3</sup> – в течение двух суток.

Согласно данным табл. 7, можно заключить, что гибель личинок петербургской популяции так же, как и в случае личинок лабораторной популяции *Trogoderma granarium* Ev., возрастает при увеличении концентрации фосфина и сокращении экспозиции. Однако 100%-ной гибели личинок петербургской популяции *Trogoderma granarium* Ev. при увеличении концентрации фосфина до максимума (120 мг/м<sup>3</sup>) и сокращении экспозиции достичь не удалось, это говорит о том, что личинки петербургской популяции

вызывающей гибель 99,9 % личинок в популяции (СК-99,9) (табл. 9).

Из табл. 9 видно, что связь между смертностью личинок *Trogoderma granarium* Ev. и концентрацией фосфина очень сильная, о чем свидетельствуют значения коэффициентов корреляции.

О резистентности популяций к фосфину позволяет сделать вывод смертельная концентрация фосфина, вызывающая гибель 99,9 % личинок в популяции (СК-99,9).

Следует отметить, что для лабораторной популяции смертельная концентрация фосфина, вызывающая отмирание 99,9 % личинок *Trogoderma granarium* Ev., ниже, чем для петербургской популяции. Причем с увеличением времени экспозиции устойчивость петербургской популяции личинок *Trogoderma granarium* Ev. к фосфину снижается:

Таблица 8

Значения концентраций фосфина, переведенные в десятичные логарифмы, и значения смертности личинок *Trogoderma granarium* Ev., переведенные в соответствующие значения пробитов

Table 8

Phosphine concentration values converted to decimal logarithms and *Trogoderma granarium* Ev. larval mortality values converted to the corresponding probit values

Концентрация фосфина (X)	Смертность личинок по популяциям (Y) при экспозиции газа (сут.)									
	1		2		3		4		5	
	Лабораторная популяция	Петербургская популяция	Лабораторная популяция	Петербургская популяция	Лабораторная популяция	Петербургская популяция	Лабораторная популяция	Петербургская популяция	Лабораторная популяция	Петербургская популяция
1,0000	0	0	0	0	0	0	3,66	0	3,92	3,59
1,1761	0	0	0	0	3,72	0	4,05	3,52	4,95	4,48
1,3010	0	0	3,12	0	4,48	3,72	4,67	3,92	6,18	5,71
1,3979	3,12	0	3,77	3,52	5,25	4,42	6,28	5,25	6,41	6,13
1,4771	3,72	3,36	4,85	3,72	5,55	5,15	6,75	5,74	7,33	6,48
1,6021	4,82	4,48	5,92	4,72	5,99	5,33	7,33	5,99	8,09	6,55
1,7782	5,92	5	6,34	5,18	6,64	5,71	8,09	6,13	-	-
1,9031	6,28	5,18	6,88	5,64	8,09	5,92	8,09	6,28	-	-
2,0000	6,75	5,47	8,09	5,84	8,09	6,04	-	-	-	-
2,0792	8,09	5,84	8,09	5,95	-	-	-	-	-	-

более устойчивы к фосфину по сравнению с лабораторной популяцией.

Для определения силы взаимосвязи между концентрацией фосфина и гибелью личинок *Trogoderma granarium* Ev. был проведен пробит-анализ. Для этого значения концентраций фосфина, представленные в табл. 6 и 7, были переведены в десятичные логарифмы, а значения смертности личинок *Trogoderma granarium* Ev. – в соответствующие значения пробитов. Преобразованные данные представлены в табл. 8, на основании которой построены уравнения регрессии.

Используя преобразованные данные концентраций фосфина и смертности личинок *Trogoderma granarium* Ev. в программе Microsoft Excel были построены уравнения регрессии резистентности к фосфину личинок лабораторной и петербургской популяций *Trogoderma granarium* Ev. и произведен расчет смертельной концентрации фосфина,

Таблица 9

Статистические показатели резистентности к фосфину лабораторной и петербургской популяций личинок *Trogoderma granarium* Ev. в зависимости от времени экспозиции газа

Table 9

Statistical resistance indices to phosphine of laboratory and Petersburg populations of *Trogoderma granarium* Ev. larvae depending on the fumigation exposure time

Время экспозиции, сут.	Популяция	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции, r	СК-99,9, мг/м <sup>3</sup>	Показатель резистентности личинок
1	Лабораторная	Y=8,0341x-8,7553	0,965	124,94	1,0
	Петербургская	Y=6,6217x-7,4728	0,923	224,03	1,9
2	Лабораторная	Y=7,8917x-7,6955	0,966	100,07	1,0
	Петербургская	Y=6,5908x-6,9346	0,905	190,37	1,9
3	Лабораторная	Y=6,9554x-5,2256	0,943	82,11	1,0
	Петербургская	Y=6,2889x-5,4958	0,880	144,64	1,8
4	Лабораторная	Y=5,8224x-2,3806	0,948	62,85	1,0
	Петербургская	Y=6,1629x-4,3597	0,876	104,74	1,7
5	Лабораторная	Y=7,0152x-3,1534	0,994	40,06	1,0
	Петербургская	Y=5,3665x-1,6245	0,967	64,60	1,6

в первые и вторые сутки экспозиции устойчивость петербургской популяции личинок к фосфину в 1,9 раз превышала устойчивость лабораторной популяции; третьи – в 1,8; четвертые – в 1,7; в пятые – в 1,6 раз.

Таким образом, следует отметить, что чем выше концентрация фосфина, тем короче эффективная экспозиция газации.

Далее проведено исследование устойчивости имаго четырех популяций амбарных долгоносиков *Sitophilus granaries* L. (лабораторной, ставропольской, краснодарской и тамбовской) к фосфину.

Имаго ставропольской, краснодарской и тамбовской популяций были собраны на агрофирмах Ставропольского и Краснодарского краев, Тамбовской области, помещены в лаборатории на зерновые запасы влажностью 15 %, которые на протяжении двух месяцев содержали в термостате при температуре выше 25 °С в целях получения в нужном количестве имаго-потомков первой популяции для проведения опытов.

Имаго лабораторной популяции были взяты из лабораторной культуры, содержащиеся в лаборатории без контакта с химическими веществами на протяжении свыше 55 лет.

Отбор имаго для опыта осуществлялся без разделения по полу и возрасту. После чего имаго *Sitophilus granaries* L. помещали в стеклянные капсулы, наполненные небольшим количеством зерна.

Резистентность имаго к фосфину оценивали по экспресс-методу Detia Degesch. Внутрь пластиковой емкости объемом 5 л наливали воду в количестве 50 мл и помещали две таблетки фосфида магния по 1 г каждая.

После полного разложения препарата приступали к измерению концентрации фосфина, используя индикаторную трубку. Внутрь герметичного шприца объемом 100 мл помещали 30 взрослых имаго *Sitophilus granaries* L.

Шприцем с находящимися внутри имаго путем прокола гибкой трубочкой отбирали необходимый объем газа и переносили в стеклянные банки через резиновые трубочки на их крышках. До того, как ввести газ, в банках создавали небольшое разрежение, после чего выравнивали в них давление с атмосферным.

Количество вводимого в фумигационную камеру газа обеспечивало его необходимую концентрацию. Опыт предполагал исследование смертности имаго при 11 концентрациях фосфина: 25, 30, 35, 40, 50, 70, 90, 110, 120, 125, 130 мг/м<sup>3</sup> в трех повторностях, в каждой из которых использовалось по 30 имаго *Sitophilus granaries* L.

Фумигационные камеры содержали в термостатах при температуре +25 °С. Температуру регулировали, помещая сосуды в термостаты. Необходимую ОВВ создавали, наливая на дно сосудов растворы солей.

Спустя 24 ч экспозиции, осуществляли дегерметизацию и дегазирование банок с имаго. После чего через сутки в опытных и контрольных вариантах проводили оценку состояния имаго, опре-

деляя процент живых и мертвых насекомых. Следующим необходимым этапом явилась статистическая обработка результатов исследований. Для этого была рассчитана средняя смертность имаго из трех повторностей опыта в процентах, которые были переведены в пробиты смертности; концентрация фосфина – в десятичные логарифмы. С помощью пробит-анализа установлена зависимость смертности лабораторной и природной популяций имаго *Sitophilus granaries* L. от концентрации фосфина. На основе построенного уравнения регрессии произведен расчет СК-99,9 – концентрации, при которой погибает 99,9 % популяции имаго в течение 24 ч экспозиции при температуре +25 °С и ОВВ 75 %.

Результаты оценки смертности лабораторной, ставропольской, краснодарской и тамбовской популяций амбарного долгоносика *Sitophilus granaries* L. после фумигации фосфином при 11 концентрациях фосфина представлены в табл. 10.

Из табл. 10 следует, что гибель самых чувствительных имаго лабораторной популяции отмечена при концентрации фосфина 40 мг/м<sup>3</sup>; гибель всех имаго – в диапазоне 40–120 мг/м<sup>3</sup>.

Следует отметить, что наиболее чувствительные имаго *Sitophilus granaries* L. природной популяции начинают погибать при концентрации фосфина 50 мг/м<sup>3</sup>, т. е. для данной популяции требуется более высокая концентрация фосфина, чем для лабораторной. Наиболее устойчивые имаго ставропольской, краснодарской и тамбовской популяций показали свою стойкость при максимальной концентрации фосфина (130 мг/м<sup>3</sup>).

Для наглядности представим данные в виде табл. 11, где переведем значения концентраций фосфина в десятичные логарифмы и обозначим X, а значения смертности имаго – в соответствующие значения пробитов и обозначим Y.

На основании данных табл. 11 в программе Microsoft Excel построим уравнение регрессии резистентности

Таблица 10

Смертность имаго лабораторной и природной популяций *Sitophilus granaries* L. после фумигации фосфином

Table 10

Mortality of adults of laboratory and natural populations of *Sitophilus granaries* L. after phosphine fumigation

Концентрация фосфина, мг/м <sup>3</sup>	Смертность имаго, %			
	Лабораторная популяция	Ставропольская популяция	Краснодарская популяция	Тамбовская популяция
25	0	0	0	0
30	0	0	0	0
35	0	0	0	0
40	11	0	0	0
50	78	15	20	14
70	89	72	76	57
90	93	77	80	66
110	97	81	85	72
120	100	82	84	77
125	100	84	87	80
130	100	86	90	83

Таблица 11  
Значения десятичных логарифмов для исследованных концентраций фосфина и пробитное значение от экспериментально установленного процента гибели имаго природной и лабораторной популяций *Sitophilus granaries* L.

Table 11  
Decimal logarithm values for the tested phosphine concentrations and probit values from the experimentally determined adult mortality percent of *Sitophilus granaries* L. natural and laboratory populations

Концентрация фосфина (X)	Смертность имаго (Y)			
	Лабораторная популяция	Ставропольская популяция	Краснодарская популяция	Тамбовская популяция
1,3979	0	0	0	0
1,4771	0	0	0	0
1,5441	0	0	0	0
1,6021	3,77	0	0	0
1,6990	5,77	3,96	4,16	3,25
1,8451	6,23	5,58	5,71	5,18
1,9542	6,48	5,74	5,84	5,41
2,0414	6,88	5,88	6,04	5,58
2,0792	8,09	5,92	5,99	5,74
2,0969	8,09	5,99	6,13	5,84
2,1139	8,09	6,08	6,28	5,95

Таблица 12  
Статистические показатели резистентности к фосфину лабораторной и природной популяций *Sitophilus granaries* L.

Table 12  
Statistical indices of resistance to phosphine in laboratory and natural populations of *Sitophilus granaries* L.

Популяции	Уравнение регрессии	Коэффициент корреляции, r	СК-99,9, мг/м <sup>3</sup>	Показатель резистентности имаго
Лабораторная	$Y=11,7443x-16,3395$	0,945	120,25	1,00
Ставропольская	$Y=10,0301x-14,5416$	0,941	180,47	1,5
Краснодарская	$Y=10,2481x-14,8441$	0,939	172,94	1,4
Тамбовская	$Y=9,6656x-14,0229$	0,944	194,00	1,6

к фосфину лабораторной, ставропольской, краснодарской и тамбовской популяций *Sitophilus granaries* L.

В табл. 12 приведены статистические показатели резистентности к фосфину лабораторной, ставропольской, краснодарской и тамбовской популяций *Sitophilus granaries* L.

С помощью полученных уравнений регрессии, представленных в табл. 12, можно определить концентрацию фосфина в мг/м<sup>3</sup>, которая вызывает отмирание любой доли популяции имаго в процентах, или определить смертность имаго в популяции для любой концентрации фосфина [8, с. 538].

Связь между смертностью имаго и концентрацией фосфина характеризуют коэффициенты корреляции, которые близки к максимуму – 1, что говорит об очень сильной связи.

Наибольший интерес представляет смертельная концентрация фосфина, вызывающая гибель 99,9 % имаго в популяции (СК-99,9), на основе которой можно сделать вывод о резистентности популяций к фосфину.

Из табл. 12 видно, что для лабораторной популяции смертельная концентрация фосфина, вызывающая отмирание 99,9 % особей имаго, составила 120,25 мг/м<sup>3</sup>. Наиболее устойчивыми к фосфину оказались имаго тамбовской популяции – в 1,6 раз больше, чем имаго лабораторной

популяции; смертельная концентрация фосфина, вызывающая отмирание 99,9 % особей имаго тамбовской популяции, составила 194 мг/м<sup>3</sup>.

Также в ходе опытов установлено, что для имаго ставропольской и краснодарской популяций смертельная концентрация фосфина, вызывающая отмирание 99,9 % имаго, составила 180,47 и 172,94 мг/м<sup>3</sup> соответственно. Это свидетельствует о превышении устойчивости имаго ставропольской и краснодарской популяций над устойчивостью имаго лабораторной популяции в 1,5 и в 1,4 раза соответственно.

Режимы фумигации фосфином зерна, включенные в нормативные документы, были установлены нами на основании изучения устойчивости к фосфину лабораторных популяций насекомых [9, с. 92], использованных в опыте в качестве эталона.

В государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации в 2020 г. [10], установлена нормативная величина произведения концентрации на время экспозиции (ПКЭ-99,9), равная 25 г·ч/м<sup>3</sup>, достигнув которую фумигируемый объект обеззараживается.

Специалисты, осуществляющие фумигацию зерновых запасов, должны контролировать концентрацию фосфина и производить расчет ПКЭ и по достижению нормативного значения 25 г·ч/м<sup>3</sup> прекратить экспозицию и провести дегазацию зерновых запасов.

Поскольку ставропольская, краснодарская и тамбовская популяции имаго *Sitophilus granaries* L. оказались более устойчивы к воздействию фосфина в 1,5, 1,4 и 1,6 раза, нежели

лабораторная популяция, для уничтожения насекомых данных популяций необходимо чтобы ПКЭ в 1,5, 1,4 и 1,6 раза превышал нормативное значение. То есть при ПКЭ, равным 37,5 г·ч/м<sup>3</sup> (25 × 1,5), 35 г·ч/м<sup>3</sup> (25 × 1,4) и 40 г·ч/м<sup>3</sup> (25 × 1,6), можно уничтожить имаго *Sitophilus granaries* L. ставропольской, краснодарской и тамбовской популяций.

Согласно исследованиям Г. А. Закладного, А. Л. Догадина [11, с. 39], в которых ученые отмечают удручающее состояние отечественных зерноскладов, мельзаводов и хлебоприемных предприятий по уровню герметичности, что не позволит достичь величины ПКЭ, равной 35, 37,5 и 40 г·ч/м<sup>3</sup>. Отсюда можно заключить бесполезность и опасность фумигации фосфином на агрофирмах в Ставропольском, Краснодарском краях и Тамбовской области, где были отобраны образцы имаго *Sitophilus granaries* L. для оценки их резистентности к фосфину.

Ее бесполезность объясняется неэффективностью любой фумигации фосфином зерна по причине недостаточной герметичности зернохранилищ, что приведет к большим утечкам фосфина, вследствие чего уничтожить насекомых в зерне не получится.

Опасность состоит в том, что каждая фумигация сделает насекомых более устойчивыми к фосфину. Это объясня-



ется тем, что выжившие самые устойчивые насекомые-родители, вследствие недостаточной концентрации фосфина по причине его утечки в последующих поколениях, дадут более резистентное к фосфину потомство.

Таким образом, в ходе исследований установлена сильная связь между смертностью различных популяций вредителей зерновых запасов и концентрацией фосфина. Также было доказано, что скорость воздействия фосфина зависит от реальной концентрации газа, времени экспозиции, вида зернового вредителя и стадии его развития.

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

## Источники и литература

1. Закладной, Г. А. Сколько зерна пшеницы кушают насекомые / Г. А. Закладной // Инновационные технологии производства и хранения материальных ценностей для государственных нужд. – 2017. – № 8 (8). – С. 160–166.
2. Юлдашева, Ш. Ж. Влияние амбарных вредителей на качество зерна пшеницы / Ш. Ж. Юлдашева // Наука и образование сегодня. – 2019. – № 2 (37). – С. 27–29.
3. Закладной, Г. А. Фосфин: монография / Г. А. Закладной. – Москва : ЦЕНТР ПОДГОТОВКИ СПЕЦИАЛИСТОВ, 2018. – 186 с.
4. Вредные организмы, имеющие карантинное фитосанитарное значение для Российской Федерации: справочник под ред. С. А. Данкверта [и др.]. – Воронеж : Научная книга, 2006. – С. 73–80.
5. Мордкович, Я. Б. Влияние длительности диапаузы личинок капрового жука на устойчивость к препаратам фосфина / Я. Б. Мордкович, Е. А. Соколов // Защита и карантин растений. – 2018. – № 8. – С. 37–38.
6. Монро, Н. А. Руководство по фумигации для борьбы с насекомыми / Н. А. Монро: сборник работ по вопросам карантина растений. – 1982. – № 10. – С. 80–216.
7. «В Петербург не пустили 260 тонн индийского риса – в нем нашли жуков» // Петербургский формат. – URL: <https://spbformat.ru/news/v-peterburg-ne-pustili-260-tonn-indijskogo-risa-v-nem-nashli-zhukov/> (дата обращения: 29.12.2023).
8. Закладной, Г. А. Первое обнаружение резистентности природной популяции рисового долгоносика *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera, Dry ophthoridae) к фосфину в России / Г. А. Закладной // Энтомологическое обозрение. – 2020. – Т. 99, № 3. – С. 535–539.
9. Закладной, Г. А. Биологические основы применения фосфина для борьбы с насекомыми – вредителями хлебных запасов / Г. А. Закладной, С. А. Желтова // Труды ВНИИЗ. – 1987. – № 109. – С. 87–93.
10. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 2020 год, утвержденный Минсельхозом России. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=750664#cD00kzTSityG SOV>. (дата обращения: 29.12.2023).
11. Закладной, Г. А. Проблемы при фумигации мельниц в России / Г. А. Закладной, А. Л. Догадин // Хлебопродукты. – 2014. – № 12. – С. 39.

## References

1. Zakladnoy, G. A. Skolko zerna pshenicy kushayut nasekomye [How many grains of wheat do insects eat] / G. A. Zakladnoy // Innovacionnyye tekhnologii proizvodstva i hraneniya materialnyh cennostey dlya gosudarstvennyh nuzhd [Innovative Production and Storage Technologies of Material Assets for State Needs]. – 2017. – № 8 (8). – P. 160–166.
2. Yuldasheva, Sh. Zh. Vliyanie ambarnykh vreditel'ey na kachestvo zerna pshenicy [The influence of barn pests on the quality of wheat grain] / Sh. Zh. Yuldasheva // Nauka i obrazovanie segodnya [Science and Education Today]. – 2019. – № 2 (37). – P. 27–29.
3. Zakladnoy, G. A. Fosfin. Monografiya [Phosphine. Monograph] / G. A. Zakladnoy. – Moscow : SPECIALIST TRAINING CENTER, 2018. – 186 p.
4. Vrednyye organizmy, imeyushchie karantinnoe fitosanitarnoe znachenie dlya Ros-sijskoj Federacii [Harmful organisms of quarantine phytosanitary importance for the Russian Federation] / Handbook edited by S. A. Dankvert et al. – Voronezh : Nauchnaya kniga, 2006. – P. 73–80.
5. Mordkovich, Ya. B. Vliyanie dlitel'nosti diapauzy lichinok kaprovogo zhuka na ustojchivost k preparatam fosfina [The effect of the diapause duration of khapra beetle larvae on resistance to phosphine preparations] / Ya. B. Mordkovich, E. A. Sokolov // Zashchita i karantin rastenij [Protection and Quarantine of Plants]. – 2018. – № 8. – P. 37–38.
6. Monroe, N. A. Rukovodstvo po fumigacii dlya borby s nasekomymi [Guide to fumigation for insect control] / N. A. Monroe // Sbornik rabot po voprosam karantina rastenij [Collection of Papers on Plant Quarantine]. – 1982. – № 10. – P. 80–216.
7. "V Peterburg ne pustili 260 tonn indijskogo risa – v nem nashli zhukov" ["260 tons of Indian rice were not allowed in St. Petersburg – beetles were found in it"] // Petersburg format. – URL: <https://spbformat.ru/news/v-peterburg-ne-pustili-260-tonn-indijskogo-risa-v-nem-nashli-zhukov/> (date of application: 29.12.2023).
8. Zakladnoy, G. A. Pervoe obnaruzhenie rezistentnosti prirodnoj populyacii risovogo dolgonosika *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera, Dry ophthoridae) k fosfinu v Rossii [The first detection of phosphine resistance in a natural population of the rice weevil *Sitophilus oryzae* (L.) (Coleoptera, Dry ophthalmidae) in Russia] / G. A. Zakladnoy // Entomologicheskoye obozrenie [Entomological Review]. – 2020. – Vol. 99. – № 3. – P. 535–539.
9. Zakladnoy, G. A. Biologicheskie osnovy primeneniya fosfina dlya borby s nasekomymi – vreditel'yami hlebnnykh zapasov [The biological basis for the use of phosphine for the control of insect pests of grain stocks] / G. A. Zakladnoy, S. A. Zheltova // Proceedings of the VNIIZ. – 1987. – № 109. – P. 87–93.

10. Gosudarstvennyj katalog pesticidov i agrohimikatov, razreshennyh k primeneniyu na territorii Rossijskoj Federacii. 2020 god, utverzhdenyj Minselhozom Rossii [The state catalog of pesticides and agrochemicals approved for use on the territory of the Russian Federation. 2020, approved by the Ministry of Agriculture of the Russian Federation]. – URL: <https://www.consultant.ru/cons/cgi/online.cgi?req=doc&base=EXP&n=750664#cD00kzTSI-tyuGSOV> (date of application: 29.12.2023).
11. Zakladnoy, G. A. Problemy pri fumigacii melnic v Rossii [Problems with fumigation of mills in Russia] / G. A. Zakladnoy, A. L. Dogadin // Khleboprodukty [Bread Products]. – 2014. – № 12. – P. 39.

#### Информация об авторе:

**Маликов Виталий Валерьевич** – аспирант Всероссийского центра карантина растений (140150, 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 Pogranichnaya st., Bykovo settlement, Ramenskiy, Moscow Region 140150, Russian Federation; e-mail: malikoff@inbox.ru).

#### Для цитирования:

Маликов, В. В. Оценка резистентности природных популяций вредителей зерновых запасов к фосфину / В. В. Маликов // Известия Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук. Серия «Сельскохозяйственные науки». – 2024. – № 7 (73). – С. 89–98.

#### For citation:

Malikov, V. V. Ocenka rezistentnosti prirodnyh populyacij vreditel'ey zernovykh zapasov k fosfinu [Resistance assessment of natural populations of grain reserves pest to phosphine] / V. V. Malikov // Proceedings of the Komi Science Centre of the Ural Branch of the Russian Academy of Sciences. Series "Agricultural Sciences". – 2024. – № 7 (73). – P. 89–98.

Дата поступления статьи: 12.09.2024

Прошла рецензирование: 29.10.2024

Принято решение о публикации: 26.09.2024

Received: 12.09.2024

Reviewed: 29.10.2024

Accepted: 26.09.2024