

Научная статья

УДК 595,422

doi: 10.17223/19988591/72/14

## Эффективность методов борьбы с клещом *Varroa destructor* и некоторые перспективы селекции устойчивых к нему популяций медоносных пчел

Рустем Абузарович Ильясов<sup>1</sup>, Алла Юрьевна Ильясова<sup>2</sup>,  
Александр Викторович Королев<sup>3</sup>,  
Дмитрий Викторович Богуславский<sup>4</sup>,  
Венер Нуруллович Саттаров<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 4</sup> Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН, Москва, Россия

<sup>3</sup> Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К.И. Скрябина, Москва, Россия

<sup>5</sup> Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы, Уфа, Россия

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2445-4739>, [apismell@hotmail.com](mailto:apismell@hotmail.com)

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7505-6805>, [ilyasova\\_ay@idbras.ru](mailto:ilyasova_ay@idbras.ru)

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0072-7416>, [5274381@mail.ru](mailto:5274381@mail.ru)

<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9601-640X>, [boguslavsky@rambler.ru](mailto:boguslavsky@rambler.ru)

<sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6331-4398>, [wener5791@yandex.ru](mailto:wener5791@yandex.ru)

**Аннотация.** Эктопаразитический клещ *Varroa destructor* представляет глобальную угрозу для медоносных пчел (*Apis mellifera*), вызывая варроатоз – заболевание, достигшее масштабов панзоотии. Клещ снижает рентабельность пчеловодства, вызывая массовую гибель семей, и выступает переносчиком вирусов, усугубляющих эпизоотическую ситуацию. В статье представлен сравнительный анализ эффективности химического (акарицид Бипин с действующим веществом амиртаз) и физического (термическая обработка 48°C в течение 15 мин) методов борьбы с *V. destructor* на пасеке в Ленинградской области (деревня Струнино, 2022 г.). В двух экспериментах оценивали количество осыпавшихся клещей и степень заклещеванности 10 пчелиных семей. В первом эксперименте применяли двукратную обработку Бипином с последующей термообработкой, во втором – термообработку с последующей двукратной обработкой Бипином. Результаты показали высокую эффективность Бипина при первичной обработке ( $M = 1262,5$  осыпавшихся клещей, заклещеванность 5,48%), но с высокой вариабельностью ( $CV = 1,66$ ). Термообработка была эффективна при первичном применении ( $M = 479$  осыпавшихся клещей, заклещеванность 1,77%) и более стабильна ( $CV = 0,76$ ). Статистически значимых различий между методами не выявлено ( $p > 0,05$ ). Комбинированный подход с первичной обработкой Бипином и последующей термообработкой рекомендован для оптимального контроля за клещеванности. Термообработка предпочтительна для органического пчеловодства из-за экологической безопасности. Отмечается необходимость мониторинга заклещеванности и селекции устойчивых к варроатозу пчел для успешного пчеловодства.

**Ключевые слова:** медоносная пчела, варроатоз, Бипин, термическая обработка, селекция пчел, устойчивость к клещу

**Источник финансирования:** работа выполнена при поддержке гранта РФ № 24-16-00179.

**Для цитирования:** Ильясов Р.А., Ильясова А.Ю., Королев А.В., Богуславский Д.В., Саттаров В.Н. Эффективность методов борьбы с клещом *Varroa destructor* и некоторые перспективы селекции устойчивых к нему популяций медоносных пчел // Вестник Томского государственного университета. Биология. 2025. № 72. С. 341–360. doi: 10.17223/19988591/72/14

Original article

doi: 10.17223/19988591/72/14

## Effectiveness of *Varroa destructor* mite control methods and some prospects for breeding honey bee populations resistant to it

Rustem A. Ilyasov<sup>1</sup>, Alla Y. Ilyasova<sup>2</sup>, Alexander V. Korolev<sup>3</sup>,  
Dmitry V. Boguslavsky<sup>4</sup>, Vener N. Sattarov<sup>5</sup>

<sup>1, 2, 4</sup> Koltsov Institute of Developmental Biology, Russian Academy of Sciences,  
Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology -  
MBA named after K.I. Scriabin, Moscow, Russian Federation

<sup>5</sup> Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla, Ufa, Russian Federation

<sup>1</sup> <https://orcid.org/0000-0003-2445-4739>, [apismell@hotmail.com](mailto:apismell@hotmail.com)

<sup>2</sup> <https://orcid.org/0000-0002-7505-6805>, [ilyasova\\_ay@idbras.ru](mailto:ilyasova_ay@idbras.ru)

<sup>3</sup> <https://orcid.org/0000-0002-0072-7416>, [5274381@mail.ru](mailto:5274381@mail.ru)

<sup>4</sup> <https://orcid.org/0000-0001-9601-640X>, [boguslavsky@rambler.ru](mailto:boguslavsky@rambler.ru)

<sup>5</sup> <https://orcid.org/0000-0001-6331-4398>, [wener5791@yandex.ru](mailto:wener5791@yandex.ru)

**Summary.** To combat the mite *Varroa destructor*, identified by Anderson and Trueman (2000) as the most significant pathological threat to honey bees and the causative agent of the invasive disease varroaosis, various chemical, biological, and zootechnical control methods have been developed and proposed. However, no sufficiently effective protection methods currently exist against this mite. The widespread use of chemical control agents contributes to the accumulation of residual substances in bee products and becomes ineffective due to the development of acaricide resistance in mite populations. Additionally, chemical treatments reduce the selective pressure of natural selection, thereby hindering coevolutionary processes that establish stable parasite-host relationships. An alternative approach to reducing dependence on acaricides involves selectively increasing hereditary resistance or tolerance to the mite through breeding programs. Although this approach has achieved some success in practical breeding, it is labor-intensive and often depends on complex genetically determined behaviors that are difficult to phenotype. Research Objective: to conduct a comparative analysis of the effectiveness of physical (heat treatment) and chemical (acaricide "Bipin") methods for controlling *V. destructor*, considering their impact on the health of bee colonies and resistance to the mite. The study was conducted in the fall of 2022 at the apiaries of Denis Dmitriev and Alexander Moiseyev, located in the village of Strunino (59°30'03"N, 32°54'16"E) in Tikhvin district of Leningrad Oblast. For the physical method, worker bees were shaken from frames into a mesh container, weighed, and placed in a V.V. Yarankin thermal chamber (model YAV-79-09). Treatment involved exposure to hot air at 48°C for 15 min. After treatment, the bees were returned to their colonies, and the number of mites fallen to the bottom of the container was counted. For the chemical method, bees were treated with Bipin, con-

taining 12.5% amitraz, following the manufacturer's instructions. The working solution was applied along the hive "streets" at a rate of 10 ml per street. One week later, the number of mites fallen to the bottom of the hive was recorded. The degree of mite infestation, expressed as a percentage, was determined according to the guidelines for rapid diagnosis of varroosis and assessment of mite infestation levels in apiary conditions, approved by the Main Veterinary Directorate of the Ministry of Agriculture of the USSR on January 16, 1984. In the first experiment, bee colonies were treated twice with Bipin (October 10 and 17, 2022) at weekly intervals. One week later (October 24, 2022), the same colonies underwent heat treatment. In the second experiment, the treatment order was reversed: colonies were first heat-treated, followed by two Bipin treatments. All counts and measurements were performed in triplicate. Chemical methods for controlling varroosis using Bipin in the first experiment demonstrated high efficacy, particularly during the initial treatment ( $M = 1262.50$  pcs, 5.48%), although there was considerable variability between colonies ( $CV = 166\%$ ). Physical control methods employing heat treatment in the second experiment were also effective ( $M = 479.00$  pcs, 1.77%) and exhibited greater consistency between colonies ( $CV = 76\%$ ). Bipin treatment was more effective than heat treatment in the first experiment ( $p < 0.05$ ), whereas heat treatment was more effective than Bipin in the second experiment ( $p < 0.001$ ). However, the overall differences between Bipin and heat treatment were not statistically significant ( $p > 0.05$ ), preventing a definitive conclusion regarding the superiority of either method. For practical application, a combined treatment approach is recommended: an initial Bipin treatment for rapid mite reduction, followed by heat treatment to maintain stable control of the residual mite population. For organic beekeeping, heat treatment alone is preferable, as it does not leave chemical residues. Effective varroosis control in apiaries requires: initial treatment with Bipin for rapid mite infestation reduction; use of heat treatment as a primary or supplementary method for sustained control; monitoring mite infestation levels before and after treatments. When using Bipin, it is essential to adhere to recommended dosages (0.5 ml of 12.5% amitraz solution per 10 frames) and conduct treatments during periods of minimal bee activity (early spring or late autumn) to minimize stress. Compliance with regulations is necessary to reduce chemical residues in honey and wax. For heat treatment, equipment with precise temperature control (40-48°C) and exposure times (15-30 min) should be used. Treatments should be performed during the broodless period to maximize mite mortality while avoiding excessive heating to minimize adverse effects on adult bees and brood. Effective varroosis management requires continuous monitoring and prevention, including regular diagnosis of mite infestation to determine optimal treatment timing, alternating chemical and physical methods to reduce the risk of mite resistance, and maintaining detailed treatment records. Additionally, efforts to develop *Varroa*-resistant honey bee populations exhibiting hygienic behavior through selective breeding are crucial. This approach will support sustainable beekeeping practices and contribute to preserving ecological balance and biodiversity.

*The article contains 2 Tables, 47 References.*

**Keywords:** honey bee, varroosis, Bipin, heat treatment, bee selection, mite resistance

**Fundings:** the work was supported by the Russian Science Foundation grant 24-16-00179.

**For citation:** Ilyasov RA, Ilyasova AYu, Korolev AV, Boguslavsky DV, Sattarov VN. Effectiveness of *Varroa destructor* mite control methods and some prospects for breeding honey bee populations resistant to it. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya = Tomsk State University Journal of Biology*. 2025;72:341-360. doi: 10.17223/19988591/72/14

## Введение

Эктопаразитический клещ *Varroa destructor* (Anderson & Trueman, 2000), ранее ошибочно известный как *Varroa jacobsoni*, представляет собой одну из наиболее значимых угроз для медоносной (западной) пчелы (*Apis mellifera*) по всему миру, вызывая инвазионное заболевание – варроатоз [1, 2]. Это заболевание достигло мировых масштабов, охватив практически все регионы, где возможно обитание медоносных пчел, и представляет собой уникальный биологический процесс, связанный с адаптацией паразита к различным климатическим зонам [3]. Изначально этот вид клеща паразитировал на восковой (восточной) пчеле вида *Apis cerana*. С начала 1950-х годов, когда было установлено, что клещ паразитирует на новом для себя хозяине, он существенно повлиял на пчеловодческую отрасль, снижая её рентабельность и вызывая массовую гибель пчелиных семей [4, 5].

Морфологические и биологические особенности *V. destructor* обеспечивают его успешное паразитирование в пчелиной семье. Строение тела клеща позволяет ему быстро перемещаться по телу пчелы и прочно фиксироваться во время её полёта. Ротовой аппарат колюще-сосущего типа обеспечивает питание гемолимфой и жировым телом как расплода, так и взрослых особей, не приводя, как правило, к их немедленной гибели [5–7]. Питание самок клеща на личинках в течение суток после запечатывания ячеек стимулирует их подготовку к яйцекладке, что способствует быстрому размножению паразита [8].

Основным источником заражения варроатозом являются уже инфицированные пчелиные семьи [9]. Распространение клеща происходит через залетающих рабочих пчел и трутней, перемещение рамок с расплодом, рои, пчелиные пакеты, маток, а также при контакте пчел на цветах [10]. Помимо прямого эктопаразитизма, *V. destructor* выступает переносчиком вирусов, включая острый паралич, мешотчатый расплод, нитевидный вирус и другие патогены, что усугубляет эпизоотическую ситуацию на пасеках [11–13]. Высокая клещевая и вирусная нагрузка сокращает продолжительность жизни пчел, что в конечном итоге приводит к гибели семей [14]. В последние десятилетия массовая гибель пчелиных семей, связанная с варроатозом, была зафиксирована в Европе, Северной Америке, Азии, а в России – с 2014–2015 гг. [9, 15].

В отсутствие клеща вирусы обычно существуют в пчелиной семье в латентной форме, но при высокой численности *V. destructor* они вызывают эпидемии, приводящие к гибели семьи в течение 2–3 лет [16]. В отличие от медоносной пчелы *A. mellifera*, восковая пчела (*Apis cerana*), являющаяся естественным хозяином клеща, не страдает от него благодаря длительной коэволюции, которая привела к формированию устойчивого равновесия паразит–хозяин [7, 17–20]. У медоносной пчелы *A. mellifera*, как нового хозяина, защитные механизмы выражены слабее, что приводит к экспоненциальному росту популяции клеща и гибели семьи [5, 7].

Для борьбы с варроатозом применяются акарициды, термическая обработка и зоотехнические методы, однако их эффективность ограничена из-за формирования устойчивости клещей к химическим препаратам и накоп-

ления остаточных веществ в продуктах пчеловодства [7, 10, 21–23]. Химические обработки также снижают давление естественного отбора, препятствуя процессам коэволюции, направленным на установление устойчивых отношений паразит–хозяин [24].

Альтернативой химическим методам является селекция пчел с повышенной наследственной устойчивостью или толерантностью к *V. destructor* [25, 26]. Исследования показывают, что такие признаки, как гигиеническое поведение (*Varroa Sensitive Hygiene*, VSH) и сокращённая продолжительность запечатывания ячеек, существенно снижают репродуктивный успех клеща [27, 28]. У восковой пчелы *A. cerana* и некоторых африканских подвидов медоносной пчелы *A. mellifera*, таких как *A. m. scutellata*, *A. m. intermissa*, *A. m. adansonii*, выявлены механизмы, ограничивающие рост популяции клеща, включая более короткий период запечатывания ячеек [29]. Дикие популяции пчел, например, во Франции, США и Южной Америке, показывают устойчивость к клещу и служат ценным генетическим ресурсом для селекции [30–32].

Молекулярно-генетические создают условия для геном-опосредованной селекции и разведения устойчивых линий пчел. Геномное секвенирование выявило гены, связанные с устойчивостью к *V. destructor*, включая *GMCOX18*, *Cyp18a11*, *Mblk-1*, *Phantom*, а также гены, регулирующие нейрогенез и поведение, такие как *Atlastin*, *Ataxin*, *AmNrx1* и *Neurexin 1* [31, 33–41]. Анализ 44 000 однонуклеотидных замен (SNP) у *A. m. carnica* позволил выделить шесть однонуклеотидных замен (SNP), связанных с устойчивостью, и идентифицировать гены *AdoR*, *Cdk5alpha*, *Octbeta2R* и *Obp1* [42]. В 2020 г. был разработан чип высокой плотности с более чем 100 тыс. SNP для анализа хозяйственно-признаков, включая устойчивость к *V. destructor* [43]. Транскриптомные и протеомные исследования выявили 96 генов, коррелирующих с гигиеническим поведением, включая *Brn*, *Dscam* и *Syt*, которые участвуют в развитии нервной системы и обоняния [7, 44, 45].

Целью данного исследования является сравнительный анализ эффективности физических (термическая обработка) и химических (акарицид Бипин) методов борьбы с клещом *V. destructor* с учетом их влияния на здоровье пчелиных семей и устойчивость к клещу *Varroa*.

## Материалы и методы

Объект исследования – клещ *Varroa destructor* (= *jacobsoni auct.*) Anderson et. Trueman, 2000). Работы проведены в осенний период 2022 г., на пасеках Дениса Дмитриева и Александра Моисеева, расположенных в деревне Струнино (59°30'03" с. ш., 32°54'16" в. д.) Тихвинского района Ленинградской области.

Для определения степени заклещеванности пчелиных семей применяли физические и химические методы. При физическом методе, рабочих пчел из рамок вытряхивали в сетчатый контейнер, взвешивали и помещали в термокамеру (термокамера В.В. Яранкина, модель ЯВ-79-09). Термообработка проводилась горячим воздухом при температуре 48°C в течение

15 мин. Затем пчел возвращали в семью и подсчитывали количество осыпавшихся клещей, упавших на дно контейнера. Все измерения проводились в трех повторностях.

При химическом методе пчел обрабатывали препаратом Бипин с действующим веществом амитраз 12,5% согласно инструкции. Рабочий раствор распределяли по улочкам в количестве 10 мл на улочку, а через неделю подсчитывали количество клещей, упавших на дно улья, которое предварительно отгораживали сеткой, для предотвращения выноса клещей из семьи. Степень поражения пчел клещами в процентах определяли по формуле: степень поражения = количество опавших клещей/количество пчел в пробе  $\times 100\%$  (согласно методическим указаниям по экспресс-диагностике варроатоза и определению степени поражения пчелиных семей клещами варроа в условиях пасеки, утвержденных Главным управлением ветеринарии Министерства сельского хозяйства СССР 16 января 1984 г.). Количество пчел определяли, умножая вес пчел на их количество в 1 кг, в среднем считая около 10 тыс. пчел на 1 кг.

В первом эксперименте, проведенном в осенний период, 10 пчелиных семей обрабатывали против клеща препаратом Бипин двукратно (10 и 17 октября 2022 г.) с недельным интервалом. Через неделю (24 октября 2022 г.) эти же семьи обрабатывали в термокамере, согласно инструкции. Все подсчеты и измерения проводились в трех повторностях. Во втором эксперименте, проведенном в осенний период, обработку 10 семей пчел против клеща проводили в обратном порядке: сначала пчелы подвергались термообработке, а затем двукратной обработке препаратом Бипин. Все подсчеты и измерения проводились в трех повторностях.

Статистические показатели, такие как среднее значение ( $M$ ), стандартное отклонение ( $SD$ ), коэффициент вариации ( $CV$ ), коэффициент корреляции ( $r$ ), F-критерий Фишера (ANOVA) и t-критерий Стьюдента, были рассчитаны в программах MS Excel 2016 и Statistica v. 8.

## Результаты исследования и обсуждение

Эффективный контроль *V. destructor* требует применения различных методов, включая химические и физические подходы. В данном анализе рассматриваются результаты двух экспериментов, представленных в табл. 1 и 2, для оценки эффективности химических методов (обработка Бипином) и физического метода (термообработка) в борьбе с варроатозом. Сравнение проводится на основе количества осыпавшихся клещей (шт.) и процента заклещеванности (%) с акцентом на достоверность результатов и статистическую значимость различий.

Первый эксперимент (табл. 1) был направлен на оценку эффективности химических методов борьбы с варроатозом, где первая обработка пчел была выполнена химическим агентом Бипин (амитраз, контактный акарицид). Первый эксперимент включал три последовательные обработки: (1) 1-я обработка Бипином: первичное применение акарицида для уничтожения активных клещей; (2) 2-я обработка Бипином: повторное применение для контроля остаточной популяции клещей; (3) термообработка: физический

метод температурной обработки пчел, применяемый после химических обработок, для выявления оставшихся клещей (табл. 1).

Коэффициент корреляции в первом эксперименте  $r = 0,12$  ( $p > 0,05$ ) указывает на слабую и незначимую связь между силой семьи и процентом заклещеванности (табл. 1). F-критерий Фишера  $F = 12,67$  ( $p < 0,001$ ) подтверждает значимые различия между обработками пчел Бипином и термообработкой. t-критерий Стьюдента между обработками пчел Бипином и термообработкой  $t = 2,16$  ( $p < 0,05$ ) указывает на значимое превосходство Бипина (1-я + 2-я обработки) над термообработкой по количеству осыпавшихся клещей. Основной вклад вносит 1-я обработка ( $M = 1262,5$  шт. осыпавшихся клещей), что подтверждает высокую эффективность амитраза в условиях варроатоза. Высокий уровень коэффициента вариабельности  $CV = 1,92$  для Бипина указывает на нестабильность результатов, особенно в семьях с экстремальной заклещеванностью (табл. 1).

1-я обработка Бипином в первом эксперименте оказалась наиболее эффективной, вызывая осыпание в среднем  $M = 1262,5$  клещей (5,48%), что составляет основную долю (84,78% всех клещей) общего количества клещей (1489,1 шт. осыпавшихся клещей). Это связано с механизмом действия амитраза, который эффективно воздействует на активных клещей, находящихся на поверхности пчел (табл. 1).

Высокая вариабельность  $CV = 1,66$  обусловлена значительными различиями между семьями, особенно в семье пчел номер 1 (4806 осыпавшихся клещей, 19,62%) и семье пчел номер 82 (5799 осыпавшихся клещей, 29%). 2-я обработка Бипином менее эффективна (11,37% всех клещей) ( $M = 169,3$  шт., 0,7%), что может указывать на сокращение популяции клещей после первой обработки семей пчел. Однако в некоторых семьях пчел, например в семье номер 82 (800 осыпавшихся клещей, 4,00%), вторая обработка Бипином все еще выявляет значительное количество клещей. Термообработка показывает минимальную эффективность (3,85% всех клещей,  $M = 57,3$  шт., 0,19%), что, вероятно, связано с ее применением после двух химических обработок, когда большинство клещей (96,15% всех клещей) уже было уничтожено. Высокая вариабельность при обработке Бипином ( $CV = 1,68$ ) отражает неоднородность силы и начальной заклещеванности семей, что подтверждается выбросами в семьях пчел номер 1 и номер 82. Различия между общим количеством клещей и процентом заклещеванности в первом эксперименте статистически незначимы ( $p > 0,05$ ) (табл. 1).

Второй эксперимент (табл. 2) начинается с физических методов борьбы с варроатозом, где термообработка была основной процедурой, а обработки Бипином использовались как дополнительный контроль оставшихся клещей. Последовательность применения методов против варроатоза во втором эксперименте была следующей: (1) термообработка: первичное воздействие высокой температуры для уничтожения клещей; (2) 1-я обработка Бипином: химическая обработка для оценки остаточной заклещеванности; (3) 2-я обработка Бипином: повторное применение для контроля остаточной популяции клещей (табл. 2).

Таблица 1 [Table 1]

**Результаты первого эксперимента по оценке эффективности химических методов борьбы с варроатозом**  
**[Results of the first experiment on assessing the effectiveness of chemical methods in combating varroosis]**

Семья [Colony]	Сила семей, кг ± SD [Family strength, kg ± SD]	Количество осыпавшихся клещей, шт. ± SD (средняя оценка заклецованности, % ± SD) [Number of fallen mites, pcs. ± SD (average mite infestation value, % ± SD)]				Общее количество клещей [Total number of ticks]
		Химические методы борьбы [Chemical control methods]		Физические методы борьбы [Physical methods of struggle]		
		1-я обработка Бипином [1st treatment with Bipiin]	2-я обработка Бипином [2nd treatment with Bipiin]	Термообработка [Heat treatment]		
1	2,45 ± 0,02	4806 ± 3 (19,62 ± 0,03)	130 ± 1 (0,53 ± 0,01)	112 ± 1 (0,46 ± 0,01)	5048 ± 5 (20,61 ± 0,05)	
7	3,40 ± 0,03	120 ± 1 (0,35 ± 0,01)	9 ± 0 (0,03 ± 0,00)	11 ± 1 (0,03 ± 0,01)	140 ± 2 (0,41 ± 0,02)	
12	2,90 ± 0,03	42 ± 1 (0,14 ± 0,01)	14 ± 1 (0,05 ± 0,01)	8 ± 1 (0,03 ± 0,01)	64 ± 3 (0,22 ± 0,03)	
14	2,55 ± 0,02	125 ± 1 (0,49 ± 0,01)	171 ± 2 (0,67 ± 0,02)	50 ± 1 (0,19 ± 0,01)	346 ± 4 (1,35 ± 0,04)	
15	2,00 ± 0,02	46 ± 1 (0,23 ± 0,01)	2 ± 0 (0,01 ± 0,00)	3 ± 1 (0,02 ± 0,01)	51 ± 2 (0,26 ± 0,02)	
23	2,90 ± 0,03	454 ± 1 (1,57 ± 0,01)	21 ± 1 (0,07 ± 0,01)	32 ± 1 (0,11 ± 0,01)	507 ± 3 (1,75 ± 0,03)	
44	3,65 ± 0,04	1030 ± 2 (2,82 ± 0,02)	452 ± 1 (1,24 ± 0,01)	282 ± 1 (0,77 ± 0,01)	1764 ± 4 (4,83 ± 0,04)	
61	1,75 ± 0,01	35 ± 1 (0,20 ± 0,01)	3 ± 0 (0,02 ± 0,00)	3 ± 0 (0,02 ± 0,00)	41 ± 1 (0,24 ± 0,01)	
82	2,00 ± 0,03	5799 ± 4 (29,00 ± 0,04)	800 ± 3 (4,00 ± 0,03)	40 ± 1 (0,20 ± 0,01)	6639 ± 8 (33,20 ± 0,08)	
90	2,80 ± 0,01	168 ± 1 (0,60 ± 0,01)	91 ± 1 (0,33 ± 0,01)	32 ± 1 (0,11 ± 0,01)	291 ± 3 (1,04 ± 0,03)	
Среднее (M) [Mean (M)]		1262,50 (5,48)	169,30 (0,70)	57,30 (0,19)	1489,10 (6,39)	
Стандартное отклонение (SD) [Standard deviation (SD)]		2090,47 (9,09)	249,93 (1,23)	80,95 (0,23)	2506,41 (11,30)	
Коэффициент вариации (CV) [Coefficient of variation (CV)]		1,66 (1,66)	1,48 (1,19)	1,41 (1,19)	1,68 (1,77)	

Коэффициент корреляции ( <i>r</i> ) [Correlation coefficient ( <i>r</i> )]	0,12 ( $p > 0,05$ )
F-критерий Фишера ( <i>F</i> ) [F-test ( <i>F</i> )]	12,67 ( $\alpha < 0,001$ )
t-критерий Стьюдента ( <i>t</i> ) между Бипином и термообработкой [t-test ( <i>t</i> ) between bipin and heat treatment]	2,16 ( $p < 0,05$ )

Таблица 2 [Table 2]

**Результаты второго эксперимента по оценке эффективности физических методов борьбы с варроатозом**  
[Results of the second experiment on assessing the effectiveness of physical methods in combating varroosis]

Семья [Colony]	Сила семей, кг ± SD [Family strength, kg ± SD]	Количество осыпавшихся клещей, шт. ± SD (средняя оценка заклешеванности, % ± SD) [Number of fallen mites, pcs. ± SD (average mite infestation value, % ± SD)]				
		Физические методы борьбы [Physical methods of struggle]		Химические методы борьбы [Chemical control methods]		Общее количество клещей [Total number of ticks]
		Термообработка [Heat treatment]	1-я обработка Бипином [1st treatment with Bipin]	2-я обработка Бипином [2nd treatment with Bipin]	Общее количество клещей [Total number of ticks]	
5	1,90 ± 0,02	72 ± 1 (0,38 ± 0,01)	8 ± 1 (0,04 ± 0,01)	0 ± 0 (0,00 ± 0,00)	80 ± 2 (0,42 ± 0,02)	
9	2,20 ± 0,01	52 ± 1 (0,24 ± 0,01)	0 ± 0 (0,00 ± 0,00)	0 ± 0 (0,00 ± 0,00)	52 ± 1 (0,24 ± 0,01)	
10	2,20 ± 0,03	300 ± 3 (1,36 ± 0,03)	0 ± 0 (0,00 ± 0,00)	0 ± 0 (0,00 ± 0,00)	300 ± 3 (1,36 ± 0,03)	
16	2,90 ± 0,03	526 ± 1 (1,81 ± 0,01)	3 ± 1 (0,01 ± 0,01)	2 ± 0 (0,01 ± 0,00)	531 ± 2 (1,83 ± 0,02)	

27	2,20 ± 0,01	906 ± 2 (4,12 ± 0,02)	9 ± 1 (0,04 ± 0,01)	1 ± 0 (0,00 ± 0,00)	916 ± 3 (4,16 ± 0,03)
32	3,10 ± 0,02	1120 ± 3 (3,61 ± 0,03)	10 ± 1 (0,03 ± 0,01)	9 ± 1 (0,03 ± 0,01)	1139 ± 5 (3,67 ± 0,05)
41	3,30 ± 0,03	730 ± 2 (2,21 ± 0,02)	41 ± 1 (0,12 ± 0,01)	7 ± 0 (0,02 ± 0,00)	778 ± 3 (2,36 ± 0,03)
77	2,60 ± 0,02	247 ± 2 (0,95 ± 0,02)	22 ± 1 (0,08 ± 0,01)	2 ± 0 (0,01 ± 0,00)	271 ± 3 (1,04 ± 0,03)
92	2,90 ± 0,02	210 ± 2 (0,72 ± 0,02)	6 ± 1 (0,02 ± 0,01)	3 ± 0 (0,01 ± 0,00)	219 ± 3 (0,75 ± 0,03)
105	2,70 ± 0,02	627 ± 2 (2,32 ± 0,02)	30 ± 1 (0,11 ± 0,01)	2 ± 0 (0,01 ± 0,00)	659 ± 3 (2,44 ± 0,03)
Среднее ( <i>M</i> ) [Mean ( <i>M</i> )]		479,00 (1,77)	12,90 (0,05)	2,60 (0,01)	494,50 (1,83)
Стандартное отклонение ( <i>SD</i> ) [Standard deviation ( <i>SD</i> )]		362,97 (1,34)	13,69 (0,04)	3,06 (0,01)	370,93 (1,32)
Коэффициент вариации ( <i>CV</i> ) [Coefficient of variation ( <i>CV</i> )]		0,76 (0,76)	1,06 (0,98)	1,18 (1,09)	0,75 (0,72)
Коэффициент корреляции ( <i>r</i> ) [Correlation coefficient ( <i>r</i> )]			0,35 ( <i>p</i> > 0,05)		
F-критерий Фишера ( <i>F</i> ) [F-test ( <i>F</i> )]			16,84 ( <i>α</i> < 0,001)		
t-критерий Стьюдента ( <i>t</i> ) между Бипинном и термообработкой [t-test ( <i>t</i> ) between Bipur and heat treatment]			4,11 ( <i>p</i> < 0,001)		

Коэффициент корреляции во втором эксперименте  $r=0,35$  ( $p>0,05$ ) указывает на слабую и незначимую связь между силой семьи и процентом заклещеванности (см. табл. 2). F-критерий Фишера  $F=16,84$  ( $p<0,001$ ) подтверждает значимые различия между обработками пчел Бипином и термообработкой. t-критерий Стьюдента между обработками пчел Бипином и термообработкой  $t=4,11$  ( $p<0,001$ ) указывает на значимое превосходство термообработки над обработкой Бипином (1-я + 2-я обработки) во втором эксперименте. Это связано с первичным применением термообработки, которая уничтожает большую часть клещей, оставляя минимальную популяцию для последующих химических обработок (см. табл. 2).

Термообработка оказалась наиболее эффективной при борьбе с варроатозом во втором эксперименте, вызывая осыпание в среднем 479 клещей (1,77%), что составляет почти все общее количество (96,87% всех клещей) клещей (494,5 шт. осыпавшихся клещей). Это связано с тем, что высокая температура (обычно 40–48°C) нарушает жизненный цикл клещей, вызывая их гибель или осыпание (см. табл. 2).

Меньшая вариабельность ( $CV=0,76$ ) при термообработке указывает на более стабильные результаты по сравнению с первым экспериментом и указывает на однородность силы и начальной заклещеванности семей.

Последующие 1-я и 2-я обработки Бипином показали минимальную эффективность (3,13% всех клещей) ( $M=12,90$  и 2,60 шт. осыпавшихся клещей; 0,05% и 0,01% соответственно), что, вероятно, связано с первоначальным применением термообработки, которая уничтожила большую часть клещей (96,87% всех клещей). Семья пчел 27 (906 клещей, 4,12%) и семья пчел 32 (1120 клещей, 3,61%) показали наибольшую эффективность термообработки при варроатозе, что может быть связано с высокой начальной заклещеванностью. Различия между общим количеством клещей и процентом заклещеванности во втором эксперименте статистически незначимы ( $p>0,05$ ) (см. табл. 2).

Сравнение эффективности первичной обработки пчел Бипином в первом эксперименте (см. табл. 1) ( $M=1262,5$  шт., 5,48%) с эффективностью первичной термообработки пчел во втором эксперименте (см. табл. 2) ( $M=479$  шт., 1,77%) не выявило статистически значимых различий как по числу осыпавшихся клещей ( $t=0,72$ ,  $p>0,05$ ), так и по проценту заклещеванности ( $t=0,89$ ,  $p>0,05$ ). Это может быть связано с высокой вариабельностью данных ( $CV=1,92$  для обработки Бипином;  $CV=0,76$  для термообработки), которая снижает статистическую мощность теста. Сравнение общего количества осыпавшихся клещей в первом эксперименте  $M=1489,1$  шт., 6,39% (см. табл. 1) и втором эксперименте  $M=494,5$  шт., 1,83% (см. табл. 2) не показало статистически значимых различий как по числу осыпавшихся клещей ( $t=0,72$ ,  $p>0,05$ ), так и по проценту заклещеванности ( $t=1,27$ ,  $p>0,05$ ).

Эффективность методов борьбы с варроатозом (физических и химических) зависит от того, на какую фазу жизни клещей они воздействуют. Жизненный цикл клеща включает форетическую фазу (фаза питания и расселения на пчелах) и репродуктивную фазу (фаза размножения на расплоде).

Бипин наиболее эффективен против клещей в форетической фазе на поверхности пчел, но плохо воздействует на клещей в репродуктивной фазе на запечатанном расплоде, что объясняет необходимость повторной обработки через 7–10 дней, когда новые клещи выходят из запечатанного расплода. Преимущества Бипина включают высокую эффективность при первой обработке, особенно в семьях с высокой заклещеванностью. Однако его использование связано с риском развития резистентности клещей к амитразу, а также потенциальным негативным воздействием на пчел, например, стресс или токсичность. Высокая вариабельность результатов требует тщательного контроля дозировки и условий применения Бипина. Амитраз, действующее вещество Бипина, может вызывать стресс у пчел, особенно при многократном применении. Остатки амитраза в воске и меде представляют потенциальный риск для качества продукции пчеловодства. Кроме того, неправильное применение, например превышение дозировки, может привести к гибели пчел. Длительное использование Бипина может способствовать развитию резистентности у клещей *V. destructor*, что уже наблюдается в некоторых регионах России. Обработка пчел при варроатозе Бипином более эффективна в условиях высокой заклещеванности по сравнению с термообработкой и подходит для интенсивного пчеловодства, где требуется быстрое снижение популяции клещей.

Метод термообработки пчел от варроатоза экологически безопасен, не вызывает резистентности и показывает достаточно стабильные результаты ( $CV=0,76$ ). Однако он требует специализированного оборудования и может быть стрессовым для пчел, особенно при неправильной настройке температуры. Эффективность термообработки выше, когда она применяется первой, что делает её подходящей для начального контроля заклещеванности. Высокая температура (40–48°C в течение 15 мин) воздействует на клещей как на пчелах, так и частично в расплоде, в зависимости от глубины проникновения тепла. Это делает термообработку более универсальным методом борьбы с варроатозом, но её эффективность зависит от точной настройки температуры и длительности воздействия. Высокая температура может быть стрессовой для пчел и расплода, особенно если температура превышает допустимые пределы (48°C в течение 15 мин). Однако при правильной настройке термообработка очень эффективна при варроатозе, не оставляет химических остатков в продуктах пчеловодства и считается более безопасной для окружающей среды. Термообработка не вносит химических веществ в улей, что делает её предпочтительной для органического пчеловодства. Термообработка эффективна и стабильна при первичном применении при варроатозе. Подходит для экологически ориентированного пчеловодства и может быть использована в качестве основного метода борьбы с варроатозом в семьях со средней или низкой заклещеванностью. Термообработка, как физический метод, исключает риски химического загрязнения, что делает её более устойчивым решением в долгосрочной перспективе.

Несмотря на высокую эффективность термической обработки от варроатоза, небольшое количество клещей выживало. Последующая однократ-

ная обработка Бипином приводила к дополнительной гибели клещей (3,13% всех клещей), что указывает на необходимость комплексного подхода в борьбе с варроатозом, особенно для сильных семей. Для достижения максимальной эффективности рекомендуется комбинировать термическую и химическую обработки, учитывая при этом рекомендации по разделению сильных пчелиных семей и возможность присутствия клещей на сотах. Необходимо комбинировать обработки от варроатоза следующим образом: (1) первичная обработка Бипином; использовать 1-ю обработку Бипином для быстрого уничтожения клещей в форетической фазе, особенно в семьях с высокой заклещеванностью; (2) последующая термообработка; применять термообработку через 7–10 дней для уничтожения клещей, выходящих из расплода, и повышения стабильности результатов; (3) контрольная обработка Бипином. Вторая обработка Бипином может быть использована для дополнительного контроля остаточной популяции клещей. Такой подход обеспечивает надежное снижение численности *V. destructor* и минимизирует его негативное влияние на пчелиные семьи.

### Заключение

Химические методы с применением Бипина эффективны при первичной обработке ( $M=1262,5$  шт., 5,48%,  $CV=166\%$ ), но имеют высокую вариативность между семьями. Физические методы с термообработкой также эффективны ( $M=479$  шт., 1,77%,  $CV=76\%$ ), но более стабильны между семьями. Однако различия между обработкой Бипином и термообработкой не являются значимыми ( $p > 0,05$ ), что не позволяет однозначно определить превосходство какого-либо одного метода при борьбе с варроатозом.

Рекомендуется комбинированный подход: первичная обработка Бипином для быстрого снижения заклещеванности и термообработка для стабильного контроля. В органическом пчеловодстве предпочтительна только термообработка. Для результативной борьбы с варроатозом необходим постоянный мониторинг и профилактика семей, регулярная диагностика заклещеванности (например, с помощью липких ловушек или спиртового смыва) для определения необходимости обработок. Чередовать химические и физические методы для снижения риска развития резистентности клещей к амитразу. Вести записи о результатах обработок для анализа эффективности и оптимизации применяемых методов. Также необходимо проводить селекционно-племенные работы над созданием устойчивых к клещу линий и популяций медоносных пчел с гигиеническим поведением, что будет способствовать развитию устойчивого пчеловодства и сохранению экологического баланса и биоразнообразия.

### Список источников

1. Van Engelsdorp D., Underwood R.M., Cox-Foster D.L. Short-term fumigation of honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies with formic and acetic acids for the control of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae) // Journal of Economic Entomology. 2008. Vol. 101, № 2. PP. 256–264. doi: 10.1093/jee/101.2.256

2. Dietemann V., Pflugfelder J., Anderson D., Charrière J.D., Chejanovsky N., Dainat B., de Miranda J., Delaplane K., Dillier F., Fuch S., et al. *Varroa destructor*: research avenues towards sustainable control // Journal of Apicultural Research. 2012. Vol. 51, № 1. PP. 125–132. doi: 10.3896/IBRA.1.51.1.15
3. Le Conte Y., Ellis M., Ritter W. *Varroa* mites and honey bee health: can *Varroa* explain part of the colony losses? // Apidologie. 2010. № 41. PP. 353–363. doi: 10.1051/apido/2010017
4. Carreck N., Neumann P. Honey bee colony losses // Journal of Apicultural Research. 2010. Vol. 49, № 1. PP. 1–6. doi: 10.3896/IBRA.1.49.1.01
5. De la Mora A., Goodwin P.H., Morfin N., Petukhova T., Guzman-Novoa E. Diversity of potential resistance mechanisms in honey bees (*Apis mellifera*) selected for low population growth of the parasitic mite, *Varroa destructor* // Insects. 2025. Vol. 16, № 4. 385. doi: 10.3390/insects16040385
6. Ramsey S.D., Ochoa R., Bauchan G., Gulbranson C., Mowery J.D., Cohen A., Lim D., Joklik J., Cicero J.M., Ellis J.D. et al. *Varroa destructor* feeds primarily on honey bee fat body tissue and not hemolymph // Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 2019. Vol. 116, № 5. PP. 1792–1801. doi: 10.1073/pnas.1818371116
7. Mondet F., Beaufort A., McAfee A., Locke B., Alaux C., Blanchard S., Danka B., Le Conte Y. Honey bee survival mechanisms against the parasite *Varroa destructor*: a systematic review of phenotypic and genomic research efforts // International Journal for Parasitology. 2020. Vol. 50, № 6–7. PP. 433–447. doi: 10.1016/j.ijpara.2020.03.005
8. Королев А.В. Гибель пчелиных семей в летне-осенний период 2014 г. // Пчеловодство. 2015. № 3. С. 3–5.
9. Королев А.В., Балакирев Н.А., Масленникова В.И. Анализ причин гибели пчелиных семей в мире // Современные проблемы пчеловодства и пути их решения: материалы междунар. научно-практ. конф. Москва, 2016. С. 248–252.
10. Martin S.J., Highfield A.C., Brettell L., Villalobos E.M., Budge G.E., Powell M., Nikaido S., Schroeder D.C. Global honey bee viral landscape altered by a parasitic mite // Science. 2012. Vol. 336, № 6086, PP. 1304–1306. doi: 10.1126/science.1220941
11. Mondet F., Le Conte Y. Parasites in bee health and veterinarians. Paris : The Office International des Epizooties (OIE), 2014. PP. 131–141.
12. Wilfert L., Long G., Leggett H.C., Schmid-Hempel P., Butlin R., Martin S.J.M., Boots M. Deformed wing virus is a recent global epidemic in honeybees driven by *Varroa* mites // Science. 2016. Vol. 351, № 6273. PP. 594–597. doi: 10.1126/science.aac9976
13. Спрыгин А.В., Бабин Ю.Ю., Ханбекова Е.М., Рубцова Л.Е. Угрозы распространения вирусных инфекций у пчел (*Apis mellifera* L.) и роль клеща *Varroa destructor* в развитии патологий // Сельскохозяйственная биология. 2016. Т. 51, № 2. С. 156–171. doi: 10.15389/agrobiol.2016.2.156rus
14. Ball B.V. The association of *Varroa jacobsoni* with virus diseases of honey bees // Meeting of the EU Experts' Group. Wageningen, 1983. PP. 21–23.
15. Amdam G.V., Hartfelder K., Norberg K., Hagen A., Omholt S.W. Altered physiology in worker honey bees infested with the mite *Varroa destructor*: A factor in colony loss during overwintering // Journal of Economic Entomology. 2004. Vol. 97, № 3. PP. 741–747. doi: 10.1093/jee/97.3.741
16. Peng Y.S., Fang Y., Xu S., Ge L. The resistance mechanism of the Asian honey bee, *Apis cerana* Fabr., to an ectoparasitic mite, *Varroa jacobsoni* Oudemans // Journal of Invertebrate Pathology. 1987. Vol. 49, № 1. PP. 54–60. doi: 10.1016/0022-2011(87)90125-X
17. Boecking O., Rath W., Drescher W. Behavioral strategies of *Apis mellifera* and *Apis cerana* against *Varroa jacobsoni* // International Journal of Acarology. 1993. Vol. 19, № 2. PP. 173–177. doi: 10.1080/01647959308683977

18. Page P., Lin Z., Buawangpong N., Zheng H., Hu F., Neumann P., Chantawannakul P., Dietemann V. Social apoptosis in honey bee superorganisms // *Scientific Reports*. 2018. № 6. 27210. doi: 10.1038/srep27210
19. Lin Z., Qin Y., Page P., Wang S., Li L., Wen Z., Hu F., Neumann P., Zheng H., Dietemann V. Reproduction of parasitic mites *Varroa destructor* in original and new honeybee hosts // *Ecology and Evolution*. 2018. Vol. 8, № 4. PP. 2135–2145. doi: 10.1002/ece3.3802
20. Oldroyd B.P. Coevolution while you wait: *Varroa jacobsoni*, a new parasite of western honeybees // *Trends in Ecology & Evolution*. 1999. Vol. 14, № 8. PP. 312–315. doi: 10.1016/S0169-5347(99)01613-4
21. Milani N. The resistance of *Varroa jacobsoni* Oud. to acaricides // *Apidologie*. 1999. Vol. 30, № 2–3. PP. 229–234. doi: 10.1051/apido:19990211
22. Rosenkranz P., Aumeier P., Ziegelmann B. Biology and control of *Varroa destructor* // *Journal of Invertebrate Pathology*. 2010. № 103. PP. 96–119. doi: 10.1016/j.jip.2009.07.016
23. Beaurepaire A.L., Krieger K.J., Moritz R.F.A. Seasonal cycle of inbreeding and recombination of the parasitic mite *Varroa destructor* in honeybee colonies and its implications for the selection of acaricide resistance // *Infectious Genetics and Evolution*. 2017. № 50. PP. 49–54. doi: 10.1016/j.meegid.2017.02.011
24. Neumann P., Blacqui re T. The Darwin cure for apiculture? Natural selection and managed honeybee health // *Evolutionary Applications*. 2016. Vol. 10, № 3. PP. 226–230. doi: 10.1111/eva.12448
25. Büchler R., Berg S., Le Conte Y. Breeding for resistance to *Varroa destructor* in Europe // *Apidologie*. 2010. № 41. PP. 393–408. doi: 10.1051/apido/2010011
26. Rinderer T.E., Harris J.W., Hunt G.J., de Guzman L.I. Breeding for resistance to *Varroa destructor* in North America // *Apidologie*. 2010. Vol. 41, № 3. PP. 409–424. doi: 10.1051/apido/2010015
27. Dekkers J.C.M., Hospital F. The use of molecular genetics in the improvement of agricultural populations // *Nature Reviews Genetics*. 2002. № 3. PP. 22–32. doi: 10.1038/nrg701
28. Beaurepaire A., Sann C., Arredondo D., Mondet F., Le Y., Conte Y. Behavioral Genetics of the Interactions between *Apis mellifera* and *Varroa destructor* // *Insects*. 2019. Vol. 10, № 9. 299. doi: 10.3390/insects10090299
29. Morfin N., Anguiano-Baez R., Guzman-Novoa E. Honey bee (*Apis mellifera*) immunity // *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2021. Vol. 37, № 3. PP. 521–533. doi: 10.1016/j.cvfa.2021.06.007
30. Oddie M.a.Y., Dahle B., Neumann P., 2017. Norwegian honey bees surviving *Varroa destructor* mite infestations by means of natural selection // *PeerJ*. 2017. e3956. doi: 10.7717/peerj.3956
31. Le Conte Y., Meixner M.D., Brandt A., Carreck N.L., Costa C., Mondet F., Büchler R. Geographical distribution and selection of European honey bees resistant to *Varroa destructor* // *Insects*. 2020. Vol. 11, № 12. 873. doi: 10.3390/insects11120873
32. Le Conte Y., De Vaublanc G., Crauser D., Jeanne F., Rousselle J.-C., B card J.-M. Honey bee colonies that have survived *Varroa destructor* // *Apidologie*. 2007. Vol. 38, № 6. PP. 566–572. doi: 10.1051/apido:2007040
33. Kefuss J., Vanpoucke J., Bolt M., Kefuss C. Selection for resistance to *Varroa destructor* under commercial beekeeping conditions // *Journal of Apicultural Research*. 2015. 54 (5). PP. 563–576. doi: 10.1080/00218839.2016.1160709
34. De La Mora A., Emsen B., Morfin N., Borges D., Eccles L., Kelly P.G., Goodwin P.H., Guzman-Novoa E. Selective breeding for low and high *Varroa destructor* growth in honey bee (*Apis mellifera*) colonies: Initial results of two generations // *Insects*. 2020. Vol. 11, № 12. 864. doi: 10.3390/insects11120864

35. Fries I., Hansen H., Imdorf A., Rosenkranz P. Swarming in honey bees (*Apis mellifera*) and *Varroa destructor* population development in Sweden // *Apidologie*. 2003. № 34. PP. 389–397. doi: 10.1051/apido:2003032
36. Locke B. Natural *Varroa* mite-surviving *Apis mellifera* honeybee populations // *Apidologie*. 2016. PP. 1–16. doi: 10.1007/s13592-015-0412-8
37. Wagoner K., Spivak M., Hefetz A., Reams T., Rueppell O. Stock-specific chemical brood signals are induced by *Varroa* and deformed wing virus, and elicit hygienic response in the honey bee // *Scientific Reports*. 2019. 8753. doi: 10.1038/s41598-019-45008-2
38. Harpur B.A., Guarna M.M., Huxter E., Higo H., Moon K.-M., Hoover S.E., Ibrahim A., Melathopoulos A.P., Desai S., Currie R.W., Pernal S.F., Foster L.J., Zayed A. Integrative genomics reveals the genetics and evolution of the honey bee's social immune system // *Genome Biology and Evolution*. 2019. Vol. 11, № 3. PP. 937–948. doi: 10.1093/gbe/evz018
39. Kim J.S., Kim M.J., Kim H.-K., Vung N.N., Kim I. Development of single nucleotide polymorphism markers specific to *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) line displaying high hygienic behavior against *Varroa destructor*, an ectoparasitic mite // *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 2019. Vol. 22, № 4. PP. 1031–1039. doi: 10.1016/j.aspen.2019.08.005
40. Conlon B.H., Aurori A., Giurgiu A.-I., Kefuss J., Dezmiorean D.S., Moritz R.F.A., Routu J. A gene for resistance to the *Varroa* mite (Acari) in honey bee (*Apis mellifera*) pupae // *Molecular Ecology*. 2019. Vol. 28, № 12. PP. 2958–2966. doi: 10.1111/mec.15080
41. Arechavaleta-Velasco M.E., Alcalá-Escamilla K., Robles-Rios C., Tsuruda J.M., Hunt G.J. Fine-scale linkage mapping reveals a small set of candidate genes influencing honey bee grooming behavior in response to *Varroa* mites // *PLoS One*. 2012. Vol. 7, № 11. e47269. doi: 10.1371/journal.pone.0047269
42. Spötter A., Gupta P., Mayer M., Reinsch N., Bienefeld K. Genome-wide association study of a *Varroa*-specific defense behavior in honeybees (*Apis mellifera*) // *Journal of Heredity*. 2016. Vol. 107, № 3. PP. 220–227. doi: 10.1093/jhered/esw005
43. Jones J.C., Du Z.G., Bernstein R., Meyer M., Hoppe A., Schilling E., Ableitner M., Juling K., Dick R., Strauss A.S., Bienefeld K. Tool for genomic selection and breeding to evolutionary adaptation: Development of a 100 K single nucleotide polymorphism array for the honey bee // *Ecology and Evolution*. 2020. Vol. 10, № 13. PP. 6246–6256. doi: 10.1002/ece3.6357
44. Mondet F., Alaux C., Severac D., Rohmer M., Mercer A.R., Le Conte Y. Antennae hold a key to *Varroa*-sensitive hygiene behaviour in honey bees // *Scientific Reports*. 2015. Vol. 5. 10454. doi: 10.1038/srep10454
45. Hu H., Bienefeld K., Wegener J., Zautke F., Hao Y., Feng M., Han B., Fang Y., Wubie A.J., Li J. Proteome analysis of the hemolymph, mushroom body, and antenna provides novel insight into honeybee resistance against *Varroa* infestation // *Journal of Proteome Research*. 2016. Vol. 15, № 8. PP. 2841–2854. doi: 10.1021/acs.jproteome.6b00423

### References

1. Van Engelsdorp D, Underwood RM, Cox-Foster DL. Short-term fumigation of honey bee (Hymenoptera: Apidae) colonies with formic and acetic acids for the control of *Varroa destructor* (Acari: Varroidae). *Journal of Economic Entomology*. 2008;101(2):256–264. doi: 10.1093/jee/101.2.256
2. Dietemann V, Pflugfelder J, Anderson D, Charrière JD, Chejanovsky N, Dainat B, de Miranda J, Delaplane K, Dillier F, Fuch S, et al. *Varroa destructor*: Research avenues towards sustainable control. *Journal of Apicultural Research*. 2012;51(1):125–132. doi: 10.3896/IBRA.1.51.1.15

3. Le Conte Y, Ellis M, Ritter W. *Varroa* mites and honey bee health: Can *Varroa* explain part of the colony losses? *Apidologie*. 2010;41:353-363. doi: 10.1051/apido/2010017
4. Carreck N, Neumann P. Honey bee colony losses. *Journal of Apicultural Research*. 2010;49(1):1-6. doi: 10.3896/IBRA.1.49.1.01
5. De la Mora A, Goodwin PH, Morfin N, Petukhova T, Guzman-Novoa E. Diversity of potential resistance mechanisms in honey bees (*Apis mellifera*) selected for low population growth of the parasitic mite, *Varroa destructor*. *Insects*. 2025;16(4):385. doi: 10.3390/insects16040385
6. Ramsey SD, Ochoa R, Bauchan G, Gulbranson C, Mowery JD, Cohen A, Lim D, Joklik J, Cicero JM, Ellis JD et al. *Varroa destructor* feeds primarily on honey bee fat body tissue and not hemolymph. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2019;116(5):1792-1801. doi: 10.1073/pnas.1818371116
7. Mondet F, Beaufort A, McAfee A, Locke B, Alaux C, Blanchard S, Danka B, Le Conte Y. Honey bee survival mechanisms against the parasite *Varroa destructor*: A systematic review of phenotypic and genomic research efforts. *International Journal of Parasitology*. 2020;50(6-7):433-447. doi: 10.1016/j.ijpara.2020.03.005
8. Korolev AV. Gibel' pchelinyh semej v letne-osennij period 2014 g. [Death of bee colonies in the summer-autumn period of 2014]. *Pchelovodstvo = Russian Journal of Beekeeping*. 2015;3:3-5. In Russian
9. Korolev AV, Balakirev NA, Maslennikova VI. Analiz prichin gibeli pchelinyh semej v mire [Analysis of the causes of bee colony deaths worldwide]. In: *Sovremennye problemy pchelovodstva i puti ih reshenija*. Materialy Mezhdun. nauchno-prakt. konf. Moscow; 2016. pp. 248-252. In Russian
10. Martin SJ, Highfield AC, Brettell L, Villalobos EM, Budge GE, Powell M, Nikaido S, Schroeder DC. Global honey bee viral landscape altered by a parasitic mite. *Science*. 2012;336(6086):1304-1306. doi: 10.1126/science.1220941
11. Mondet F, Le Conte Y. Parasites in bee health and veterinarians. Paris: The Office International des Epizooties (OIE); 2014. pp. 131-141.
12. Wilfert L, Long G, Leggett HC, Schmid-Hempel P, Butlin R, Martin SJM, Boots M. Deformed wing virus is a recent global epidemic in honeybees driven by *Varroa* mites. *Science*. 2016;351(6273):594-597. doi: 10.1126/science.aac9976
13. Sprygin AV, Babin JuJu, Hanbekova EM, Rubcova LE. Ugrozy rasprostraneniya virusnyh infekcij u pchel (*Apis mellifera* L.) i rol' kleshha *Varroa destructor* v razvitii patologij [Threats of the spread of viral infections in bees (*Apis mellifera* L.) and the role of the *Varroa destructor* mite in the development of pathologies]. *Sel'skohozjajstvennaja biologija = Agricultural Biology*. 2016;51(2):156-171. In Russian
14. Ball BV. The association of *Varroa jacobsoni* with virus diseases of honey bees. In: *Meeting of the EU Experts' Group*. Wageningen; 1983. pp. 21-23.
15. Amdam GV, Hartfelder K, Norberg K, Hagen A, Omholt SW. Altered physiology in worker honey bees infested with the mite *Varroa destructor*: A factor in colony loss during overwintering. *Journal of Economic Entomology*. 2004;97(3):741-747. doi: 10.1093/jee/97.3.741
16. Peng YS, Fang Y, Xu S, Ge L. The resistance mechanism of the Asian honey bee, *Apis cerana* Fabr., to an ectoparasitic mite, *Varroa jacobsoni* Oudemans. *Journal of Invertebrate Pathology*. 1987;49(1):54-60. doi: 10.1016/0022-2011(87)90125-X
17. Boecking O, Rath W, Drescher W. Behavioral strategies of *Apis mellifera* and *Apis cerana* against *Varroa jacobsoni*. *International Journal of Acarology*. 1993;19(2):173-177. doi: 10.1080/01647959308683977
18. Page P, Lin Z, Buawangpong N, Zheng H, Hu F, Neumann P, Chantawannakul P, Diemann V. Social apoptosis in honey bee superorganisms. *Scientific Reports*. 2018;6:27210. doi: 10.1038/srep27210

19. Lin Z, Qin Y, Page P, Wang S, Li L, Wen Z, Hu F, Neumann P, Zheng H, Dietemann V. Reproduction of parasitic mites *Varroa destructor* in original and new honeybee hosts. *Ecology and Evolution*. 2018;8(4):2135-2145. doi: 10.1002/ece3.3802
20. Oldroyd BP. Coevolution while you wait: *Varroa jacobsoni*, a new parasite of western honeybees. *Trends in Ecology & Evolution*. 1999;14(8):312-315. doi: 10.1016/S0169-5347(99)01613-4
21. Milani N. The resistance of *Varroa jacobsoni* Oud. to acaricides. *Apidologie*. 1999;30(2-3):229-234. doi: 10.1051/apido:19990211
22. Rosenkranz P, Aumeier P, Ziegelmann B. Biology and control of *Varroa destructor*. *Journal of Invertebrate Pathology*. 2010;103:96-119. doi: 10.1016/j.jip.2009.07.016
23. Beaufrepaire AL, Krieger KJ, Moritz RFA. Seasonal cycle of inbreeding and recombination of the parasitic mite *Varroa destructor* in honeybee colonies and its implications for the selection of acaricide resistance. *Infectious Genetics and Evolution*. 2017;50:49-54. doi: 10.1016/j.meegid.2017.02.011
24. Neumann P, Blacquière T. The Darwin cure for apiculture? Natural selection and managed honeybee health. *Evolutionary Applications*. 2016;10(3):226-230. doi: 10.1111/eva.12448
25. Büchler R, Berg S, Le Conte Y. Breeding for resistance to *Varroa destructor* in Europe. *Apidologie*. 2010;41:393-408. doi: 10.1051/apido/2010011
26. Rinderer TE, Harris JW, Hunt GJ, de Guzman LI. Breeding for resistance to *Varroa destructor* in North America. *Apidologie*. 2010;41(3):409-424. doi: 10.1051/apido/2010015
27. Dekkers JCM, Hospital F. The use of molecular genetics in the improvement of agricultural populations. *Nature Reviews Genetics*. 2002;3:22-32. doi: 10.1038/nrg701
28. Beaufrepaire A, Sann C, Arredondo D, Mondet F, Le Y, Conte Y. Behavioral genetics of the interactions between *Apis mellifera* and *Varroa destructor*. *Insects*. 2019;10(9):299. doi: 10.3390/insects10090299
29. Morfin N, Anguiano-Baez R, Guzman-Novoa E. Honey bee (*Apis mellifera*) immunity. *Veterinary Clinics of North America: Food Animal Practice*. 2021;37(3):521-533. doi: 10.1016/j.cvfa.2021.06.007
30. Oddie MAY, Dahle B, Neumann P. Norwegian honey bees surviving *Varroa destructor* mite infestations by means of natural selection. *PeerJ*. 2017. e3956. doi: 10.7717/peerj.3956
31. Le Conte Y, Meixner MD, Brandt A, Carreck NL, Costa C, Mondet F, Büchler R. Geographical distribution and selection of European honey bees resistant to *Varroa destructor*. *Insects*. 2020;11(12):873. doi: 10.3390/insects11120873
32. Le Conte Y, De Vaublanc G, Crauser D, Jeanne F, Rousselle J-C, Bécard J-M. Honey bee colonies that have survived *Varroa destructor*. *Apidologie*. 2007;38(6):566-572. doi: 10.1051/apido:2007040
33. Kefuss J, Vanpoucke J, Bolt M, Kefuss C. Selection for resistance to *Varroa destructor* under commercial beekeeping conditions. *Journal of Apicultural Research*. 2015;54(5):563-576. doi: 10.1080/00218839.2016.1160709
34. De La Mora A, Emsen B, Morfin N, Borges D, Eccles L, Kelly PG, Goodwin PH, Guzman-Novoa E. Selective breeding for low and high *Varroa destructor* growth in honey bee (*Apis mellifera*) colonies: Initial results of two generations. *Insects*. 2020;11(12):864. doi: 10.3390/insects11120864
35. Fries I, Hansen H, Imdorf A, Rosenkranz P. Swarming in honey bees (*Apis mellifera*) and *Varroa destructor* population development in Sweden. *Apidologie*. 2003;34:389-397. doi: 10.1051/apido:2003032
36. Locke B. Natural *Varroa* mite-surviving *Apis mellifera* honeybee populations. *Apidologie*. 2016:1-16. doi: 10.1007/s13592-015-0412-8

37. Wagoner K, Spivak M, Hefetz A, Reams T, Rueppell O. Stock-specific chemical brood signals are induced by *Varroa* and deformed wing virus, and elicit hygienic response in the honey bee. *Scientific Reports*. 2019;8:753. doi: 10.1038/s41598-019-45008-2
38. Harpur BA, Guarna MM, Huxter E, Higo H, Moon K-M, Hoover SE, Ibrahim A, Melathopoulos AP, Desai S, Currie RW, Pernal SF, Foster LJ, Zayed A. Integrative genomics reveals the genetics and evolution of the honey bee's social immune system. *Genome Biology and Evolution*. 2019;11(3):937-948. doi: 10.1093/gbe/evz018
39. Kim JS, Kim MJ, Kim H-K, Vung NN, Kim I. Development of single nucleotide polymorphism markers specific to *Apis mellifera* (Hymenoptera: Apidae) line displaying high hygienic behavior against *Varroa destructor*, an ectoparasitic mite. *Journal of Asia-Pacific Entomology*. 2019;22(4):1031-1039. doi: 10.1016/j.aspen.2019.08.005
40. Conlon BH, Aurori A, Giurgiu A-I, Kefuss J, Dezmirean DS, Moritz RFA, Routtu J. A gene for resistance to the *Varroa* mite (Acari) in honey bee (*Apis mellifera*) pupae. *Molecular Ecology*. 2019;28(12):2958-2966. doi: 10.1111/mec.15080
41. Arechavaleta-Velasco ME, Alcalá-Escamilla K, Robles-Rios C, Tsuruda JM, Hunt GJ. Fine-scale linkage mapping reveals a small set of candidate genes influencing honey bee grooming behavior in response to *Varroa* mites. *PLoS One*. 2012;7(11):e47269. doi: 10.1371/journal.pone.0047269
42. Spötter A, Gupta P, Mayer M, Reinsch N, Bienefeld K. Genome-wide association study of a *Varroa*-specific defense behavior in honeybees (*Apis mellifera*). *Journal of Heredity*. 2016;107(3):220-227. doi: 10.1093/jhered/esw005
43. Jones JC, Du ZG, Bernstein R, Meyer M, Hoppe A, Schilling E, Ableitner M, Juling K, Dick R, Strauss AS, Bienefeld K. Tool for genomic selection and breeding to evolutionary adaptation: Development of a 100 K single nucleotide polymorphism array for the honey bee. *Ecology and Evolution*. 2020;10(13):6246-6256. doi: 10.1002/ece3.6357
44. Mondet F, Alaux C, Severac D, Rohmer M, Mercer AR, Le Conte Y. Antennae hold a key to *Varroa*-sensitive hygiene behaviour in honey bees. *Scientific Reports* 2015;5(1): 10454. doi: 10.1038/srep10454
45. Hu H, Bienefeld K, Wegener J, Zautke F, Hao Y, Feng M, Han B, Fang Y, Wubie AJ, Li J. Proteome analysis of the hemolymph, mushroom body, and antenna provides novel insight into honeybee resistance against *Varroa* infestation. *Journal of Proteome Research*. 2016;15(8):2841-2854. doi: 10.1021/acs.jproteome.6b00423

**Информация об авторах:**

**Ильясов Рустем Абузарович**, д-р биол. наук, в. н. с. лаборатории нейробиологии развития, Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН (Москва, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2445-4739>

E-mail: [apismell@hotmail.com](mailto:apismell@hotmail.com)

**Ильясова Алла Юрьевна**, н. с. лаборатории нейробиологии развития, Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН (Москва, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7505-6805>

E-mail: [ilyasova\\_ay@idbras.ru](mailto:ilyasova_ay@idbras.ru)

**Королев Александр Викторович**, канд. с.-х. наук, доцент кафедры частной зоотехнии, Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии – МВА им. К.И. Скрябина (Москва, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0072-741>

E-mail: [5274381@mail.ru](mailto:5274381@mail.ru)

**Богуславский Дмитрий Викторович**, канд. биол. наук, с. н. с. лаборатории нейробиологии развития, Институт биологии развития им. Н.К. Кольцова РАН (Москва, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9601-640X>

E-mail: [boguslavsky@rambler.ru](mailto:boguslavsky@rambler.ru)

**Саттаров Венер Нуруллович**, д-р биол. наук, профессор, зав. кафедрой экологии, географии и природопользования, Башкирский государственный педагогический университет им. М. Акмуллы (Уфа, Россия).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6331-4398>

E-mail: [wener5791@yandex.ru](mailto:wener5791@yandex.ru)

*Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.*

*Information about the authors:*

**Rustem A. Ilyasov**, Dr. Sci. (Biol.), leading researcher at the Laboratory of Developmental Neurobiology, Institute of Developmental Biology named after N.K. Koltsov RAS (Moscow, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2445-4739>

E-mail: [apismell@hotmail.com](mailto:apismell@hotmail.com)

**Alla Y. Ilyasova**, researcher at the Laboratory of Developmental Neurobiology, Institute of Developmental Biology named after N.K. Koltsov RAS (Moscow, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7505-6805>

E-mail: [ilyasova\\_ay@idbras.ru](mailto:ilyasova_ay@idbras.ru)

**Alexander V. Korolev**, Cand. Sci. (Agric.), Assoc. Prof. of the Department of Private Animal Science, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology - MBA named after K.I. Scriabin (Moscow, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0072-741>

E-mail: [5274381@mail.ru](mailto:5274381@mail.ru)

**Dmitry V. Boguslavsky**, Cand. Sci. (Biol.), senior researcher at the Laboratory of Developmental Neurobiology, Institute of Developmental Biology named after N.K. Koltsov RAS (Moscow, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9601-640X>

E-mail: [boguslavsky@rambler.ru](mailto:boguslavsky@rambler.ru)

**Vener N. Sattarov**, Dr. Sci. (Biol.), professor, Department of Ecology, Head of the Department of the Geography and Environmental Management, Bashkir State Pedagogical University named after M. Akmulla (Ufa, Russian Federation).

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6331-4398>

E-mail: [wener5791@yandex.ru](mailto:wener5791@yandex.ru)

*The Authors declare no conflict of interest.*

*Статья поступила в редакцию 13.08.2024;  
одобрена после рецензирования 17.04.2025; принята к публикации 11.12.2025.*

*The article was submitted 13.08.2024;  
approved after reviewing 17.04.2025; accepted for publication 11.12.2025.*