

УДК 57

DOI 10.21661/r-118783

Е.Г. Фетюхина, Н.Н. Карамышева, П.А. Яковлев, Я.Б. Мордкович

БОРЬБА ПРОТИВ ВРЕДИТЕЛЕЙ ЗАПАСОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДИАТОМОВОЙ ЗЕМЛИ

Аннотация: в ВФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» для проведения официальных испытаний в целях получения государственной регистрации Минсельхоза компанией «Диамикс» был предоставлен высушенный диатомитовый порошок светло бежевого цвета под названием «DEBUZZER». В данной статье представлены результаты лабораторных исследований препарата «DEBUZZER» на основе диатомита против вредителей запасов при обработке зерна пшеницы. Отмечена эффективность «DEBUZZER» против взрослых особей амбарного и рисового долгоносиков, полная гибель которых наступала на 6 и 14 сутки соответственно, а потери в весе составили до 50%. Также показана восприимчивость к этому препарату у имаго большого и малого мучного хрущаков, обработка зерна которым вызывала 100% смертность на 6 и 14 сутки, а снижение массы тест-объектов на 41,8 и 60,6% соответственно. В результате потери веса на 41,8%, жизненная активность личинок большого мучного хрущака снизилась. Однако, личинки сохраняли жизнеспособность и развивались до куколки и имаго несмотря на потерю веса, а гибель отмечена лишь у 6,7% особей. Применение диатомового порошка «DEBUZZER» было недостаточно эффективно против личинок двух видов *Trogodermaspp.*: капрового жука и трогодермы изменчивой, смертность которых на 20 сутки составила 11,7 и 3,3% соответственно. Для успешной борьбы с данными вредителями, по мнению авторов, необходима более частая обработка сохраняемой продукции.

Ключевые слова: Диамикс, вредители запасов, диатомит, капровый жук, хрущак большой, хрущак малый, обеззараживание продукции, инсектицид, порошок «DEBUZZER», карантин растений.

E.G. Fetyukhina, N.N. Karamysheva, P.A. Yakovlev, Ya.B. Mordkovich

**PEST CONTROL IN STORED PRODUCTS USING
DIATOMACEOUS EARTH**

Abstract: in the All-Russian Plant Quarantine Center the DEBUZZER, dried diatomite powder of light beige color, has been presented by the Diamix Company for official testing in order to obtain the state registration of the Ministry of Agriculture. This article presents the results of laboratory studies of the DEBUZZER preparation based on the diatomite against pests of stocks while processing wheat grain. It also shows the effectiveness of the DEBUZZER against adult species of grain and rice weevils, their total death occurred on the 6th and 14th days accordingly, and the weight loss was up to 50%. The authors present the susceptibility to this drug by the imago of large and small meal worm, which was used to process the grain, and it caused 100% mortality on the 6th and 14th days and a decrease in the weight of test objects by 41.8 and 60.6%, accordingly. The vital activity of the larvae of the yellow mealworm beetle has decreased as a result of weight loss by 41.8%. However, the larvae remained viable and developed till pupal stage and imago despite weight loss, and death was indicated in only 6.7% of the species. The DEBUZZER diatom powder implementation was not effective enough against the larvae of two species of Trogodermaspp.: khapra beetle and warehouse beetle, their mortality was 11.7 and 3.3% on the 20th day, accordingly. According to the authors, more frequent processing of the stored products is necessary for successful pest control.

Keywords: Diamiks, stock pests, diatomite, khapra beetle, large meal worm, small meal worm, product disinfection, insecticide, DEBUZZER powder, plant quarantine.

Исключительное и безальтернативное применение химических средств защиты против вредителей запасов на основе фосфина (PH_3) в качестве фумиганта и фосфорорганических пестицидов и синтетических пиретроидов, пири-мифос-метила и дельтаметрина соответственно, в качестве контактных препаратов приводит к развитию резистентности у насекомых вредителей [1; 5; 8;

12]. Также неизбежно накопление остаточных количеств пестицидов в зерне при использовании контактных препаратов.

На протяжении нескольких десятилетий мировая наука берет курс на поиски альтернативных путей борьбы с вредителями. Новые методы борьбы должны сочетать в себе высокую эффективность против насекомых, минимальную токсичность по отношению к млекопитающим, а также быть экологически безопасными. Одним из таких способов является применение инертных порошков для борьбы с насекомыми-вредителями.

Инертные порошки, используемые для обеззараживания продуктов хранения, можно разделить на 4 группы [4]. К 1 группе относятся глина, песок, зола рисовой шелухи и древесины, а также вулканический пепел. Вторая группа представлена широким перечнем минералов, включая доломит, магнезию, хлорокись меди, фосфориты, известь, поваренная соль и другие с нормой расхода более 10 кг/т зерна. Порошки тонкого помола, содержащие синтетический диоксид кремния относятся к 3 группе. Четвертую, последнюю, группу составляют дусты, содержащие натуральный диоксид кремния, самым востребованным из которых с точки зрения биологической эффективности и экономики является диатомит или диатомовая земля.

ВФГБУ «Всероссийский центр карантина растений» (Быково), для проведения официальных аккредитационных испытаний Минсельхоза, компанией «Диамикс» был предоставлен высушенный диатомитовый порошок светло бежевого цвета под торговой маркой «DEBUZZZER».

Диатомит – органически чистый натуральный безопасный минеральный продукт, представляющий собой естественную мягкую кремнистую осадочную горную породу, состоящую из окаменелых остатков диатомовых водорослей, легко рассыпающихся до мелкого порошка с размером частиц от 3 мкм до 8 мкм. Типичный химический состав высушенной в сушильном шкафу диатомовой земли представлен 80–90% диоксидом кремния, 2–4% глинистыми минералами и 0,5–2% оксидом железа [3]. Благодаря наличию в своей структуре множества мельчайших пор является прекрасным сорбентом и принадлежит к нано-

структурированным материалам. Под микроскопом диатомея представляет собой микронную частицу игольчатой формы, с большим количеством нанопор (рисунок 1).

Аbrasивные и физико-сорбционные свойства обуславливают возможность применения диатомовой земли при борьбе с вредителями. Тонкий порошок, поглощая липиды из внешнего воскового слоя насекомого, вызывает его обезвоживание. Так, например, в ряде опытов, проведенных с амбарными вредителями, отмечается эффективность препаратов на основе диатомовой земли [7; 9; 11; 14]. Помимо эффективности препараты на основе диатомита имеют ряд значительных преимуществ по сравнению с синтетическими инсектицидами из классов фосфорорганических пестицидов и пиретроидов, зарегистрированных для обработки зерна при хранении. А именно низкая токсичность диатомита для млекопитающих (например, ЛД₅₀ (орально для крыс) > 5000 мг/кг) [13], стабильность в зерновой массе, отсутствие токсичных метаболитов, невозможность развития резистентности у насекомых-вредителей [6], не влияет на влажность зерна [10].

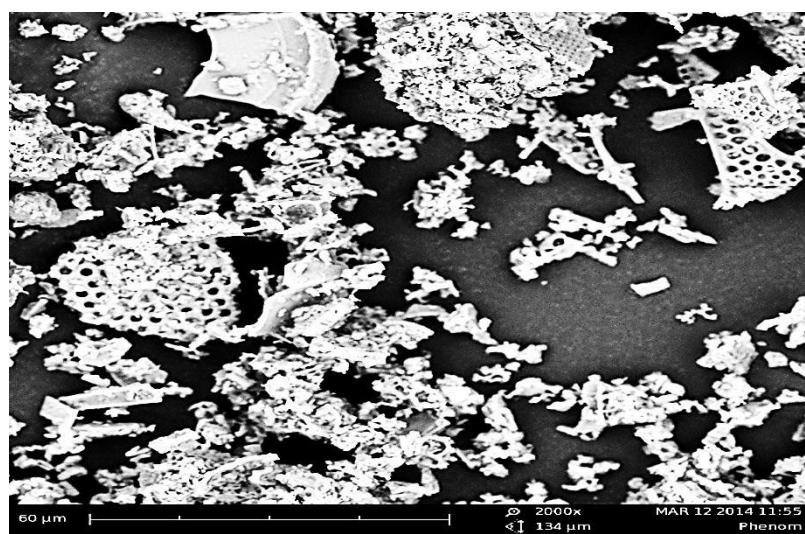


Рис. 1. Диатомея под микроскопом

В связи с этим целью нашей работы была оценка биологической эффективности отечественного препарата DEBUZZER на основе диатомита против карантинного вредителя запасов личинки капрового жука, а также других, не-

карантинных, насекомых, имеющих тем не менее важное экономическое значение.

Для решения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Оценка жизнеспособности вредных насекомых после обработки препаратом DEBUZZER.
2. Изучение динамики изменения веса тест-объектов при обработке зерна.

Схема опыта представлена в таблице 1.

Таблица 1

Схема лабораторного опыта по оценке биологической эффективности препарата на основе диатомовой земли против вредителей запасов при обработке зерна

Вариант	Тест-объект
1. Контроль (без обработки)	<i>Личинки капрового жука (активные)</i> (<i>Trogodermagranarium</i> Ev.)
2. DEBUZZER, 3 кг/т	<i>Личинки трогодермы изменчивой (активные)</i> (<i>Trogodermavariabile</i> Ball.) <i>Личинки и имаго большого мучного хрущака</i> (<i>Tenebriomolitor</i> L.) <i>Имаго малого мучного хрущака</i> (<i>Triboliumconfusum</i> Duv.) <i>Имаго амбарного долгоносика</i> (<i>Sitophilusgranaries</i> L.) <i>Имаго рисового долгоносика</i> (<i>Sitophilusoryzae</i> L.)

Навески цельного зерна пшеницы массой 100 г обрабатывали препаратом DEBUZZER в дозе, рекомендованной производителем (3 кг/т), методом сухого опрыскивания. Обработанное зерно помещали в стеклянные емкости объемом 1000 мл. Затем туда отсаживали отобранные и взвешенные на аналитических весах (с точностью до 0,0001 г) тест-объекты в количестве: личинки капрового жука и трогодермы изменчивой – 20 шт.; личинки и имаго большого мучного хрущака – 5 шт; имаго амбарного и рисового долгоносика и малого мучного хрущака – 10 шт. Емкости сверху закрывали мельничным газом и выдерживались в условиях температуры 21–22 °С и световом режиме соотношения L:D – 10:14 часов. Учет смертности проводили на 3, 6, 9, 14 и 20 сутки после обра-

боткипо общепризнанной методике [2]. Также анализировали динамику обезвоживания насекомых путем взвешивания на каждом учете. В качестве контроля тест-объекты отсаживали на необработанное зерно. Повторность опыта 3-кратная.

Таблица 2

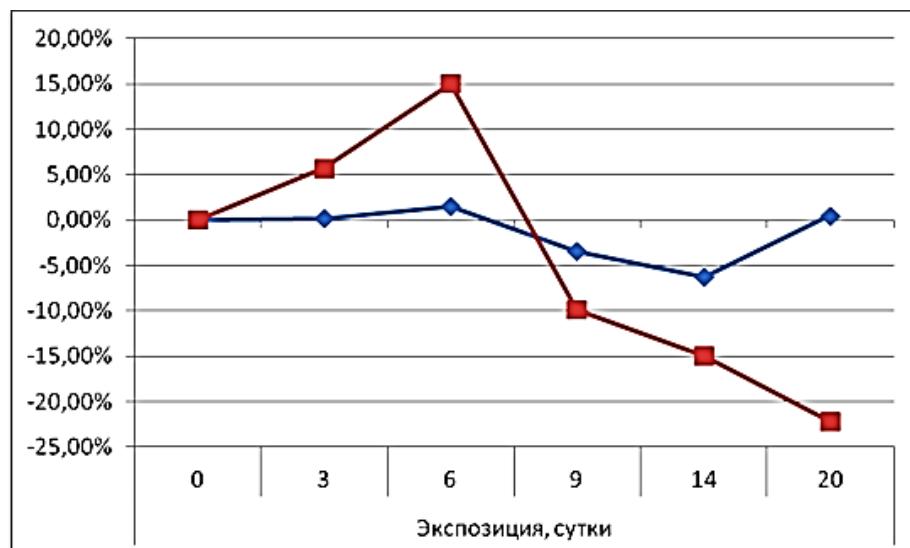
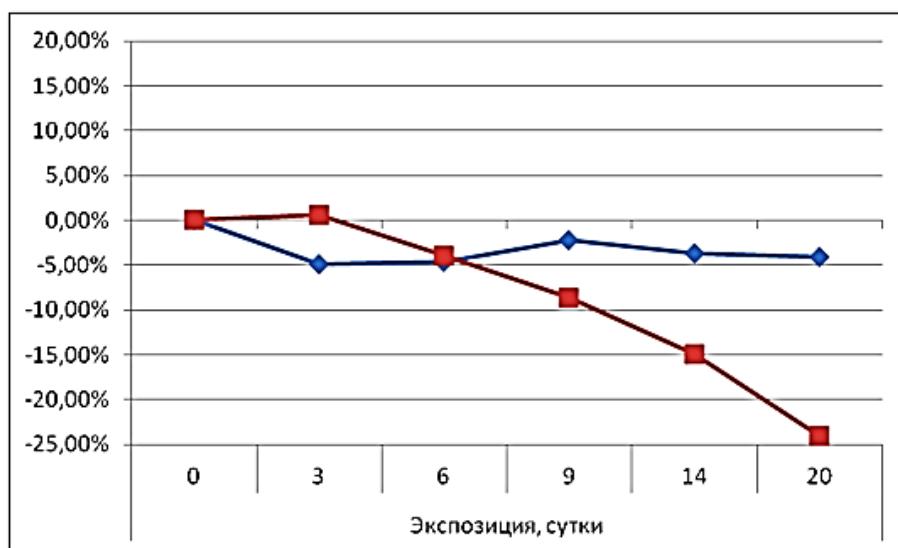
Смертность (% , в числителе) и динамика прибавки/потери в весе (% , в знаменателе) насекомых-вредителей запасов от обработки зерна препаратом DEBUZZZERна основе диатомовой земли

Тест-объект	Вариант	Экспозиция, сутки				
		3	6	9	14	20
<i>Капровый жук (активные личинки)</i>	Контроль	<u>0</u> +0,17	<u>0</u> +1,56	<u>0</u> -3,47	<u>0</u> -6,23	<u>0</u> +0,52
	DEBUZZZER	<u>0</u> +5,75	<u>0</u> +15,02	<u>3,3</u> -9,85	<u>3,3</u> -14,94	<u>11,7</u> -22,17
<i>Трехдермаизменчивая (личинки)</i>	Контроль	<u>0</u> -4,88	<u>0</u> -4,64	<u>0</u> -2,20	<u>0</u> -3,66	<u>0</u> -4,15
	DEBUZZZER	<u>0</u> +0,55	<u>3,3</u> -3,94	<u>3,3</u> -8,62	<u>3,3</u> -14,99	<u>3,3</u> -24,05
<i>Амбарный долгоносик (имаго)</i>	Контроль	<u>0</u> +6,25	<u>0</u> +6,77	-	-	-
	DEBUZZZER	<u>46,7</u> -5,36	<u>100</u> -48,72	-	-	-
<i>Рисовый долгоносик (имаго)</i>	Контроль	<u>0</u> -1,34	<u>0</u> -2,01	<u>0</u> -3,34	<u>0</u> -2,68	-
	DEBUZZZER	<u>25,0</u> -6,47	<u>43,3</u> -14,34	<u>90,0</u> -32,87	<u>100</u> -49,87	-
<i>Большой мучной хрущак (имаго)</i>	Контроль	<u>0</u> -1,17	<u>0</u> -1,92	-	-	-
	DEBUZZZER	<u>66,7</u> -35,18	<u>100</u> -56,77	-	-	-
<i>Большой мучной хрущак (личинки)</i>	Контроль	<u>0</u> -1,10	<u>0</u> -1,33	<u>0</u> +0,24	<u>0</u> -0,35	<u>0</u> -3,62
	DEBUZZZER	<u>0</u> -13,24	<u>0</u> -19,05	<u>0</u> -25,96	<u>6,7</u> -31,36	<u>6,7</u> -41,81

<i>Малый мучной хрущак (имаго)</i>	<i>Контроль</i>	<u><u>0</u></u> -2,91	<u><u>0</u></u> -3,02	<u><u>0</u></u> -3,15	<u><u>0</u></u> -2,81	-
	<i>DEBUZZZER</i>	<u><u>-13,3</u></u> -20,75	<u><u>-60,0</u></u> -43,36	<u><u>-90,0</u></u> -56,26	<u><u>-100</u></u> -60,56	-

По итогам проведенного эксперимента были получены данные, представленные в таблице 2.

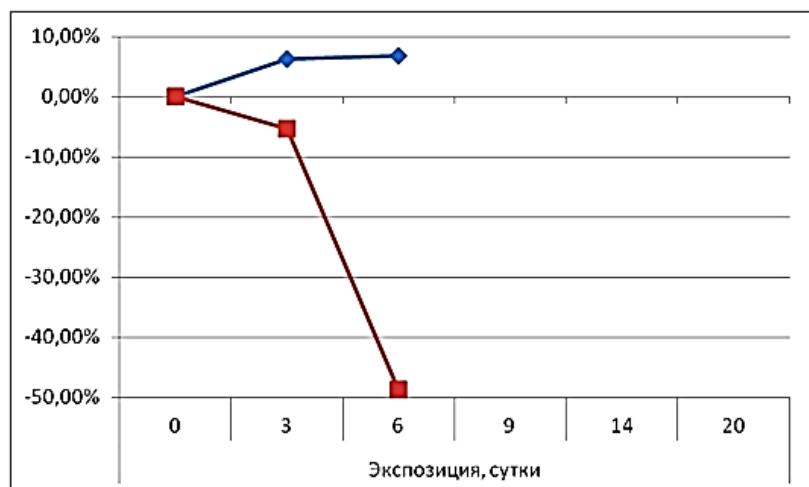
Применение препарата на основе диатомовой земли оказалось малоэффективным и не обеспечивало полной гибели против вредителей запасов рода *Trogoderma*. Так гибель активных личинок капрового жука на 20 сутки экспозиции не превышала 12%, а смертность трогодермы изменчивой на 6 сутки составила около 3% и оставалась неизменной до конца эксперимента (табл. 2). При этом динамики массы у личинок обоих видов были сопоставимы и потери влаги у капрового жука и трогодермы изменчивой на заключительной экспозиции составили 22,17 и 24,05% соответственно (рис. 2). Стоит отметить прибавку в весе личинок капрового жука на 6 сутки после обработки диатомовой землей, что, по всей видимости, связано с прилипанием частиц препарата на тельце тест – объекта (рис. 2, а). А стремительное падение массы личинок капрового жука на 9 сутки экспозиции помимо гибели насекомого также обусловлено активной линькой, а, следовательно, и сбрасыванием частиц диатомовой земли вместе с линичной шкуркой. Аналогичная ситуация отмечается и в опыте с трогодермой изменчивой, однако с меньшим числом линек. При этом если на контроле число линек было приблизительно таким же, как и варианте с обработкой у обоих видов, то уже на 14 сутки экспозиции данный показатель у капрового жука и трогодермы изменчивой превышал контрольный вариант в 1,5 и 3 раза соответственно. Увеличение числа линек у личинок рода *Trogoderma* может быть следствием защитной реакции насекомых от гигроскопического воздействия диатомита для снижения потерь влаги и поддержания тургора. На контроле вес личинок обоих видов колебался в пределах 5% от начальной массы.

*a**б*

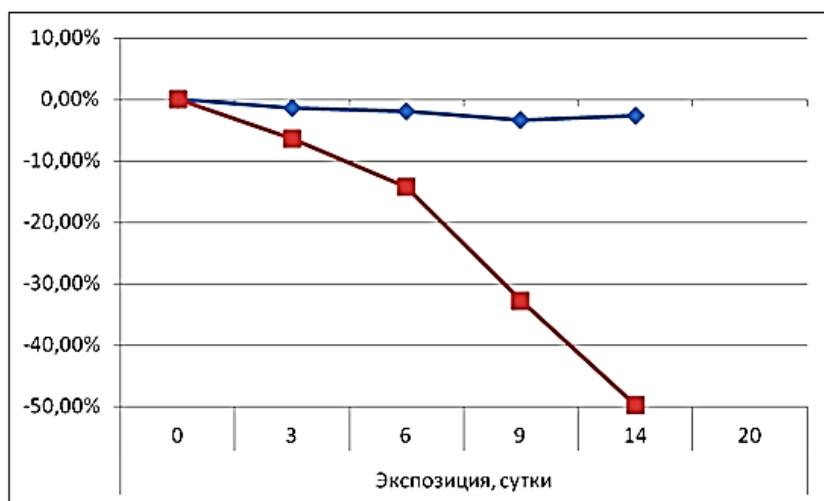
2. Динамика массы (%) личинок капрового жука (*a*) и трогодермы изменчивой (*б*) при обработке зерна препаратом DEBUZZER (■) и на контроле (◆)

В отличие от вредителей рода *Trogoderma* жуки рода *Sitophilus* оказались восприимчивы к диатомиту, при обработке зерна которым достигалась полная гибель как амбарного, так и рисового долгоносиков. Уже через 3 суток 1/4 часть жуков рисового и практически половина особей амбарного долгоносика были мертвые (табл. 2). Смертность 100% насекомых амбарного долгоносика была отмечена на 6 сутки экспозиции, а рисового долгоносика спустя две недели после обработки зерна диатомовой землей. Такой длинный период до-

стижения полного летального эффекта у рисового долгоносика по сравнению с амбарным возможно обусловлен способностью перемещаться по вертикальным гладким поверхностям стеклянной емкости у первого, в связи с чем контакт жуков этого вида с обработанным зерном мог прерываться, в отличие от особей амбарного долгоносика, которые постоянно находились на субстрате. Что касается динамики обезвоживания данных насекомых-вредителей, то в обоих опытах мертвые жуки теряли чуть меньше 50% от начального веса (рис. 3)



a

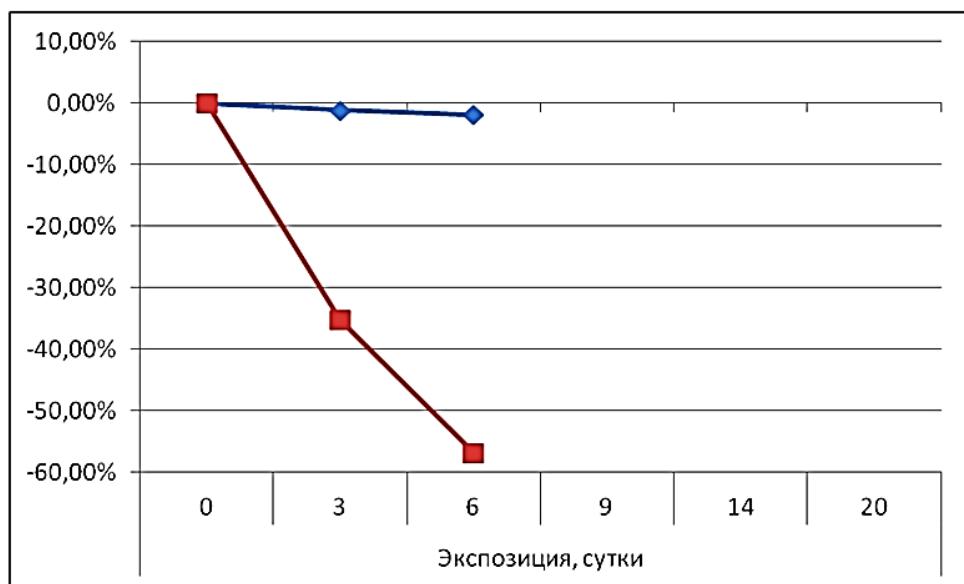


б

3. Динамика массы (%) имаго амбарного (а) и рисового долгоносиков (б) при обработке зерна препаратом DEBUZZER (—■—) и на контроле (—◆—)

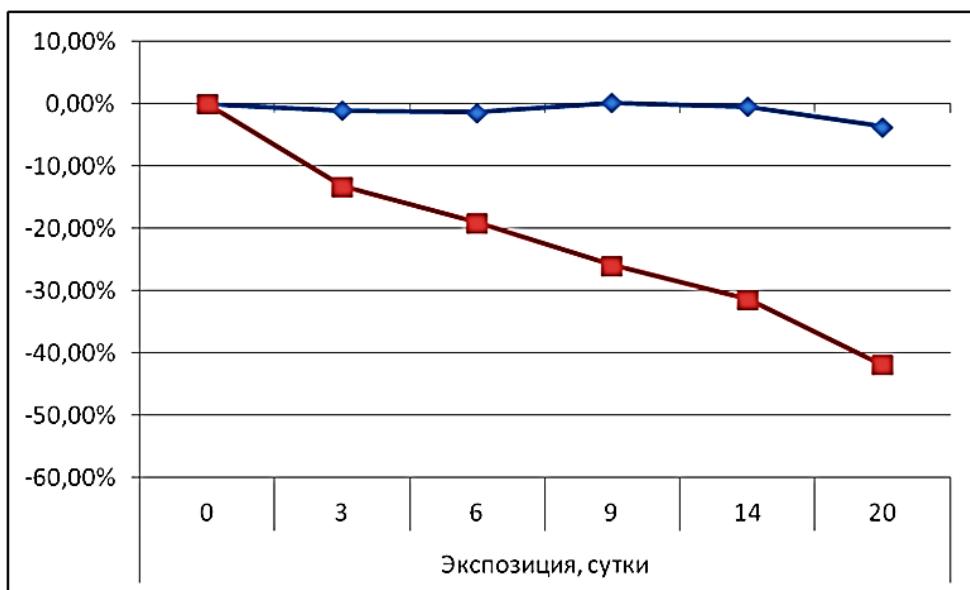
Биологическая эффективность диатомовой земли также отмечается по отношению к имаго большого мучного хрущака, больше половины особей которого погибали через 3 суток, полный летальный эффект наступал, как и в опыте

с амбарным долгоносиком, на 6 сутки экспозиции, при этом потери в весе составили 56,8% (рис. 4).



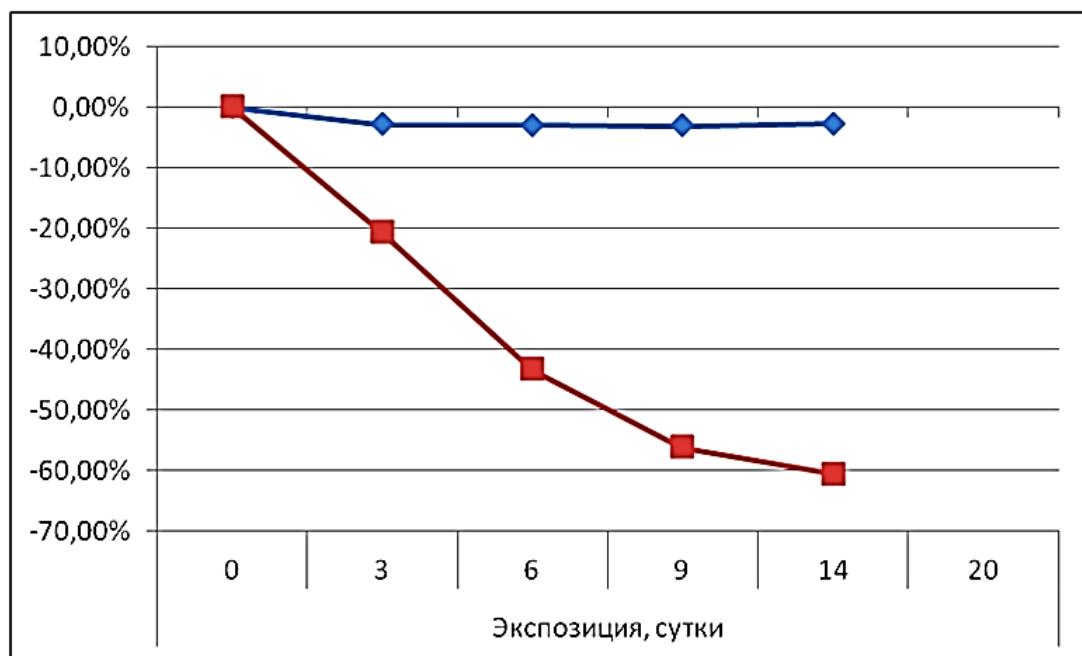
4. Динамика массы (%) имаго большого мучного хрущака при обработке зерна препаратом DEBUZZER (■) и на контроле (◆)

Однако личинки большого мучного хрущака оказались более устойчивы к диатомиту по сравнению с взрослыми особями. Гибель насекомых-вредителей не превысили и 10% по итогам эксперимента (табл. 2). При этом среди мертвых особей отмечаются как личинки, так и куколки и имаго, которые также присутствовали среди живых насекомых. Но, несмотря на сохранение жизнеспособности, личинки теряли в весе, что в свою очередь отразилось и на размере куколок и имаго, которые были мельче, чем на контроле, а это обусловило падение массы к концу экспозиции на 41,8% (рис. 5). Учитывая даже снижение массы, неполные метаморфозы и проявление уродств у куколок и имаго большого мучного хрущака, эффективность препарата на основе диатомовой земли против личинок данного вида можно считать низкой. Также стоит отметить большее число линек по сравнению с контролем, что, как и в случае с личинками рода *Trogoderma*, может быть защитным механизмом по отношению к диатомовой земле.



5. Динамика массы (%) личинок большого мучного хрущака при обработке зерна препаратом DEBUZZER (—■—) и на контроле (—◆—)

К числу видов насекомых-вредителей запасов, против которых эффективно применение диатомовой земли для обработки зерна, также можно отнести малого мучного хрущака. Взрослые особи данного вредителя полностью погибали на 14 сутки экспозиции, а потери в весе были максимальными среди всех исследуемых тест-объектов и составили около 60% (рис. 6).



6. Динамика массы (%) имаго малого мучного хрущака при обработке зерна препаратом DEBUZZER (—■—) и на контроле (—◆—)

В ходе дальнейших исследований было проведено сравнение эффективности препаратов на основе диатомита с контактными синтетическими инсектицидами. Данные эксперимента приведены в таблице 3.

Таблица 3

Сравнение DEBUZZER с химическими аналогами

Наименование вредителя	DEBUZZER	Пиримифос-метила (Камикадзе, КЭ (500 г/л)	Дельтаметрина (К-Обиоль, КЭ (25 г/л)	% гибели
Имаго амбарного долгоносика	6 суток	7 суток	7 суток	100%
Имаго рисового долгоносика	14 суток	–	–	100%
имаго малого мучного хрущака	14 суток	3 суток	10 суток	100%-
имаго большого мучного хрущака	6 суток	3 суток	–	100%
Личинки прочих исследованных вредителей	–	–	–	–
Личинки большого мучного хрущака	20 суток (6,7%)	9 суток	14 суток	90%

Применение зарегистрированного препарата для обработки зерна на основе действующего вещества пиримифос-метила (Камикадзе, КЭ (500 г/л)) вызывало полную гибель имаго малого и большого мучного хрущаков на 3 сутки, имаго амбарного долгоносика на 7 сутки после обработки. Гибель личинок большого мучного хрущака составила 90% на 9 сутки экспозиции.

Применение зарегистрированного препарата для обработки зерна на основе действующего вещества дельтаметрина (К-Обиоль, КЭ (25 г/л)) вызывало полную гибель имаго амбарного долгоносика на 7 сутки, имаго малого мучного хрущака на 10 сутки, а личинок большого мучного хрущака на 14 сутки после обработки.

На основании проведенных испытаний можно сделать следующие выводы:

Применение диатомового порошка «DEBUZZER» методом сухого опрыскивания зерна в дозе до 3 кг/т эффективно для уничтожения взрослых особей

некарантинных вредителей запасов, амбарного и рисового долгоносиков и большого и малого мучных хрущаков.

Для уничтожения личинок рода *Trogoderma* и большого мучного хрущака требуется дополнительная обработка диатомовым порошком «DEBUZZER».

Может использоваться как эффективный инсектицид в качестве натурального заменителя химических препаратов.

Может быть рекомендован к широкому спектру использования во всех областях сельского хозяйства, касающихся защиты зерна, обработки зеленых насаждений плодово- ягодных культур, а также при уничтожении паразитов на животных и птице. Сочетание диатомита с различного рода репеллентами позволяют усилить его инсектицидные природные свойства.

Во многих странах мира (США 2 млн т.) достаточно широко распространено использование диатомита в качестве инсектицида биологического действия, тогда как Россия только сейчас начинает его активное применение.

Список литературы

1. Мордкович Я.Б. Резистентность вредителей к фумигантам / Я.Б. Мордкович // Защита и карантин растений. – 2003. – №3. – С. 35–36.
2. Попов С.Я. Основы химической защиты растений / С.Я. Попов, Л.А. Дорожкина, В.А. Калинин / Под ред. профессора С.Я Попова. – М.: Арт-Лион, 2003. – 208 с.
3. Antonides Lloyd E. Diatomite. – 1997 [Electronic resource]. – Open access: <http://minerals.usgs.gov/minerals/pubs/commodity/diatomite/250497.pdf> (дата обращения 08.11.2016).
4. Banks J.H. and Fields, P.G. Physical methods for insect control in stored-grain ecosystems // Stored-Grain Ecosystems / In D.S. Jayas, N.D.G. White, and W.E. Muir [eds.]. – New York: Marcel Dekker, 1995. – P. 353–409.
5. Bell C.H. The occurrence of resistance to phosphine in adult and egg stages of strains of *Rhyzoperthadominica* (F.) (Coleoptera: bostrichidae) / C.H. Bell, B.D. Hole, P.H. Evans // J. Stored Prod. Res. – 1977. – Vol. 13. – P. 91–94.

6. Ebeling W. Sorptivedust for pest control / W. Ebeling // Ann. Rev. Entomol. – 1971. – Vol. 16. – P. 123–158.
7. Frederick J.L. Influence of temperature and application rate on efficacy of a diatomaceous earth formulation against *Triboliumcastaneum* adults / J.L. Frederick and B. Subramanyam // J. Stored Prod. Res. – 2016. – Vol. 69. – P. 86–90.
8. Holloway J.C. Resistance to phosphine in *Sitophilusoryzae* in Australia: A national analysis of trends and frequencies over time and geographical spread / J.C. Holloway, M.G. Falk, R.N. Emery, P.J. Collins, M.K. Nayak // Journal of Stored Products Research. – 2016. – Vol. 69. – P. 129–137.
9. Kavallieratos N.G. Efficacy and adherence ratio of diatomaceous earth and spinosad in three wheat varieties against three stored product insect pests / N.G. Kavallieratos, C.G. Athanassiou, B.J. Vayias, S. Kotzamanidis, S.D. Synodis // J. Stored Prod. Res. – 2010. – Vol. 46. – P. 73–80.
10. LaHue, D.W. The retention of diatomaceous earth and silica aerogels on shelled corn, hard winter wheat, and sorghum grain // Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, ARS, 1972. – P. 8.
11. McGaughey W.H. Diatomaceous earth for confused flour beetle and rice weevil control in rough, brown and milled rice / W.H. McGaughey // J. Econ. Entomol. – 1972. – Vol. 65. – P. 1427–1428.
12. Nakakita H. Phosphine resistance in immature stages of a laboratory selected strain of *Triboliumcastaneum* (Herbst) / H. Nakakita, R.G. Winks // J. Stored Prod. Res. – 1981. – Vol. 17. – P. 43–52.
13. SubramanyamBh., Swanson C.L., Madamanchi N., and Norwood S. Effectiveness of Insecto®, a new diatomaceous earth formulation, in suppressing several stored-grain insect species // Proc. 6th Int. Working Conf. Stored-Prod. Prot., CAB International / In E. Highley, E.J. Wright, J.H. Banks, and B.R. Champ [eds.]. – Wallingford, Oxon, United Kingdom, 1994. – P. 650–659.
14. SubramanyamBh. and Roesli R. Inert dusts // Alternatives to Pesticides in Stored-product IPM / In: Subramanyam, Bh, Hagstrum, D.W [eds.]. – Boston, USA: Kluwer Academic Publishers, 2000. – P. 321–373.

Фетюхина Екатерина Геннадьевна – канд. биол. наук, ведущий специалист ООО НТЦ «Силикатные материалы и технологии», Россия, Ульяновск.

Fetyukhina Ekaterina Gennadievna – candidate of biological sciences, leading specialist at the Science and Technology Center “Silicate Materials and Technologies”, Russia, Ulyanovsk.

Карамышева Наталья Николаевна – канд. биол. наук, научный сотрудник НИИЦМиБ «Научно исследовательский инновационный центр по биотехнологии и микробиологии», Россия, Ульяновск.

Karamysheva Natalia Nikolaevna – candidate of biological sciences, scientific researcher at the Research and Innovation Center of Biotechnology and Microbiology, Russia, Ulyanovsk.

Яковлев Петр Анатольевич – канд. биол. наук, старший научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений», Россия, п. Быково.

Yakovlev Petr Anatolievich – candidate of biological sciences, senior researcher at the All-Russian Plant Quarantine Center, Russia, Bykovo village.

Мордкович Яков Борисович – канд. с.-х. наук, ведущий научный сотрудник ФГБУ «Всероссийский центр карантина растений», Россия, п. Быково.

Mordkovich Yakov Borisovich – candidate of agricultural sciences, leading researcher at the All-Russian Plant Quarantine Center, Russia, Bykovo village.
