

Использование материалов природного происхождения против паразитических насекомых и клещей (обзор)

© 2026. В. Н. Домацкий¹, Л. А. Глазунова²✉, Ю. В. Глазунов^{1,2}

¹Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, г. Тюмень, Российская Федерация,

²ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», г. Тюмень, Российская Федерация

*Использование пестицидов в сельском хозяйстве и других сферах деятельности человека взаимосвязано с важной мировой проблемой – защитой окружающей среды. В статье проанализированы материалы отечественных и зарубежных литературных источников в ретроспективе 20 лет. Значительный практический интерес представляют биопестициды, создаваемые на основе природных материалов или продуктов их превращения (микроорганизмы, растительные масла, экстракты растений, бактерии и грибы). Показаны основные преимущества биопестицидов. Производство биопрепаратов экономически более выгодно и более технологично, чем химических средств. Растения и микроорганизмы являются основными источниками биопестицидов из-за высокого содержания биологически активных соединений и антимикробных агентов. Самую большую группу в арсенале современных биопрепаратов по защите растений составляют микробные пестициды. По сравнению с синтетическими препаратами биопестициды отличаются экологичностью и отсутствием кумулятивного эффекта, они не вызывают резистентность у членистоногих (поэтому не требуются дополнительные расходы на постоянную смену технологий применения новых препаратов), избирательностью действия (влияют на определенный спектр вредителей, а не на все организмы), высокой рентабельностью. Одним из главных преимуществ биопестицидов бактериального, грибкового и вирусного происхождения по сравнению с химически синтезированными средствами является их видоспецифичность. Из недостатков следует указать на быструю деградацию действующих веществ, что значительно сокращает срок хранения препаратов. Мировой рынок биопестицидов на протяжении многих лет демонстрирует стабильный рост. При создании биопрепаратов в основном используются бактерии рода *Bacillus*, различные штаммы грибов *Metarhizium anisopliae* и *Beauveria bassiana*, которые высокоэффективны для борьбы с мухами *Musca domestica*, *Stomoxys calcitrans*, комарами рода *Anopheles* и видов *Culex quinquefasciatus*, *Culex ripiens*, большой восковой молью (огневкой) *Galleria mellonella* и иксодовыми клещами родов *Ixodes*, *Dermacentor* и *Rhipicephalus*.*

Ключевые слова: зеленая экономика, агропромышленный комплекс, вредители, паразитические членистоногие, мухи, комары, грибы, бактерии, устойчивость, биопестициды

Благодарности: работа выполнена при поддержке Минобрнауки Российской Федерации в рамках государственных заданий ФГБНУ Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук (тема № FWRZ – 2026-0018) и ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет» (регистрационный номер 1022040800309-3-4.3.1;1.6.12;1.6.14).

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы.

Конфликт интересов: авторы заявили об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Домацкий В. Н., Глазунова Л. А., Глазунов Ю. В. Использование материалов природного происхождения против паразитических насекомых и клещей (обзор). *Аграрная наука Евро-Северо-Востока*. 2026;27(2):289–307. DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.2.289-307>

Поступила в редакцию: 07.05.2025

Принята к публикации: 26.03.2026

Доработана после рецензирования: 05.08.2025

Опубликована онлайн: 27.04.2026

The use of natural materials against parasitic insects and ticks (review)

© 2026. Vladimir N. Domatsky¹, Larisa A. Glazunova²✉, Yuri V. Glazunov^{1, 2}

¹All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – Division of Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Tyumen, Russian Federation

²University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

The use of pesticides in agriculture and other areas of human activity is interrelated with a major global issue of environment protection. This article analyzes domestic and international literature over a 20-year period. Biopesticides based on natural materials or their derivatives (microorganisms, vegetable oils, plant extracts, bacteria, and fungi) are of significant

*practical interest. The main advantages of biopesticides are demonstrated. The production of biological products is more cost-effective and technologically advanced than that of chemical products. Plants and microorganisms are the primary sources of biopesticides due to their high content of biologically active compounds and antimicrobial agents. Microbial pesticides constitute the largest group in the arsenal of modern biological products for plant protection. Compared to synthetic products, biopesticides are environmentally friendly and lack cumulative effects. They do not induce resistance in arthropods (therefore, eliminating the need for additional costs associated with constantly changing application technologies for new products). They are selective in action (they affect a specific range of pests rather than all organisms), and are highly cost-effective. One of the main advantages of bacterial, fungal, and viral biopesticides over chemically synthesized products is their species specificity. One drawback is the rapid degradation of the active ingredients, which significantly reduces the shelf life of the products. The global biopesticides market has demonstrated stable growth for many years. When creating biological preparations, bacteria of the genus *Bacillus*, various strains of the fungi *Metarhizium anisopliae* and *Beauveria bassiana* are mainly used, which are highly effective in controlling the flies *Musca domestica*, *Stomoxys calcitrans*, mosquitoes of the genus *Anopheles* and the species *Culex quinquefasciatus*, *Culex pipiens*, the large wax moth (fire moth) *Galleria mellonella* and ixodid ticks of the genera *Ixodes*, *Dermacentor* and *Rhipicephalus*.*

Keywords: green economy, agro-industrial complex, pests, parasitic arthropods, flies, mosquitoes, fungi, bacteria, resistance, biopesticides

Acknowledgements: the research was carried out under the support of the Ministry of Science and Higher Education of the Russian Federation within the state assignment of Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (theme No. FWRZ – 2026-0018) and University of Tyumen (registration number 1022040800309-3-4.3.1; 1.6.12; 1.6.14).

The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest.

For citation: Domatsky V. N., Glazunova L. A., Glazunov Yu. V. The use of natural materials against parasitic insects and ticks (review). *Agrarnaya nauka Evro-Severo-Vostoka* = Agricultural Science Euro-North-East. 2026;27(2):289–307. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.30766/2072-9081.2026.27.2.289-307>

Received: 07.05.2025

Revised: 05.08.2025

Accepted for publication: 26.03.2026

Published online: 27.04.2026

Индустриализация агропромышленного комплекса требует постоянного совершенствования мер борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур и патогенами животных. Основными средствами, используемыми для уничтожения паразитических членистоногих, являются синтетические композиции препаратов с гербицидными, инсектицидными и акарицидными свойствами. Интенсивная химизация мирового сельского хозяйства приводит к тому, что ежегодно в биосферу планеты поступает огромное количество различных химических веществ, в том числе и пестицидов, разнообразие которых представлено сотнями действующих веществ и десятками тысяч препаратов. Распознать наличие пестицидов в окружающей среде, сырье и конечном продукте достаточно сложно, так как методы их идентификации отличаются сложностью, дороговизной, трудоемкостью и при этом не всегда надежны, отстают от индустрии, производящей новые действующие вещества и препараты. Зачастую, чтобы разработать регламент и методики идентификации нового пестицида требуется значительное время, что не позволяет на протяжении длительного срока его определить в исследуемом материале. При этом недостаточно изучены эффекты от длительного действия пестицидов на живые организмы, что представляет собой серьезную опасность,

так как основная их часть продолжительное время сохраняется в почве, разлагаясь от нескольких дней до десятков лет, они постоянно поступают в организм животных, людей с продуктами питания и кормами [1].

Глобальное и зачастую бесконтрольное применение пестицидов в сельском хозяйстве и других областях деятельности человека противоречит принципам защиты окружающей среды и способствует появлению устойчивых популяций вредителей. Большинство современных пестицидов обладают широким спектром действия, зачастую оказывают негативное влияние на почвенную микрофлору и полезных наземных организмов. Это стимулирует исследователей к поиску вместо сильнодействующих препаратов химического синтеза средств биологического происхождения, проявляющих выраженный эффект против конкретного патогена с минимизацией побочных действий. Наиболее привлекательными для этих целей являются препараты на основе природных соединений или продуктов их превращения, обладающие пестицидным свойством, среди которых экстракты и масла растений, продукты жизнедеятельности и непосредственно бактерии, грибы и другие натуральные вещества. Создание и использование биопестицидов перспективно с экономической и экологической точек зрения [2].

Важными преимуществами препаратов биологического происхождения в отличие от синтетических композиций являются минимальные риски для окружающей среды и человека, что немаловажно в контексте экологического воспитания и развития экологического сознания у населения. Селективное действие биопестицидов против конкретного возбудителя крайне редко вызывает побочные эффекты при их применении, что позитивно сказывается на биоте почвы, растений, животных, человека и способствует сохранению равновесия в биосфере. Отсутствие у паразитических организмов резистентности к биологическим пестицидам открывает долгосрочные перспективы к их использованию. Кроме того, применение биопестицидов обладает высокой рентабельностью для сельскохозяйственного производства, так как внедрение технологий их использования окупается в 30 раз быстрее по сравнению с химическими средствами защиты [3, 4, 5].

Среди множества позитивных свойств биопестицидов необходимо выделить их слабые стороны, среди которых сравнительно быстрая деградация действующих веществ, что сказывается на длительности срока хранения и технологических особенностях применения. Тем не менее расширение возможностей использования биопестицидов в сельском хозяйстве позволяет сформировать полноценное органическое производство и снизить химический прессинг на окружающую среду и человека как конечного потребителя продукции [6].

Развитие агрохимической промышленности на основе биопестицидов является очень перспективным направлением при условии усовершенствования выявленных недостатков и масштабировании производства биологических препаратов [7].

Цель обзора – анализ достижений мировой науки в области создания и использования биопестицидов против паразитических членистоногих.

Материал и методы. Использовали аналитический, сравнительный и системный методы научного исследования. Отбору и дальнейшему анализу подлежали научные работы, входящие в электронные базы данных eLIBRARY.RU, Cyberleninka, PubMed, WoS, Scopus в зависимости от их научной ценности относительно темы исследования. Анализ научных отечественных и зарубежных работ проведен в ретроспективе последних 20 лет.

Отбор проводили по ключевым словам: зеленая экономика; биопестициды; биоакарициды; биоинсектициды; энтомопатогенные грибы; вредители; насекомые; клещи. Для настоящего обзора было отобрано 53 публикации, касающиеся создания, испытания и использования биопестицидов в сельском хозяйстве и ветеринарии.

Основная часть. *Общие сведения о природных биопестицидах.* Поскольку обойтись без средств химической защиты в настоящее время невозможно, то их замена на экологически безопасные вещества биологического происхождения является актуальной проблемой. Биопестициды – это вещества природного происхождения, для получения которых используются растения, микроорганизмы, некоторые минералы, растительные масла и другие источники (рис.) [8, 9].

Каждый источник играет специфическую роль и избирается с учетом требований для применения – объект воздействия, метод и частота использования, имеющаяся устойчивость к синтетическим и биологическим пестицидам, стабильность при хранении и другие. В зависимости от происхождения активных ингредиентов биопестициды делятся на несколько категорий: растительные препараты; антагонисты; компостные чаи; стимуляторы роста; хищники; феромоны [10, 11].

Растения и микроорганизмы являются основными источниками биопестицидов из-за высокого содержания биологически активных соединений и антимикробных агентов [12].

Интерес к биопрепаратам ежегодно возрастает по целому ряду причин, среди которых ужесточение экологических требований к производителям сельскохозяйственной продукции со стороны государства и стран экспортеров, развитие экологического сознания потребителей, постоянно возрастающая резистентность вредителей и низкая эффективность синтетических средств борьбы с патогенами. Биопестициды положительно зарекомендовали себя при использовании на большинстве патогенных организмов. Их востребованность определяется биологической эффективностью и узкой специфичностью, что позволяет сохранить нецелевые виды. При этом зачастую в сравнении с химическими средствами биопестициды проигрывают в стабильности при хранении и показателях эффективности в борьбе с вредителями и болезнями [13].

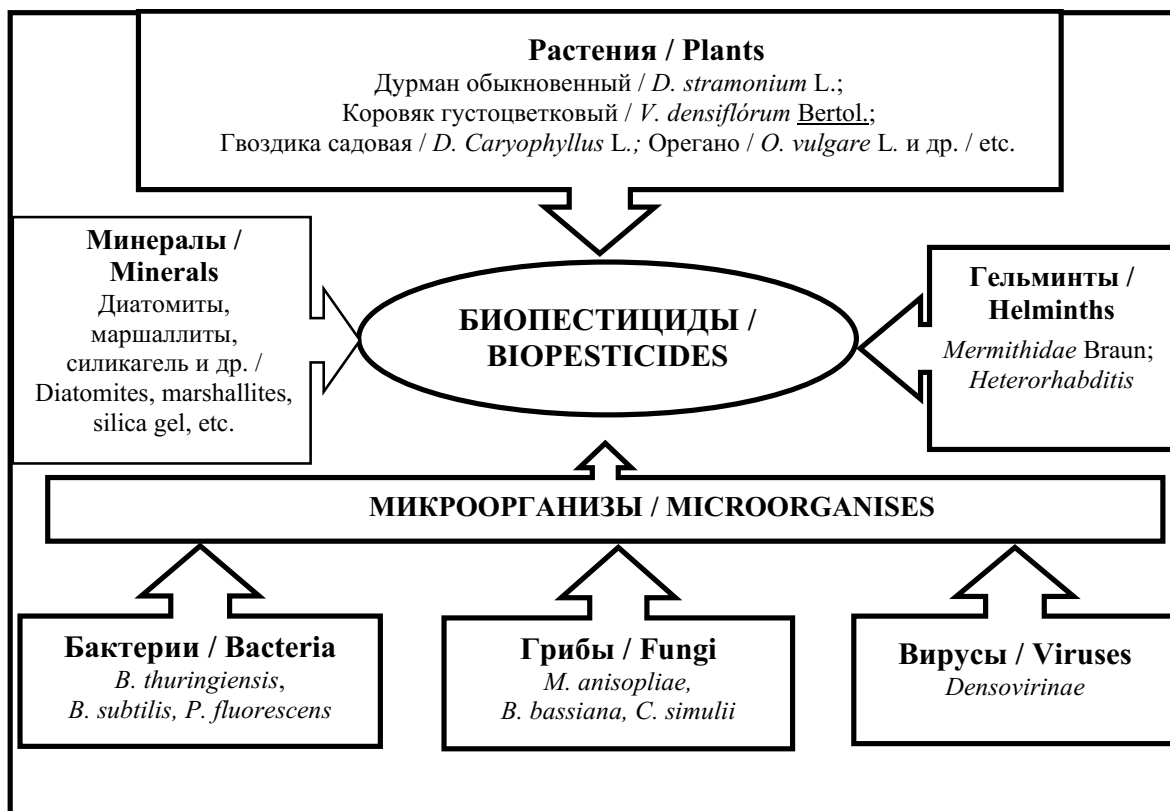


Рис. 1. Природные материалы для изготовления биопестицидов /
 Fig. 1. Natural materials for the production of biopesticides

Рынок биопестицидов. В последнее время аграрии все больше отдают предпочтение препаратам биологического происхождения. Об этом свидетельствует факт роста рынка биопестицидов во всем мире. Так, емкость рынка биопестицидов Соединенных Штатов Америки (США) по разным подсчётам в 2022 г. составила от 6,2 до 403,9 млрд долларов США, и прогнозируется, что в ближайшие годы он будет расти в среднем на 14,1 % в год, составив около 13 млрд долларов США к 2028 г.¹

Подавляющую часть рынка биопестицидов представляют препараты, созданные на основе различных штаммов *Bacillus thuringiensis* Berliner, 1915. Также производителями сельскохозяйственной продукции востребованы препараты, в состав которых входят энтомопатогенные нематоды и микромицеты. Основными производителями биопестицидов и биоконтролирующих составов являются компании, расположенные в США, странах Евросоюза и в Китае. Лидерство США обусловлено наи-

большим спросом потребителей на органические продукты, также имеет значение упрощенная система регистрации препаратов биологического синтеза в этой стране. Активно развивается китайский рынок биопестицидов, который насчитывает более 120 действующих веществ².

Страны с развитым сельским хозяйством стремятся к переходу от синтетических пестицидов к средствам защиты биологического происхождения. Такую траекторию развития, кроме вышеупомянутых стран, предпочитают Швейцария, Япония, Индия, Швеция, Нидерланды, Англия, Италия, Германия, Канада и Финляндия. Мировые лидеры, производящие биопестициды, используют в качестве основы бактерии: *Bacillus subtilis* Cohn, 1872; *B. thuringiensis* Berliner, 1915; три вида *Pseudomonas* Migula, 1894; два вида *Streptomyces* Waksman and Henrici 1943; три вида грибов, бакуловirus (*Baculoviridae*) и вирусы гранулеза.

¹United States biopesticides market size & share analysis - growth trends & forecasts up to 2029. [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/united-statesbiopesticides-marke> (дата обращения: 30.04.2025).

²Там же.

Особое внимание компаний, производящих биопестициды и биоконтролирующие агенты, уделено молекулярно-биологическим исследованиям факторов патогенности видов, входящих в их рецептуры, а также разработке новых технологий применения. На высоком научном уровне ведутся работы по получению генномодифицированных биоагентов. Например, биопестицидная компания Ecogen (США) совместно с семеноводческой компанией Mucogen (США) получила *Pseudomonas fluorescens* Migula, 1895, содержащую ген эндотоксина *B. thuringiensis* [14, 15].

Предпочтение зарубежных стран в использовании препаратов биологического синтеза для борьбы с паразитическими членистоногими пока не отразилось на рынке биопестицидов в России, где наблюдается их очевидный дефицит. На 1 июня 2023 года в России разрешено к использованию 65 наименований биологических пестицидов, среди которых 63,1 % составляют фунгициды, 27,7 % обладают инсектицидными и акарицидными свойствами. В группе биологических инсектицидов существенную долю занимают препараты, созданные на основе родов *Bacillus* Cohn, 1872, которые составляют основу 44,5 % биопрепаратов, *Trichoderma* Pers., 1801 используют в 15 % биопрепаратов, *Streptomyces avermectilis* – в 10,7 %. Зарубежные производители биопестицидов предпочитают использовать в своих составах бактерии *B. thuringiensis*. Биологические свойства бактерии позволяют использовать этот микроорганизм в качестве инсектицида и средства защиты растений от болезней. Наиболее часто эти биопестициды направлены на борьбу с личинками жуков-щелкунов (Elate-ridae Leach, 1815) – проволочниками, медведками (Gryllo-talpidae Leach, 1815), саранчей (Acrididae MacLeay, 1819), хрущами (Melolonthinae Samouelle, 1819), подгрызающими совками (Agrotis Ochsenheimer, 1816) [9]³.

Биопестициды растительного происхождения. Для производства биопестицидов из растений используются виды, которые применяются в пищевых, лекарственных, декоративных целях или встречаются в природе в лесах и на других необработанных территориях [16].

Для конкурентного замещения средств химического синтеза на биологические препараты из растительного сырья потребуются выращивание значительного объема массы растений и больших возделываемых площадей, что потенциально может конкурировать с выращиванием продуктов питания на сельскохозяйственных землях и развитием соответствующей отрасли [9].

Для определения инсектицидного действия против имаго комаров (*Anopheles superpictus* Grassi, 1899) в лабораторных условиях были проведены испытания препаратов с потенциальным биопестицидным эффектом, приготовленных из растений: гармала обыкновенного (*Peganum harmala* L., 1753); дурмана обыкновенного (*Datura stramonium* L.); перца стручкового (*Capsicum annuum* L., 1753); болиголова пятнистого (*Conium maculatum* L., 1753); коровьяка обыкновенного (*Verbascum thapsus* L., 1753), а также настои – дурмана обыкновенного с мыльным раствором, дурмана обыкновенного с перцем стручковым. Предварительные испытания с использованием в качестве объекта исследований личинок кровососущих комаров позволили выявить наибольшую инсектицидную эффективность препаратов из гармала обыкновенного, болиголова пятнистого, перца стручкового, дурмана обыкновенного с добавлением мыльного раствора и смеси дурмана обыкновенного и перца стручкового. Для испытаний в производственных условиях использовали отвар дурмана обыкновенного, которым обрабатывали скотоводческие помещения. Проведены две серии экспериментов в трех опытных и одном контрольном скотоводческом помещении. До начала опытов определили численность имаго *An. superpictus*, которая в подопытных помещениях составила 200, 105, 350 особей соответственно, в контрольном помещении 150 особей. После проведения первой серии экспериментов и обработки помещений отваром дурмана обыкновенного численность имаго комаров в них составила 135, 60 и 140 особей на помещение, а в контрольном – 141 особь. Эффективность инсектицидного действия испытуемого отвара против имаго комаров *An. superpictus* составила 28,2; 39,2 и 57,4 % соответственно. Инсектицидная эффективность после второй серии опытов составила в пределах 21,1 – 55,4 % [17].

³Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. М., 2023. 924 с. URL: <https://docs.cntd.ru/document/42023543>

Инсектицидные свойства коровяка высокого густоцветкового (*Verbascum densiflorum* Bertol) являются предметом исследования в областях защиты растений от вредителей и антигельминтного применения. Экстракты коровяка густоцветкового из цветков, листьев, стеблей и семян известны лечебными свойствами и применяются в народной медицине. Инсектицидные свойства коровяка были изучены на личинках природных популяций комаров семейства Chironomidae Newman, 1834 (мотыль) второго и третьего возраста. В экспериментах использовали 3,2%-й водный и 3%-й спиртовой экстракты. Проведенные исследования установили наличие инсектицидных свойств коровяка густоцветкового, которые показали гибель личинок комаров при применении водных и спиртовых экстрактов. Полученные результаты сравнивали с эталонным органическим фосфорсодержащим инсектицидом диазиноном. Установлено, что 1%-й спиртовой раствор коровяка густоцветкового обладает выраженным инсектицидным действием, применение его в экспериментах привело к гибели 100 % особей. Менее выраженным инсектицидным эффектом обладал 0,5%-й водный раствор – вызывает гибель чуть меньше 60 % особей [18, 19].

Биопестициды бактериального происхождения. Самую большую группу в арсенале современных биопрепаратов для защиты растений составляют микробные пестициды. Причем в их состав могут входить микроорганизмы разных систематических групп – бактерии, грибы, вирусы, простейшие, которые можно использовать для защиты растений [20, 21].

Спектр биопрепаратов на основе микроорганизмов, обладающих антогонистической активностью по отношению к вредителям растений, продолжает расширяться и проходить тестирование на нецелевых видах, в том числе на пчелах, что является необходимым условием регистрации пестицидных средств [22, 23].

Анализируя данные, можно с уверенностью утверждать, что микроорганизмы и продукты их жизнедеятельности являются наиболее конкурентоспособными и перспективными основами для промышленного производства биопестицидов и экологизации сельскохозяйственного производства. При массовом использовании биопестицидов микробного происхождения они экономически целесообразны и будут содействовать сохранению биоразнообразия, так как действуют целенаправленно

на патогенные организмы и не оказывают влияния на нецелевые виды. Способность биопестицидов относительно быстро разлагаться и не наносить вреда окружающей среде формирует понимание, что такие препараты являются наиболее предпочтительными в экологизации сельского хозяйства [8].

Биопестициды на основе Bacillus spp. Создание коммерческих биоинсектицидов стартовало с открытия в начале XX века бактерии *B. thuringiensis*. Первый препарат на ее основе (Sporeine) появился в 1920-х гг., но из-за узкого спектра действия и нестабильности в производственных условиях их применение было крайне ограничено. Через 30 лет после открытия этой бактерии были обнаружены дополнительные свойства, которые позволили расширить возможности применения биопрепаратов, что стало основой для разработки новых форм препаратов [15, 24].

Наиболее активно пестициды на основе *B. thuringiensis* стали применять в 1980-х годах, когда проблема резистентности вредителей стала наиболее актуальной. С этого времени продолжают исследования по поиску новых действующих веществ и созданию микробиологических пестицидов, которые являются неотъемлемой частью интегрированной системы защиты растений от вредителей, не заменяя, но дополняя арсенал химических средств [8, 25].

Уникальные свойства к биоконтролю, которые проявляют бактерии *Bacillus spp.*, широко распространенные в почве, воде, воздухе, позволяют их рассматривать как наиболее перспективную основу биологических пестицидов. Свойство бактерий образовывать споры обеспечивает их долгосрочную жизнеспособность в неблагоприятных условиях среды. Эти грамположительные микроорганизмы способны переносить экстремальные изменения pH, перепады температуры, соленость и присутствие органических растворителей [8].

Основной характеристикой *B. thuringiensis* является синтез во время споруляции кристаллических соединений, известных как δ-эндотоксины, которые обладают инсектицидными свойствами. Токсичность Cгу-белков традиционно объясняют образованием трансмембранных пор или ионных каналов, приводящих к осмотическому лизису клеток, что и вызывает гибель насекомых. Препараты обладают инсектицидными свойствами в отношении личинок чешуекрылых, двукрылых и жесткокрылых [8, 26].

Бактерии *B. thuringiensis* из группы *Bacillus cereus sensu lato* привлекают внимание исследователей благодаря своим выраженным инсектицидным свойствам. Для их характеристики и идентификации часто применяется полимеразная цепная реакция (ПЦР) с использованием специфических праймеров для обнаружения генов *Cry*, ответственных за продуцирование токсинов. Этот метод позволяет быстро и эффективно определить наличие нужного гена в исследуемых образцах. Более того, ПЦР была оптимизирована для проведения мультиплексной количественной ПЦР в реальном времени (кПЦР), что делает процедуру более удобной и безопасной. Такие технологии играют важную роль в современных исследованиях и позволяют более эффективно изучать и применять инсектицидные свойства бактерий *B. thuringiensis*. Разработанный мультиплексный анализ представляет собой значимый прогресс в исследованиях, направленных на обнаружение генов *CryIA*, *CryIC* и *CryIF*, которые кодируют токсины, эффективные в борьбе с гусеницами. С использованием специально созданных праймеров, проверенных с помощью новейших технологий секвенирования следующего поколения (NGS), удалось успешно определить наличие указанных генов в образцах. В ходе исследования было проанализировано и сравнено 214 штаммов, что позволило получить ценные сведения о распространенности этих генов среди изученных организмов. Дополнительно подтверждена достоверность результатов путем сравнения данных мультиплексного анализа с результатами традиционной ПЦР. Обнаружение совпадений в результатах обоих методов говорит о высокой точности и надежности новой системы анализа, что делает ее ценным инструментом для дальнейшего изучения в области биотехнологии и сельского хозяйства [27].

Исследования по выявлению высокой патогенной активности штаммов *B. thuringiensis* против различных насекомых свидетельствуют о перспективности создания биопрепаратов на их основе. Особый интерес вызывает тот факт, что штаммы *B. thuringiensis* из Макапы (Бразилия) успешно прошли тестирование на личинках комнатных мух. С использованием метода ПЦР удалось обнаружить гены, ответственные за синтез белков *Cry*, *Cyt* и *Vip*. В результате исследования шесть штаммов проявили высокую эффективность, приводя к гибели от 70 до 100 % личинок, при этом

пять из них содержали гены *Cry*. Эти результаты подчеркивают значимость использования биопрепаратов на основе *B. thuringiensis* для борьбы с насекомыми-вредителями, обеспечивая эффективный и экологически безопасный метод защиты растений. Сканирующая электронная микроскопия обнаружила формирование кристаллических включений с разнообразной морфологией, включая сферические (TR4J, SOL5DM, SOL6RN), кубовидные и бипирамидальные (TRO1TN и TRO2MQ), а также сочетание сферической и бипирамидальной форм (UNI2MA). Потенциальное содержание генов *Cry1*, *Cry2*, *Vip1* и *Vip3* указывает на возможность биоинсектицидной активности этих штаммов против мух из семейства *Muscidae* и других насекомых-вредителей различных отрядов. Это исследование подчеркивает биологическую активность бразильских штаммов *B. thuringiensis*, предполагая их потенциальное применение в борьбе с вредителями в сельском хозяйстве и других областях [28].

Результаты модельного эксперимента по выявлению потенциальных компонентов биопестицидов показали, что направленность антимикробной активности бактерий различается у штаммов, выделенных из разных местообитаний. В частности, штаммы, выделенные из кишечника почвенных беспозвоночных животных, отличаются относительно меньшим антагонизмом, по отношению к кишечным бактериям, чем штаммы, выделенные из кормового субстрата. Штаммы продуцентов, полученные из животных фитофагов и их корма – листьев сельскохозяйственных растений, могут быть потенциальными компонентами биопестицидов [29].

Энтомопатогенные грибы. Использование энтомопатогенных грибов в качестве биологического средства для борьбы с насекомыми-вредителями представляет собой эффективный и экологически безопасный метод в борьбе с паразитами. Среди наиболее перспективных, с точки зрения производства биопестицидов, являются представители родов *Beauveria* и *Metarhizium*.

Факторами вирулентности многих энтомопатогенных грибов часто являются литические ферменты, такие как протеазы, липазы и хитиназы, а также биологически активные соединения, включая токсины и иммуносупрессоры. Наиболее изученными представителями энтомопатогенной флоры являются грибы *Beauveria bassiana*, *Beauveria brongniartii*,

Beauveria felina, *Metarhizium anisopliae*, *Metarhizium acridum*, *Metarhizium robertsii* и *Metarhizium brunneum*. Кроме того, перспективными для борьбы с вредителями в сельском хозяйстве являются грибы родов *Cordyceps*, *Paecylomyces* и *Tolypocladium* [30].

Важными преимуществами являются простота культивирования этих грибов и безопасность для всех живых организмов, кроме насекомых. Однако этот подход не лишен существенных недостатков – это относительно низкая вирулентность, невысокая скорость действия и чувствительность к ультрафиолетовому излучению. Эта проблема может быть решена за счет генетической модификации используемых штаммов. Основными методами трансформации энтомопатогенных грибов являются полиэтиленгликоль-опосредованная трансформация протопластов, трансформация с помощью агробактерий, электропорация пророщенных конидий и химическая трансформация бластоспор. В геном организмов встраивают последовательности, кодирующие различные эффекторные молекулы, способные негативно воздействовать на зараженных ими насекомых, например, токсины из ядов хищных насекомых или паразитоидов. Недавно были созданы первые штаммы энтомопатогенных грибов, секретирующих в организм зараженных насекомых двуцепочечные РНК, способные подавлять экспрессию их жизненно важных белков. Повышение вирулентности данных штаммов происходит специфично к конкретному виду насекомого-вредителя. Для эффективного применения подобных пестицидов важно обеспечить доставку энтомопатогенного гриба к вредителю. Против кровососущих членистоногих, таких как клещи и комары, можно использовать опрыскивание животных и помещений. Наиболее часто биопрепараты на основе энтомопатогенных грибов применяются в растениеводстве [31].

Вирусные биопестициды. Использование вирусов, как основы биопрепаратов против насекомых – вредителей сельскохозяйственных культур, также является перспективным направлением. Основным недостатком вирусных биопрепаратов является их относительно низкая скорость воздействия на насекомых, что вероятно может быть решено увеличением вирулентности используемых вирусов, в том числе за счет их генетической модификации.

Так, применение рекомбинантного бакуловируса стимулирует синтез молекулы,

чужеродной и токсичной для клетки насекомых, что будет способствовать наступлению гибели инфицированной особи гораздо раньше, чем при обычной вирусной инфекции [32].

В мировой литературе имеются данные о 299 документально подтвержденных случаях резистентности рыжего таракана к 45 соединениям из разных химических групп инсектицидов, что стимулирует исследователей к поиску средств, преодолевающих устойчивость этого вида [33].

Проведены опыты и получены данные об эффективности инсектицидной приманки на основе денсовируса дымчато-коричневого таракана *Periplaneta fuliginosa*, для рыжего *Blatta germanica*, американского *Blatta americana* и чёрного *Blatta orientalis* тараканов. В среднем смертность рыжих тараканов составила 70 % в течение 5 суток эксперимента, что соответствует необходимому показателю эффективности приманки. Суммарная гибель самцов и самок чёрных и американских тараканов составила ниже 70 %, что не позволяет рекомендовать это средство для борьбы с этими видами. Установлена большая чувствительность к приманке самцов рыжего таракана по сравнению с самками. В отсутствие альтернативного корма показатели смертности рыжих тараканов, резистентных к традиционным инсектицидам культур, не отличаются от таковой чувствительной расы тараканов. В присутствии альтернативного корма замедление действия приманки наблюдали у самок некоторых культур в 2,5–4,0 раза. Энтомопатогенные вирусы очень специфичны по отношению к своим хозяевам и могут привести к значительному сокращению численности восприимчивых популяций. Биоинсектициды могут стать необходимой альтернативой в борьбе с резистентными рыжими тараканами [34].

Прочие биопестициды. Средства на основе кремнийсодержащих порошков (диатомиты, маршаллиты, силикагель, диатомовая земля, кизельгур, диоксид кремния и др.) высокоактивны в отношении постельных клопов, рыжих тараканов, блох, крысиных клещей. Препараты на их основе необходимо включать в схемы ротации инсектицидов [35].

Лабораторными экспериментами зафиксирован патогенный потенциал энтомопатогенных нематод рода *Heterorhabditis* (*Heterorhabditis bacteriophora* Poinar, 1976, изолят HP88 и *Heterorhabditis baujardi* Phan, Subbotin, Nguyen & Moens, 2003 изолят LPP7) для предид-

магильных стадий осенней жигалки (*Stomoxys calcitrans* Linnaeus, 1758). Использование штамма *H. bacteriophora* HP88 выявило наибольшую патогенность для осенней жигалки, которое приводило к высокой смертности личинок ($\geq 90\%$), значительному подавлению выживаемости куколок (на 70–100%) и появлению взрослых особей (на 96,7–100%) при всех испытанных концентрациях (25, 50, 100, 150 и 200 нематод/личинку). Применение штамма *H. baujardi* LPP7 показывало аналогичные результаты при использовании лишь самой высокой из испытываемых концентраций – 200 нематод/личинку [36].

Так как спектр действия пестицидов биологического происхождения узкоспецифичен, для создания биопрепаратов целесообразно рассматривать их компоненты с учетом известной эффективности в отношении разных классов паразитов. Для прогнозирования направленного действия необходимо понимание диапазона действия биопестицидов различного происхождения. В настоящее время эктопаразитами, причиняющими значительный ущерб сельскому хозяйству, являются насекомые и клещи, для ограничения численности которых все чаще используются биоинсектициды и биоакарициды.

Биоинсектициды. Известно, что насекомые, которые приобрели в течение своей жизни резистентность к синтетическим препаратам, проявляют чувствительность к инсектицидам биологического происхождения. Так, три линии комаров (*Culex quinquefasciatus*) из природных популяций США, высокоустойчивые к ряду пиретроидов и фосфорорганических соединений, среднеустойчивые к фипронилю и имидаклоприду, оказались чувствительными к *B. thuringiensis* var. *israelensis* Barjas, 1978 [37].

Проведены исследования эффективности применения биоларвицидных гранул AQUABAC 200G (активные ингредиенты: *B. thuringiensis israelensis* strain BMP 144 solids, споры и инсектицидные токсины – 2,86%; другие ингредиенты – 97,14%) в водоемах с различным личиночным обилием, видовым составом и условиями обитания против личинок комаров рода *Anopheles* Meigen, 1818. Полевые эксперименты показали 95–100%-ную гибель личинок комаров рода *Anopheles* во всех опытных водоемах через 2–3 суток. В ходе исследований отмечено, что применение этого биопестицида оказалось эффективным, но непродолжительным и в отношении личинок комаров *Culex pipiens* Linnaeus, 1758 и *Culex*

modestus Ficalbi, 1889. Установлено, что через 2–7 дней после обработки метаморфоз личинок продолжался без изменений, что связано с физическими свойствами биоларвицида, который характеризуется высокой удельной массой, вследствие чего препарат выпадает в осадок и не оказывает негативное действие на молодых личинок [38].

Основные исследования по изучению эффективности биоинсектицидов направлены на борьбу с зоофильными мухами в ветеринарной и медицинской дезинсекции. В меньшей мере это касается мух вредителей растений ввиду широкого использования в растениеводстве высокоэффективных химических пестицидов.

В лабораторных исследованиях и в моделируемых полевых опытах изучена восприимчивость взрослой и личиночной стадии комнатной мухи *Musca domestica* Linnaeus, 1758 (Diptera: Muscidae) к двум энтомопатогенным грибам *M. anisopliae* (Metsch.) Sor. и *B. bassiana* (Bals.) Vuill. Исследования на взрослых комнатных мухах проводились при различных концентрациях конидий в диапазоне от 10^3 до 10^9 конидий/мл в чашках Петри и мини-камерах. Абсолютную смертность наблюдали в течение 4–5 дней при всех протестированных концентрациях. Было обнаружено, что *M. anisopliae* более эффективен при $LC_{50} 6,75 \times 10^7$ конидий/мл по сравнению с $1,21 \times 10^8$ конидий/мл *B. bassiana* в биоанализе на чашке Петри. Аналогичная тенденция отмечена и в мини-камерном биоанализе. Ларвицидная активность, оцененная с помощью биоанализа на чашке Петри, также показала, что *M. anisopliae* был более эффективным ларвицидом с $LC_{50} 4,1 \times 10^8$ конидий/мл по сравнению с $3,31 \times 10^9$ конидий/мл *B. bassiana*. Ларвицидную активность дополнительно оценивали в моделируемых полевых условиях разлагающейся матрицы отходов с использованием сухих конидиальных составов (10^8 конидий/г) обоих грибов. Смертность личинок, полученная в этом анализе, составила 43% (*B. bassiana*) и 63% (*M. anisopliae*). Значительно более высокая эффективность *M. anisopliae* в качестве взрослого и ларвицидного агента по сравнению с *B. bassiana* в лабораторных опытах, а также в смоделированных полевых условиях позволяет предполагать положительный потенциал для использования этого компонента для включения в комплексную программу борьбы с комнатной мухой [39].

В полевых условиях оценена инсектицидная активность трех составов в виде приманки, капсул и эмульсии на основе *B. bassiana*. Приманка на основе чайных отходов показала 100%-ную смертность (в течение 72 час.) в лабораторных экспериментах против взрослых комнатных мух *M. domestica*. При полевом исследовании с использованием ловушек зафиксирована 65 и 100%-ная смертность (в течение 60 ч) отловленных мух. Хотя состав приманки был дешевым, простым в приготовлении и транспортировке, его способность к хранению ограничена. Поэтому были предприняты попытки создания более совершенных составов в форме капсул и эмульсий. Инкапсулированные конидии *B. bassiana* (с использованием сухого обезжиренного молока, поливинилпирролидона К-90 и глюкозы в качестве добавок) продемонстрировали 100%-ую конидиальную прорастаемость и сохранили 78 % конидиальной жизнеспособности, даже после хранения в течение 12 месяцев при температуре 30 °С. Инкапсулированный продукт показал 54,8 % (свежеприготовленный) и 30,6 % (после 12-месячного хранения) смертность личинок комнатной мухи в моделируемых полевых условиях. Рецепт эмульсии готовили с использованием Твин 20 в качестве поверхностно активного вещества с семью растительными маслами: соевым, рапсовым, подсолнечным, оливковым, касторовым, тилиловым и льняным. Эмульсию с льняным маслом, показавшую максимальную конидиальную всхожесть (94 %), оценивали по сроку годности и патогенности в отношении личинок комнатной мухи. Анализ срока годности эмульсии выявил 28 % конидиального прорастания и 19,9 % смертности личинок комнатной мухи после 12 месяцев хранения по сравнению с 94 % конидиального прорастания и 51,7 % смертности личинок при использовании свежего продукта. Предполагается, что у инсектицидов, созданных на основе *B. bassiana*, есть значительные перспективы в борьбе с *M. domestica* и высокий потенциал коммерциализации [40].

Лабораторные исследования инсектицидного действия различных изолятов энтомопатогенных грибов *M. anisopliae* на комнатную муху *M. domestica* привели к выбору наиболее перспективного изолята М16. Для составления рецептуры аттрактантов были испытаны основы,

способные увеличивать посещаемость мух. Установлено, что состав приманки, содержащий *M. anisopliae* и сухое обезжиренное молоко, привлекает наибольшее количество посещений комнатными мухами, и впоследствии его сравнили с обычными химическими приманками в анализе эффективности. Химическая приманка (0,5 % имидаклоприда) вызывала более высокую смертность, чем микоинсектицидная приманка, однако аналогичные уровни смертности были достигнуты через 4–5 дней после воздействия [41].

Проведены лабораторные исследования по изучению вирулентности и времени летального действия энтомопатогенных грибов *B. bassiana* (Balsamo) *Vuillemin* (штаммы GHA, HF23, NFH10 и L90) и *Metarhizium anisopliae/brunneum* (Metchnikoff)/Petch (штамм F52) путем воздействия на взрослых мух *M. domestica* дисков из фильтровальной бумаги, обработанных конидиями, в течение 2 часов. Установлено, что летальное время, вызывающее до 50 % смертности (LT50) при высокой концентрации 1×10^9 конидий варьировало от 3,8 до 5,2 дней для всех пяти штаммов. GHA, NFH10 и L90 уничтожали мух быстрее, чем штамм *M. anisopliae* F52; HF23 не отличался ни от *M. anisopliae*, ни от других штаммов *B. bassiana*. Попытки с использованием штамма NFH10 вызвать более быструю гибель мух путем отбора по 10 пассажирам от гриба к мухе не привели к сокращению времени гибели мухи исследуемого штамма [42].

Для увеличения скорости гибели *M. domestica* предлагается применить генетическую модификацию патогена, который будет способствовать ускорению его проникновения через кутикулу. Исследуются причины различий эффективности *B. bassiana* против личинок комнатной мухи (гибель личинок от 0 до 70 %): вариации вирулентности штамма; метод культивирования грибов; конидиальная доза или концентрация; возраст мухи; статус питания личинки-хозяина; метод воздействия; свойства субстрата для выращивания личинок и различия в чувствительности культур мух [43].

Производственные испытания коммерческого биоинсектицида «Битоксибациллин» (ПО «Сиббиофарм», Россия), основным действующим веществом которого являются споры и клетки культуры *B. thuringiensis* var. *thuringiensis*, законсервированные в белковую обо-

лочку, – эндотоксин и термостабильный экзотоксин проведены в Липецкой области на базе птицефабрики «Новоникольская». Наблюдения показали, что испытуемый препарат эффективен против личинок комнатной мухи в 3%-й концентрации при толщине слоя отходов до 50 см – 3 л на 1 м², скоплении навоза при толщине слоя субстрата свыше 50 см – 10 л на 1 м² [44].

Лабораторные опыты по изучению воздействия энтомопатогенного гриба *M. anisopliae* на разные стадии предимагинального развития осенней жигалки *S. calcitrans* показали, что он обладал губительным действием на яйца, но не влиял на личинки и куколки [45].

Изучена способность пяти изолятов *B. thuringiensis* (*Berliner*) вызывать смертность у взрослых мух *S. calcitrans* при скормливаниях с сахаром, кровью или смесью сахара и крови [46].

Применение *B. thuringiensis subsp. aizawai*, штамм 12К и *B. thuringiensis subsp. thuringiensis*, штамм ВНИИВЭА-177 в составе коммерческого биоинсектицида Туринбаш-Ж (Башинком, Россия) – эффективно в отношении насекомых отрядов Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera, Diptera [47].

Изучена эффективность использования энтомопатогенных грибов *M. anisopliae* и *B. bassiana* для уничтожения постельных клопов (*Cimex lectularius* Linnaeus, 1758). Резистентность постельных клопов к пиретроидам не приводит к перекрёстной устойчивости к инфицированию спорами *B. bassiana*. Смертность насекомых прямо пропорциональна концентрации конидий, которая имеет решающее значение для индукции горизонтального переноса, способного увеличить смертность популяции насекомых без необходимости прямого контакта между постельными клопами и инокулированным субстратом. Остатки пиретроидов на обработанных поверхностях значительно снижают прорастание спор *B. bassiana*. В настоящее время не выявлена резистентность насекомых к микоинсектицидам в полевых условиях, однако показано, что в лабораторных условиях её появление вероятно [48].

Личинки мошек также подвержены поражению грибами. В сборах энтомопатогенный гриб *Coelomycidium simulii* Debais, 1919 обнаружен у 9 видов мошек: *Banksia erythrocephala* (C. A. Gardner) A. R. Mast & K. R. Thiele; *Schizaea pusilla* Pursh; *Wilhelmia equina* Linnaeus, 1758; *Odontomyia ornate* Meigen, 1822; *Argentisimulium*

noelleri Friederichs, 1920; *Simulium rostratum* Lundstrom, 1911; *Simulium morsitans* Edwards, 1915; *Simulium paramorsitans* Rubtsov, 1956 и *Simulium promorsitans* Rubtsov, 1956. Инфицирование мошек грибами регистрировали на протяжении всего летнего сезона с пиками численности пораженности личинок – в начале лета и сентябре. Зараженных особей мошек обнаруживали в средних и малых реках, ручьях и мелиоративных каналах. Наиболее инфицированные личинки мошек обитали в водотоках, сильно заросших водной растительностью. Максимальная степень инфицирования выявлена у особей *B. erythrocephala* (экстенсивность инвазии (ЭИ) – 8,6 %) и *W. equina* (ЭИ – 2,1 %). Отмечено, что в основном подвергаются изменениям жировое тело особи, а также покровы, гонады и нервная система [49].

В Беларуси отмечена инфицированность мошек всех поколений, обитающих в водотоках микроспоридиями. Пораженных особей изучаемых членистоногих обнаруживали на протяжении всего сезона, но максимальную численность регистрировали во второй половине лета. Установлено, что путь проникновения микроспоридий в организм мошек пероральный, а локализация в основном в жировом теле, где происходит развитие как облигатного внутриклеточного паразита. Визуально пораженные особи мошек отличаются беловато-жёлтым цветом брюшка и увеличенными размерами, через кутикулу просвечиваются бесформенные белые, кремовые или розовые скопления. Отмечена зависимость инфицирования личинок мошек от возраста – чем старше, тем более выраженная у них патология. Поврежденные личинки не переходят к следующей стадии метаморфоза, слабо удерживаются на субстрате и легко уносятся потоком воды [50].

Паразитами мошек в Белорусском Поозерье также являются нематоды мермитиды *Mermithidae* Braun, 1883, которые способны заражать личинок 6 видов: *W. equina*; *Simulium* (*Wilhelmia*) *lineatum* Meigen, 1804; *B. erythrocephala*; *Arg. noelleri*; *Sim. promorsitans* и *Sim. morsitans*. Наиболее часто заражаются личинки *B. erythrocephala* (ЭИ около 10 %). Единичные случаи паразитирования зарегистрированы у *Arg. noelleri* (ЭИ 0,4 %). Отмечено, что некоторые особи были поражены одновременно несколькими нематодами, при

этом паразиты локализовались в брюшном отделе тела личинки и просматривались через кутикулу хозяина, а личинки мошек при этом были крупнее здоровых в 1,5–2,0 раза [50].

Биоакарициды. Микроскопические грибы способны регулировать численность иксодовых клещей – переносчиков возбудителей трансмиссивных болезней. Наиболее перспективными биоакарицидами являются препараты на основе энтомопатогенных грибов *M. anisopliae*, *B. bassiana*, а также микромицеты из рода *Cordyceps* Fr., 1818 и других видов для сокращения численности иксодовых клещей *Ixodes ricinus* Linnaeus, 1758, *Ixodes scapularis* Say, 1821, *Dermacentor variabilis* Say, 1821, *Dermacentor reticulatus* Fabricius, 1794 и *Rhipicephalus sanguineus* Latreille, 1806. Известно, что применение микоакарицидов в биотопах иксодид способствует гибели 87–96 % особей через три недели и 53–74 % через пять недель после обработки. Предполагается, что применение штамма *M. anisopliae* F52 может стать ещё одним инструментом интегрированного подхода к борьбе с иксодовыми клещами в жилом ландшафте. Отмечено, что испытанные микоакарициды не показали достаточной эффективности против таёжного клеща *Ixodes persulcatus* Schulze, 1930 [51].

Проведены испытания двух штаммов энтомопатогенного гриба *B. bassiana* sp. и одного штамма *Cordyceps sinensis* sp. (Berk.) Sacc., 1878 против имаго иксодид родов *Dermacentor* и *Ixodes*. По скорости воздействия используемые биоакарициды значительно отличались. Так, при применении суспензии на основе *B. bassiana* sp. гибель клещей наблюдали с шестых суток эксперимента. Отмечено, что *C. sinensis* sp. действовал медленнее и гибель иксодид начиналась с 12 суток. Абсолютная гибель иксодовых клещей достигнута на 20 сутки при применении суспензии, содержащей микромицеты *C. sinensis* sp., полученной за одни сутки до эксперимента⁴.

Для применения в колониях пчел против клещей-паразитов рекомендованы препараты на основе инкапсулированных в пористые

микроферы крахмала растительных масел (гвоздики, орегано, камфоры) [52].

Для борьбы с большой восковой молью (*Galleria mellonella* Linnaeus, 1758) разработан опытный образец средства «Антигаллерин» (Красноярский ГАУ, Россия) на основе штамма *B. thuringiensis* 846-Bt (патент № RСAM 00045), обладающий высокой энтомопатогенной активностью [53].

Для повышения результативности биопестицидов необходимы дополнительные исследования, которые позволят минимизировать их недостатки и усилить действие. Для подбора наиболее эффективных микроорганизмов необходимы генетические исследования, позволяющие выявить наличие генов секретируемых белков и кластеров генов вторичных метаболитов и их активация различными методами, а также экстракция метаболитов микромицетов, их анализ различными методами хроматографии и масс-спектрометрии. Для активации молчащих генов целесообразно испытание различных составов питательных сред, совместное культивирование с другими микроорганизмами или клетками насекомых, модификация регуляторных белков, гетерологичная экспрессия и другие. В продолжение исследований по разработке новых биорациональных инсектицидов необходимы токсикологические исследования, определение механизма действия и разработка технологий повышения их эффективности: увеличение выхода в культуре (подбор сред и условий культивирования, метаболическая инженерия штаммов-продуцентов); получение более активных синтетических производных или аналогов; усовершенствование препаративных форм (например, форм с контролируемым высвобождением для относительно токсичных соединений) и методов применения (например, изучение эффектов синергизма или синбиоза при использовании с другими инсектицидами) [53].

Анализ результатов изучения эффективности применения биопестицидов в полевых условиях показал значительные перспективы для их внедрения в сельское хозяйство (табл.).

⁴Столбунова К. А., Охлопкова О. В., Теплякова Т. В. Биоакарициды - регуляторы численности переносчиков трансмиссивных заболеваний человека. VIII международная научно-практическая конференция молодых ученых: биофизиков, биотехнологов, молекулярных биологов и вирусологов – 2021: сб. тез. конф.и, проходившей в рамках площадки открытых коммуникаций OpenBio-2021, Научоград Кольцово, 05–08 октября 2021 года. Новосибирск: Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, 2021. С. 67–68. URL: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_48028419_39116189.pdf EDN: ZTXPRX

ОБЗОРЫ / REVIEWS

Таблица – Результаты изучения эффективности применения биопестицидов против насекомых и клещей в полевых условиях /

Table – Results of the study of biopesticide effectiveness against insects and ticks in the field

Вид паразита / Type of parasite	Основа биопестицида / Biopesticide basis	Форма применения, концентрация / Form of application, concentration	Эффективность, % / Effectiveness, %
Насекомые / Insects			
<i>Anopheles superpictus</i>	<i>Datura stramonium</i>	Отвар / Decoction	21,1–57,4 [17]
<i>Anopheles</i> (личинки)	<i>Bacillus thuringiensis</i> <i>var. israelensis</i>	Гранулы, 2,86 % / Granules, 2.86 %	95,0–100,0 [27]
<i>Chironomidae</i>	<i>Verbascum densiflorum</i> Bertol.	Спиртовой раствор, 1,0 % / Alcohol solution, 1.0 %	100,0 [18, 19]
		Водный раствор, 0,5 % / Aqueous solution, 0.5 %	<60,0 [18, 19]
<i>Periplaneta fuliginosa</i>	Денсовирус BgDENV / Densovirus BgDENV	Аттрактант / Attractant	<70,0 [34]
<i>Stomoxys calcitrans</i>	<i>Heterorhabditis</i> <i>bacteriophora</i>	25, 50, 100, 150 и 200 нематод/особь / 25, 50, 100, 150 and 200 nematode/ indi- vidual	Личинки \geq 90,0 / Larvae \geq 90.0; Куколки 70,0-100,0 / Pupae 70.0-100.0 [36]
	<i>Heterorhabditis</i> <i>baujardi</i>	200 нематод/особь / 200 nematode /individual	Имаго 96,7–100,0 / Adult 96.7–100.0 [36]
<i>Musca domestica</i> (личинки)	<i>Beauveria bassiana</i>	Сухой конидиальный состав 108 конидий/г / Dry conidial composition 108 conidia/g	43,0 [39]
		Капсулы / Capsules	30,6–54,8 [40]
		Эмульсия (на основе льняного масла) / Emulsion (based on linseed oil)	19,9–51,7 [40]
	<i>Metarhizium anisopliae</i>	Сухой конидиальный состав 108 конидий/г / Dry conidial composition 108 conidia/g	63,0 [40]
<i>Musca domestica</i> (имаго)	<i>Beauveria bassiana</i>	Аттрактант / Attractant	65,0–100,0 [40]
		Капсулы / Capsules	100,0 [40]
Клещи / Ticks			
<i>Ixodes ricinus</i>	<i>Metarhizium anisopliae</i> , <i>Beauveria bassiana</i> , <i>Cordyceps</i>	-	53,0–96,0 [51]
<i>Ixodes scapularis</i>			
<i>Dermacentor variabilis</i>			
<i>Dermacentor reticulatus</i>			
<i>Rhipicephalus sanguineus</i>			

Заключение. Основным преимуществом инсектицидов биологического происхождения является направленность на целевого вредителя и отсутствие влияния на полезные организмы. Именно поэтому их можно использовать в природоохранных зонах, болотных угодьях и других местах, где есть водоемы. Для борьбы

с паразитическими членистоногими в сельском хозяйстве целесообразно использовать биоинсектициды растительного, бактериального, вирусного и грибкового происхождения.

Так, применение отвара дурмана обыкновенного (*D. stramonium*) снижает численность имаго комаров *An. superpictus*, а спиртовой

раствор коровяка густоцветкового (*V. Densiflorum*) обладает выраженным инсектицидным действием против личинок комаров семейства Chironomidae. Бактерии *B. thuringiensis* активны против личинок комнатных мух *M. domestica*, комаров рода *Anopheles*, видов *C. quinquefasciatus*, *C. pipiens* и большой восковой моли (огневки) *G. mellonella*. Применение составов, содержащих денсовирус Densovirinae дымчатокоричневого таракана (*P. Fuliginosa*) эффективно для борьбы с рыжим, американским и чёрным тараканами. Энтомопатогенные нематоды рода *Heterorhabditis* (*Heterorhabditis bacteriophora* и *H. baujardi*) губительны для предимагильных стадий осенней жигалки *S. calcitrans*, а *Mermithidae* – для мошек. Применение микромицетов *B. thuringiensis* subsp. *aizawai* и *B. thuringiensis* subsp. *thuringiensis* эффективно в отношении насекомых отрядов Lepidoptera, Coleoptera, Hymenoptera, Diptera.

Использование приманок, содержащих конидии *M. anisopliae* и *B. bassiana* способствует регуляции численности личинок и имаго мух *M. domestica*, *S. calcitrans* и постельных клопов

C. lectularius. Микроспоридии энтомопатогенного гриба *C. simulii* губительны для мошек видов *B. erythrocephala*, *Sch. pusilla*, *W. equina*, *Od. ornata*, *Arg. noelleri*, *Sim. rostratum*, *Sim. morsitans*, *Sim. paramorsitans* и *Sim. promorsitans*. Для сокращения численности иксодовых клещей *I. ricinus*, *I. scapularis*, *D. variabilis*, *D. reticulatus* и *Rh. sanguineus* эффективны биоакарициды на основе *M. anisopliae*, *B. bassiana*.

Рынок биопестицидов и биоконтролирующих агентов постоянно растет и имеет значительные перспективы для применения в агропромышленном комплексе. Расширение спектра отраслей, использующих биологические средства защиты, будет способствовать развитию зеленой экономики. В перспективе применение биопестицидов станет востребованным и частично заменит синтетические вещества с длительным остаточным инсектицидным и акарицидным действием, высокой токсичностью в сельском хозяйстве при защите растений и животных от паразитов, а также в медицине при противоэпидемиологических мероприятиях.

Список литературы

1. Борисова Е. Е. Анализ вредного воздействия пестицидов на биоту и здоровье человека, организационные основы решения проблемы. Евразийское пространство: экономика, право, общество. 2024;(1):7–10. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60018509> EDN: SABKGV
2. Жемчужин С. Г. Биопестициды: открытие, изучение и перспективы применения. Агрохимия. 2014;(3):90–96. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21481696> EDN: SCCEOT
3. Догадина М. А., Правдюк А. И., Криворотова Е. И. Вызовы и тренды рынка биопестицидов. Вестник аграрной науки. 2024;(2(107)):40–48. DOI: <https://doi.org/10.17238/ISSN2587-666X.2024.2.40> EDN: EYHVB
4. Штерншис М. В. Тенденции развития биотехнологии микробных средств защиты растений в России. Вестник Томского государственного университета. Биология. 2012;(2(18)):92–100. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17772678> EDN: OYXXLJ
5. Франк Р. И., Кищенко В. И. Биопрепараты в современной земледелии. Защита и карантин растений. 2008;(4):30–32. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13794717> EDN: LPWPWJ
6. Догадина М. А., Таракин А. В., Игнатова Г. А., Степанова Е. И., Велкова Н. И., Косаточкина М. Ю., Правдюк А. И., Криворотова Е. И. Аспекты снижения пестицидной нагрузки на экосистемы. Вестник аграрной науки. 2022;(5(98)):107–113. DOI: <https://doi.org/10.17238/ISSN2587-666X.2022.5.107> EDN: UCJUZR
7. Хамидулина Х. Х., Рабикова Д. Н. Зеленые пестициды (преимущества и проблемы внедрения). Токсикологический вестник. 2020;(3):53–56. DOI: <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2020-3-53-56> EDN: VXOPQP
8. Хузин Д. А., Юсупов С. А., Ерошин А. И., Тарасов Е. Ю., Потехина Р. М., Трemasова А. М. Роль сапрофитных и условно-патогенных микроорганизмов в возникновении и распространении оппортунистических инфекций крупного рогатого скота. Ученые записки Казанской государственной академии ветеринарной медицины им. Н. Э. Баумана. 2022;(252(4)):267–272. DOI: https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_252_267 EDN: FUDWCO
9. Сухарева Л. В., Кузнецова М. М. Направления использования биопрепаратов в растениеводстве. Известия Дагестанского ГАУ. 2023;(3(19)):55–63. DOI: https://doi.org/10.52671/26867591_2023_3_55 EDN: EQNBFC
10. Жемчужин С. Г., Спиридонов Ю. Я., Босак Г. С. Биопестициды: современное состояние проблемы. Агрохимия. 2019;(11):77–85. DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119110140> EDN: EEUSJB
11. Ayilara M. S., Adeleke B. S., Akinola S. A., Fayose C. A., Adeyemi U. T., Gbadegesin L. A. et al. Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: A case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. Frontiers in Microbiology. 2023;14:1040901. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1258968>
12. Мишуковская Г. С., Шелехов Д. В., Гиниятуллин М. Г., Смольникова Е. А. Действие фунгицида Фитоспорин-АС,Ж на медоносных пчел. Пчеловодство. 2022;(6):18–20. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49241610> EDN: ZVETNN
13. Долженко В. И., Лаптиев А. Б. Современный ассортимент средств защиты растений: биологическая эффективность и безопасность. Плодородие. 2021;(3(120)):71–75. DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.13> EDN: ZUQONQ

14. Монастырский О. А. Биопрепараты: типы, рынки в России и в других странах. *Агрохимия*. 2019;(11):86–90. DOI <https://doi.org/10.1134/S0002188119110085> EDN: QCWVZL
15. Бизюкова О. В. Обзор мирового рынка микробиопрепаратов. *Защита и карантин растений*. 2012;(3):9–12. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17715943> EDN: OXRQEF
16. Daraban G. M., Hlihor R. M., Suteu D. Pesticides vs. Biopesticides: From Pest Management to Toxicity and Impacts on the Environment and Human Health. *Toxics*. 2023;11(12):983. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics11120983>
17. Хабиров З., Кадамов Д. С., Искандаров Ф. М., Назиров В. К., Худоев Х. У. Применение биопестицидов растительного происхождения против кровососущих комаров. *Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук*. 2013;(2(183)):17–26. Режим доступа: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20900476> EDN: RPJMQP
18. Астарханова Т. С., Астарханов И. Р., Абасова Т. И., Алибалаев Д. А. Инсектицидные свойства и эффективность растительных экстрактов. Теоретические и прикладные проблемы агропромышленного комплекса. 2025;(2(64)):12–16. DOI: <https://doi.org/10.32935/2221-7312-2025-64-2-12-16> EDN: KOLTNL
19. Муковоз П. П., Торжкова О. А., Валиуллин Л. Р., Картабаева Б. Б., Горбенко А. Д., Севостьянов М. А. Разработка инсектицидных композиций на основе пиретринов и природных дибензооксоланов, содержащихся в растительных и эфирных маслах. *Вестник аграрной науки*. 2023;(6(105)):44–47. DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.6.44> EDN: ZINRBQ
20. Borges S., Alkassab A. T., Collison E., Hinarejos S., Jones B., McVey E. et al. Overview of the testing and assessment of effects of microbial pesticides on bees: strengths, challenges and perspectives. *Apidologie*. 2021;52:1256–1277. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13592-021-00900-7>
21. Kachhawa D. Microorganisms as a Biopesticides. *Journal of Entomology and Zoology Studies*. 2017;3:468–473.
22. Гиниятуллин М. Г., Бахтиярова С. М., Проскура Т. А. Эффективность действия биопрепаратов на пчел. *Пчеловодство*. 1996;(5):27–28.
23. Гиниятуллин М. Г., Шелехов Д. В., Смольникова Е. А., Науразбаева А. И., Фисенко Н. В. Хозяйственно полезные признаки пчелиных семей при использовании пробиотиков нового поколения. В кн.: *Среднерусская порода медоносных пчёл в стратегии развития мирового пчеловодства*. Киров: ФАНЦ Северо-Востока, 2019. С. 34–39.
24. Van Driesche R., Hoddle M., Center T. Control of pests and weeds by An Introduction to Biological Control. Blackwell, Malden, MA & Oxford, 2008, 473 p. DOI: <https://doi.org/10.14411/eje.2009.038>
25. Mnif I., Ghribi D. Potential of bacterial derived biopesticides in pest management. *Crop Protection*. 2015;77:52–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.07.017>
26. Hall F. R., Menn J. J. Biopesticides Use and Delivery. Humana Press Inc., 1999. 626 p.
27. Queiroz P. R., Posso M. C., Martins É. S., Grynberg P., Togawa R., Gomes R. Monnerat Identification of cry genes in *Bacillus thuringiensis* by multiplex real-time PCR. *Journal of Microbiological Methods*. 2023;205:106665. DOI <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2022.106665>
28. Nascimento T. A., Paes M. J., Valicente F. H., De Carvalho Queiroz M. M. Bioactive Potential of Some *Bacillus thuringiensis* Strains from Macapá, Amazon, Brazil, Against the Housefly *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) Under Laboratory Conditions. *Insects*. 2025;16(1):27. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects16010027>
29. Якушев А. В., Хуснетдинова Т. И., Глухова А. А., Бойкова Ю. В. Поиск потенциальных компонентов биопестицидов среди бактерий, выделенных из кишечника почвенных беспозвоночных животных и их кормовых субстратов - ботвы картофеля и листовенного опада. *Агрохимический вестник*. 2024;(2):66–71. DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-2-012> EDN: AEONIW
30. Берестецкий А. О., Леднев Г. Р., Ху Ц. Перспективные подходы к поиску метаболитов грибов для борьбы с вредными членистоногими. *Вестник защиты растений*. 2021;104(1):6–27. DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-1-14963> EDN: NDPNVD
31. Шухалова А. Г., Тимофеев С. А., Долгих В. В. Высоковирулентные и специфичные биопестициды на основе генетически модифицированных энтомопатогенных грибов. *Международный сельскохозяйственный журнал*. 2024;(2(398)):188–191. DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2024_67_2_188 EDN: LPGZIU
32. Stingaci A. Using of entomoptogenic baculovirus pesticides for biological controls of pest insects in the republic of Moldova. *Agrarian Science*. 2019;S2:142–144. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-2-142-144> EDN: IPFFYS
33. Mota-Sanchez D., Wise J. C. The Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University, 2024. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.pesticideresistance.org> (дата обращения: 27.12.2024).
34. Кривонос К. С., Еремина О. Ю., Олифер В. В. Эффективность приманки на основе денсовируса PfDNV в отношении синантропных тараканов. *Дезинфекционное дело*. 2024;(2(128)):22–27. DOI: <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2024-2-22-27> EDN: WZMJKO
35. Кривонос К. С. Мониторинг резистентности к инсектицидам популяций постельных клопов России. *Дезинфекционное дело*. 2019;(2(108)):51–63. DOI: <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2019-2-48-61> EDN: WFAGXK
36. Leal L. C. S. R., Monteiro C. M. O., Mendonça A. É., Bittencourt V. R. E. P., Bittencourt A. J. Potential of entomopathogenic nematodes of the genus *Heterorhabditis* for the control of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*. 2017;26(4):451–456. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1984-29612017065>
37. Liu H., Cupp E. W., Micher K. M., Guo A., Liu N. Insecticide resistance and cross-resistance in Alabama and Florida strains of *Culex quinquefasciatus* [correction]. *Journal of Medical Entomology*. 2004;41(3):408–413. DOI: <https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.3.408>

38. Хабилов З., Кадамов Д. С., Амиркулов Х., Мирзоев Н. М., Искандаров Ф. М. Применение биологических методов борьбы с кровососущими комарами в Таджикистане. Известия Академии наук Республики Таджикистан. Отделение биологических и медицинских наук. 2013;(1(182)):27–34.

Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20170592> EDN: QZKFNZ

39. Mishra S., Kumar P., Malik A., Satya S. Adulticidal and larvicidal activity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against housefly, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae), in laboratory and simulated field bioassays. Parasitology Research. 2011;108(6):1483–1492. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00436-010-2203-5>

40. Mishra S., Kumar P., Malik A. Preparation, characterization, and insecticidal activity evaluation of three different formulations of *Beauveria bassiana* against *Musca domestica*. Parasitology Research. 2013;112(10):3485–3495. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00436-013-3529-6>

41. Baker D., Rice S., Leemon D., Godwin R., James P. Development of a Mycoinsecticide Bait Formulation for the Control of House Flies, *Musca domestica* L. Insects. 2020;11(1):47. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11010047>

42. White R. L., Geden Ch. J., Kaufman Ph. E., Johnson D. Comparative Virulence of *Metarhizium anisopliae* and Four Strains of *Beauveria bassiana* Against House Fly (Diptera: Muscidae) Adults With Attempted Selection for Faster Mortality. Journal of Medical Entomology. 2021;58(4):1771–1778. DOI: <https://doi.org/10.1093/jme/tjab027>

43. Кривонос К. С., Еремина О. Ю., Олифер В. В. Применение микоинсектицидов для сокращения численности комнатной мухи *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). Дезинфекционное дело. 2024;(2(128)):28–36. DOI: <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2024-2-28-36> EDN: CGVZKV

44. Шустова А. А., Удавлив Д. И., Башнин О. И., Куш И. В., Попов Н. И., Гуляева Ю. А. Производственные испытания эффективности препарата «Битоксибациллин» в Липецкой области на птицефабрике «Новоникольская». Ветеринария, зоотехния и биотехнология. 2023;(5):27–33. DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202305004> EDN: MSQCIZ

45. Moraes A. P. R., Angelo I. C., Fernandes É. K. K., Bittencourt V. R. E. P., Bittencourt A. J. Virulence of *Metarhizium anisopliae* to eggs and immature stages of *Stomoxys calcitrans*. Animal Biodiversity and Emerging Diseases Prediction and Prevention. 2008;1149(1):384–387. DOI: <https://doi.org/10.1196/annals.1428.008>

46. Lysyk T. J., Kalischuk-Tymensen L. D., Selinger L. B. Mortality of adult *Stomoxys calcitrans* fed isolates of *Bacillus thuringiensis*. Journal of Economic Entomology. 2012;105(5):1863–1870. DOI: <https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.3.408>

47. Мишуковская Г. С., Шелехов Д. В., Гиниятуллин М. Г., Андреева А. В. Оценка острой токсичности биоинсектицида Туринбаш-Ж для пчелы медоносной *Apis mellifera mellifera* L. Аграрная наука. 2023;(4):21-26. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-21-26> EDN: MRTODK

48. Кривонос К. С., Еремина В. В., Олифер О. Ю. Перспективы применения энтомопатогенных грибов для борьбы с постельными клопами. Дезинфекционное дело. 2023;(4(126)):27–33. DOI: <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2023-4-27-33> EDN: EMSDBB

49. Abdelghany T. M. Entomopathogenic fungus and their role in biological control. Foster City: OMICS Group eBooks, 2015. 46 p.

URL: https://www.researchgate.net/publication/328538178_Entomopathogenic_Fungi_And_Their_Role_In_Biological_Control

50. Довнар Д. В., Войтка Д. В., Каплич В. М. Биологические агенты контроля численности кровососущих мошек (Diptera: simuliidae) в водотоках Белорусского Поозерья. Экология и животный мир. 2018;(2):28–33.

Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38538722> EDN: RCIQMG

51. Кривонос К. С., Еремина О. Ю., Олифер В. В. Перспективы применения энтомопатогенных грибов для сокращения численности иксодовых клещей (Ixodida: Ixodidae). Дезинфекционное дело. 2023;(2(124)):44–53. DOI: <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2023-2-44-53> EDN: KKGBCB

52. Glenn G. M., Klamczynski A. P., Woods D. F., Chiou B., Orts W. J., Imam S. H. Encapsulation of plant oils in porous starch microspheres. Journal of Agricultural and Food Chemistry. 2010;58(7):4180–4184. DOI: <https://doi.org/10.1021/jf9037826>

53. Желябовская Д. А., Остякова М. Е., Шульга И. С., Лаврушина Л. А., Коноплев В. А., Почтарь В. А. Исследование острой токсичности экспериментального биоинсектицида "Антигаллерин" на кроликах. Вестник КрасГАУ. 2017;(9(132)):30–34. Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30103858> EDN: ZITVIX

References

1. Borisova E. E. Analysis of the harmful impact of pesticides on biota and human health, organizational framework for solving the problem. *Evraziyskoye prostranstvo: ekonomika, pravo, obshchestvo*. 2024;(1):7–10. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=60018509>

2. Zhemchuzhin S. G. Biopesticides: discovery, study, and possible applications. *Agrokimiya*. 2014;(3):90–96. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21481696>

3. Dogadina M. A., Pravdyuk A. I., Krivorotova E. I. Challenges and trends of the biopesticide market. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of agrarian science. 2024;(2(107)):40–48. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2024.2.40>

4. Shternshis M. V. Trends of microbial pesticides biotechnology developed for plant protection in Russia. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* = Tomsk State University Journal of Biology. 2012;(2(18)):92–100. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17772678>
5. Frank R. I., Kishchenko V. I. Biological products in modern agriculture. *Zashchita i karantin rasteny.* 2008;(4):30–32. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13794717>
6. Dogadina M. A., Tarakin A. V., Ignatova G. A., Stepanova E. I., Velkova N. I., Kosatochkina M. Yu., Pravdyuk A. I., Krivorotova E. I. Aspects of reducing pesticide load on ecosystems. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of agrarian science. 2022;(5(98)):107–113. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/ISSN2587-666X.2022.5.107>
7. Khamidulina Kh. Kh., Rabikova D. N. Green pesticides (advantages and problems of implementation). *Toksikologichesky vestnik* = Toxicological Review. 2020;(3):53–56. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36946/0869-7922-2020-3-53-56>
8. Khuzin D. A., Yusupov S. A., Yeroshin A. I., Tarasov E. Yu., Po-tekhina R. M., Tremasova A. M. The role of saprophytic and conditionally pathogenic microorganisms in the occurrence and spread of opportunistic infections of cattle. *Ucheniye zapiski Kazanskoy gosudarstvennoy akademii veterinarnoy meditsini im. N. E. Baumana* = Scientific Notes Kazan Bauman State Academy of Veterinary Medicine. 2022;(252(4)):267–272. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.31588/2413_4201_1883_4_252_267
9. Sukhareva L. V., Kuznetsova M. M. Directions for the use of biopreparations in crop production. *Izvestiya Dagestanskogo GAU* = Dagestan GAU Proceedings. 2023;(3(19)):55–63. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.52671/26867591_2023_3_55
10. Zhemchuzhin S. G., Spiridonov Yu. Ya., Bosak G. S. Biopesticides: modern condition of the problem (digest of publications for 2012–2017). *Agrokimiya.* 2019;(11):77–85. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119110140>
11. Ayilara M. S., Adeleke B. S., Akinola S. A., Fayose C. A., Adeyemi U. T., Gbadegesin L. A. et al. Biopesticides as a promising alternative to synthetic pesticides: A case for microbial pesticides, phytopesticides, and nanobiopesticides. *Frontiers in Microbiology.* 2023;14:1040901. DOI: <https://doi.org/10.3389/fmicb.2023.1258968>
12. Mishukovskaya G. S., Shelekhov D. V., Giniyatullin M. G., Smolnikova E. A. Effect of the fungicide Fitosporin-AS, G on honeybees. *Pchelovodstvo.* 2022;(6):18–20. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=49241610>
13. Dolzhenko V. I., Laptiev A. B. Modern range of plant protection means: biological efficiency and safety. *Plodorodiye.* 2021;(3(120)):71–75. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.25680/S19948603.2021.120.13>
14. Monastirsky O. A. Biologics: types, markets in Russia and in other countries. *Agrokimiya.* 2019;(11):86–90. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.1134/S0002188119110085>
15. Bizyukova O. V. World microbiological preparations market survey. *Zashchita i karantin rasteny.* 2012;(3):9–12. (In Russ.). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=17715943>
16. Daraban G. M., Hlihor R. M., Suteu D. Pesticides vs. Biopesticides: From Pest Management to Toxicity and Impacts on the Environment and Human Health. *Toxics.* 2023;11(12):983. DOI: <https://doi.org/10.3390/toxics11120983>
17. Khabirov Z., Kadamov D. S., Iskandarov F. M., Nazirov V. K., Khudoiyev Kh. U. Use of bio-pesticidal plants against mosquitoes. *Izvestiya Akademii nauk Respubliki Tadjikistan. Otdeleniye biologicheskikh i meditsinskikh nauk* = News of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Department of Biological Sciences. 2013;(2(183)):17–26. (In Tajikistan). URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=20900476>
18. Astarkhanova T. S., Astarkhanov I. R., Abasova T. I., Alibalaev D. A. Insecticidal properties and effectiveness of plant extracts. *Teoreticheskiye i prikladniye problemi agropromishlennogo kompleksa* = Theoretical & Applied Applied Problems of Agro-industry Problems of Agro-industry. 2025;(2(64)):12–16. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32935/2221-7312-2025-64-2-12-16>
19. Mukovoz P. P., Torzhkova O. A., Valiullin L. R., Kartabaeva B. B., Gorbenko A. D., Sevostyanov M. A. Development of insecticidal compositions based on pyrethrins and natural benzodioxolanes contained in vegetable and essential oils. *Vestnik agrarnoy nauki* = Bulletin of agrarian science. 2023;(6(105)):44–47. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.17238/issn2587-666X.2023.6.44>
20. Borges S., Alkassab A. T., Collison E., Hinarejos S., Jones B., McVey E. et al. Overview of the testing and assessment of effects of microbial pesticides on bees: strengths, challenges and perspectives. *Apidologie.* 2021;52:1256–1277. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13592-021-00900-7>
21. Kachhawa D. Microorganisms as a Biopesticides. *Journal of Entomology and Zoology Studies.* 2017;3:468–473.
22. Giniyatullin M. G., Bakhtiyarova S. M., Proskurina T. A. Efficiency of action of biological preparations on bees. *Pchelovodstvo.* 1996;(5):27–28. (In Russ.).
23. Giniyatullin M. G., Shelekhov D. V., Smolnikova E. A., Naurazbayeva A. I., Fisenko N. V. Economically useful traits of bee colonies by using probiotics of a new generation. In: *The Central Russian honey bee breed in the development strategy of global beekeeping. Kirov: FANTs Severo-Vostoka*, 2019. pp. 34–39.
24. Van Driesche R., Hoddle M., Center T. Control of pests and weeds by An Introduction to Biological Control. Blackwell, Malden, MA & Oxford, 2008, 473 p. DOI: <https://doi.org/10.14411/eje.2009.038>
25. Mnif I., Ghribi D. Potential of bacterial derived biopesticides in pest management. *Crop Protection.* 2015;77:52–64. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.07.017>
26. Hall F. R., Menn J. J. *Biopesticides Use and Delivery.* Humana Press Inc., 1999. 626 p.

27. Queiroz P. R., Posso M. C., Martins É. S., Grynberg P., Togawa R., Gomes R. Monnerat Identification of cry genes in *Bacillus thuringiensis* by multiplex real-time PCR. *Journal of Microbiological Methods*. 2023;205:106665. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mimet.2022.106665>
28. Nascimento T. A., Paes M. J., Valicente F. H., De Carvalho Queiroz M. M. Bioactive Potential of Some *Bacillus thuringiensis* Strains from Macapá, Amazon, Brazil, Against the Housefly *Musca domestica* (Diptera: Muscidae) Under Laboratory Conditions. *Insects*. 2025;16(1):27. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects16010027>
29. Yakushev A. V., Khusnetdinova T. I., Glukhova A. A., Boykova Yu. V. Search for potential components of biopesticides among bacteria isolated from the intestines of soil invertebrates and their food substrates - potato leaves and leaf litter. *Agrokhimichesky vestnik = Agrochemical Herald*. 2024;(2):66–71. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.24412/1029-2551-2024-2-012>
30. Berestetsky A. O., Lednev G. R., Hu Q. Promising approaches to the search for fungal metabolites for management of arthropod pests. *Vestnik zashchiti rasteny = Plant Protection News*. 2021;104(1):6–27. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.31993/2308-6459-2021-104-1-14963>
31. Shukhalova A. G., Timofeyev S. A., Dolgikh V. V. Highly virulent and specific biopesticides based on genetically modified entomopathogenic fungi. *Mezhdunarodny sel'skokhozyaystvenny zhurnal = International Agricultural Journal*. 2024;(2(398)):188–191. (In Russ.). DOI: https://doi.org/10.55186/25876740_2024_67_2_188
32. Stingaci A. Using of entomoptogenic baculovirus pesticides for biological controls of pest insects in the republic of Moldova. *Agrarian Science*. 2019;S2:142–144. DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2019-326-2-142-144>
33. Mota-Sánchez D., Wise J. C. The Arthropod Pesticide Resistance Database. Michigan State University, 2024. Available at: <http://www.pesticideresistance.org> (accessed: 27.12.2024).
34. Krivonos K. S., Eremina O. Yu., Olifer V. V. Efficacy of bait based on PfDNV densovirus against synanthropic cockroaches. *Dezinfektsionnoye delo = Disinfection Affairs*. 2024;(2(128)):22–27. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2024-2-22-27>
35. Krivonos K. S. Insecticide resistance monitoring in bed bug populations of Russia. *Dezinfektsionnoye delo = Disinfection Affairs*. 2019;(2(108)):51–63. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2019-2-48-61>
36. Leal L. C. S. R., Monteiro C. M. O., Mendonça A. É., Bittencourt V. R. E. P., Bittencourt A. J. Potential of entomopathogenic nematodes of the genus *Heterorhabditis* for the control of *Stomoxys calcitrans* (Diptera: Muscidae). *Revista Brasileira de Parasitologia Veterinária*. 2017;26(4):451–456. DOI: <https://doi.org/10.1590/S1984-29612017065>
37. Liu H., Cupp E. W., Micher K. M., Guo A., Liu N. Insecticide resistance and cross-resistance in Alabama and Florida strains of *Culex quinquefasciatus* [correction]. *Journal of Medical Entomology*. 2004;41(3):408–413. DOI: <https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.3.408>
38. Khabirov Z., Kadamov D. S., Amirkulov Kh., Mirzoyev N. M., Iskandarov F. M. Tests on application of biological methods on mosquitoes control in Tajikistan. *Izvestiya Akademii nauk Respubliki Tadjikistan. Otdeleniye biologicheskikh i meditsinskikh nauk = News of the National Academy of Sciences of Tajikistan. Department of Biological Sciences*. 2013;(1(182)):27–34. (In Tajikistan). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=20170592>
39. Mishra S., Kumar P., Malik A., Satya S. Adulticidal and larvicidal activity of *Beauveria bassiana* and *Metarhizium anisopliae* against housefly, *Musca domestica* (Diptera: Muscidae), in laboratory and simulated field bioassays. *Parasitology Research*. 2011;108(6):1483–1492. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00436-010-2203-5>
40. Mishra S., Kumar P., Malik A. Preparation, characterization, and insecticidal activity evaluation of three different formulations of *Beauveria bassiana* against *Musca domestica*. *Parasitology Research*. 2013;112(10):3485–3495. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00436-013-3529-6>
41. Baker D., Rice S., Leemon D., Godwin R., James P. Development of a Mycoinsecticide Bait Formulation for the Control of House Flies, *Musca domestica* L. *Insects*. 2020;11(1):47. DOI: <https://doi.org/10.3390/insects11010047>
42. White R. L., Geden Ch. J., Kaufman Ph. E., Johnson D. Comparative Virulence of *Metarhizium anisopliae* and Four Strains of *Beauveria bassiana* Against House Fly (Diptera: Muscidae) Adults With Attempted Selection for Faster Mortality. *Journal of Medical Entomology*. 2021;58(4):1771–1778. DOI: <https://doi.org/10.1093/jme/tjab027>
43. Krivonos K. S., Yeremina O. Yu., Olifer V. V. Mycoinsecticides for controlling the house fly, *Musca domestica* L. (Diptera: Muscidae). *Dezinfektsionnoye delo = Disinfection Affairs*. 2024;(2(128)):28–36. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2024-2-28-36>
44. Shustova A. A., Udavliyev D. I., Bashnin O. I., Kushch I. V., Popov N. I., Gulyayeva Yu. A. Production trials of Bitoxybacillin effectiveness in Lipetsk region at Novonikolskaya poultry farm. *Veterinariya, zootekhnika i biotekhnologiya = Veterinary Medicine, Zootechnics and Biotechnology*. 2023;(5):27–33. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.36871/vet.zoo.bio.202305004>
45. Moraes A. P. R., Angelo I. C., Fernandes É. K. K., Bittencourt V. R. E. P., Bittencourt A. J. Virulence of *Metarhizium anisopliae* to eggs and immature stages of *Stomoxys calcitrans*. *Animal Biodiversity and Emerging Diseases Prediction and Prevention*. 2008;1149(1):384–387. DOI: <https://doi.org/10.1196/annals.1428.008>
46. Lysyk T. J., Kalischuk-Tymensen L. D., Selinger L. B. Mortality of adult *Stomoxys calcitrans* fed isolates of *Bacillus thuringiensis*. *Journal of Economic Entomology*. 2012;105(5):1863–1870. DOI: <https://doi.org/10.1603/0022-2585-41.3.408>
47. Mishukovskaya G. S., Shelekhov D. V., Giniyatullin M. G., Andreeva A. V. Estimation of acute toxicity of bioinsecticide Turinbash-G for honey bee *Apis mellifera mellifera* L. *Agrarnaya nauka = Agrarian science*. 2023;(4):21–26. (In Russ.). DOI: <https://doi.org/10.32634/0869-8155-2023-369-4-21-26>

48. Krivonos K. S., Eremina V. V., Olifer O. Yu. Olifer use of entomopathogenic fungi against bed bugs. *Dezinfektsionnoye delo* = Disinfection Affairs. 2023;(4(126)):27–33. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2023-4-27-33>

49. Abdelghany T. M. Entomopathogenic fungus and their role in biological control. Foster City: OMICS Group eBooks, 2015. 46 p.

URL: https://www.researchgate.net/publication/328538178_Entomopathogenic_Fungi_And_Their_Role_In_Biological_Control

50. Dovnar D. V., Voytka D. V., Kaplich V. M. Biological agents of control of the number of the blood-pressing cats (Diptera: simuliidae) in waterways of the belarusian lawner. *Ekologiya i zhivotny mir* = Ecology and Animal World. 2018;(2):28–33. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=38538722>

51. Krivonos K. S., Eremina O. Yu., Olifer V. V. Prospects for use of entomopathogenic fungi for the biocontrol of ixodid ticks (Ixodida: Ixodidae). *Dezinfektsionnoye delo* = Disinfection Affairs. 2023;(2(124)):44–53. (In Russ.).

DOI: <https://doi.org/10.35411/2076-457X-2023-2-44-53>

52. Glenn G. M., Klamczynski A. P., Woods D. F., Chiou B., Orts W. J., Imam S. H. Encapsulation of plant oils in porous starch microspheres. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 2010;58(7):4180–4184.

DOI: <https://doi.org/10.1021/jf9037826>

53. Zhelyabovskaya D. A., Ostyakova M. E., Shulga I. S., Lavrushina L. A., Konoplev V. A., Pochtar V. A. The research of acute toxicity of experimental bioinsecticide "Antigallerin" in rabbits. *Vestnik KrasGAU* = The Bulletin of KrasGAU. 2017;(9(132)):30–34. (In Russ.). URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=30103858>

Вклад авторов: Домацкий В. Н. – концепция и план исследования, анализ данных, подготовка рукописи; Глазунова Л. А. – анализ данных, подготовка рукописи; Глазунов Ю. В. – концепция и план исследования, анализ данных.

Сведения об авторах

Домацкий Владимир Николаевич, доктор биол. наук, главный научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Институтская, 2, Тюмень, Российская Федерация, 625041, e-mail: vniivea@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3944-0121>

✉ **Глазунова Лариса Александровна**, доктор вет. наук, профессор, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», д. 6, ул. Володарского, г. Тюмень, Российская Федерация, 625003, e-mail: common@utmn.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4050-5903>, e-mail: larissa-tyumen@mail.ru

Глазунов Юрий Валерьевич, доктор вет. наук, ведущий научный сотрудник, Всероссийский научно-исследовательский институт ветеринарной энтомологии и арахнологии – филиал ФГБНУ Федерального исследовательского центра Тюменского научного центра Сибирского отделения Российской академии наук, ул. Институтская, 2, Тюмень, Российская Федерация, 625041, e-mail: vniivea@mail.ru; зав. кафедрой, ФГАОУ ВО «Тюменский государственный университет», д. 6, ул. Володарского, г. Тюмень, Российская Федерация, 625003, e-mail: common@utmn.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0001-6496-2450>

Author contributions: Domatsky V. N. – research concept and plan, data analysis, manuscript preparation; Glazunova L. A. – data analysis, manuscript preparation; Glazunov Yu. V. – research concept and plan, data analysis.

Information about the authors

Vladimir N. Domatsky, DSc in Biological Science, chief researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – Division of Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Institutskaya st., 2, Tyumen, Russian Federation, 625041, e-mail: vniivea@mail.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3944-0121>

✉ **Larisa A. Glazunova**, DSc in Veterinary Science, professor, University of Tyumen, 6, Volodarsky St., Tyumen, Russian Federation, 625003, e-mail: common@utmn.ru, **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0003-4050-5903>,

e-mail: larissa-tyumen@mail.ru

Yuri V. Glazunov, DSc in Veterinary Science, leading researcher, All-Russian Scientific Research Institute of Veterinary Entomology and Arachnology – Division of Federal Research Centre Tyumen Scientific Centre of Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences, Institutskaya st., 2, Tyumen, Russian Federation, 625041, e-mail: vniivea@mail.ru; University of Tyumen, 2, Institutskaya St., Tyumen, Russian Federation, 625041, e-mail: common@utmn.ru,

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6496-2450>

✉ – Для контактов / Corresponding author