



УДК 595.77

DOI: 10.36718/1819-4036-2021-10-223-232

Маргарита Игоревна Серкова

Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал Тюменского научного центра СО РАН, младший научный сотрудник лаборатории энтомологии и дезинсекции; Тюменский государственный университет, аспирант Института экологической и сельскохозяйственной биологии, Тюмень, Россия

E-mail: rita.serkowa@yandex.ru

**АЛЬТЕРНАТИВНЫЕ МЕТОДЫ БОРЬБЫ С КРОВСОСУЩИМИ КОМАРАМИ
(DIPTERA:CULICIDAE) (ОБЗОР)**

В данной статье приводится анализ отечественных и зарубежных литературных данных о наиболее безопасных и экологических методах борьбы с кровососущими двукрылыми комарами (Diptera: Culicidae) – переносчиками различных инфекционных и инвазионных заболеваний человека и животных. Широко изучен способ уничтожения комаров посредством использования инсектицидов на основе эфирных масел и растительных экстрактов. Активные компоненты таких соединений – терпеноиды (монотерпены, дитерпены, сесквитерпены), фенилпропаноиды, бензоиды и другие, обладают репеллентным и инсектицидным действием против взрослых особей (имаго) и комаров на личиночной стадии. Одним из эффективных методов уничтожения имаго кровососущих двукрылых насекомых является применение ловушек с привлекающими комаров аттрактантами, которые захватывают их или убивают посредством электричества. Борьба с комарами наиболее эффективна на личиночной стадии, так как, по сравнению со взрослыми насекомыми, особи наименее подвижны и их распространение ограничено в пределах своей водной экосистемы. Для уничтожения личинок комаров, помимо растительных инсектицидов, применяются агенты биологической борьбы, такие как водные хищные беспозвоночные, в качестве естественных врагов насекомых, регуляторы роста, такие как гормон – метопрен и ингибитор синтеза хитина (ИСХ), которые ингибируют морфогенез личинки, энтомопатогенные грибы, споры которых проникают внутрь тела насекомого и повреждают его изнутри, а также микробиологические ларвициды на основе штампов бактерий *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) и *Bacillus sphaericus* (Bs), выделяющие токсичные для личинок кристаллические белки или δ-эндотоксины, которые повреждают эпителий средней кишки насекомого.

Ключевые слова: кровососущие комары, Culicidae, альтернативные методы, эфирные масла, инсектициды, ларвициды.

Margarita I. Serkova

All-Russian Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – a branch of the Tyumen Scientific Center of the Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Junior Researcher at the Laboratory of Entomology and Disinsection; Tyumen State University, Postgraduate student at the Institute of Ecological and Agricultural Biology, Tyumen, Russia

E-mail: rita.serkowa@yandex.ru

ALTERNATIVE METHODS TO CONTROL BLOOD-SUCKING MOSQUITOES (DIPTERA: CULICIDAE) (REVIEW)

The paper provides an analysis of domestic and foreign literature data on the safest and most environmentally friendly methods of combating blood-sucking diptera mosquitoes (Diptera: Culicidae) – carriers of various infectious and invasive diseases of humans and animals. The method of exterminating mosquitoes through the use of insecticides based on essential oils and plant extracts has been widely studied. The active components of such compounds – terpenoids (monoterpenes, diterpenes, sesquiterpenes), phenylpropanoids, benzoids and others, have a repellent and insecticidal effect against adults and mosquitoes at the larval stage. One of the effective methods of exterminating the imago of blood-sucking dipterans is the use of traps with attractants that attract mosquitoes, which capture them or kill them by means of electricity. Mosquito control is most effective at the larval stage, since, in comparison with adult insects, individuals are the least mobile and their distribution is limited within their aquatic ecosystem. For the destruction of mosquito larvae, in addition to plant insecticides, biological control agents are used, such as aquatic predatory invertebrates, as natural enemies of insects, growth regulators such as the hormone methoprene and a chitin synthesis inhibitor (CHI), which inhibit the morphogenesis of the larva, entomopathogenic fungi, spores of which penetrate into the insect's body and damage it from the inside, as well as microbiological larvicides based on the spores of the bacteria *Bacillus thuringiensis israelensis* (Bti) and *Bacillus sphaericus* (Bs), which release crystalline proteins toxic to larvae or δ -endotoxins that damage the epithelium of the insect's midgut.

Key words: blood-sucking mosquitoes, Culicidae, alternative methods, essential oils, insecticides, larvicides.

Введение. Кровососущие комары как переносчики различных инфекционных и инвазионных заболеваний представляют собой опасность для здоровья человека и животных. На сегодняшний день численность комаров в основном контролируется синтетическими инсектицидами и репеллентами. Однако использование данных защитных средств сопровождается быстрым развитием устойчивости к ним у насекомых и создает соответствующие риски для здоровья человека и состояния окружающей среды [1, 2].

Вследствие этого появляется острая необходимость разработки альтернативных методов контроля численности кровососущих комаров, которые действовали бы на разные фазы жизненного цикла насекомых. Натуральные и биологические пестициды являются экологически чистой заменой синтетических инсектицидов, что позволит снизить негативные эффекты от синтетических химических веществ [3, 4].

Цель исследования. Обобщение зарубежных и отечественных литературных данных об альтернативных методах борьбы с кровососущими комарами.

Результаты исследования и их обсуждение. Новые инструменты контроля численности кровососов включают химические вещества бо-

танического и микробного происхождения, растительные протравители и репелленты, а также ловушки и агенты биологической борьбы с членистоногими [5–8].

Применение биопестицидов на основе растительных экстрактов, содержащих эфирные масла, является наиболее распространенным методом биологической борьбы с кровососущими двукрылыми [9, 10].

К компонентам, входящим в состав эфирных масел и обладающим репеллентной активностью, относятся терпеноиды – монотерпены, дитерпены и сесквитерпены, а также фенилпропаноиды, бензоиды и др. [11]. Среди монотерпенов автор отмечает лимонен, карвакрол, тимол, α -пинен, лимонен, камфору как соединения с высоким инсектицидным действием [12]. Такие соединения входят в состав эфирных масел многих растений, таких как лемонграсс (*Cymbopogon flexuosus*), эвкалипт (*Eucalyptus sp.*), розмарин (*Rosmarinus officinalis*), гвоздика (*Eugenia caryophyllus*), тимьян (*Thymus vulgaris*), айован (*Trachyspermum sp.*) и шалфей (*Salvia sp.*) [13, 14].

Эфирные масла душицы турецкой *Origanum onites* L., содержащие карвакрол (75,5 %) и тимол (около 2 %), показали высокую репеллентную активность в отношении комаров *Aedes*

aegypti [15]. Котовник кошачий (кошачья мята), содержащий монотерпеновое соединение – непеталактон, характеризуется также сильным репеллентным действием [13].

Авторами установлено, что при действии на взрослых комаров *Cx. pipiens* высоких доз эфирного масла пеларгонии (*Pelargonium roseum*), содержащего цитронеллол и гераниол, смертность отмечалась около 50 % имаго [16]. Воздействие растительных экстрактов полыни (*Artemisia annua*), цимбопогона (*Cymbopogon citratus*), мускатного ореха (*Myristica fragrans*) и центеллы (*Centella asiatica*) на имаго *An. stephensi* привело к 80–100 % смертности особей [17].

Применение ловушек против имаго кровососущих комаров является экологически чистым методом уничтожения комаров. Наиболее эффективные ловушки включают сочетание аттрактантов, таких как свет, тепло, углекислый газ, и привлекающих химических веществ [18].

Известна ловушка борьбы с кровососущими комарами на открытой местности. Устройство состоит из корпуса, блока-уничтожителя, двигателя с крыльчаткой, нагревательного элемента, сетки под напряжением, «входа» для комаров (ловушки), защитной сетки, съемной емкости с CO₂, устройства подсчета количества уничтоженных комаров и др. Устройство приманивает насекомых аттрактантами (тепло, углекислый газ), всасывает с поверхности корпуса и убивает при помощи сетки под напряжением [19].

Известен способ борьбы с летающими кровососами, где применяется сосуд с плоским дном диаметром 30–50 см, наполненный прозрачной клеящей жидкостью, на которую садятся напившиеся кровью самки комаров для откладки яиц [20, 21].

Борьба с кровососущими комарами наиболее эффективна на личиночной стадии, так как незрелые особи относительно менее подвижны и более локализованы по сравнению со стадией имаго. Так как токсикологические свойства синтетических препаратов влияют не только на личинок, но и на всю водную среду, то замена их на природные протравители позволит снизить нагрузку на экосистему [22, 23].

Для уничтожения личинок в водной среде применяют ларвициды, которые вводятся посредством опрыскивания мест выплода. К ларвицидам относятся регуляторы роста, органиче-

ские протравители и агенты биологического контроля [24, 25].

Природные ларвициды на основе эфирных масел и растительных экстрактов характеризуются селективным действием на насекомых и низкой токсичностью для водной среды. Их эффект выражается в цитотоксическом, нейротоксическом и мутагенном действии на насекомых [26, 27].

Исследование, где личинок комаров рода *Aedes* и *Culex* помещали в воду с масляным раствором, содержащим эфирное масло, показало 100 % смертность в течение суток от масел растений кориандра камфорного (*Cinnamomum camphora*), амириса (*Amyris balsamifera*), лимона (*Citrus limon*), тимьяна ползучего (*Thymus serpyllum*), можжевельника виргинского (*Juniperus virginiana*), ладана (*Boswellia carteri*), укропа пахучего (*Anethum graveolens*), мирта обыкновенного (*Myrtus communis*), лимонной вербены (*Lippia citriodora*) и бессмертника (*Helichrysum italicum*) [28]. Авторами было выявлено, что водный экстракт перца длинного (*Piper longum*) вызывает патологические изменения средней кишки личинок *Ae. aegypti*, *An. stephensi* и *Cx. quinquefasciatus*, такие как деформация микроворсинок и повреждение эпителиальных клеток, тем самым снижая выживаемость насекомых [29].

Согласно исследованиям ряда авторов, монотерпеновое соединение – лимонен, входящий в состав эфирных масел цитрусовых, показал эффективность против личинок комаров *Ae. Aegypti*, *Cx. pipiens molestus*, *Ae. albopictus* и *Cx. quinquefasciatus* [30–32].

Некоторые компоненты растительных ларвицидов, такие как α-гумулен и транскардиофиллен, ингибируют фермент ацетилхолинэстеразу, участвующий в образовании нейротрансмиттера ацетилхолина, что приводит к прекращению возбуждения нейронов и вследствие этого к параличу и смерти насекомого. Эти соединения входят в состав эфирных масел растений рода перец (*Piper sp.*), шпорцетник (*Plectranthus sp.*) и др. [33, 34].

Синтетический ювенильный гормон – метопрен является эффективным биохимическим пестицидом против личинок, ингибирующим их рост. Исследование показало, что метопрен вызывал нарушения морфогенеза во время линьки

на личиночной стадии комаров рода *Aedes* и в процессе формирования имаго [35, 36]. Препараты на основе ингибитора синтеза хитина (ИСХ) вызывали у личинок 4-го возраста нарушения в процессе линьки развития имагинальных дисков, крыльев, ног и внутренних органов [25, 37].

Использование биологических агентов против личинок, в частности хищных насекомых, обеспечит надлежащий контроль численности комаров-переносчиков [38, 39]. Хищники-беспозвоночные, обитающие в водной среде и поедающие личинок комаров, рассматриваются как инструменты биологической борьбы с кровососами. Известно, что хищники семейства Гладыши (*Notonectidae*) и личинки отряда Стрекозы (*Odonata*) были высоко эффективны против личинок рода *Anopheles* и *Aedes*, снижая плотность популяции данных комаров [40, 41].

Потенциальным альтернативным методом уничтожения личинок кровососов является использование комаров рода *Toxorhynchites*. Представители данного рода на личиночной стадии являются хищниками, поедающими других личинок комаров. К тому же имаго *Toxorhynchites sp.* не питаются кровью, поэтому не участвуют в распространении трансмиссивных заболеваний. Однако вследствие неустойчивости популяций комаров рода *Toxorhynchites* и медленного развития личинок по сравнению с комарами-вредителями не всегда обеспечивается оптимальный уровень контроля численности. Поэтому данный метод нуждается в дальнейших исследованиях [42, 43].

Ларвициды на основе микробиологических препаратов являются перспективной альтернативой химическим пестицидам. Основные компоненты протравителей – штампы бактерий *Bacillus thuringiensis israeliensis* (Bti) и *Bacillus sphaericus* (Bs) выделяют кристаллические белки или δ-эндотоксины, являющиеся высокотоксичными для личинок комаров, перфорирующие мембраны эпителиальных клеток средней кишки личинки [44–47].

Применение энтомопатогенных грибов является перспективным направлением в борьбе с личинками комаров. Так, авторами было выявлено, что грибы рода *Lagenidium*, *Coelotomycetes* и *Culicinomyces* эффективны против комаров рода *Anopheles*, *Aedes* и *Culex*. Заражение спорами *Leptolegnia caudata* и *Leptolegnia chapmanii* вы-

зывало 100 % смертность личинок *An. culicifacies* [48, 49]. Широко изучен водный энтомопатогенный гриб *Lagenidium giganteum*, поражающий комаров на личиночной стадии. Зооспоры гриба могут избирательно проникать в тело через кутикулу и прорасти изнутри [49, 50].

Выводы. В данном обзоре представлены наиболее распространенные альтернативные методы контроля численности кровососущих комаров. Преимущества таких инструментов заключаются в специфичности действия для конкретных видов, минимальном воздействии на окружающую среду и низкой вероятности развития устойчивости у насекомых. Однако данные альтернативные методы не находят широкого применения вследствие не такого быстрого эффекта, как от синтетических инсектицидов, и низкой стойкости в полевых условиях, поэтому преимущества природных средств, как правило, не осознаются в полной мере [51, 52].

Более широкое внедрение альтернативных методов в стратегию обычной борьбы с кровососущими двукрылыми позволит создать экономически выгодные и эффективные программы уничтожения комаров-переносчиков. Поэтому дальнейшие исследования позволят сделать данные методы более доступными для программы борьбы с переносчиками трансмиссивных заболеваний.

Список источников

1. Барашкова А.И., Решетников А.Д. Двукрылые кровососущие насекомые агроценозов Якутии и защита от гнуса сельскохозяйственных животных: монография. Белгород, 2015. 164 с.
2. Жахонгиров Ш.М., Сайфиев Ш.Т., Абидов З.И. Резистентность к инсектицидам основных переносчиков малярии в Узбекистане // Медицинская паразитология и паразитарные болезни. 2016. № 2. С. 31–34.
3. Ghosh A., Chowdhury N., Chandra G. Plant extracts as potential mosquito larvicides // Indian J Med Res. 2012. № 135(5). P. 581–598.
4. Regnault-Roger, C., Vincent, C., Amason, J.T. Essential Oils in Insect Control: Low-Risk Products in a High-Stakes World // Annual Review of Entomology. 2012. Vol. 57. P. 405–424.

5. *Pavela R.* Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review // *Industrial crops and products*. 2015. Vol. 76. P. 174–187.
6. *Fillinger U., Ndenga B., Githeko A.* et al. Integrated malaria vector control with microbial larvicides and insecticide-treated nets in western Kenya: a controlled trial // *Bulletin of the world health organization*. 2009. Vol. 87, rel. 9. P. 655–665.
7. *Kline D.L.* Traps and trapping techniques for adult mosquito control // *Journal of the American Mosquito Control Association*. 2006. 22(3). P. 490–496.
8. *Huang Y.J.S., Higgs S., Vanlandingham D.L.* Biological Control Strategies for Mosquito Vectors of Arboviruses // *Insects*. 2017. Vol. 8, rel. 1, № 21.
9. *Жемчужин С.Г.* Биопестициды: открытие, изучение и перспективы применения // *Агрохимия*. 2014. № 3. С. 90–96.
10. *Mariame Najem, Mohamed Bammou, Lamia Bachiri, El Houssine Bouiamrine, Jamal Ibjibijen, Laila Nassiri.* *Ruta chalepensis* L. Essential Oil Has a Biological Potential for a Natural Fight against the Pest of Stored Foodstuffs: *Tribolium castaneum* Herbst // *Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine*. 2020. Т. 2020.
11. *Adorjan B., Buchbauer G.* Biological properties of essential oils: an updated review // *Flavour and fragrance journal*. 2010. Vol. 25, rel. 6. P. 407–426.
12. *Jun-Hyung Tak, Murray B. Isman.* Acaricidal and repellent activity of plant essential oil-derived terpenes and the effect of binary mixtures against *Tetranychus urticae* Koch (*Acari: Tetranychidae*) // *Industrial Crops and Products*. 2017. Vol. 108. P. 786–792.
13. *Senthil-Nathan S.* A Review of Resistance Mechanisms of Synthetic Insecticides and Botanicals, Phytochemicals, and Essential Oils as Alternative Larvicidal Agents Against Mosquitoes // *Front Physiol*. 2020.
14. *Giatropoulos A., Kimbaris A., Michaelakis A., Papachristos D.P., Polissiou M.G., & Emmanouel N.* Chemical composition and assessment of larvicidal and repellent capacity of 14 Lamiaceae essential oils against *Aedes albopictus* // *Parasitology research*. 2018. Vol. 117, № 6. P. 1953–1964.
15. *Carroll J.F., Demirci B., Kramer M., Bernier U.R., Agramonte N.M., Baser K.H.C., Tabanca N.* Repellency of the *Origanum onites* L. essential oil and constituents to the lone star tick and yellow fever mosquito // *Natural Product Research*. 2017. Vol. 31, № 18. P. 2192–2197.
16. *Tabar M.A., Youssefi M.R., Esfandiari A.* et al. Toxicity of beta-citronellol, geraniol and linalool from *Pelargonium roseum* essential oil against the West Nile and filariasis vector *Culex pipiens* (*Diptera: Culicidae*) // *Research in veterinary science*. 2017. Vol. 114. P. 36–40.
17. *Panneerselvam C., Murugan K., Kovendan K.* et al. Mosquito larvicidal, pupicidal, adulticidal, and repellent activity of *Artemisia nilagirica* (Family: *Compositae*) against *Anopheles stephensi* and *Aedes aegypti* // *Parasitology research*. 2012. Vol. 111, rel. 6. P. 2241–2251.
18. *Hoel D.F., Kline D.L., Allan S.A.* Evaluation of six mosquito traps for collection of *Aedes Albopictus* and associated mosquito species in a suburban setting in north Central Florida // *Journal of the American mosquito control association*. 2009. Vol. 25, № 1. С. 47–57.
19. Патент на полезную модель RU 138994 U1. Интеллектуальное устройство для уничтожения комаров / Червяков О.А.; заявитель и патентообладатель ООО «Айфо-технологии». Опубл. 27.03.2014. Заявка № 2013125354/13 от 31.05.2013.
20. Патент на изобретение RU 2558966 C2. Ловушка для самок комаров / Решетников А.Д., Барашкова А.И., Слепцов Е.С., Еврафов Г.Г., Винокуров Н.В.; заявитель и патентообладатель Якутский НИИ сельского хозяйства РАСХН. Опубл. 10.08.2015. Заявка № 2013156576/13 от 19.12.2013.
21. *Решетников А.Д., Барашкова А.И.* Ловушка для самок комаров (*Diptera: Culicidae*) // *Аграрный вестник Урала*. 2019. № 7 (186). С. 59–62.
22. *Arias-Castro J.H., Martinez-Romero H.J., Vasilieva O.* Biological and Chemical Control of Mosquito Population by Optimal Control Approach // *Games*. 2020. Vol. 11, rel. 4. № 62.
23. *Yameogo L., Traore K., Back C.* et al. Risk assessment of etofenprox (vectron (R)) on

- non-target aquatic fauna compared with other pesticides used as *Simulium larvicide* in a tropical environment // *Chemosphere*. 2001. Vol. 42, rel. 6. P. 965–974.
24. Lee M.Y. Essential Oils as Repellents against Arthropods // *Biomed research international*. 2018. Vol. 2018. № 6860271.
 25. Костина М.Н., Костин Ф.Н. Эффективность ларвицидов гормонального типа действия против комаров – переносчиков возбудителей опасных инфекций // *Пест-Менеджмент*. 2019. № 3 (111). С. 32–35.
 26. Sen-Sung Cheng, Chin-Gi Huang, Ying-Ju Chen et al. Chemical compositions and larvicidal activities of leaf essential oils from two *eucalyptus species* // *Bioresource technology*. 2009. Vol. 100, rel. 1. P. 452–456.
 27. Kaufman P.E., Mann R.S., Butler J.F. Evaluation of semiochemical toxicity to *Aedes aegypti*, *Ae. albopictus* and *Anopheles quadrimaculatus* (Diptera: *Culicidae*) // *Pest management science*. 2010. Vol. 66, № 5. P. 497–504.
 28. Abdelkrim Amer, Mehlhorn Heinz. Larvicidal effects of various essential oils against *Aedes*, *Anopheles*, and *Culex larvae* (Diptera: *Culicidae*) // *Parasitology research*. 2006. Vol. 99, № 4. P. 466–472.
 29. Dey P., Goyary D., Chattopadhyay P. et al. Evaluation of larvicidal activity of *Piper longum* leaf against the dengue vector, *Aedes aegypti*, malarial vector, *Anopheles stephensi* and filariasis vector, *Culex quinquefasciatus* // *South African journal of botany*. 2020. Vol. 132. P. 482–490.
 30. Theochari I., Giatropoulos A., Papadimitriou V., Karras V., Balatsos G., Papachristos D., Michaelakis A. Physicochemical Characteristics of Four Limonene-Based Nanoemulsions and Their Larvicidal Properties against Two Mosquito Species, *Aedes albopictus* and *Culex pipiens molestus* // *Insects*. 2020. Vol. 11, № 11. 12 p.
 31. Hoi T.M., Huong L.T., Chinh H.V., Hau D.V., Satyal P., Tai, T.A., Dai D.N., Hung N.H., Hien V.T. Setzer W.N. Essential Oil Compositions of Three Invasive *Conyza* Species Collected in Vietnam and Their Larvicidal Activities against *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, and *Culex quinquefasciatus* // *Molecules*. 2020. Vol. 25, № 19: 4576.
 32. Govindarajan M., Sivakumar R., Rajeswari M. & Yogalakshmi K. Chemical composition and larvicidal activity of essential oil from *Mentha spicata* (Linn.) against three mosquito species // *Parasitology research*. 2012. Vol. 110, № 5. P. 2023–2032.
 33. França L.P., Amaral A.C.F., Ramos A.S. et al. *Piper capitarianum* essential oil: a promising insecticidal agent for the management of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. *Environmental science and pollution research international*. 2021. № 28. P. 9760–9776.
 34. Abba B.N., Ilagouma A.T., Amadou I. et al. Chemical Profiling, Antioxidant and Antibacterial Activities of Essential Oil From *Englerastrum gracillimum* Th. C. E. Fries Growing in Niger // *Natural product communications*. 2021. Vol. 16, rel. 3, № 1934578X211002422.
 35. Костина М.Н., Бидевкина М.В., Виноградова А.И. Новый ларвицид для комаров на основе метопрена // *Пест-Менеджмент*. 2018. № 2 (106). С. 26–30.
 36. Alomar A.A., Alto B.W. Mosquito responses to lethal and nonlethal effects of predation and an insect growth regulator // *Ecosphere*. 2021. Vol. 12, rel. 3, № e03452.
 37. Farnesi L.C., Brito J.M., Linss J.G. et al. Physiological and Morphological Aspects of *Aedes aegypti* Developing Larvae: Effects of the Chitin Synthesis Inhibitor Novaluron // *Plos one*. 2012. Vol. 7, rel. 1, № e30363.
 38. Achee N.L., Grieco J.P., Vatandoost Hassan et al. Alternative strategies for mosquito-borne arbovirus control // *Plos neglected tropical diseases*. 2019. Vol. 13, № e0006822.
 39. Rodriguez-Perez M.A., Howard A.F., Reyes-Villanueva F. Integrated Pest Management and Pest Control-Current and Future Tactics Rijeka, Croatia // *Integrated Pest Management and Pest Control – Current and Future Tactics*. 2012.
 40. Eba K.D., Olkeba B.K. et al. Bio-Control of *Anopheles* Mosquito Larvae Using Invertebrate Predators to Support Human Health Programs in Ethiopia // *International journal of environmental research and public health*. 2021. Vol. 18, № 1810.
 41. Jacob S., Thomas A., Manju E. Bio control efficiency of Odonata nymphs on *Aedes aegypti* larvae // *Journal of Environmental Sci-*

- ence, Toxicology and Food Technology. 2017. Vol. 11, № 9. P. 1–4.
42. Collins L., Blackwell A. The biology of *Toxorhynchites* mosquitoes and their potential as biocontrol agents // Biocontrol News and Information. 2000. Vol. 21, № 4. P. 105N–116N.
43. McGregor Bethany L.; Connelly C. Roxanne. A Review of the Control of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in the Continental United States // Journal of Medical Entomology. 2021. Vol. 58, № 1. P. 10–25.
44. Юркевич Е.С., Иода В.И., Лисовская Г.В. Применение микробиологических пестицидов как альтернатива снижения химической нагрузки // Сахаровские чтения 2018 года: экологические проблемы XXI века: мат-лы 18-й Междунар. науч. конф.: в 3 ч. Ч. 2 / под ред. С.А. Маскевича, С.С. Позняка. Минск, 2018. С. 109–110.
45. Almeida J.S., Mohanty A.K., Kerkar S., Hoti S.L., Kumar A. Current status and future prospects of bacilli-based vector control // Asian pacific journal of tropical medicine. 2020. Vol. 13, № 12. P. 525–534.
46. Barbieri G., Ferrari C., Mamberti S. et al. Identification of a Novel *Brevibacillus laterosporus* Strain with Insecticidal Activity Against *Aedes albopictus* Larvae // Frontiers in microbiology. 2021. Vol. 21, № 624014.
47. Benelli G., Caselli A., Canale A. Nanoparticles for mosquito control: Challenges and constraints // Journal of king saud university science. 2017. Vol. 29, rel. 4. P. 424–435.
48. Scholte E.J., Knols B.G.J., Samson R.A. et al. Entomopathogenic fungi for mosquito control: a review // Journal of insect science. 2004. Vol. 4, № 19.
49. Vyas N., Dua K.K., Prakash S. Efficacy of *Lagenidium giganteum* metabolites on mosquito larvae with reference to nontarget organisms // Parasitology research. 2007. Vol. 101, rel. 2. P. 385–390.
50. Bukhari T., Takken W., Koenraadt C.J.M. Biological tools for control of larval stages of malaria vectors – a review // Biocontrol science and technology. 2013. Vol. 23, rel. 9. P. 987–1023.
51. Govindarajan M., Rajeswary M., Benelli G. Chemical composition, toxicity and non-target effects of *Pinus kesiya* essential oil: An eco-friendly and novel larvicide against malaria, dengue and lymphatic filariasis mosquito vectors // Ecotoxicology and environmental safety. 2016. Vol. 129. P. 85–90.
52. Benelli G., Jeffries C., Walker T. Biological Control of Mosquito Vectors: Past, Present, and Future // Insect. 2016. Vol. 7, rel. 4, № 52.

References

1. Barashkova A.I., Reshetnikov A.D. Dvukrylye krovososuschie nasekomye agrocenozov Yakutii i zaschita ot gnusa sel'skohozyajstvennyh zhivotnyh: monografiya. Belgorod, 2015. 164 s.
2. Zhahongirov Sh.M., Sajfiyev Sh.T., Abidov Z.I. Rezistentnost' k insekticidam osnovnyh pereznoschikov malyarii v Uzbekistane // Medicinskaya parazitologiya i parazitarnye bolezni. 2016. № 2. S. 31–34.
3. Ghosh A., Chowdhury N., Chandra G. Plant extracts as potential mosquito larvicides // Indian J Med Res. 2012. № 135(5). P. 581–598.
4. Regnault-Roger, C., Vincent, C., Amason, J.T. Essential Oils in Insect Control: Low-Risk Products in a High-Stakes World // Annual Review of Entomology. 2012. Vol. 57. P. 405–424.
5. Pavela R. Essential oils for the development of eco-friendly mosquito larvicides: a review // Industrial crops and products. 2015. Vol. 76. P. 174–187.
6. Fillinger U., Ndenga B., Githeko A. et al. Integrated malaria vector control with microbial larvicides and insecticide-treated nets in western Kenya: a controlled trial // Bulletin of the world health organization. 2009. Vol. 87, rel. 9. P. 655–665.
7. Kline D.L. Traps and trapping techniques for adult mosquito control // Journal of the American Mosquito Control Association. 2006. 22(3). P. 490–496.
8. Huang Y.J.S., Higgs S., Vanlandingham D.L. Biological Control Strategies for Mosquito Vectors of Arboviruses // Insects. 2017. Vol. 8, rel. 1, № 21.
9. Zhemchuzhin S.G. Biopesticidy: otkrytie, izuchenie i perspektivy primeneniya // Agrohimiya. 2014. № 3. S. 90–96.
10. Mariame Najem, Mohamed Bammou, Lamia Bachiri, El Houssine Bouiamrine, Jamal Ibjibijen, Laila Nassiri. *Ruta chalepensis* L. Es-

- sential Oil Has a Biological Potential for a Natural Fight against the Pest of Stored Foodstuffs: *Tribolium castaneum* Herbst // Evidence-Based Complementary and Alternative Medicine. 2020. T. 2020.
11. Adorjan B., Buchbauer G. Biological properties of essential oils: an updated review // Flavour and fragrance journal. 2010. Vol. 25, rel. 6. P. 407–426.
 12. Jun-Hyung Tak, Murray B. Isman. Acaricidal and repellent activity of plant essential oil-derived terpenes and the effect of binary mixtures against *Tetranychus urticae* Koch (Acari: Tetranychidae) // Industrial Crops and Products. 2017. Vol. 108. P. 786–792.
 13. Senthil-Nathan S. A Review of Resistance Mechanisms of Synthetic Insecticides and Botanicals, Phytochemicals, and Essential Oils as Alternative Larvicidal Agents Against Mosquitoes // Front Physiol. 2020.
 14. Giatropoulos A., Kimbaris A., Michaelakis A., Papachristos D.P., Polissiou M.G., & Emmanuel N. Chemical composition and assessment of larvicidal and repellent capacity of 14 Lamiaceae essential oils against *Aedes albopictus* // Parasitology research. 2018. Vol. 117, № 6. P. 1953–1964.
 15. Carroll J.F., Demirci B., Kramer M., Bernier U.R., Agramonte N.M., Baser K.H.C., Tabanca N. Repellency of the *Origanum onites* L. essential oil and constituents to the lone star tick and yellow fever mosquito // Natural Product Research. 2017. Vol. 31, № 18. P. 2192–2197.
 16. Tabar M.A., Youssefi M.R., Esfandiari A. et al. Toxicity of beta-citronellol, geraniol and linalool from *Pelargonium roseum* essential oil against the West Nile and filariasis vector *Culex pipiens* (Diptera: Culicidae) // Research in veterinary science. 2017. Vol. 114. P. 36–40.
 17. Panneerselvam C., Murugan K., Kovendan K. et al. Mosquito larvicidal, pupicidal, adulticidal, and repellent activity of *Artemisia nilagirica* (Family: Compositae) against *Anopheles stephensi* and *Aedes aegypti* // Parasitology research. 2012. Vol. 111, rel. 6. P. 2241–2251.
 18. Hoel D.F., Kline D.L., Allan S.A. Evaluation of six mosquito traps for collection of *Aedes Albopictus* and associated mosquito species in a suburban setting in north Central Florida // Journal of the American mosquito control association. 2009. Vol. 25, № 1. C. 47–57.
 19. Patent na poleznuyu model' RU 138994 U1. Intellektual'noe ustrojstvo dlya unichtozheniya komarov / Chervyakov O.A.; zayavitel' i patentoobladatel' OOO «Ajfo-tehnolodzhi». Opubl. 27.03.2014. Zayavka № 2013125354/13 ot 31.05.2013.
 20. Patent na izobretenie RU 2558966 C2. Lovushka dlya samok komarov / Reshetnikov A.D., Barashkova A.I., Slepcev E.S., Evgrafov G.G., Vinokurov N.V.; zayavitel' i patentoobladatel' Yakutskij NII sel'skogo hozyajstva RASHN. Opubl. 10.08.2015. Zayavka № 2013156576/13 ot 19.12.2013.
 21. Reshetnikov A.D., Barashkova A.I. Lovushka dlya samok komarov (Diptera: Culicidae) // Agrarnyj vestnik Urala. 2019. № 7 (186). S. 59–62.
 22. Arias-Castro J.H., Martinez-Romero H.J., Vasilieva O. Biological and Chemical Control of Mosquito Population by Optimal Control Approach // Games. 2020. Vol. 11, rel. 4. № 62.
 23. Yameogo L., Traore K., Back C. et al. Risk assessment of etofenprox (vectron (R)) on non-target aquatic fauna compared with other pesticides used as *Simulium larvicide* in a tropical environment // Chemosphere. 2001. Vol. 42, rel. 6. P. 965–974.
 24. Lee M.Y. Essential Oils as Repellents against Arthropods // Biomed research international. 2018. Vol. 2018. № 6860271.
 25. Kostina M.N., Kostin F.N. `Effektivnost' larvicidov gormonal'nogo tipa dejstviya protiv komarov – perenoschikov vozбудitelej opasnyh infekcij // Pest-Menedzhment. 2019. № 3 (111). S. 32–35.
 26. Sen-Sung Cheng, Chin-Gi Huang, Ying-Ju Chen et al. Chemical compositions and larvicidal activities of leaf essential oils from two *eucalyptus species* // Bioresource technology. 2009. Vol. 100, rel. 1. P. 452–456.
 27. Kaufman P.E., Mann R.S., Butler J.F. Evaluation of semiochemical toxicity to *Aedes aegypti*, *Ae. albopictus* and *Anopheles quadrimaculatus* (Diptera: Culicidae) // Pest management science. 2010. Vol. 66, № 5. P. 497–504.
 28. Abdelkrim Amer, Mehlhorn Heinz. Larvicidal effects of various essential oils against *Aedes*, *Anopheles*, and *Culex larvae* (Diptera: Culici-

- dae) // Parasitology research. 2006 Vol. 99, № 4. P. 466–472.
29. Dey P., Goyary D., Chattopadhyay P. et al. Evaluation of larvicidal activity of *Piper longum* leaf against the dengue vector, *Aedes aegypti*, malarial vector, *Anopheles stephensi* and filariasis vector, *Culex quinquefasciatus* // South African journal of botany. 2020. Vol. 132. P. 482–490.
 30. Theochari I., Giatropoulos A., Papadimitriou V., Karras V., Balatsos G., Papachristos D., Michaelakis A. Physicochemical Characteristics of Four Limonene-Based Nanoemulsions and Their Larvicidal Properties against Two Mosquito Species, *Aedes albopictus* and *Culex pipiens molestus* // Insects. 2020. Vol. 11, № 11. 12 p.
 31. Hoi T.M., Huong L.T., Chinh H.V., Hau D.V., Satyal P., Tai, T.A., Dai D.N., Hung N.H., Hien V.T. Setzer W.N. Essential Oil Compositions of Three Invasive *Conyza* Species Collected in Vietnam and Their Larvicidal Activities against *Aedes aegypti*, *Aedes albopictus*, and *Culex quinquefasciatus* // Molecules. 2020. Vol. 25, № 19: 4576.
 32. Govindarajan M., Sivakumar R., Rajeswari M. & Yogalakshmi K. Chemical composition and larvicidal activity of essential oil from *Mentha spicata* (Linn.) against three mosquito species // Parasitology research. 2012. Vol. 110, № 5. P. 2023–2032.
 33. França L.P., Amaral A.C.F., Ramos A.S. et al. *Piper capitatum* essential oil: a promising insecticidal agent for the management of *Aedes aegypti* and *Aedes albopictus*. Environmental science and pollution research international. 2021. № 28. P. 9760–9776.
 34. Abba B.N., Ilagouma A.T., Amadou I. et al. Chemical Profiling, Antioxidant and Antibacterial Activities of Essential Oil From *Englerastrum gracillimum* Th. C. E. Fries Growing in Niger // Natural product communications. 2021. Vol. 16, rel. 3, № 1934578X211002422.
 35. Kostina M.N., Bidevkina M.V., Vinogradova A.I. Novyj larvicid dlya komarov na osnove metoprena // Pest-Menedzhment. 2018. № 2 (106). S. 26–30.
 36. Alomar A.A., Alto B.W. Mosquito responses to lethal and nonlethal effects of predation and an insect growth regulator // Ecosphere. 2021. Vol. 12, rel. 3, № e03452.
 37. Farnesi L.C., Brito J.M., Linss J.G. et al. Physiological and Morphological Aspects of *Aedes aegypti* Developing Larvae: Effects of the Chitin Synthesis Inhibitor Novaluron // Plos one. 2012. Vol. 7, rel. 1, № e30363.
 38. Achee N.L., Grieco J.P., Vatandoost Hassan et al. Alternative strategies for mosquito-borne arbovirus control // Plos neglected tropical diseases. 2019. Vol. 13, № e0006822.
 39. Rodriguez-Perez M.A., Howard A.F., Reyes-Villanueva F. Integrated Pest Management and Pest Control-Current and Future Tactics Rijeka, Croatia // Integrated Pest Management and Pest Control – Current and Future Tactics. 2012.
 40. Eba K.D., Olkeba B.K. et al. Bio-Control of Anopheles Mosquito Larvae Using Invertebrate Predators to Support Human Health Programs in Ethiopia // International journal of environmental research and public health. 2021. Vol. 18, № 1810.
 41. Jacob S., Thomas A., Manju E. Bio control efficiency of Odonata nymphs on *Aedes aegypti* larvae // Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology. 2017. Vol. 11, № 9. P. 1–4.
 42. Collins L., Blackwell A. The biology of *Toxorhynchites* mosquitoes and their potential as biocontrol agents // Biocontrol News and Information. 2000. Vol. 21, № 4. P. 105N–116N.
 43. McGregor Bethany L.; Connelly C. Roxanne. A Review of the Control of *Aedes aegypti* (Diptera: Culicidae) in the Continental United States // Journal of Medical Entomology. 2021. Vol. 58, № 1. P. 10–25.
 44. Yurkevich E.S., Ioda V.I., Lisovskaya G.V. Primenenie mikrobiologicheskikh pesticidov kak alternativna snizheniya himicheskoy nagruzki // Saharovskie chteniya 2018 goda: `ekologicheskie problemy XXI veka: mat-ly 18-j Mezhdunar. nauch. konf.: v 3 ch. Ch. 2 / pod red. S.A. Maskevicha, S.S. Poznyaka. Minsk, 2018. S. 109–110.
 45. Almeida J.S., Mohanty A.K., Kerkar S., Hoti S.L., Kumar A. Current status and future prospects of bacilli-based vector control // Asian pacific journal of tropical medicine. 2020. Vol. 13, № 12. P. 525–534.

46. Barbieri G., Ferrari C., Mamberti S. et al. Identification of a Novel *Brevibacillus laterosporus* Strain with Insecticidal Activity Against *Aedes albopictus* Larvae // *Frontiers in microbiology*. 2021. Vol. 21, № 624014.
47. Benelli G., Caselli A., Canale A. Nanoparticles for mosquito control: Challenges and constraints // *Journal of king saud university science*. 2017. Vol. 29, rel. 4. P. 424–435.
48. Scholte E.J., Knols B.G.J., Samson R.A. et al. Entomopathogenic fungi for mosquito control: a review // *Journal of insect science*. 2004. Vol. 4, № 19.
49. Vyas N., Dua K.K., Prakash S. Efficacy of *Lagenidium giganteum* metabolites on mosquito larvae with reference to nontarget organisms // *Parasitology research*. 2007. Vol. 101, rel. 2. P. 385–390.
50. Bukhari T., Takken W., Koenraadt C.J.M. Biological tools for control of larval stages of malaria vectors – a review // *Biocontrol science and technology*. 2013. Vol. 23, rel. 9. P. 987–1023.
51. Govindarajan M., Rajeswary M., Benelli G. Chemical composition, toxicity and non-target effects of *Pinus kesiya* essential oil: An eco-friendly and novel larvicide against malaria, dengue and lymphatic filariasis mosquito vectors // *Ecotoxicology and environmental safety*. 2016. Vol. 129. P. 85–90.
52. Benelli G., Jeffries C., Walker T. Biological Control of Mosquito Vectors: Past, Present, and Future // *Insect*. 2016. Vol. 7, rel. 4, № 52.

Статья подготовлена по госзаданию «Разработка методов научно обоснованного применения средств дезинсекции, химической и биологической регуляции численности паразитов с целью сохранения эпизоотического благополучия и качества здоровья сельскохозяйственных и непродуктивных животных, пчел и птиц».

