

Формирование резистентных к инсектицидам популяций блох

Рославцева С. А., профессор, ФГУН НИИ дезинфектологии Роспотребнадзора, 117246, г. Москва, Научный пр-д, 18

Дан обзор мировой литературы по проблеме формирования популяций блох, резистентных к инсектицидам. Приведены официальный метод определения уровня резистентности блох к инсектицидам и диагностические концентрации 23 инсектицидов разных химических групп для имаго крысиных блох *Xenopsylla cheopis*.

Ключевые слова: блохи, резистентность, инсектициды, диагностическая концентрация.

Эпидемиологическое значение представителей отряда блох Siphonaptera широко известно, поскольку эти насекомые являются переносчиками возбудителя чумы через укусы от больных грызунов, верблюдов или человека, а также переносчиками риккетсий – возбудителей крысиного сыпного тифа. Риккетсии сохраняются в организме блох в течение 40 суток, размножаются и выделяются с фекалиями. Заражение человека происходит при кровососании, а также при контакте с испражнениями инфицированных блох [4, 18]. Кроме того, они могут быть переносчиками бартонелл – возбудителей болезни кошачьих царапин. В организме блох длительное время сохраняются, не теряя вирулентности, бактерии туляремии, псевдотуберкулеза, бруцеллеза и др., поэтому блох в числе других насекомых считают переносчиками возбудителя туляремии. Блохи кошек и собак служат промежуточными хозяевами гельминтов: цестод собак и крыс *Dipylidium caninum* и *Hymenolepis diminuta*. Укусы блох вызывают аллергические реакции и дерматиты [17, 18].

Впервые об устойчивости блох к инсектицидам стало известно в 1949 г. Резистентные популяции человеческой блохи *Pulex irritans* к ДДТ были обнаружены в Перу, затем в 1950 г. – в Эквадоре, в 1951 г. – в Греции, в 1952 г. – в Бразилии и Палестине, в 1965 г. – в Турции, в 1967 г. – в Египте [3, 11]. Сообщалось о резистентности этого вида в Чехословакии [12]. Резистентность к средствам на основе ГХЦГ и дилдрин у популяций этого вида блох была установлена в Танзании, затем в 1965 и 1967 гг. – в Турции и Египте [11], а впоследствии – в Чехословакии и Бразилии [12, 15].

Резистентные популяции кошачьих блох *Ctenocephalides felis* к ДДТ были впервые выявлены в 1952 г. в США (штат Джорджия), а собачьих

Ct. canis – в 1953 г. в отдельных районах США и в 1958 г. на Гавайях [11]. В Болгарии на 17 объектах Софии при использовании методов ВОЗ в начале 80-х годов была обнаружена устойчивость популяций кошачьих блох к ДДТ. На разных объектах доля устойчивых особей составляла от 6 до 70%. Устойчивость не была выявлена к дилдрину, фенитротиону, малатиону, пропоксуру и диазинону [5].

По данным ВОЗ [15], резистентные популяции кошачьих блох *Ct. felis* к ДДТ сформировались также в Колумбии, Гвиане и США, в Дании – к метоксихлору, в Пуэрто-Рико и Танзании – к малатиону, в США – к малатиону, фенитротиону и хлорпирифосу, в Танзании – к ацефату.

В связи с тем, что кошачьи блохи в настоящее время доминируют в подвальных помещениях многоэтажных городских зданий не только в г. Москве, но и в других городах России [2], изучение уровня их чувствительности к инсектицидам весьма актуально.

В СССР в 1968 г. было показано, что популяция крысиных блох *Ceratophyllus fasciatus* из Одессы была в 2,0-2,5 раза более устойчива к ДДТ, чем блохи саратовской популяции [1].

Блохи *Synopsyllus fonquerniei* имеют резистентные популяции к ДДТ, малатиону и ацефату на Мадагаскаре [15].

Восточная крысиная блоха *Xenopsylla cheopis* – один из основных переносчиков возбудителя чумы – образовала резистентные к ДДТ популяции в двух районах Эквадора в 1950 г., в США (штат Джорджия) – в 1951 г. [3]. В 1959-61 гг. резистентные популяции этого вида была выявлена в Индии, в 1964 г. – в Южном Вьетнаме, в 1966 г. – в Таиланде, в 1967 г. – в Египте [11], а в 1968 г. – в СССР [1]. Устойчивые популяции также были найдены в Израиле, Бирме, Китае, Филиппинах, Бразилии [12]. В Индонезии в при-

родном очаге чумы крысиные блохи были высоко резистентны к ДДТ [27].

На юге Вьетнама появление резистентности в популяциях *X. cheopis* к хлорорганическим инсектицидам привело к необходимости применения малатиона, но вскоре резистентные популяции образовались и к нему [12]. В начале 90-х годов сообщалось, что популяции крысиных блох, резистентные к ДДТ, зафиксированы в Израиле, Танзании, Мадагаскаре, Египте, Индии, Индонезии, Китае, Вьетнаме, Филиппинах, Таиланде, Эквадоре и Бразилии, кроме того, в Индии – к малатиону и фентиону, Мадагаскаре – к малатиону, фенитротиону, ацефату и диметоату, Танзании – к малатиону [15].

В конце 90-х годов в разных районах Мадагаскара популяции крысиных блох были повсеместно резистентны к ДДТ, толерантны или чувствительны к дельтаметрину и цифлутрину и чувствительны к инсектицидам – производным карбаминовой кислоты (пропоксуру и бендиакарбу). Последние могут применяться в схемах чередования инсектицидных средств при проведении обработок против блох [25].

В Индии в конце 80-х годов популяции крысиных блох в окрестностях Бомбея были высоко резистентны к ДДТ, малатиону, фентиону, толерантны к гамма-ГХЦГ, но чувствительны к дилдрину. Другие виды блох не имели высокорезистентных популяций [26]. В 1994 г. обследовали популяции крысиных блох в Дели, Махараште и Варанаси на резистентность к некоторым инсектицидам. Блохи были резистентны к ДДТ и дилдрину, но чувствительны к малатиону и дельтаметрину [21]. По данным К. Кумара с соавт. [22], в окрестностях Дели популяции крысиных блох были резистентны к ДДТ и дилдрину, толерантны к малатиону, но чувствительны к дельтаметрину. В 1997 г. в штате Махараштра провели определение чувствительности популяций крысиных блох к ДДТ, дельтаметрину, малатиону и пропоксуру. Подтверждена резистентность популяций блох к ДДТ, снижение чувствительности к дельтаметрину, но эти популяции оставались чувствительными к малатиону и пропоксуру [23]. У другого вида блох этого рода *X. astia* известно образование популяций, резистентных к ДДТ и ГХЦГ [11, 12, 15].

По данным М. Г. Протопопьяна, в Среднеазиатском пустынном очаге чумы, в частности, в Урало-Эмбинском междуречье, блохи рода *Xenopsylla*, в основном блохи *X. skrjabiani*, были толерантны или резистентны к ДДТ (ПР = от 6 до >16) и толерантны к перметрину [9, 10].

Имеются данные о наличии резистентности к ДДТ у блох *Ceratophyllus londipenis* и *Polygenis*

Таблица 1

Экспериментально установленные диагностические концентрации инсектицидов для блох *X. cheopis* [13, 14]

Инсектицид	Концентрация, %	Время экспозиции, ч
ДДТ	1,0	24,0
Дилдрин	0,2	24,0
Пропоксур	0,1	5,0
Фенитротион	1,0	2,5
Трихлорфон (хлорофос)	1,0	1,25

Таблица 2

Активность инсектицидов для имаго и личинок кошачьих блох [19]

Инсектициды	СК ₅₀ , мкг/см ²	
	имаго	личинки
Хлорпирифос	0,72	1,25
Диазинон	4,09	5,82
Пропетамфос	6,24	4,02
Изофенфос	9,20	13,15
Малатион	37,72	10,74
Хлорфенвинфос	48,74	80,65
Бендиокарб	100,73	46,30
Пропоксур	240,73	207,70

spp. в Эквадоре [3]. Обзор о резистентности блох к инсектицидам был опубликован Боссардом с соавт. в 1998 г. [19].

Специалисты ВОЗ [13, 14] разработали в начале 80-х годов XX века метод контакта блох с импрегнированной инсектицидами бумагой (на примере крысиных блох). Установленные диагностические концентрации для определения доли резистентных особей в популяциях приведены в табл. 1.

В 1984-85 гг. Эль-Газзаром с соавт. [20] были определены величины СК₅₀ девяти инсектицидов для имаго и личинок кошачьих блох методом контакта с обработанной поверхностью фильтровальной бумаги сериями ацетоновых растворов инсектицидов в интервале от 0,1 до 400 мкг/см². Личинок помещали на диски фильтровальной бумаги диаметром 11 см. Установленные величины СК₅₀ приведены в табл. 2.

В Швейцарии в Научном центре фирмы «Новартис – здоровье животных» был разработан топикальный метод нанесения капель ацетоновых растворов инсектицидов объемом 0,1 мкл на блоху. Блох предварительно анестезировали углекислым газом. Было изучено 13 инсектицидов [24].

Ниже приведены величины $СД_{95}$ в нг/блоху:

нитенпирам – 0,68
 фипронил – 0,69
 дельтаметрин – 0,70
 имидаклоприд – 0,81
 циперметрин – 5,4
 фентион – 8,0
 диазинон – 12
 перметрин – 19
 малатион – 29
 бендиокарб – 170
 ДДТ – 710
 пропоксур – 1300
 карбарил > 10 000

Специалистами НИИ дезинфектологии (Еремина, Ибрагимхалилова [6]) был разработан метод определения уровня чувствительности к инсектицидам блох на примере крысиной блохи *X. cheopis*. Этим методом были установлены величины $СК_{50}$ ($СК_{95}$) и диагностические концентрации действующих веществ инсектицидов из разных химических групп для чувствительной лабораторной культуры крысиных блох, используя которые можно определять уровни чувствительности популяций с объектов, а также процент устойчивых особей в популяции. Разработанный метод не применим для установления уровня резистентности к неоникотиноиду тиаметоксаму, поскольку $СК_{50}$ этого инсектицида более 1%.

Следует подчеркнуть, что указанный метод не предназначен для оценки эффективности отложений препаративных форм инсектицидов. Для этой цели должны быть использованы другие энтомотоксикологические методы.

Сущность разработанного метода состоит в следующем. Взрослых блох лабораторной культуры подсаживают на кусочки фильтровальной бумаги, обработанные ацетоновыми растворами ДВ инсектицида в разных концентрациях, определяют смертность (в %), вызванную каждой из этих концентраций. В предварительных опытах используют серию концентраций (4-5). Время контакта составляет 1 час. Учет смертности проводят через 24 часа.

Последующие опыты проводят на основе полученных данных. Выбирают 5-7 концентраций таким образом, чтобы они вызывали смертность в пределах 15-99%. Опыты повторяют не менее 3 раз. В экспериментах используют взрослых блох без разделения по полу. Рассчитывают величины $СК_{50}$ ($СК_{95}$) в %. Эти данные являются основой для последующего расчета диагностической концентрации и показателя резистентности.

Приготовление импрегнированной инсектицидом бумаги. В колбах с притертыми пробками готовят серию ацетоновых растворов ДВ инсектицида с шагом разбавления, равным 2. Фильтровальную бумагу размером 10×10 см размечают карандашом на 20 частей размером 5×1 см и маркируют. Затем размеченную бумагу кладут на стеклянную поверхность и равномерно наносят 1 мл раствора инсектицида определенной концентрации. После полного испарения растворителя бумагу разрезают и используют для эксперимента или упаковывают в полиэтиленовый пакет. Использовать импрегнированную бумагу следует не позднее трех суток с момента изготовления при хранении ее в заклеенных пакетах.

Методика проведения опытов. Блох (по возможности – накормленных) рассаживают по 10 особей в чистые пробирки, которые ставят вертикально в штатив. В каждую пробирку помещают бумажный тест, импрегнированный инсектицидом. В контроле используют бумажный тест, импрегнированный только растворителем. После этого штатив убирают в темный термостат (температура 28-30°C, относительная влажность 50-70%). Через 1 час из пробирок вынимают бумажные тесты в том же порядке, в каком они были туда помещены. Через 24 часа подсчитывают смертность блох. Блох, неспособных к передвижению, относят к погибшим.

Экспериментально установленные средне-смертельные концентрации при контакте блох *X. cheopis* чувствительной лабораторной культуры с фильтровальной бумагой, импрегнированной ацетоновыми растворами ДВ инсектицидов, приведены в табл. 3. Эти же данные приведены в «Методических указаниях по определению уровня чувствительности синантропных насекомых к инсектицидам» [7].

Для установления уровня чувствительности к инсектицидам популяций блох, собранных на объектах, их отлавливают в помещениях (подвалах), которые постоянно обрабатываются инсектицидами или предназначены для обработки. Выловленных блох содержат в емкостях с песком в термостате при температуре 28-30°C и относительной влажности 50-70%. В качестве прокормителей используют лабораторных мышей.

Если отловлено недостаточное для проведения эксперимента количество блох, то получают от них потомство, и опыты проводят на блохах 1-го поколения (F_1).

Для установления процента резистентных в популяции крысиных блох, собранных на объекте, к инсектициду, для которого установлена

диагностическая концентрация, в опыте используют бумагу, импрегнированную ацетоновым раствором инсектицида в этой концентрации. На обработанную бумагу подсаживают насекомых, собранных на объекте. Если от примененной диагностической концентрации все блохи погибают, то популяция чувствительна к данному инсектициду, и его можно использовать. При гибели 50% и менее особей использовать тестированный инсектицид недопустимо.

Для того чтобы точно определить уровень резистентности популяции к инсектицидам, дальнейшие исследования проводят согласно этапам, изложенным выше, находят величины $СК_{50}$ или $СК_{95}$ и рассчитывают показатель резистентности, как указано в «Методических указаниях» [7].

Неэффективность применения средств дезинсекции летом 2010 г. в борьбе с блохами подчеркивает необходимость знания уровня их чувствительности на объектах, поскольку в результате многолетнего применения пиретроидов в борьбе с блохами происходит формирование резистентных к ним популяций этих насекомых, что уменьшает эффективность применяемых средств. Кроме того, неэффективность применения инсектицидов в борьбе с блохами жарким летом 2010 г. связана с еще несколькими причинами. Во-первых, специалисты дезинфекционного дела невнимательно читают Инструкции («Методические указания по применению инсектицидных средств»), в частности раздел «Хранение и транспортирование», в котором указаны минимальные и максимальные температуры хранения и транспортирования препаратов.

Для большинства средств максимальные температуры не превышают 35°C. Летом 2010 г. в большинстве регионов страны, включая Москву, максимальные температуры намного превышали эти показатели в течение 2,5 и более месяцев. Следовательно, обработки могли проводиться средствами, заведомо потерявшими часть действующего вещества. Перед применением таких средств необходимо провести их химический анализ для проверки качества.

Во-вторых, рекомендованные рабочие концентрации средств на основе пиретроидов для борьбы с блохами составляют сотые доли процента (0,01–0,05%). В условиях повышения температуры воздуха выше 30°C резко повышается температура обрабатываемой поверхности. При попадании рабочего раствора на разогретые поверхности действующее вещество средства мгновенно разлагается, и эффективность обработки отсутствует. В связи с этим, обработки можно вести только под утро, когда нагретые поверх-

Таблица 3
 $СК_{50}$ и $СК_{95}$ (%) и диагностические концентрации при контакте блох *X. cheopis* с фильтровальной бумагой, импрегнированной ацетоновыми растворами ДВ инсектицидов

Инсектицид	$СК_{50}$, %	$СК_{95}$, %	ДК, %
Хлорорганические соединения			
ДДТ	0,016	0,030	0,060
Фосфорорганические соединения			
Азаметифос	0,100	0,165	0,330
Малатион	0,018	0,030	0,060
Хлорофос	0,076	0,160	0,320
Хлорпирифос	0,010	0,023	0,046
Фентион	0,0029	0,0065	0,012
Фенитротрион	0,0020	0,0049	0,0098
Диазинон	0,0030	0,0081	0,0162
Производные карбаминной кислоты			
Метомил	0,0020	0,010	0,020
Пропоксур	0,0043	0,011	0,022
Пиретроиды			
Пиретроиды, не содержащие CN-группу			
Эсбиотрин	0,020	0,048	0,096
Вапортрин	0,0056	0,016	0,032
Фенотрин	0,030	0,056	0,112
Тетраметрин	1,035	1,50	3,00
Перметрин	0,005	0,040	0,080
Имипротрин	0,480	2,30	4,60
Пиретроиды, содержащие CN-группу			
Дельтаметрин	0,00030	0,0021	0,0042
Альфациперметрин	0,00064	0,0025	0,005
Циперметрин	0,0012	0,0087	0,017
Цифенотрин	0,0025	0,0100	0,020
Фенилпиразолы			
Фипронил	0,014	0,030	0,060
Неоникотиноиды			
Имидаклоприд	0,054	0,120	0,240
Ацетамиприд	0,017	0,032	0,064

ности охлаждаются или же специально охлаждать помещения перед обработкой. Если этого не происходит, обработку вести бесполезно.

В-третьих, высокие температуры способствуют массовому размножению блох и повышению их численности. При прогнозе очень жаркого лета дезинфекционная служба должна предусмотреть профилактические обработки против блох, которые можно провести весной.

Список использованной литературы

1. **Алексеев А. Н., Самарина Т. П.** О видовых и популяционных различиях крысиных блох *Xenopsylla cheopis*// Энтомологическое обозрение. 1969. Т. 48. № 4. – С. 76-163.
2. **Богданова Е. Н.** Синантропные блохи (Siphonaptera) Москвы//Материалы 1 Всероссийского совещания по кровососущим насекомым. Санкт-Петербург 24-27 октября 2006 г. РАН. Зоологический институт РАН. Санкт-Петербург. 2006. – С. 30-33.
3. **Браун А.** Распространение устойчивости к инсектицидам среди вредных насекомых//В кн. «Успехи в области борьбы с вредителями растений». ИИЛ. М.: 1960. – С. 587-654.
4. **Ващенко В. В.** Блохи (Siphonaptera) – переносчики возбудителей человека и животных. – Л.: 1988. – 161 с.
5. **Златанова В., Славова П., Тодорова М.** //Прочувствования върху степента на чувствителност на котешката бълха *Ctenocephalides felis felis* Vouche спрямо някои инсектициди//Епидемиол. микробиол. и инфекц. болести. 1984. – Т. 21. № 2. С. 39-43.
6. **Еремина О. Ю., Ибрагимхалилова И. В.** Чувствительность лабораторной культуры блох *Xenopsylla cheopis* к инсектицидам//Дез. дело. 2006. – № 3. – С. 46-50.
7. **Методические указания** по определению уровня чувствительности синантропных насекомых к инсектицидам МУ 3.5.2.2358-2008. Государственное санитарно-эпидемиологическое нормирование Российской Федерации – М.: 2009. – 36 с.
8. **Протопопян М. Г.** Устойчивость к ДДТ блох-переносчиков чумы в Среднеазиатском Пустынном очаге в связи с проблемой полевой дезинсекции//Автореф. дисс. на соиск. уч. ст. д. б. н. Саратов. Российский НИИ противочумный институт «Микроб». 1994. – 48 с.
9. **Протопопян М. Г., Миронов А. Н., Налетов В. Г. и др.** Устойчивость к ДДТ блох-переносчиков в Среднеазиатском Пустынном очаге чумы//Изв. высших учебных заведений. Северокавказский регион. Естеств. науки. 1993. – № 1-2 (79). – С. 116-132.
10. **Резистентность к инсектицидам** и борьба с переносчиками. 13-ый Доклад Комитета экспертов ВОЗ. 1963. Сер. Техн. Докладов. № 265. – 1964. – 276 с.
11. **Резистентность к инсектицидам** и борьба с переносчиками. 17-ый Доклад Комитета экспертов ВОЗ. 1971. Сер. Техн. Докладов. № 443. – 1972. – 366 с.
12. **Резистентность переносчиков** и резервуаров инфекций. 22-ой Доклад Комитета экспертов, 1975. Сер. Тех. Докладов № 561.– 1978. – 99 с.
13. **Резистентность переносчиков** болезней к пестицидам. 5-ый Доклад Комитета экспертов ВОЗ. 1983. Сер. Тех. Докладов. № 655. – С. 86.
14. **Резистентность переносчиков** и резервуаров инфекции к пестицидам. 10-ый Доклад Комитета экспертов ВОЗ. 1986. Сер. Тех. Докладов № 737. – 1988. – 86 с.
15. **Резистентность переносчиков** болезней к инсектицидам. 15-й Доклад Комитета экспертов ВОЗ, 1992. Сер. Тех. Докладов. № 818. 1995. – 62 с.
16. **Рославцева С. А.** Резистентность к инсектоакарицидам членистоногих, имеющих эпидемиологическое и санитарно-гигиеническое значение. — Компания «Спутник+». – Москва. – 2006. – 129 с.
17. **Тарасов В. В.** Медицинская энтомология. – М.: Издательство МГУ. — 1996. – 350 с.
18. **Тарасов В. В.** Эпидемиология трансмиссивных болезней. М.: Издательство МГУ. – 2002. – 332 с.
19. **Bossard R. L., Hinkle N. C., Rust M. K.** Review of insecticide resistance in cat flea (Siphonaptera: Pulicidae)// J. Med. Entomol. 1998. – V. 35. — № 4. – P. 415-422.
20. **El-Gazzar L. M., Patterson R.S., Koehler P.G.** Comparisons of cat flea (Siphonaptera: Pulicidae)// Florida Entomologist. 1988. V. 7. – № 3. – P. 359-363.
21. **Kumar K., Jamil-Ur-Raham S., Sharma S.K. et al.** Entomological and rodent surveillance in plague-suspected

areas during September 1994 and thereafter// Jpn. J. Med. Sci. Biol. 1997. – V. 50. – № 3. – P.97-111.

22. **Kumar K., Katyal R., Gill K.S. et al.** Prevalence of rat fleas in and around Delhi (India) area and their susceptibility status to insecticides// Jpn. J. Med. Sci. Biol. – 1996. – V. 49. № 2. – P. 57-62.

23. **Mourya D.T., Geevarghese G., Gokhale M.D. et al.** Present insecticide susceptibility status of *Xenopsylla cheopis* from beed district Maharashtra state India// India Entomol. 1998. – V. 23. № 3. – P. 211-217.

24. **Moyses E.W., Gfeller F.** Topical application as a method for comharing the effectiveness of insecticides against cat flea (Siphonaptera: Pulicidae)//J. Med. Entomol. 2001. – V. 38. № 2. – P. 193-196.

25. **Ratovonjato J., Duchemin J.B., Chanteau S.** *Xenopsylla cheopis* (Siphonaptera: Xenopsyllinae), fleas in rural plague areas of high altitude Madagascar: level of sensitivity to DDT, pyrethroids and carbamates after 50 years of chemical vector control//Arch. Inst. Pasteur Madagascar. 2000. – V. 66. № 1. – P.9-12.

26. **Renapurkar D.M.** Distribution and insecticide resistance of the plague flea *Xenopsylla cheopis* in Maharashtra State, India//Med. Vet. Entomol. 1990. – V. 4. – № 1. – P. 89-96.

27. **Sustriayu N., Sudomo M., Kusharyono C., Lait L.B.** Susceptibility to DDT, malathion, fenitrothion and dieldrin of three flea species in the boyolali plague endemic area Central Java, Indonesia//Southeast Asian J. Trop. Med. Public. Health. 1989. – V.11. № 1. – P. 108-112.

Forming of resistant to insecticide flea populations

Roslavtseva S.A. Doctor of Biology, professor, Scientific Research Disinfectology Institute by Rospotrebnadzor, Nauchny pr., 18, Moscow, 117246

Survey of the world literature on the problem of forming of resistant to insecticides flea populations is presented. Certified method of determination of flea resistance to insecticides and diagnostic concentrations of 23 insecticides of different chemical groups for imago *Xenopsylla cheopis* are described.

Key words: fleas, resistance, insecticides, diagnostic concentration