

Формирование резистентности к инсектицидам из разных химических групп в популяциях комаров *Aedes (Stegomyia) aegypti* и *Aedes (Stegomyia) albopictus*

С. А. Рославцева, М. А. Алексеев, ФБУН НИИДезинфектологии Роспотребнадзора, Первый МГМУ им. И. М. Сеченова, 117246, Москва, Научный проезд, 18

Обзор литературы посвящен проблеме формирования резистентности к инсектицидам комаров *Aedes (Stegomyia) aegypti* и *Aedes (Stegomyia) albopictus* – переносчиков возбудителей арбовирусных инфекций

Ключевые слова: комары *Aedes*, арбовирусы, резистентность, инсектициды.

Кровососущие комары помимо беспокоящего воздействия на человека являются специфическими переносчиками возбудителей опасных болезней – вирусов, бактерий, патогенных простейших и даже гельминтов (дирофилярий). Так, комары переносят малярийные плазмодии, около 72% от общего числа патогенных вирусов. В нашу страну наряду с проникновением и размножением комаров *Aedes (Stegomyia) aegypti* и *Ae. (Stegomyia) albopictus* возможен завоз возбудителей желтой лихорадки, лихорадок Денге, Чикунгунья, Зика, которых переносят эти виды комаров [13, 35]. По данным ВОЗ, ежегодно в мире лихорадкой Денге заболевают в среднем 500 тысяч – 1 млн человек. Менее чем за год, к декабрю 2015 г., количество заболевших лихорадкой Зика в Бразилии увеличилось с 440 тыс. до 1,3 млн человек [28], а 1 февраля 2016 г. ВОЗ объявила лихорадку Зика угрозой общественному здоровью международного уровня. Количество стран и территорий, неблагоприятных в отношении вируса Зика, по состоянию на 16 января 2017 г. достигло 62 [4].

С 1999 г. в России и США отмечена вспышка лихорадки Западного Нила, переносчиками вируса которой являются 43 вида комаров, в основном рода *Culex* [14, 15]. Случаи этой болезни до сих пор отмечаются в России [5].

Долгие годы для борьбы с комарами использовали хлорорганические (ДДТ, ГХЦГ), затем фосфорорганические инсектициды (малатион, фентион, темефос и др.), микробиологические препараты на основе *Bacillus thuringiensis* и пиретроиды. В последние годы появились новые группы химических веществ, которые можно было бы применять в качестве ларвицидов для уничтожения комаров, например неоникотиноиды [2, 8, 54].

Из приведенных выше данных следует, что необходимость борьбы с комарами в последние годы становится все более актуальной.

Большим препятствием для осуществления эффективных противокосариных мероприятий является формирование резистентных к инсектицидам популяций комаров.

Для определения уровня резистентности имаго комаров ВОЗ рекомендовала метод определения чувствительности или резистентности имаго комаров к хлорорганическим, фосфорорганическим соединениям и производным карбаминовой кислоты путем контакта с импрегнированной бумагой в специальных цилиндрах [6], а также для личинок комаров путем погружения их в рабочие растворы инсектицидов. В 22-м Докладе ВОЗ [7] были приведены диагностические концентрации инсектицидов для выявления резистентности у личинок *Ae. aegypti* (табл. 1).

Таблица 1

Величины СК₉₉ и диагностические концентрации для личинок II возраста комаров *Ae. aegypti* из лабораторных чувствительных рас [7]

Инсектицид	СК ₉₉ , мг/л	Диагностическая концентрация, мг/л
Фенипротион	0,004	0,008
Темефос (абат)	0,004	0,008
ДДТ	0,050	0,100
Фентион	0,0125	0,025
Диазинон	0,132	0,264
Перметрин	0,0002	0,0004

Нами в представляемом обзоре прослежена чувствительность популяций комаров рода *Aedes*, в основном *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus*, к инсектицидам, начиная с ДДТ, в разных странах мира.

Европа

Сведения о распространении этих двух видов комаров в южной части Европы приведены нами ранее в обзорах литературных данных, опубликованных в профильных журналах «Пест-менеджмент» и «Дезинфекционное дело» [9–12]. О чувствительности этих комаров к инсектицидам в Европе данных немного: нами найдено упоминание о том, что с целью предотвращения проникновения комаров *Ae. albopictus* через границу с Италией в Швейцарии против них применяют микробиологические препараты, к которым эти насекомые проявляют толерантность [61].

В лабораторных условиях НИИ дезинфектологии, используя личинок чувствительной расы комаров *A. aegypti*, установили диагностические концентрации некоторых микробиологических и химических ларвицидов, которые впоследствии были использованы для оценки чувствительности личинок комаров *A. albopictus* в районах Большого Сочи.

Данные приведены в табл. 2. Личинки *Ae. albopictus* из всех популяций, собранных в четырех районах Большого Сочи в июле 2016 г., оказались чувствительными к циперметрину, хлорпирифосу и ларвицидам на основе *Bacillus thuringiensis var. israelensis*.

Северная Америка, США

Устойчивость к ДДТ у комаров впервые отметили в 1948 г. в США (штат Флорида) у представителей рода *Aedes*, обитающих в засоленной воде, – *Ae. sollicitans* и *Ae. taeniorhynchus*, кроме того, у них обнаружили резистентность к ГХЦГ и дилдрину [31]. К фосфорорганическим инсектицидам (малатиону и этилнитрофенилфосфату) устойчивость у комаров *Ae. sollicitans* была выявлена в начале 50-х гг. XX века [37]. Первые сообщения об устойчивости *Ae. aegypti* к ДДТ были получены в 1959 г. [1, 3].

В 17-м Докладе ВОЗ [6] были приведены материалы, включающие данные по 1968 г. о резистентности к фосфорорганическим инсектицидам популяций различных видов комаров рода *Aedes* в США. Так, в результате применения главным образом паратиона в течение 4–8 лет в США (штат Калифорния) в 1963 г. у популяций кома-

Таблица 2

Диагностические концентрации некоторых инсектицидов для личинок комаров III–IV возрастов *A. aegypti* [собственные данные]

Инсектицид (препарат)	СК ₉₉ , мг/л	Диагностическая концентрация (ДК), мг/л
Фентион	0,030	0,060
Фенитроцион	0,004	0,008
Темефос (абат)	0,015	0,03
Малатион	0,076	0,152
ДДТ	0,050	0,100
Циперметрин	0,059	0,118
Дельтаметрин	0,024	0,048
Лямбда-цигалотрин	0,039	0,078
«Бактицид»	0,045	0,090
«Ларвиоль-паста»	0,0065	0,013

Таблица 3

Диагностические концентрации пиретроидов для имаго *Ae. aegypti* чувствительной расы из США [59, с изменениями]

Инсектицид	СК ₅₀ , %	СК ₉₉ , %	ДК, %
Альфациперметрин	0,0009 (0,0004–0,0013)	0,043 (0,0220–0,1449)	0,0863
Бифентрин	0,0185 (0,0171–0,0202)	0,047 (0,0396–0,0599)	0,0938
Циперметрин	0,0052 (0,0031–0,0072)	0,111 (0,0662–0,2760)	0,2212
Дельтаметрин	0,0007	0,002	0,0049
Лямбда-цигалотрин	0,0012 (0,0010–0,0014)	0,006 (0,0043–0,0087)	0,0116
Перметрин	0,0379 (0,0345–0,0407)	0,073 (0,0632–0,0922)	0,1466

Таблица 4

Чувствительность личинок *Ae. aegypti* в Таиланде к темефосу, малатиону и перметрину [по 51, с изменениями]

Популяция (раса)	СК ₅₀ , мг/л	СК ₉₅ , мг/л	ПР (СК ₅₀)	ПР (СК ₉₅)
Темефос				
MS	0,024 (0,015–0,030)	0,10 (0,06–0,78)	4,4	10
NS	0,013 (0,008–0,018)	0,070 (0,040–0,240)	2,4	7
NR	0,0014 (0,0013–0,0015)	0,0033 (0,0030–0,0040)	0,3	0,3
ST	0,44 (0,30–0,54)	1,30 (0,99–2,00)	82	130
Rockefeller	0,0054 (0,0048–0,0064)	0,010 (0,008–0,020)	–	–
Малатион				
MS	0,078 (0,062–0,095)	0,26 (0,19–0,43)	1,6	2,9
NS	0,15 (0,14–0,17)	0,59 (0,46–0,84)	3,0	6,6
NR	0,099 (0,090–0,110)	0,20 (0,16–0,29)	2,0	2,2
ST	0,17 (0,15–0,20)	0,37 (0,29–0,59)	3,4	4,0
Rockefeller	0,050 (0,043–0,058)	0,092 (0,074–0,140)	–	–
Перметрин				
MS	0,0070 (0,0058–0,0083)	0,024 (0,018–0,038)	10	13
NS	0,019 (0,015–0,025)	0,057 (0,040–0,120)	27	32
NR	0,010 (0,008–0,016)	0,04 (0,02–0,16)	14	22
ST	0,03 (0,02–0,04)	0,13 (0,07–0,62)	43	72
Rockefeller	0,0007 (0,0005–0,0009)	0,0018 (0,0012–0,0091)	–	–

ров *Ae. nigromaculatus* установлена резистентность к нему (4000×), а также к метилпаратиону, фенитротиону (20×) и малатиону (10×). В результате применения дилдрин против личинок *Ae. taeniorhynchus* на острове Большой Кайман была обнаружена высокая перекрестная резистентность к темефосу (абату), дурсбану и актону [21].

В США личинки *Ae. albopictus* были впервые обнаружены в штате Нью-Джерси в августе 1995 г. и использованы для создания эталонной чувствительной расы ANM95. Недавно личинок этого вида комаров, собранных в штатах Флорида, Пенсильвания и Нью-Джерси, исследовали на резистентность к *Bacillus thuringiensis*, темефосу, пропоксуру, спиносаду, метопрену и пирпроксифену. Личинки всех популяций были чувствительными или слабо толерантными к перечисленным выше действующим веществам (ДВ). Окрыленные особи этих популяций были чувствительными к 4%-м концентрациям ДДТ, 0,05% – дельтаметрина, 1,5% – фенотрина, 1% – праллетрина, но к 0,8% малатиона две популяции из Флориды были слабо толерантными [43].

Для изучения возможной перекрестной резистентности в Таиланде были установлены диагностические концентрации шести пиретроидов для имаго *Ae. aegypti* чувствительной расы из США (штат Флорида) [59] (табл. 3).

Азиатский субконтинент

В связи с массовым распространением лихорадок Денге, Чикунгунья, Зика и других в странах Юго-Восточной Азии проводились работы по установлению чувствительности к инсектицидам основных переносчиков возбудителей этих лихорадок – комаров *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus*.

Япония

В 2012–2013 гг. в Нагасаки были собраны имаго и личинки комаров *Ae. albopictus*. Личинки комаров оказались резистентными к d-T80-аллетрину, а имаго – высокорезистентными к ДДТ, и более половины популяций из Нагасаки и Фукуоки были резистентными к перметрину. В экспериментах не выявили ни одной мутации в Na⁺-каналах оболочки нервных клеток. С помощью синергистов показали высокую активность цитохрома P450, что может свидетельствовать о вкладе монооксигеназ в детоксикацию пиретроидов и отсутствию кросс-резистентности между ДДТ и пиретроидами [53].

Таиланд

Для субтропических и тропических районов Таиланда большую опасность представляет лихорадка Денге, первые случаи заболевания кото-

Таблица 5

Чувствительность личинок *Ae. albopictus* в Таиланде к темефосу, малатиону и перметрину [по 51, с изменениями]

Популяция (раса)	СК ₅₀ , мг/л	СК ₉₅ , мг/л	ПР (СК ₅₀)	ПР (СК ₉₅)
Темефос				
MS	0,026 (0,023–0,028)	0,064 (0,056–0,077)	4,8	6,4
ST	0,0098 (0,0077–0,0140)	0,017 (0,013–0,070)	1,8	1,7
PT	0,015 (0,010–0,020)	0,03 (0,02–0,07)	2,8	3,03
Rockefeller	0,0054 (0,0048–0,0064)	0,010 (0,008–0,020)	–	–
Малатион				
ST	0,15 (0,13–0,18)	0,23 (0,19–0,56)	3,0	2,5
PT	0,06 (0,04–0,07)	0,10 (0,08–0,58)	1,2	1,1
Rockefeller	0,05 (0,04–0,06)	0,092 (0,074–0,140)	–	–
Перметрин				
MS	0,023 (0,018–0,032)	0,076 (0,048–0,200)	33	42
NS	0,0041 (0,0038–0,0045)	0,0120 (0,0098–0,0150)	5,9	6,7
ST	0,0020 (0,0018–0,0022)	0,0047 (0,0042–0,0054)	2,9	2,6
PT	0,009 (0,006–0,014)	0,030 (0,017–0,110)	13	16,7
Rockefeller	0,0007 (0,0005–0,0009)	0,0018 (0,0012–0,0091)	–	–

Таблица 6

Диагностические концентрации пиретроидов для имаго *Ae. albopictus*, установленные в Таиланде [62]

Инсектицид	СК ₅₀ , %	СК ₉₉ , %	ДК, %
Дельтаметрин	0,00122 (0,00101–0,0146)	0,01310 (0,00908–0,02140)	0,0262
Перметрин	0,06140 (0,03975–0,09482)	0,51189 (0,25728–2,1867)	1,02378
Бифентрин	0,03233 (0,02745–0,03814)	0,28489 (0,20301–0,44825)	0,56978
Циперметрин	0,00755 (0,00622–0,00916)	0,11853 (0,07941–0,20072)	0,23706
Альфациперметрин	0,00153 (0,00126–0,00182)	0,0176 (0,0122–0,02956)	0,0352

рой были отмечены в 1949 г., а потом и в 1958 г. С того времени заболеваемость продолжала увеличиваться. Основным переносчиком возбудителя лихорадки Денге являются комары *Ae. aegypti*. Наиболее важным переносчиком вируса Чикунгунья являются комары *Ae. albopictus*, они также считаются вторыми по значению как переносчики вируса лихорадки Денге и Зика.

Первое сообщение об устойчивости желтолихорадочного комара *Ae. aegypti* к ДДТ в этой стране появилось в 1960 г. В течение 1986–1993 гг. изучалась чувствительность *Ae. aegypti* к темефосу, малатиону, фенитротиону, перметрину и дельтаметрину [27].

В июле 2003 – апреле 2004 гг. в нескольких городах Таиланда были собраны комары *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* и определена их чувствительность к темефосу, малатиону и перметрину в сравнении с показателями для чувствительной расы Rockefeller из США (табл. 4 и 5).

Высокорезистентными к темефосу были комары *Ae. aegypti* популяции ST; к малатиону все изученные популяции были или чувствительными, или толерантными; к перметрину – резистентными. Популяции комаров *Ae. albopictus* были в разной степени толерантными к темефосу и малатиону и толерантными или резистентными к перметрину [51].

В 2010 г. исследования чувствительности имаго популяций *Ae. aegypti* были проведены в пяти населенных пунктах провинции Пхитсанулок к перметрину, дельтаметрину и темефосу. К темефосу была высокотолерантна только одна популяция (6,6×). У исследованных популяций начала формироваться резистентность к перметрину и дельтаметрину [63].

Комары, собранные из семи районов Таиланда в период 2011–2012 гг., были резистентными к бифентрину, перметрину и дельтаметрину (смертность от ДК составляла 6%, 6% и 14%,

Таблица 7

Чувствительность к темефосу личинок трех природных популяций комаров *Ae. aegypti* из Индии [47, с изменениями]

Популяция	СК ₅₀ , мг/л	ПР	СК ₉₀ , мг/л	ПР
Чувствительная	0,062 (0,0054–0,0072)	1,0	0,0091 (0,0082–0,0121)	1,0
SLM	0,429 (0,320–0,572)	6,9	0,643 (0,585–0,711)	7,0
NKL	0,925 (0,803–1,227)	14,9	1,520 (1,361–1,963)	16,7
DPI	0,305 (0,203–0,520)	4,9	0,830 (0,741–1,061)	9,1

соответственно), чувствительными к лямбда-цигалотрину (смертность – 93%), а также к альфа-циперметрину и циперметрину (смертность – 97%) [59].

В Таиланде наиболее важными переносчиками вируса Чикунгунья являются комары *Ae. albopictus*, они занимают также второе по значению место в переносе вируса Денге. В связи с этим были проведены исследования по установлению диагностических концентраций 6 пиретроидов для имаго комаров *Ae. albopictus* с целью проведения мониторинга резистентности на территории государства. Был использован метод контакта с импрегнированной инсектицидами бумагой. В качестве эталона была использована раса KU из Бангкока (табл. 6).

У трех природных популяций комаров *Ae. albopictus* была изучена чувствительность к инсектицидам. Популяция Rayong оказалась чувствительной к бифентрину, циперметрину и альфа-циперметрину. Популяция Koh Sang была чувствительной к дельтаметрину и перметрину. Комары популяции Pong Nom Ron были резистентными ко всем пяти инсектицидам. Установленные диагностические концентрации были использованы для проведения мониторинга чувствительности комаров к инсектицидам в других регионах Таиланда [62].

Таким образом, в Таиланде имеются популяции как *Ae. aegypti*, так и *Ae. albopictus*, резистентные к темефосу, малатиону, перметрину, бифентрину, дельтаметрину.

Индия

Личинки комаров *Ae. aegypti* были собраны в трех районах Индии, а затем была определена их чувствительность к темефосу (табл. 7).

Популяции SLM и DPI были толерантными к темефосу, популяция NKL – резистентной. При изучении механизма резистентности установили, что популяция NKL характеризовалась высокой активностью эстераз и монооксигеназ. Кроме того, в этой популяции 20% особей имели нечувствительную ацетилхолинэстеразу (АХЭ), но активность глутатион-S-трансферазы практически не

отличалась от таковой чувствительной расы. Найдены специфические мутации G119S в гене, контролирующем АХЭ [47].

При изучении чувствительности популяций *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus* из северо-западной Индии (штат Ассам) установлено, что эти популяции различались по чувствительности к темефосу, были чувствительными к дельтаметрину, но устойчивыми к ДДТ [64].

Популяции *Ae. aegypti* из разных районов Индии были высокочувствительными к лямбда-цигалотрину, но резистентными к пропоксуре (350×) и дельтаметрину (250×) [57].

Собранные в международном морском порту Мумбаи (Индия) в декабре 2010 г. популяции комаров *Ae. aegypti* были высокотолерантными к фентиону и темефосу (13,9–15,7×) и заражены вирусом Денге [39].

Определена чувствительность к темефосу комаров *Ae. aegypti* из разных районов Дели с использованием ДК, предложенной ВОЗ. Смертность личинок от ДК колебалась в пределах 68,9–98,2%. Пять популяций оказались резистентными к темефосу, две – толерантными и одна – чувствительной [58].

Пакистан

В Пакистане (Равалпинди) определили чувствительность к темефосу комаров *Ae. aegypti*. Эталон для сравнения была чувствительная раса Rockefeller. Изученные популяции обладали средним и высоким уровнем толерантности к темефосу (ПР = 8,2–9,3). Полученные данные были использованы для изменения стратегии борьбы с комарами [22].

Для установления скорости развития резистентности к неоникотинотидам личинок чувствительной расы *Ae. aegypti* «Бора-Бора» из Сингапура селектировали в лаборатории в течение 8 поколений 8 раз имидаклопридом, после чего устойчивость к имидаклоприду возросла в 5,4 раза. Установили также наличие перекрестной резистентности к ацетамиприду и тиаметоксаму и отсутствие таковой к ДДТ, пропоксуре, перметрину и темефосу [54].

Таблица 8

Чувствительность личинок *Ae. aegypti* из Сингапура к инсектицидам [38]

Инсектицид	СК ₅₀ , мг/л	СК ₉₉ , мг/л	ДК, мг/л
Темефос	0,0073 (0,0070–0,0080)	0,0143 (0,0133–0,0156)	0,0286
Перметрин	0,0015 (0,0010–0,0020)	0,0040 (0,0030–0,0045)	0,0080
Этофенпрокс	0,0060	0,0140 (0,0130–0,0150)	0,0280
<i>Bti</i>	0,1290 (0,0112–0,1493)	0,5703 (0,4463–0,7837)	1,1406

Таблица 9

Показатели резистентности популяций из Сантьяго (Кабо-Верде) к темефосу, дифлубензурону и микробиологическому препарату на основе *Bti* [55]

Популяция	СК ₅₀ , мг/л	СК ₉₀ , мг/л	ПР по СК ₉₀
Темефос			
Rockefeller 2012	0,0058 (0,0048–0,0069)	0,0086 (0,0074–0,0102)	1,0
Rockefeller 2014	0,0072 (0,0069–0,0083)	0,0102 (0,0099–0,0130)	1,0
CV2012	0,026 (0,025–0,027)	0,038 (0,036–0,040)	4,4
CV-Praia2014	0,024 (0,022–0,028)	0,034 (0,030–0,036)	3,3
CV2014	0,015 (0,012–0,019)	0,025 (0,019–0,035)	2,5
<i>Bti</i>			
Reclab	0,016 (0,012–0,020)	0,030 (0,026–0,039)	1,0
CV2012	0,011 (0,010–0,012)	0,023 (0,020–0,027)	0,8
Дифлубензурон			
Rockefeller	0,39 (0,29–0,45)	0,94 (0,87–1,03)	1,0
CV2012	1,34 (1,25–1,43)	2,08 (1,96–2,25)	2,2

Индонезия, Малайзия, Сингапур

В Индонезии для борьбы с комарами *Ae. aegypti* с 1999 г. применяют пиретроиды и ФОС (темефос и малатион). В провинции Центральная Ява в 2010–2012 гг. были собраны личинки комаров *Ae. aegypti* из четырех районов. Исследования, проведенные на имаго по методике ВОЗ, показали, что у большинства популяций снижена чувствительность к пиретроидам, особенно к альфа-циперметрину (ПР = 10–303×). Методом ПЦР было подтверждено наличие высокого уровня резистентности к пиретроидам и установлены три мутации (S989P, V1016G и F1534C) в гене, кодирующем чувствительные к изменению потенциала натриевые каналы. Эти мутации могут быть ценными молекулярными маркерами для мониторинга резистентности комаров к пиретроидам [56].

Изучена чувствительность к темефосу и *Bacillus thuringiensis* личинок комаров *Ae. albopictus* в отдельных провинциях Малайзии. Популяции из пяти районов были чувствительными к этим ларвицидам [46].

В Национальном институте инфекционных болезней Японии и Институте проблем здоровья Сингапура было проведено исследование меха-

низмов резистентности комаров *Ae. aegypti* к перметрину. Личинки комаров *Ae. aegypti* из Сингапура были чувствительными или слабо толерантными к темефосу (ПР = 1–4), высокорезистентными к перметрину (ПР = 29–47) и этофенпроксу (ПР = 14–34), но оставались чувствительными к *Bacillus thuringiensis* var. *israelensis* (*Bti*) (табл. 8).

Механизм резистентности исследовали путем использования ингибиторов эстераз (S,S,S-трибутилтретиофосфат, трифенилфосфат) и монооксидаз (пиперонилбутоксид). У шести популяций активность альфа- и бета-эстераз была доказуемо выше, чем у чувствительной расы. В отдельных популяциях активность монооксигеназ была даже ниже, чем у чувствительной расы. Таким образом, добавление синергистов к инсектицидам продемонстрировало наличие механизма резистентности метаболического типа [38].

В пяти районах Сингапура с помощью ДК определили чувствительность популяций комаров к инсектицидам. Для *Ae. aegypti* ДК пиримифосметила и циперметрина составляли 0,1512% и 2,8600%, для *Ae. albopictus* – 0,0318% и 1,2310%, соответственно. *Ae. aegypti* были чувствительными к пиримифосметилу, но резистент-

ными к циперметрину. Резистентность к пиримифосметилу отметили у всех изученных популяций комаров *Ae. albopictus*, к циперметрину – только в двух районах [40].

Китай

В Южной части Китая методом ВОЗ были определены показатели резистентности к циперметрину и цигалотрину популяций *Ae. aegypti*, которые составили, согласно величинам СК50, 7–88× и 4,8–88,87×, соответственно. У резистентных популяций обнаружены мутации в гене *kdr* [41].

Саудовская Аравия

В Саудовской Аравии (округ Джизан) были собраны имаго и личинки комаров *Ae. aegypti* методом, рекомендованным ВОЗ, была определена их чувствительность к пиретроидам, фосфорорганическим инсектицидам, карбаматам и регуляторам развития насекомых (метопрену и дифлубензуруну). Эксперименты с имаго комаров проводили, подвергая их контакту с фильтровальной бумагой, импрегнированной лямбда-цигалотрином (0,05%), цифлутрином (0,15%), дельтаметрином (0,05%), перметрином (0,75%), фенитротионом (1,0%), бендиокарбом (0,1%) и ДДТ (4%). Имаго комаров были чувствительными только к цифлутрину (100% особей погибли). Сохранилась резистентность к ДДТ: при его применении погибли только 56% особей. Наименее активным был бендиокарб: погибли лишь 17% комаров. Личинки были резистентными к темефосу: от испытанных концентраций 0,005–0,625 мг/л погибали всего лишь 0–10% личинок. Дифлубензурун был менее активен, чем метопрен: СК50 составляли 0,86 (0,48–1,52) мг/л и 0,49 (0,0002–81,9) мг/л, а СК90 – 93,8 (30,9–583,1) мг/л и 10,9 (1,49–7,57) мг/л, соответственно. По инсектицидной активности изученные вещества располагаются следующим образом: бендиокарб > ДДТ > лямбда-цигалотрин > перметрин > дельтаметрин > фенитротион > цифлутрин [19].

Африканский континент Нигерия

При исследовании чувствительности имаго *Ae. aegypti* на фермах и в городах Нигерии с помощью ДК, рекомендованных ВОЗ, установлена резистентность к ДДТ и дельтаметрину согласно полученным величинам KT_{50} [23].

Сенегал, Кабо-Верде

В Сенегале и в островном государстве Кабо-Верде в 2009 г. диагностировали случаи заболевания лихорадкой Денге, переносчиками возбу-

дителя которой были комары *Ae. aegypti*. Популяция *Ae. aegypti* (Dakar) из Сенегала была высокорезистентной к ДДТ, но чувствительной к фенитротиону и перметрину. Ее чувствительность к дельтаметрину, лямбда-цигалотрину и пропоксуру оказалась сниженной. Популяция комаров этого вида (Cape Verde) оказалась чувствительной к фенитротиону, дельтаметрину, лямбда-цигалотрину и перметрину, но сохранила резистентность к ДДТ. Чувствительность к пропоксуру у этой популяции была пониженной [32].

В Кабо-Верде в 2011–2012 гг. изучали чувствительность этого вида комаров к инсектицидам и механизмы резистентности на примере популяции с острова Сантьяго. Установлены показатели чувствительности личинок комаров к *Bacillus thuringiensis var. israelensis* (*Bti*), дифлубензуруну и темефосу (табл. 9).

Самки комаров были чувствительными к малатиону, но резистентными к дельтаметрину и циперметрину [55].

Судан

Согласно результатам исследования, проведенного в городе Порт-Судан с февраля 2009 г. по февраль 2010 г. с использованием методики ВОЗ, имаго комаров *Ae. aegypti* оказались чувствительными к дельтаметрину и бендиокарбу, толерантными к лямбда-цигалотрину и резистентными к ДДТ и малатиону [45].

Центральная и Южная Америка Куба, Венесуэла и Панама

В 1956 г. устойчивость к ДДТ у комаров *Ae. aegypti* обнаружили в Венесуэле и Колумбии [1, 3].

В 1980–1981 гг. в Гуинесе (провинция Гавана, Куба) были собраны личинки комаров *Ae. aegypti* и методом ВОЗ определены показатели СК₅₀ и СК₉₅ для темефоса и фентиона, которые составили 0,0052 мг/л и 0,0135 мг/л и 0,0048 мг/л и 0,0125 мг/л, соответственно. Для мониторинга резистентности была рекомендована ДК темефоса и фентиона, равная 0,03 мг/л [16].

В начале XXI века была повторно определена устойчивость комаров *Ae. aegypti* из Кубы и Венесуэлы к пяти фосфорорганическим инсектицидам и трем пиретроидам. Популяции комаров из Венесуэлы были слаборезистентными к фентиону и малатиону и высокорезистентными к темефосу, пиримифосметилу и хлорпирифосу, но чувствительными к пиретроидам. Кубинские популяции были устойчивыми к циперметрину и в разной степени невосприимчивыми к фосфорорганическим инсектицидам. Так, на Кубе (г. Гавана) личинки комаров были чувствительными к малатиону, хлор-

Таблица 10

Сравнение диагностических концентраций для фенитротиона и темефоса и малатиона, предложенных ВОЗ и по [30]

Инсектицид	СК ₉₉ , мг/л	ДК, мг/л	
		[30]	ВОЗ
Фенитротион	0,0050 (0,0047–0,005)	0,010	0,020
Малатион	0,0900 (0,082–0,108)	0,200	0,125
Темефос	0,0040 (0,0038–0,0042)	0,008	0,0120

Таблица 11

Чувствительность комаров *Ae. aegypti* к темефосу в 2011–2012 гг. (Бразилия) [18]

Популяция	Год	СК ₅₀ , мг/л	СК ₉₅ , мг/л	ПР	
				СК ₅₀	СК ₉₅
Rockefeller	–	0,0034 (0,0032–0,0036)	0,0063 (0,0059–0,0067)	–	–
Jacarezinho	2011	0,0103 (0,0099–0,0107)	0,0228 (0,0218–0,0240)	3,0	3,6
Jacarezinho	2012	0,0066 (0,0063–0,0069)	0,0159 (0,0151–0,0171)	1,9	2,5

Таблица 12

Уровень резистентности личинок комаров *Ae. aegypti* к пяти инсектицидам [24]

Популяция	Показатель	Темефос	Фенитротион	Бендиокарб	Циперметрин	Дельтаметрин
Limon	СК, %	0,013	0,025	0,42	0,0062	0,0066
	ПР	10,83	1,47	2,21	4,76	81,48
Puntarenas	СК, %	0,023	0,0088	0,77	0,0059	0,0048
	ПР	19,16	0,52	4,052	4,53	59,25
Rockefeller	СК, %	0,0012	0,017	0,19	0,0013	0,000081

пирифосу, пиримифосметилу, пропоксуре, но высокорезистентными к темефосу и фентиону. Максимальную эффективность в борьбе с имаго проявили пиретроиды: смертность комаров превышала 90%. С помощью синергистов ППБ и трибутилтрифосфата (ТБТФ) показано участие в механизме резистентности к темефосу и фентиону эстераз и монооксигеназ [42].

В четырех районах западной Венесуэлы установлены чувствительность или низкий уровень толерантности *Ae. aegypti* к темефосу. Эксперименты проводили на личинках из шести природных популяций, собранных в 2008 г. и в 2010 г. Эталонном для сравнения служили личинки чувствительной расы New Orleans [20].

В двух районах Панама обнаружена резистентность личинок *Ae. aegypti* к пиримифосметилу и чувствительность к темефосу, малатиону, фентиону, фенитротиону и хлорпирифосу, а также к дельтаметрину, лямбда-цигалотрину, циперметрину и цифлутрину [25].

Бразилия

В Бразилии с 1999 г. была разработана программа мониторинга чувствительности комаров

Ae. aegypti к фосфорорганическим инсектицидам, которые применяют с 80-х годов XX века. В штате Сан-Паулу из десяти обследованных популяций только две оказались чувствительными к инсектицидам. Уровень толерантности остальных к темефосу и фенитротиону колебался в пределах 1,2–3,2×. Изменения в активности ацетилхолинэстеразы не были выявлены. В штатах Рио-де-Жанейро и Эспириту-Санту были обследованы 84 популяции. Гибель личинок от ДК темефоса составила 23–74%. Показатель резистентности трех популяций колебался в пределах 3–12×. В 2001 г. в других штатах Бразилии, в которых темефос применяли более 30 лет, уровень резистентности к нему составил от 6× в Аракажу до 16,8× в Рио-де-Жанейро [26]. Отмечали также снижение чувствительности имаго этого вида комаров к циперметрину в некоторых штатах Бразилии в период 2001–2003 гг. [29].

В Бразилии для личинок чувствительной расы Rockefeller комаров *Ae. aegypti* были установлены ДК фенитротиона, малатиона и темефоса, которые сравнили с аналогичными концентрациями ВОЗ, установленными в 1992 г. Различия в величинах ДК были не более чем двукратными (табл. 10).

В зеленой зоне городов Ору-Прету и Мариана доминирующими видами являются также указанные выше виды комаров – переносчики возбудителя лихорадки Денге [50], а в зеленой зоне города Сан-Паулу происходит массовый выплод комаров *Ae. albopictus*, но комары *Ae. aegypti* практически отсутствуют [44]. В экспериментах 2011–2012 гг. комары *Ae. aegypti* из муниципалитета Жакарезинью были слабо толерантными (1,9–3,6×) к темефосу (табл. 11). Проведенный молекулярно-генетический анализ установил, что мутация V1016I, являющаяся генетическим маркером для резистентности к пиретроидам по *kdr*-типу, обнаружена во всех пробах, причем частота ее проявления в 2011 г. и в 2012 г. составляла 80% и 70%, соответственно [18].

Коста-Рика

Личинки комаров *Ae. aegypti* были собраны в провинциях Пунтаренас и Лимон. Используя метод ВОЗ, авторы провели определение их чувствительности к ряду инсектицидов. У личинок выявили высокую резистентность к темефосу и дельтаметрину. Хлорпирифос и циперметрин рассматриваются как альтернативные инсектициды при борьбе с комарами (табл. 12).

Уровень активности эстераз и монооксигеназ у природных популяций достоверно отличается от активности этих ферментов лабораторной чувствительной расы [24].

Колумбия

Первое сообщение о резистентности к ДДТ комаров в Колумбии было получено в 1961 г. [34], а об устойчивости к темефосу – в 1998 г. [60].

В начале XXI века три исследованные популяции из Колумбии были толерантными к темефосу. От ДК темефоса смертность личинок составила 62–88%, а показатель резистентности – 3,7–6,0×. Из 107 образцов личинок комаров, которые были проанализированы, 94% были гомозиготами с диким аллелем 1016V и только 6% были гетерозиготными по аллелю V1016I [17].

Личинки и имаго *Ae. aegypti* из 10 районов, расположенных в 4 департаментах на юго-западе Колумбии, были исследованы на чувствительность к различным инсектицидам. Во всех районах, где проводили испытания ДДТ, бендиокарба и темефоса, была зарегистрирована резистентность к этим инсектицидам, но к малатиону все исследованные популяции остались чувствительными. Согласно результатам испытаний, проведенных методом ВОЗ, все популяции сохраняли чувствительность к лямбда-цигалотрину и дельтаметрину. У резистентных комаров из пяти районов

обнаружен повышенный уровень активности неспецифических эстераз, а у комаров из двух других районов обнаружили повышенную активность монооксигеназы [49].

Заключение

Как следует из приведенных данных, комары *Aedes (Stegomyia) aegypti* и *Ae. albopictus* в XXI веке распространились по всем континентам. В XX веке они заселили не только страны Азии и Америки, но даже проникли в Европу. Поскольку эти виды являются переносчиками возбудителей многих арбовирусных лихорадок, обнаружение этих насекомых на территории разных стран создает угрозу появления и распространения этих болезней, большинство из которых смертельно опасны.

Основными инсектицидами для борьбы с личинками комаров *Ae. aegypti* и *A. albopictus* в разных странах после завершения применения ДДТ оказались фосфорорганические соединения – темефос (абат), малатион, фентион, фенитротрион, реже хлорпирифос; а затем пиретроиды – дельтаметрин, циперметрин, лямбда-цигалотрин, цифенотрин.

Многолетняя борьба с этими насекомыми с помощью инсектицидов в настоящее время способствовала появлению популяций, резистентных ко многим инсектицидам.

Для борьбы с личинками комаров во всем мире наиболее широко применяется темефос, ранее известный как абат, который был зарегистрирован в СССР в 80-е гг. прошлого века. Популяции, резистентные к темефосу, выявлены в Азии и Южной Америке. Обнаружены также популяции комаров, резистентные к малатиону.

К регуляторам развития насекомых (метопрен и пирипроксифен) резистентных популяций комаров не выявлено.

Максимально приближенные к территории России страны, кроме резистентных к темефосу популяций, имеют таковые, резистентные к циперметрину, перметрину, альфациперметрину, лямбда-цигалотрину.

Представляют интерес данные о чувствительности личинок этих видов комаров к микробиологическим препаратам, в частности на основе *Bacillus thuringiensis var. israelensis*. Так, описано появление комаров *Ae. albopictus* на юге Швейцарии в 2003 г. [33] и дальнейшее распространение этого вида вдоль дорог, ведущих на север страны в сторону Альп [48]. Для предотвращения миграции комаров из Италии на границе Италии и Швейцарии применяются обработки ларвицидами на основе *Bti*. Швейцарские популяции ока-

зались толерантными к этому препарату [61]. Однако в других регионах мира не отмечено изменения чувствительности комаров к препаратам на основе Bti. Так, в Кабо-Верде [55] и в Сингапуре [40] ни резистентности, ни толерантности к таким препаратам не было обнаружено.

Изучение чувствительности личинок комаров *Ae. albopictus* из всех районов Большого Сочи, проведенное сотрудниками НИИДезинфектологии в 2016 г., подтвердило отсутствие толерантности личинок к отечественным инсектицидам на основе Bti («Бактицид» и «Ларвиоль-паста»). Эти средства рекомендуются для проведения ларвицидных обработок на Черноморском побережье Кавказа, в Крыму и других регионах, где возможно появление *Ae. aegypti* и *Ae. albopictus*.

Список использованной литературы References

1. Браун А. Распространение устойчивости к инсектицидам среди вредных насекомых. Успехи в области борьбы с вредителями растений. под ред. Р.Л. Меткафа. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1960. 587–654 [Braun A. Distribution of insecticide resistance in pest insects. R.L. Metcalf (ed.). *Advances in control of plant pests*. (ISBN 200002750057). Moscow, Izdatelstvo inostrannoy literatury. 1960. 587–654] [In Russian].

2. Гришина Е. А. Гигиенические обоснования дезинсекционных мероприятий по борьбе с комарами – переносчиками возбудителя лихорадки Западного Нила: Автореф. дис. канд. мед. наук (14.00.07 – гигиена); ММА им. И. М. Сеченова. М. 2009. 24 с. [Grishina E. A. Hygienic rationale for disinsection measures to control mosquitoes – carriers of the causative agent of the West Nile fever. The dissertation author's thesis on competition of a scientific degree of the PHD in Medical sciences (14.00.07 – hygiene); I.M. Sechenov Moscow Medical Academy. Moscow. 2009. 24 p.] [In Russian].

3. Куартерман К, Шуф Г. Приобретение членистоногими, имеющими медицинское значение, устойчивости к инсектицидам в 1956 г. Приобретение насекомыми и клещами устойчивости к ядам: Сб. статей [Пер. с англ.]. под ред. Б. И. Рукавишникова. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1959. 34–52 [Quarterman K., Shuf G. The acquisition of resistance to insecticides in 1956 by arthropods of medical significance. B.I. Rukavishnikov (ed.). *The acquisition of pesticide resistance by arthropods (Collection of articles)* [Transl. from English]. ISBN 5-286-00024-X. Moscow. Izdatelstvo inostrannoy literatury. 1959. 34–52] [In Russian].

4. Об эпидемиологической ситуации, связанной с распространением вируса Зика в мире

(16.01.2017 г.) [Электронный документ]. Режим доступа: www.rospotrebnadzor.ru/about/info/news/news_details.php?ELEMENT_ID=7689 (Дата обращения – 20.01.2017 г.) [About epidemiological situation associated with the distribution of Zika virus in the world (January 16, 2017) [Electronic document]. www.rospotrebnadzor.ru/about/info/news/news_details.php?ELEMENT_ID=7689 (Accessed January 20, 2017) [In Russian].

5. Прогноз изменения численности грызунов, насекомоядных и эпизоотического состояния по туляремии, геморрагической лихорадке с почечным синдромом (ГЛПС), лептоспирозам, бешенству, лихорадке Западного Нила (ЛЗН) и Крымской геморрагической лихорадке (КГЛ) в Российской Федерации на весну 2017 года: Приложение к письму Роспотребнадзора от 18.01.2017 г. №01/510–17–32 [Электронный документ].

6. Резистентность к инсектицидам и борьба с переносчиками. Семнадцатый доклад Комитета экспертов ВОЗ по инсектицидам: Пер. с англ. Сер. техн. докладов ВОЗ. №443. Женева. 1972. 366 с. [Insecticide resistance and vector control: seventeenth report of the WHO Expert Committee on insecticides. Transl. from English. WHO technical report series No. 443. Geneva. Switzerland. WHO. 1972. 366 p.] [In Russian].

7. Резистентность переносчиков и резервуаров инфекции к пестицидам. Двадцать второй доклад Комитета экспертов ВОЗ по инсектицидам: Пер. с англ. Сер. техн. докладов ВОЗ. №585. Женева. 1978. 99 с. [Resistance of vectors and reservoirs of infection to pesticides: twenty-second report of the WHO Expert Committee on insecticides. Transl. from English. WHO technical report series No. 585. Geneva, Switzerland, WHO. 1978. 99 p.] [In Russian].

8. Рославцева С. А. Неоникотиноиды – новая перспективная группа инсектицидов. *Агрохимия*. 2000 [17.01.2000]; 1. 49–52 [Roslavitseva S. A. Neonicotinoids – new perspective group of insecticides. *Agrokhimiya* (ISSN 0002-1857). 2000; 1. 49–52] [In Russian].

9. Рославцева С. А. Роль кровососущих комаров в передаче возбудителей инфекционных заболеваний человека. Сообщение 1. Арбовирусы семейства Flaviviridae рода Flavivirus. *Пест-менеджмент (ПЭТ-инфо)*. 2009; 1–2 (69–70). 42–48 [Roslavitseva S. A. Bloodsucking mosquitoes significance in transmission of human infectious diseases causative agents. Report 1. Arboviruses of Flaviviridae family, genus Flavivirus. *Pest-management* (ISSN 2076–8462). 2009; 1–2(69–70). 42–48] [In Russian].

10. Рославцева С. А. Роль кровососущих комаров в передаче возбудителей инфекционных заболеваний человека. Сообщение 2. Роль комаров в передаче возбудителей некоторых арбовирусных инфекций. Пест-менеджмент (РЭТ-инфо). 2009; 3(71). 30–33 [Roslavtseva S. A. Bloodsucking mosquitoes significance in transmission of human infectious diseases. Report 2. Mosquitoes significance in transmission of some arbovirus infections. Pest-management (ISSN 2076–8462). 2009; 3(71). 30–33] [In Russian].

11. Рославцева С. А. О распространении комаров *Stegomyia aegypti* (L.) и *Stegomyia albopictus* (Skuse) в Европе и России. Дез. дело. 2012; 4. 41–45 [Roslavtseva S. A. About distribution of mosquitoes of *Stegomyia aegypti* (L.) and *Stegomyia albopictus* (Skuse) in Europe and in Russia. Dezinfectionnoye delo (ISSN 2076–457X). 2012; 4. 41–45] [In Russian].

12. Рославцева С. А., Михина Н. Г. О резистентности к инсектицидам комаров *Stegomyia* (*Aedes*) *aegypti* L. и *Stegomyia* (*Aedes*) *albopictus* Skuse – переносчиков возбудителей арбовирусных лихорадок (обзор литературы). Дез. дело. 2016; 1(95). 36–44 [Roslavtseva S. A., Mikhina N. G. About resistance to insecticides of mosquitoes: *Stegomyia* (*Aedes*) *aegypti* L. and *Stegomyia* (*Aedes*) *albopictus* Skuse, which are vectors of arboviral fever's agents (literature review). Dezinfectionnoye delo (ISSN 2076–457X). 2016; 1 (95). 36–44] [In Russian].

13. Таршис М. Г., Черкасский Б. Л. Болезни животных, опасные для человека. М.: Колос. 1997. 208 с. [Tarshis M. G., Cherkasskiy B. L. Animal diseases dangerous for human. Moscow: Kolos. 1997. 208 p. (ISBN 5-10-003333-9)] [In Russian].

14. Федорова М. В. Комары (Diptera, Culicidae) – переносчики вируса Западного Нила на территории России. Арбовирусы и арбовирусные инфекции: Материалы расширенного пленума проблемной комиссии «Арбовирусы» и науч.-практич. конф, Астрахань, 17–20 октября 2006 г. под ред. А. М. Бутенко. М.: ЗАО «Гриф и К». 2007. 168–174 [Fyodorova M. V. Mosquitoes (Diptera, Culicidae) are vectors of West Nile virus on the territory of Russia. A.M. Butenko (ed.). Arboviruses and arboviral infections: Proceedings of the extended plenum of problem commission «Arboviruses» and of the scientificpractical conference, Astrakhan, October 17–20, 2006. Moscow, Grif i K. 2007. 168–174] [In Russian].

15. Федорова М. В., Лопатина Ю. В., Безжонова О. В., Платонов А. Е. Комплекс кровососущих комаров (Diptera, Culicidae) в очаге лихорадки Западного Нила в Волгоградской области. I. Видовой состав, сезонный ход численно-

сти, распределение по биотопам. Мед. паразитол. 2007 (30.01.2007); 1. 41–46 [Fyodorova M. V., Lopatina Yu. V., Bezzhonova O. V., Platonov A. Ye. Mosquito complex (Diptera, Culicidae) in a West Nile fever focus in the Volgograd region. I. Species diversity and relative abundance in different habitats. Meditsinskaya parazitologiya i parazitarnyye bolezni (ISSN 0025–8326). 2007 [Date of publication 2007 Jan 30]; 1. 41 – 46] [In Russian].

16. Чионг Р. Т., Наварро А., Гомес Х., Фреснеда М. Чувствительность комаров *Aedes aegypti* из Гвинеи к темепфосу и фентиону. Проблемы дезинфекции и стерилизации: Сб. науч. трудов. М.: МЗ СССР. 1985. 96–99 [Chiong R. T., Navarro A., Gomes Kh, Fresneda M. Susceptibility *Aedes aegypti* mosquitoes from Güines to temephos and fenthion. Problems of disinfection and sterilization: Collection of scientific works. Moscow, USSR Ministry of Health. 1985. 96–99] [In Russian].

17. Aguirre-Obando O. A., Dalla Bona A. C., Duque L. JE., Navarro-Silva M. A. Insecticide resistance and genetic variability in natural populations of *Aedes* (*Stegomyia*) *aegypti* (Diptera: Culicidae) from Colombia. *Zoologia* (Curitiba). 2015; 32(1). 14–22.

18. Aguirre-Obando O. A., Pietrobon A. J., Dalla Bona A. C., Navarro-Silva M. A. Contrasting patterns of insecticide resistance and knockdown resistance (kdr) in *Aedes aegypti* populations from Jacarezinho (Brazil) after a dengue outbreak. *Rev. Bras. entomol.* 2016; 60(1). 94–100.

19. Alsheikh AA, Mohammed WS, Noureldin EM. et al. Resistance status of *Aedes aegypti* to insecticides in the Jazan region of Saudi Arabia. *Biosci. Biotechnol. Res. Asia.* 2016; 13(1). 155–162.

20. Alvarez L. C., Ponce G, Oviedo M. et al. Susceptibility status of *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) to temephos in Venezuela. *Pest Manag. Sci.* 2014; 70(8). 1262–1266.

21. Armstrong J. A. Insecticide studies at the Mosquito Research and Control Unit, Grand Cayman, B.W.I. *Mosq. News.* 1971; 31(1). 1–11.

22. Arslan A, Mukhtar M. U., Mushtaq S. et al. Comparison of susceptibility status of laboratory and field populations of *Aedes aegypti* against temephos in Rawalpindi. *J. Entomol. Zool. Studies.* 2015; 3(4). 374–378.

23. Ayorinde A, Oboh B, Oduola A, Otubanjo O. The insecticide susceptibility status of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in farm and nonfarm sites of Lagos State, Nigeria. *J. Insect Sci.* 2015. 15(1): dx.doi.org/10.1093/jisesa/iev045.

24. Bisset J. A., Marín R, Rodríguez M. M. et al. Insecticide resistance in two *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) strains from Costa Rica. *J. Med. Entomol.* 2013; 50(2). 352–361.

- 25. Bisset J. A., Rodríguez M. M., Cáceres L.** Level of resistance to insecticides and their mechanisms in 2 strains of *Aedes aegypti* from Panama. *Rev. Cubana Med. Trop.* 2003; 55(3). 191–195 [In Spain, English abstract].
- 26. Braga I. A., Lima JB. P., Soares S. S., Valle D.** *Aedes aegypti* resistance to temephos during 2001 in several municipalities in the states of Rio de Janeiro, Sergipe, and Alagoas, Brazil. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz (Rio de Janeiro)*. 2004; 99(2). 199–203.
- 27. Chareonviriyahpap T, Aumaung B, Ratanatham S.** Current insecticide resistance patterns in mosquito vectors in Thailand. *Southeast Asian J. Trop. Med. Public Health*. 1999; 30(1). 184–194.
- 28. Communicable disease threats report,** 21–27 February 2016, week 8 [Electronic document]. <http://ecdc.europa.eu/en/publications/Publications/communicable-disease-threats-report-27-feb-2016.pdf>.
- 29. Da-Cunha M. P., Lima JB. P., Brogdon W. G. et al.** Monitoring of resistance to the pyrethroid cypermethrin in Brazilian *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) populations collected between 2001 and 2003. *Mem. Inst. Oswaldo Cruz (Rio de Janeiro)*. 2005; 100(4). 441–444.
- 30. Da Graça Macoris M. L., Macoris Andrighetti M. T., Rodrigues Nalon K. C. et al.** Standardization of bioassays for monitoring resistance to insecticides in *Aedes aegypti*. *Dengue Bull.* 2005; 29. 176–182.
- 31. Deonier C. C., Gilbert I. H.** Resistance of saltmarsh mosquitoes to DDT and other insecticides. *Mosq. News*. 1950; 10(3). 138–143.
- 32. Dia I., Diagne C. T., Ba Y. et al.** Insecticide susceptibility of *Aedes aegypti* populations from Senegal and Cape Verde Archipelago. *Parasites & Vectors* [Electronic resource]. 2012; 5. 238. [dx.doi.org/10.1186/1756-3305-5-238](https://doi.org/10.1186/1756-3305-5-238).
- 33. Flacio E., Lüthy P., Patocchi N. et al.** Primo ritrovamento di *Aedes albopictus* in Svizzera. *Boll. Soc. ticin. Sci. Nat.* 2004; 92. 141–142 [In Italian, English abstract].
- 34. Gast Galvis A.** Una década de labor del Instituto Carlos Finlay de Colombia. *Bol. Ofic. Sanit. Panamer.* 1961; 50(1). 44–58 [In Spain, English abstract].
- 35. Gratz N. G.** Is in Europe risk emerging and resurging vectorborne diseases? Proceedings of the 13th European SOVE meeting Society of Vector Ecology, Belek, Antalya (Turkey), 24–29 September 2000. 49–57.
- 36. Kalan K., Krek M., Zagosek T. et al.** Monitoring of *Aedes albopictus* in Slovenia. *R. Hohol* (ed.). 6th European Mosquito Control Association Workshop, Budapest, Hungary, 12–15 September 2011: conference program & abstract book, 50.
- 37. Keller J. C., Chapman H. C.** Tests of selected insecticides against resistant saltmarsh mosquito larvae. *J. Econ. Entomol.* 1954; 46(6). 1004–1006.
- 38. Koou S. Y., Chong C-S, Vythilingam I. et al.** Pyrethroid resistance in *Aedes aegypti* larvae (Diptera: Culicidae) from Singapore. *J. Med. Entomol.* 2014; 51(1). 170–181.
- 39. Kumar K., Sharma A.K., Sarkar M. et al.** Surveillance of *Aedes aegypti* (L.) mosquitoes in Mumbai International Seaport (India) to monitor potential global health risks. *J. Insects*. 2014. 951015. [dx.doi.org/10.1155/2014/951015](https://doi.org/10.1155/2014/951015).
- 40. Lee R. ML., Choong CT. H., Goh B. PL. et al.** Bioassay and biochemical studies of the status of pirimiphosmethyl and cypermethrin resistance in *Aedes (Stegomyia) aegypti* and *Aedes (Stegomyia) albopictus* (Diptera: Culicidae) in Singapore. *Trop. Biomed.* 2014; 31(4): 670–679.
- 41. Li C-X, Kaufman P. E., Xue R. D. et al.** Relationship between insecticide resistance and kdr mutations in the dengue vector *Aedes aegypti* in Southern China. *Parasites & Vectors*. 2015; 8. 325. [dx.doi.org/10.1186/s13071-015-0933-z](https://doi.org/10.1186/s13071-015-0933-z).
- 42. Magdalena R. M., Bisset J. A., Fernández D., Omayda P.** Resistance to insecticides in larvae and adults of *Aedes aegypti*, Havana City: prevalence of A4 esterase associated with resistance to temephos. *Rev. Cubana Med. Trop.* 2004; 56(1). 54–60 [In Spain, English abstract].
- 43. Marcombe S., Farajollahi A., Healy S. P. et al.** Insecticide resistance status of United States populations of *Aedes albopictus* and mechanisms involved. *PLoS ONE*. 2014; 9(7). e101992. [dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0101992](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0101992).
- 44. Medeiros-de-Sousa A. R., Vendrami D. P., Wilke AB. B. et al.** Mosquito assemblage diversity in Urban Parks, São Paulo, Brazil. G. Müller, R. Pospischil and W. H. Robinson (eds.). Proceedings of the 8th International Conference on Urban Pests, Zürich (Switzerland), July 20–23, 2014. Veszprém, Hungary: OOK-Press Kft. 2014. 147–152.
- 45. Mohamed H. OA.** Insecticides susceptibility of *Aedes aegypti* in Port Sudan City-Red Sea State: A thesis submitted in partial fulfillment ... Degree of MPEH (Medical Entomology). University of Khartoum, March 2010. 41.67.20.41/bitstream/handle/123456789/7619/Insecticides Susceptibility Of *Aedes aegypti* In Port Sudan. pdf?sequence=1&isAllowed=y.
- 46. Mohiddin A., Lasim A. Md., Zuharah W.F.** Susceptibility of *Aedes albopictus* from dengue outbreak areas to temephos and *Bacillus thuringiensis* subsp. *Israelensis*. *Asian Pac. J. Trop. Biomed.* 2016; 6(4). 295–300.

- 47. Muthusamy R, Shivakumar M. S.** Susceptibility status of *Aedes aegypti* (L.) (Diptera: Culicidae) to temephos from three districts of Tamil Nadu, India. *J. Vector Borne Dis.* 2015; 52(2). 159–165.
- 48. Müller P., Engeler L., Flacio E. et al.** Surveillance and control of *Aedes albopictus* (Diptera: Culicidae) in Switzerland. G. Müller, R. Pospischil and W.H. Robinson (eds.). Proceedings of the 8th International Conference on Urban Pests, Zürich (Switzerland), July 20–23, 2014. Veszprém, Hungary: OOK-Press Kft. 2014. 131–134.
- 49. Ocampo C. B., Salazar-Terreros M. J., Mina N. J. et al.** Insecticide resistance status of *Aedes aegypti* in 10 localities in Colombia. *Acta Tropica.* 2011; 118(1). 37–44.
- 50. Pedrosa M. C., Fontenelle J, Eiras Á. et al.** *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* in urban green areas and houses of two mountain towns: Ouro Preto and Mariana, Minas Gerais, Brazil. W.H. Robinson and A.E.C. Campos (eds.). Proceedings of the 7th International Conference on Urban Pests, Ouro Preto, Brazil, August 7–10, 2011. São Paulo, SP, Brazil: Instituto Biológico, 2011. 171–174.
- 51. Ponlawat A., Scott J. G., Harrington L. C.** Insecticide susceptibility of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus* across Thailand. *J. Med. Entomol.* 2005; 42(5). 821–825.
- 52. Prasittisuk C., Busvine J. R.** DDT-resistant mosquito strains with crossresistance to pyrethroids. *Pestic. Sci.* 1977; 8(5). 527–533.
- 53. Pujiyati E., Kawada H., Sunahara T. et al.** Pyrethroid resistance status of *Aedes albopictus* (Skuse) collected in Nagasaki City, Japan. *Jpn. J. Environ. Entomol. Zool.* 2013; 24(4). 143–153.
- 54. Riaz M. A., Chandor-Proust A., Dauphin-Villemant Ch. et al.** Molecular mechanisms associated with increased tolerance to the neonicotinoid insecticide imidacloprid in the dengue vector *Aedes aegypti*. *Aquat. Toxicol.* 2013; 126. 326–337.
- 55. Rocha H. DR., Paiva M. HS., Silva N. M. et al.** Susceptibility profile of *Aedes aegypti* from Santiago Island, Cabo Verde, to insecticides. *Acta Trop.* 2015; 152. 66–73.
- 56. Sayono S., Hidayati A. PN., Fahri S. et al.** Distribution of voltage-gated sodium channel (Nav) alleles among the *Aedes aegypti* populations in Central Java Province and its association with resistance to pyrethroid insecticides. *PLoS ONE.* 2016; 11(3). e0150577. dx.doi.org//10.1371/journal.pone.0150577.
- 57. Shetty V., Sanil D., Shetty N. J.** Insecticide susceptibility status in three medically important species of mosquitoes, *Anopheles stephensi*, *Aedes aegypti* and *Culex quinquefasciatus*, from Bruhat Bengaluru Mahanagara Palike, Karnataka, India. *Pest Manag. Sci.* 2013; 69(2). 257–267.
- 58. Singh R. K., Mittal P. K., Kumar G., Dhiman R. C.** Insecticide susceptibility status of *Aedes aegypti* and *Anopheles stephensi* larvae against temephos in Delhi, India. *Int. J. Mosq. Res.* 2014; 1(3). 69–73.
- 59. Sirisopa P., Thanispong K., Chareonviriyaphap T., Juntarajumnong W.** Resistance to synthetic pyrethroids in *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in Thailand. *Kasetsart J. (Nat. Sci.).* 2014; 48(4). 577–586.
- 60. Suarez M. F., Gonzales R., Morales C. A.** Temephos resistance to *Aedes aegypti* in Cali, Colombia. *Am. J. Trop. Med. Hyg. (Suppl.).* 1998; 55(2). 257.
- 61. Suter T., Flacio E., Guedes D. RD. et al.** *Aedes albopictus* resistance status and population dynamics across the Swiss-Italian border. G. Müller, R. Pospischil and W.H. Robinson (eds.). Proceedings of the 8th International Conference on Urban Pests, Zürich (Switzerland), July 20–23, 2014. Veszprém, Hungary: OOK-Press Kft. 2014. 135–139.
- 62. Thanispong K., Sathantriphop S., Malaithong N. et al.** Establishment of diagnostic doses of five pyrethroids for monitoring physiological resistance in *Aedes albopictus* in Thailand. *J. Am. Mosq. Control Assoc.* 2015; 31(4). 346–352.
- 63. Thongwat D., Bunchu N.** Susceptibility to temephos, permethrin and deltamethrin of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) from Muang district, Phitsanulok Province, Thailand. *Asian Pac. J. Trop. Med.* 2015; 8(1). 14–18.
- 64. Yadav K., Rabha B., Dhiman S., Veer V.** Multiinsecticide susceptibility evaluation of dengue vectors *Stegomyia albopicta* and *St. aegypti* in Assam, India. *Parasites & Vectors.* 2015; 8. 143. dx.doi.org/10.1186/s13071-015-0754-0.

Development of insecticide from different chemical groups resistance in the populations of *Aedes (Stegomyia) aegypti* and *Aedes (Stegomyia) albopictus* mosquitoes

S. Roslavtseva, M. Alekseev, Scientific Research Disinfectology Institute of Rospotrebnadzor, I. M. Sechenov First MSMU, 18 Nauchnyy proezd, Moscow, 117246, Russian Federation

Problem of insecticide resistance development in populations of *Aedes (Stegomyia) aegypti* and *Aedes (Stegomyia) albopictus* mosquitoes that are vectors of arboviral infections is discussed in this review.

Key words: *Aedes* mosquitoes, arboviruses, resistance, insecticides