

СОСТОЯНИЕ ПОПУЛЯЦИЙ МЕДОНОСНЫХ ПЧЁЛ *APIS MELLIFERA* L. ПРИ РОСТЕ ПЕСТИЦИДНОЙ НАГРУЗКИ В АГРОЦЕНОЗАХ

Л.А. Осинцева, доктор биологических наук, профессор

Новосибирский государственный аграрный университет, Новосибирск, Россия

E-mail: lao08@mail.ru

Ключевые слова: медоносные пчелы, *Apis mellifera* L., пестициды, безопасность.

Реферат. В настоящее время общепризнано, что пестициды играют существенную роль в снижении численности насекомых, которое наблюдается по всему миру. Проведён анализ причин беспрецедентных потерь пчелиных семей *Apis mellifera* L. при использовании средств защиты растений в агроценозах. Обобщается текущее состояние знаний по оценке влияния пестицидов на нецелевые объекты: медоносных пчёл и другие виды пчелиных – опылителей растений. Описаны механизмы и особенности избирательного воздействия инсектицидов из группы неоникотиноидов, бутенолидов и на основе фипронила. Помимо прямого летального воздействия наблюдается снижение жизнеспособности и последующая гибель пчелиных семей в результате изменения когнитивных способностей рабочих пчёл, репродуктивного потенциала маток и трутней, изменения иммунного статуса пчелосемьи и этиологических характеристик насекомых. Приведены примеры негативного влияния на популяции медоносных пчёл различных регионов Российской Федерации при использовании пестицидов в агроценозах. Отмечена роль органического сельского хозяйства в сохранении медоносных пчёл и других опылителей, обеспечивающих получение сопоставимого с системой интегрированной защиты растений урожая энтомофильных культур. Изложены меры предотвращения сокращения популяций медоносных пчёл в результате пестицидных токсикозов: 1) соблюдение требований нормативно-правовых документов; 2) обеспечение пасек оптимальной кормовой базой; 3) исключение высокотоксичных инсектицидов из программ защиты энтомофильных культур; 4) реализация адаптивного потенциала медоносных пчёл в меняющихся экологических условиях окружающей среды; 5) переход к органическому земледелию при возделывании энтомофильных культур.

THE STATE OF POPULATIONS OF HONEY BEES, *APIS MELLIFERA* L., WITH AN INCREASE IN THE PESTICIDE LOAD IN AGROCENOSES

L.A. Osintseva, Doctor of Biological Sciences, prof.

Novosibirsk State Agrarian University, Novosibirsk, Russia

E-mail: lao08@mail.ru

Keywords: honey bees, *Apis mellifera* L., pesticides, safety.

Abstract. It is generally recognised that pesticides play a significant role in the decline in the number of insects observed worldwide. The analysis of the causes of unprecedented losses of *Apis mellifera* L. bee colonies has been carried out. When using plant protection products in agroecosystems. The current state of knowledge on assessing the impact of pesticides on non-target objects is summarised as honey bees and other types of bee pollinators of plants. The mechanisms and features of selective exposure of insecticides from the group of neonicotinoids, butenolides and based on fipronil are described. In addition to direct lethal effects, there is a decrease in the viability and subsequent death of bee colonies as a result of changes in the cognitive abilities of worker bees, the reproductive potential of queens and drones, changes in the immune status of bee colonies and the etiological characteristics of insects. Examples of the negative impact on honeybee populations of various regions of the Russian Federation when using pesticides in agroecosystems are given. The role of organic agriculture in the conservation of honey bees and other pollinators, providing a yield comparable to the integrated plant protection system of entomophilic crops, is noted. Measures to prevent the reduction of honey bee populations due to pesticide toxicosis are outlined: 1. Compliance with the requirements of regulatory documents; 2. Providing apiaries with an optimal feed base; 3. Exclusion of highly toxic insecticides from entomophilic crop protection programs; 4. Realisation of the adaptive potential of honey bees in changing environmental conditions; 5. Transition to organic farming in the cultivation of entomophilic crops.

Биоразнообразие насекомых находится под угрозой его обеднения во всем мире. Обзор работ, свидетельствующих о сокращении численности различных видов насекомых, показывает резкие темпы ускорения этого процесса, которые могут привести к исчезновению 40% видов насекомых в мире в течение следующих нескольких десятилетий [1]. Основными причинами этого являются: потеря среды обитания и переход к интенсивному сельскому хозяйству и урбанизации; загрязнение, в основном синтетическими пестицидами и удобрениями; биологические факторы, включая патогенные микроорганизмы и интродуцированные виды; изменение климата [2]. Вызывает беспокойство тот факт, что наблюдается устойчивая тенденция к снижению на протяжении почти трех десятилетий численности насекомых-опылителей и, в частности, популяций медоносной пчелы *Apis mellifera* L. [3].

Медоносные пчелы, кроме обеспечения человечества уникальными по своим потребительским свойствам продуктами пчеловодства, играют решающую роль в экосистеме в качестве опылителей сельскохозяйственных культур, поскольку они повышают не только урожайность, но и качество многих культур, необходимых для производства продуктов питания. Явление, связанное с массовой повсеместной гибелью пчелиных семей, было названо «коллапсом медоносных пчёл», и причины, вызванные распространением протозойных (*Nosema apis*, *N. ceranae*), вирусных инфекций на фоне высокой поражённости семей клещами (*Varroa jacobsoni* Oudemans, 1904 и *V. destructor* Anderson & Trueman, 2000) изучались интенсивно и не без успеха [4, 5]. Беспрецедентные потери семей медоносных и параллельное сокращение популяций диких пчел по всему миру в последние годы стимулировали множество исследований потенциальных причин [6]. Хотя показано, что несколько факторов оказывают негативное влияние на популяции пчел, агрохимическое воздействие признано наиболее серьезной проблемой, особенно в агроценозах [7].

В течение последнего десятилетия на пасеках Российской Федерации в период активного медосборного сезона регистрируется гибель пчелиных семей, которую связывают с исполь-

зованием средств защиты растений. По оценке Минсельхоза РФ, на конец июля 2019 г. в 25 регионах страны погибло 40 тыс. пчелосемей (от 1,3 до 1,5% от общего их количества в стране) [8]. В 2019 г. зарегистрирована массовая гибель пчел после того, как близлежащие поля обработали пестицидами в Башкирии [<https://www.apeworld.ru/1562099339.html>], в Красноярском крае [<https://regnum-ru.turbopages.org/regnum.ru/s/news/3391490.html>], в Омской [<https://www.apeworld.ru/1561376636.html>] и Новосибирской областях [https://spb.tsargrad.tv/news/zhutkoe-zrelishe-v-novosibirskoj-oblasti-massovo-gibnut-pchjoly_262584], в Удмуртии, Марий Эл, Саратовской, Липецкой, Курской, Брянской и Ульяновской областях, в Алтайском крае [<https://novayagazeta-ru.turbopages.org/novayagazeta.ru/s/articles/2021/05/26/chtob-smert-medom-ne-kazalas>].

По официальным данным, в 2020 г. причиной массовых отравлений пчел (8,6 тыс. пчелосемей) также стало неправильное применение пестицидов на полях [<https://rg.ru/2021/07/22/reg-sibfo/obrabotka-polej-stala-prichinoj-massovoj-gibeli-pchel-v-omskoj-oblasti.html>]. В Башкирии погибло 11,5 тыс. пчелосемей, было выплачено около 17 млн руб. 61 пчеловодческому хозяйству [https://www.apeworld.ru/1645606571.html?utm_source=feedburner&utm_medium=email].

В 2021 г. об отравлении пчёл сообщали при обработке инсектицидами полей рапса в Кировской области [<https://www.newsler.ru/incidents/2021/09/02/v-kirovskoj-oblasti-ot-travleniya-pestitsidami-pogibli-pchely>], Удмуртии [<https://www.interfax.ru/russia/778615>]. В сезон 2022 г. ситуация с сокращением популяций медоносных пчёл из-за применения пестицидов в агроценозах не изменилась в Липецкой [<https://rg.ru/2023/04/27/reg-sibfo/ugrozhaet-li-massovaia-gibel-pchel-prodovolstvennoj-bezopasnosti-strany.html>], Новосибирской [<https://iz.ru/1370898/2022-07-27/gibel-pchel-zafiksirovali-v-shesti-raionakh-novosibirskoi-oblasti>] областях, Удмуртии [<https://rg.ru/2023/04/27/reg-sibfo/ugrozhaet-li-massovaia-gibel-pchel-prodovolstvennoj-bezopasnosti-strany.html>], на пасеках юга Западной Сибири [9, https://gorsite.ru/news/proisshestviia/pchely_massovo_gibnut_v_novosibirskoy_oblasti/].

В последние годы сокращение количества пчелосемей на территории России оценивается в 5–30% ежегодно, эта величина возрастает в связи с увеличением посевных площадей рапса *Brassica napus* L., что обусловлено растущим спросом на эту культуру [10]. Между тем появляется все больше свидетельств того, что энтомофильные культуры при высоких уровне опыления насекомыми, особенно пчелами, могут давать более высокие урожаи. При количественной оценке индивидуального и комбинированного воздействия пестицидов, опыления насекомыми и качества почвы на рапс масличный было показано, что более высокие урожаи могут быть достигнуты либо за счет увеличения количества агрохимикатов, либо за счет увеличения численности пчел, но экономическая отдача была получена только за счет опыления, потому что пестициды несущественно повышали урожайность, в то время как затраты на обработку снижали валовую прибыль [11]. Оценка влияния ландшафта и методов ведения сельского хозяйства в течение 6-летнего исследования, а затем использование моделирования структурных уравнений для оценки прямых и косвенных связей между пчелами, вредителями и методами ведения сельского хозяйства позволили авторам утверждать, что увеличение разнообразия кормовых ресурсов и мест обитания в агроландшафтах может способствовать борьбе с вредителями со стороны естественных врагов, а также обеспечивать эффективное пчелоопыление. Характеристики ландшафта, отличающегося видовым разнообразием энтомофильных растений, оказывают более сильное влияние на численность пчел и вредителей, чем агрохимические методы ведения сельского хозяйства [12]. Аналогичный результат был получен в исследованиях пестицидов при их использовании для защиты подсолнечника от вредителей и их влияния на опылителей и урожайность культуры [13].

Интегрированная защита растений, или (зарубежный аналог) комплексное управление вредителями и опылителями, рекламировалась в конце XX в. как новый подход к борьбе с вредителями при одновременном смягчении негативного воздействия инсектицидов на опылителей. В дополнение к нехимическим подходам, программы были сосредоточены

на обработке инсектицидами с низкой токсичностью для пчел, применении препаратов на основе экономических порогов вредоносности и ограниченного времени, чтобы избежать внесения препаратов во время работы опылителей. Научные исследования и практический опыт демонстрируют способность программ интегрированной защиты растений бороться с вредителями, одновременно смягчая негативное воздействие на опылителей. В частности, применение инсектицидов по пороговым значениям вредителей приводит к наибольшему эффекту от опылителей [14].

Темпы повышения урожайности многих культур замедлились, и рост урожайности за последние 20 лет в развитых странах был скромным, при этом некоторые культуры, такие как рапс, не повысили продуктивность с введением эффективных в отношении вредителей неоникотиноидов. Например, в Великобритании урожайность рапса, когда обрабатывается около 100% посевов, была такой же, как и до 1994 г., когда неоникотиноиды были недоступны. Там, где в последние годы произошло увеличение урожайности, трудно отделить вклад пестицидов от последствий других изменений в технологии возделывания культуры.

Растет признание того, что снижение роли естественных механизмов регуляции в экосистеме имеет существенные экономические, а также экологические последствия. Поэтому основной проблемой в сельском хозяйстве является стабилизация урожайности при одновременном снижении зависимости от агрохимикатов. Современное сельское хозяйство может оказаться на переломном этапе, когда природные поддерживающие механизмы разрушаются, а искусственные ресурсы, такие как удобрения и пестициды, либо неэффективны, либо используются неэффективно.

При массовой гибели пчёл в различных регионах нашей страны в пробах погибших насекомых, обработанной растительности и почвы обнаруживается фипронил, поэтому проведены исследования токсичности для пчёл препаратов на основе этого вещества, по результатам которых они отнесены к высокоопасным для пчел пестицидам [15]. Фипронил – это коммерческий инсектицид, открытый и разработанный компанией Rhône-Poulenc между 1985 и 1987 гг. и

выпущенный на рынок в 1993 г. Он относится к относительно небольшому классу пестицидов: фенилпиразолам, или фипролам, которые являются химическими веществами, обладающими гербицидным действием. Однако фипронил характеризуется и как инсектицид контактного и желудочного действия, высокоэффективный против различных насекомых-вредителей.

Фипронил является первым фенилпиразоловым инсектицидом, введенным для борьбы с вредителями. Он эффективен против некоторых видов насекомых, которые стали устойчивыми к другим инсектицидам, и проявляет низкую токсичность для млекопитающих. Известно, что фипронил, фенилпиразол, действует на рецептор γ -аминомасляной кислоты, блокируя хлоридный канал. Он вызывает гипервозбуждение, конвульсии и паралич, которые приводят к гибели насекомых. Поскольку млекопитающие лишены этого типа хлоридных каналов, считается, что фипронил, блокирующий глутамат-активированный хлоридный канал, ответственен, по крайней мере частично, за более высокую селективную токсичность для насекомых по сравнению с млекопитающими и за отсутствие перекрестной резистентности. Он эффективен против определенных видов насекомых, которые стали устойчивыми к большинству инсектицидов, включая те, которые действуют на рецептор γ -аминомасляной кислоты.

Токсичность фипронила (5-амино-1 [2,6-дихлор-4 (трифторметил) фенил-4 (трифторметил) сульфенил]-1Н-пиразола-3-карбонитрата) в отношении медоносной пчелы (0,013 мкг на пчелу) менее выражена, чем для люцерновой пчелы-листореза *Megachile rotundata* F. (0,004 мкг на пчелу), что было показано как в местных тестах, так и с использованием остатков фипронила на листьях люцерны *Medicago sativa* L. Помимо хорошо документированной токсичности фипронила для насекомых-фитофагов, для медоносных пчел величина LD₅₀ была установлена очень низкой (Tingle et al., 2003: 4 нг на пчелу; Decourtye, 2002: 6,2 нг на пчелу; Соловьёва, 2003: 5,6 нг на пчелу). Однако, например, на юге Франции отмечалось сокращение пчелиных семей, которое не могло быть объяснено высокой смертностью, но которое происходило после сезонов, когда пчелы собирали нектар с подсолнечника, семена

которого обрабатывали фипронилом. В лабораторных исследованиях было показано, что фипронил в сублетальных дозах может влиять на вкусовое восприятие, обонятельное обучение и двигательную функцию у медоносной пчелы. Эти функции важны для пчел, поскольку они необходимы для поиска пищи, и их нарушение обуславливает изменение кормового поведения, что приводит, в свою очередь, к снижению жизнеспособности пчелиной семьи.

Рекомендуется следующий режим безопасного применения пестицидов на основе фипронила: нанесение предупредительной надписи на этикетку препаратов об их опасности для пчел; не обрабатывать засоренные поля (более трех сорняков на 1 м²); соблюдение погранично-защитной зоны 5 км; проведение обработки путем наземного опрыскивания до лета пчел (рано утром или вечером после захода солнца) при скорости ветра не более 2 м/с; ограничение лёта пчел должно быть не менее 72 ч [15].

Исследователи и пчеловоды сходятся в том, что в настоящее время наибольшую опасность для пчел представляют системные инсектициды, относящиеся к группе неоникотиноидов, которые включают имидаклоприд, ацетамиприд, клотианидин, тиаметоксам, тиаклоприд, динотефуран и нитенпирам, и представляют собой важную группу нейротоксинов, специфически действующих как антагонисты никотиновых ацетилхолиновых рецепторов насекомых. Введение на рынок в начале 1990-х гг. имидаклоприда и тиаклоприда открыло неоникотиноидную эру в борьбе с насекомыми-вредителями. Действуя системно, этот класс нейротоксичных инсектицидов перемещается во всех частях растения через ксилемный и флоэмный транспорт, что приводит к транслокации в пыльцевых зёрнах и нектаре; обладает очень высокой токсичностью для насекомых и используется для обработки почвы и покрытия семян в дозах от 10 до 200 г/га, широко применяется для борьбы с вредителями сельскохозяйственных культур путем опрыскивания. Десятилетие назад неоникотиноиды были включены в списки разрешенных препаратов в более чем в 120 странах мира для защиты 1000 различных культур, в настоящее время их доля составляет не менее одной четверти мирового рынка инсектицидов.

Неоникотиноидным инсектицидам в последнее время уделяется значительное внимание как возможному важному стрессорному фактору для пчел [16]. Недавние исследования показывают, что трутни медоносных пчел, которые являются гаплоидными, как и большинство самцов перепончатокрылых, могут быть более восприимчивы к неоникотиноидам и другим стрессорам по сравнению с диплоидными рабочими пчёлами из-за гемизиготности в локусах иммунитета и детоксикации [17]. Изучение в полевых условиях неоникотиноидных инсектицидов (тиаметокс и клотианидин) на выживаемость, поведение и физиологию трутней показало, что их выживаемость снижается на 51%, увеличивается дрейф в нематеринские семьи на 100%, задерживаются полеты на 3 дня и уменьшается количество живых сперматозоидов на 28%. Однако препараты не влияли на концентрацию сперматозоидов, вырабатываемых трутнями, силу материнских семей трутней или общее количество трутней, произведенных этими семьями [18].

Рабочие пчелы, подвергшиеся воздействию неоникотиноидных инсектицидов, демонстрировали значительно сниженные способности к ориентации.

Европейская комиссия ограничила использование неоникотиноидов имидаклоприда, клотианидина и тиаметоксама в 2013 г. из-за опасности для пчел [19, 20]. С тех пор было проведено несколько комплексных полуполевых и полевых исследований для изучения воздействия неоникотиноидов на медоносных пчел и другие виды пчелиных при производственных уровнях воздействия в полевых условиях.

До сих пор почти нет информации о возможном воздействии пестицидов, поступивших тем или иным путём в дикорастущие энтомофильные виды, на все другие группы насекомых, не относящиеся к пчелиным, за исключением отдельного исследования, в котором описано обнаружение концентрации до 9 частей на миллион в одуванчиках, произрастающих около обработанных полей [21]. Дикорастущие энтомофильные виды, по-видимому, не проверялась на наличие неоникотиноидов, поэтому оценить их воздействие на нецелевых насекомых этим путем невозможно.

Вообще отравление неоникотиноидами трудно доказать. Смертельная доза имидаклоприда и клотианидина для медоносной пчелы оценивается в диапазоне от 4 до 5 нг на особь (в 10000 меньше, чем у пестицида ДДТ). Проблема заключается в том, что отравление из-за очень малых количеств активного ингредиента в степени 1 нг на 100 г массы тела (около 1000 пчел) трудно обнаружить инструментарием, которым располагают в настоящее время диагностические лаборатории. Например, величина LD_{50} ацетомиприда для рабочих особей медоносных пчел при оральном введении оценивается 8,85 и 11,7 мкг в сутки на пчелу соответственно при остром и хроническом воздействии и 9,26 мкг в сутки на пчелу при контактном воздействии [22].

Результаты нескольких исследований показали, что воздействие неоникотиноидов ограничено незначительными эффектами [23, 24]. Например, сообщается, что при кратковременном воздействии влияние неоникотиноидов на кормовую активность пчел незначительно, особенно при применении для обработки семян.

Сообщалось о повышенной смертности у медоносных пчел, подвергшихся воздействию пестицидов и второго стрессора (клещи, вирусы, бактерии). Следовательно, неоникотиноидные пестициды являются фактором, который в сублетальных дозах негативно влияет на медоносных пчел, снижая их толерантность к патогенам и другим биологическим агентам [25, 26].

Большинство неоникотиноидов характеризуются высокой стойкостью в почве, воде и донных отложениях и накапливаются в почве после многократного использования. Исчезновение их из почвы и водоемов происходит в основном из-за фотоллиза. Скорость фотоллиза возрастает при высокой влажности почвы и высокой инсоляции. В странах, где данные мониторинга доступны, были зарегистрированы высокие уровни неоникотиноидного загрязнения в поверхностных водах. Неоникотиноиды не ионизируются при обычных pH, а также устойчивы к гидролизу, относительно стабильны при высоких дневных температурах, имеют период защитного действия 14–21 день. В то же время ацетамиприд, обладая сильными системными свойствами (большими, чем

у имидаклоприда), на поверхности растений малостоек и разрушается в течение 3–4 дней. В рекомендованных нормах расхода неоникотиноиды не фитотоксичны. Главным недостатком неоникотиноидов является их токсичность для пчел и многих других полезных насекомых.

Ограничения и запреты, наложенные на инсектициды неоникотиноидной группы в Европе, были узаконены на основе появившихся новых знаний об их негативном влиянии на популяции пчелиных.

Относительно новый химический класс инсектицидов – это бутенолиды. Бутенолидная последовательность присутствует у растительного алкалоида стемофолина, выделенного из растения *Stemona japonica*, произрастающего в основном в Юго-Восточной Азии, и инсектицидные свойства стемофолина давно известны. Первым и пока единственным действующим веществом бутенолидов является флупирадифурон, который был разработан компанией Bayer Crop Science в 2012 г. Сейчас данное действующее вещество зарегистрировано во многих странах мира. На территории Республики Беларусь исследования по эффективности и возможности включения комбинированного инсектицида Сиванто Энерджи (КЭ), который в своем составе имеет флупирадифурон, в Государственный реестр средств защиты растений проводились в 2016–2018 гг., в настоящее время препарат зарегистрирован для применения на озимом и яровом рапсе, на капусте белокочанной против крестоцветных блошек, капустной тли, капустной совки и капустной белянки и на озимой пшенице против пьявиц. Институт по контролю агрохимикатов при Министерстве сельского хозяйства Китая (ICAMA) рекомендовал для регистрации технический 96% флупирадифурон и инсектицид с содержанием данного активного ингредиента около 17% от компании Bayer Crop Science, оба являются менее токсичными для пчел. Флупирадифурон 17% SL зарегистрирован для контроля тепличной белокрылки *Bemisia tabaci* на томатах.

Из-за опасений, что препараты на основе флупирадифурона и ацетамиприда могут представлять опасность для людей и окружающей среды, французские власти в ноябре 2020 г. попросили запретить их продажу и ограничить их использование. В июне 2020 г. власти Ни-

дерландов уведомили Комиссию ЕС о новой информации о флупирадифуроне в отношении диких видов пчел *Megachile rotundata*. В общей сложности было проведено 40 исследований, которые прошли первоначальный скрининг на основе заранее определенных критериев. После скрининга 16 исследований были сочтены относящимися к оценке опасности флупирадифурона для людей (1) или окружающей среды (15). После обращения в Европейское управление по безопасности пищевых продуктов (EFSA) и дополнительного анализа научных публикаций было констатировано, что новая информация не изменяет характеристику опасности, приведенную ранее в EFSA [22]. Следовательно, никаких изменений не ожидается. С декабря 2015 г. флупирадифурон был включен в список зарегистрированных активных ингредиентов службы контроля пестицидов в ЕС, который будет действовать до 9 декабря 2025 г.

Специалисты Bayer Crop Science утверждают, что к настоящему времени не было ни одного аналога флупирадифурона, который мог бы обеспечить эффективный контроль вредителей с колюще-сосущим ротовым аппаратом, оставаясь при этом «низкотоксичным и экологически дружелюбным, что поддерживается низкой токсичностью для пчел». Присутствие подобных свойств, делает флупирадифурон весьма перспективным инсектицидом на мировом рынке. Однако выявляются негативные последствия в отношении нецелевых объектов, в частности медоносных пчёл, после применения этого инсектицида [27]. Во Франции пять неоникотиноидов (клотианидин, тиаметоксам, имидаклоприд, тиаклоприд и ацетамиприд) уже были запрещены для любого фитосанитарного применения в сентябре 2018 г., но затем Министерство по экологическому переходу вынесло на обсуждение проект указа о добавлении сульфоксафлора и флупирадифурона в этот список [<https://www.agroxxi.ru/gazeta-zaschita-rastenii/novosti/francija-zapretila-flupiradifuron-i-sulfoksaflor-iz-za-vreda-pchelam-i-shmeljam.html>].

Опасность химических инсектицидов для пчел обусловлена механизмом их действия на те системы и функции организма, которые характерны для всех насекомых в силу общности их морфологии, анатомии и физиолого-биохимических процессов жизнедеятельности.

Непосредственный токсический эффект препаратов определяется их химической структурой и реакционной способностью по отношению к мишени действия данного вида насекомых, поэтому пристальное внимание уделяется изучению молекулярных механизмов чувствительности нецелевых объектов [28–30].

Медоносные пчёлы *Apis mellifera* L. исторически служили модельным организмом для экотоксикологических исследований, особенно для пестицидов. В основном это связано с их высокой экономической ценностью, поскольку их биология хорошо известна и их можно легко содержать [31]. Лабораторные исследования имеют много преимуществ, которые позволяют сравнивать данные, например, контролируемые условия окружающей среды и способы воздействия, экстраполировать эти данные на реальные сценарии, позволяющие понять механизмы, ответственные за сокращение численности многих видов пчел, а также увеличение смертности пчелиных семей на пасеках. И наоборот, на результаты полевых исследований влияет множество факторов окружающей среды, которые могут привести к трудностям в стандартизации экспериментов и интерпретации результатов. Механическое перенесение результатов лабораторных исследований на полевые условия, как это часто встречается при рассмотрении причин гибели пчелиных семей после обработок пестицидами агроценозов, путём апелляции к летальным концентрациям препарата в погибших насекомых, как минимум некорректно. Однако этот критерий часто рассматривается в качестве основополагающего при вынесении суждения (в том числе и судебного) о причине гибели пчёл.

Степень токсичности инсектицидов зависит от особенностей их химической структуры. Например, было показано, что токсическая активность для пчел фосфорорганических препаратов определяется составом и строением отщепляемой части молекулы соединений [32].

Препаративная форма существенно влияет на поступление токсикантов в организм пчел и контаминирование насекомых и их гнезда. Наиболее опасны для пчел дусты, менее опасны смачивающиеся порошки и более безопасны концентраты эмульсий. Но это не означает, что препаративные формы всегда аналогично ха-

рактеризуются по их токсической активности в отношении пчел в лабораторных условиях и для всех типов пестицидов. Дельтаметрин (2,5%) в коммерческом препарате Децис к.э. является среднеопасным, а в форме Децис ФЛО – высокоопасным для пчел. Это все свидетельствует о роли препаративной формы в экотоксикологической характеристике инсектицида. Концентраты суспензий обеспечивают, как правило, низкий уровень контаминирования токсикантом насекомых-опылителей, поскольку эта препаративная форма повышает удерживаемость пестицида на растениях, трудно смывается водой и не переносится пчелами в гнездо.

Способы проникновения токсикантов в организм пчелы при внесении пестицидов в биоценоз различны и зависят от физико-химических свойств препаратов, фенологического состояния растений, метеорологических условий. Наиболее вероятно поступление через покровы насекомых при контакте пчел с обработанной растительностью при сборе нектара, пыльцы, пади и капелек воды или при нахождении пчел в агроценозе в момент обработки. Многие инсектициды являются липофильными соединениями, поэтому легко проникают через покровы.

Другим распространенным путем является проникновение химических соединений в организм пчел при их питании на растениях, обработанных в фазу цветения или обработанных системными препаратами. В последнем случае наблюдается интоксикация через кишечник продуктами метаболизма пестицидов в растениях.

Существует вероятность интоксикации пчел через органы дыхания при нахождении в зонах, где ранее применялись пестициды с фумигантной токсичностью. Степень опасности пестицидов в этом случае во многом определяется погодными условиями. Так, повышение температуры до 26–30°C и низкая скорость ветра способствуют накоплению паров токсиканта в воздухе и усилению фумигантного действия.

Первые два способа проникновения пестицидов в организм пчел характерны для подавляющего большинства препаратов и интенсивно изучаются при их экотоксикологической характеристике. В лабораторных условиях устанавливается оральная (кишечная) и контактная

токсичность пестицидов для пчел, что является обязательной процедурой при их создании и регистрации [33].

Интоксикация медоносных пчел кормовыми субстратами (нектар, пыльца), содержащими продукты метаболизма пестицидов системного действия, а также фумигантная токсичность ядохимикатов изучаются менее широко и до настоящего времени являются предметом специальных исследований. Известно, что системные пестициды более токсичны при попадании в организм по сравнению с поверхностным контактом, а семьи медоносных пчел подвергаются более высокой интоксикации, если они потребляют загрязненную пыльцу и нектар. Такое воздействие вызывает целый ряд эффектов, таких как избыточное количество маток, снижение запасов питательных веществ, подавление иммунной системы, ухудшение зрительного восприятия, способности пчел к обучению и памяти.

Признаются экологические риски, связанные с обработкой семян системными инсектицидами группы неоникотиноидов, поскольку в нектаре и пыльце урожая впоследствии обнаруживаются низкие концентрации, которые затем собираются и потребляются пчелами. В последние годы активно обсуждаются вопросы о том, что основное внимание уделяется воздействию пестицидов через обработанную культуру, упуская из виду важный фактор: в течение весны и лета остаточные количества препаратов и их производные также обнаруживаются в пыльце и нектаре полевых цветов энтомофильных растений в концентрациях, которые иногда даже выше, чем те, которые содержатся в обработанной культуре. Действительно, источником подавляющего большинства (97%) неоникотиноидов, попавших с пыльцой в ульи медоносных пчел в агроландшафтах, являлись полевые цветы, а не сельскохозяйственные культуры. Чаще полевые исследования базируются на предпосылке, что воздействие инсектицидов будет происходить только в период цветения обработанных культур и что оно может быть нивелировано пчелами, которые также питаются нектаром и пыльцой необработанных полевых цветов. Однако было доказано, что воздействие, вероятно, будет выше и более продолжительным, чем признается в настоящее время, из-за

широко распространенного загрязнения дикоросов, растущих вблизи обработанных культур.

Снос пестицидов в момент внесения за пределы обрабатываемого участка при попадании их на энтомофильную флору является также одной из распространенных причин интоксикации пчел. Способы внесения токсикантов в биоценоз при использовании высокотоксичных для пчел препаратов оказывают решающее влияние на степень их опасности. При нанесении инсектицидов на растения методами наземного и авиационного опрыскивания большая часть действующего вещества не попадает на целевые объекты, загрязняя биотопы. Наиболее опасной для пчел в этом смысле является авиаобработка. Сокращение количества токсиканта, поступающего в биоценозы, обеспечивается использованием технологий малообъемного и ультрамалообъемного опрыскивания. Наибольшего успеха в предотвращении негативного воздействия инсектицидов на пчел в биоценозах достигли разработчики аэрозольной технологии оптимальной дисперсности. Ее сущность заключается в избирательном осаждении аэрозольных инсектицидных частиц оптимального размера (от 1 до 50 мкм) на насекомых, находящихся на растениях. Вредное воздействие инсектицидных аэрозолей снижается также временем их проведения – в поздние вечерние и ранние утренние часы, когда отсутствует лет пчел. Таким образом, технология применения пестицидов оказывает влияние на способ интоксикации пчел и на проявление их токсических свойств.

При совместном применении некоторых препаратов наблюдается синергический эффект, который проявляется в усилении воздействия смеси препаратов на организм пчел по сравнению с их раздельным влиянием [34–36]. Фунгициды сами по себе относительно безвредны для насекомых, но они могут взаимодействовать с высокотоксичными инсектицидами. Гербициды более токсичны, чем фунгициды, и могут проявлять аналогичный интерактивный потенциал [37]. На навигацию медоносных пчел влияют следы наиболее широко используемого во всем мире гербицида глифосата, что приводит к долгосрочным негативным последствиям для кормового поведения семей [38].

Следует учитывать возможность изменения класса экологической опасности того или иного препарата при включении его в конкретную схему защитных мероприятий на энтомофильных культурах

Тесные пищевые контакты в самой пчелиной семье определяют опасность интоксикации всех ее членов в случае контакта пчел-сборщиц с токсикантами в биоценозе [39]. Маточное молочко из колоний, подвергшихся воздействию обработанной инсектицидами пыльцы, содержит незначительные остатки пестицидов, что свидетельствует о косвенных социальных последствиях воздействия пестицидов на пчелиные семьи [40].

Голодающие семьи гораздо быстрее и в большей степени подвергаются интоксикации, чем семьи, обеспеченные кормами. Наиболее чувствительны к отравлениям пчелы, содержащиеся на углеводном корме, лишенные белка. Семьи, ослабленные болезнями, проявляют низкую устойчивость к отравлениям. Биохимические изменения в органах и тканях медоносных пчел, подвергшихся терапии, обуславливают возможность изменений в восприимчивости их к воздействию пестицидов. Биологически активные вещества, положительно влияющие на обмен веществ насекомых и на развитие пчелиных семей, повышают их резистентность к ядам.

Факторы, влияющие на скорость деградации пестицидов (УФ-радиация, влажность воздуха, осадки) на поверхности растений, определяют их остаточную токсичность для медоносных пчел.

Многообразие и взаимосвязанность факторов, определяющих результат взаимодействия пестицида с медоносными пчелами, являются причиной того, что не каждое соединение, высокотоксичное в лабораторных условиях, приводит к интоксикации пчел в природе, и даже слаботоксичные препараты, попадающие в биоценоз, могут вызывать существенные нарушения жизнедеятельности пчелиных семей. Итоги 15-летних исследований опасности неоникотиноидов для пчел, включая медоносных пчел, шмелей и одиночных пчел, показали, что, хотя было обнаружено, что остаточные уровни неоникотиноидов в окружающей среде ниже уровней острой и/или хронической токсич-

ности, по-прежнему не хватает необходимых данных, поскольку большинство анализов проводилось на уровнях предела обнаружения и только для некоторых культур. Во многих лабораторных исследованиях описывались летальные и сублетальные эффекты неоникотиноидов на пищевое поведение, а также способности к обучению и памяти пчел, в то время как в полевых исследованиях при реальных дозировках никаких эффектов не наблюдалось [41].

Воздействие неоникотиноидных инсектицидов (клотианидина) на личинок приводит к негативным эффектам, которые проявляются в гигиеническом и кормовом поведении взрослых пчел, что может поставить под угрозу жизнеспособность семей за счет нарушения механизмов контроля патогенов и сокращения сбора пыльцы [42]. Отмечено снижение выживаемости пчел, потребления нектара, успешности полета, терморегуляции, аномальное кормовое поведение, вызванное сублетальной дозировкой неоникотиноида.

Основой безопасности инсектицидов для медоносных пчел и других полезных насекомых является их селективность, обусловленная механизмом действия на членистоногих, и специфичность регламентов применения препаратов, базирующихся на знании биологии растений, насекомых-фитофагов и медоносных пчел.

Во многих публикациях указывается на необходимость обеспечения гармоничного сочетания интересов производителей растениеводческой продукции и пчеловодов на основе законодательного регулирования организационных, агрономических и пчеловодных мероприятий по предупреждению отравления пчелиных семей пестицидами с учётом негативного воздействия инсектицидных обработок на полезную энтомофауну [10–13].

Положительные решения о возмещении причиненных гибелью пчел убытков основываются иногда не на факте установления остаточных количеств пестицидов в погибших насекомых, которые часто объективно трудно обнаружить, а на нарушении требований нормативно-правовых актов, регулирующих безопасность применения пестицидов, а именно на отсутствии надлежащего уведомления населения о предстоящем применении ядохимикатов и на несоблюдении закона № 7-ФЗ «Об охране

окружающей среды», Федерального закона от 30.03.1999 № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» [<https://sudact.ru/regular/doc/JLQLQnrMegNQ/>, <https://beejournal.ru/yuridicheskaya-konsultatsiya/1270-voprosy-po-zakonodatelstvu-4>].

Подробные инструкции по предотвращению отравления пчёл и обязательных мероприятий, которые обеспечивают возможность возмещения причинённого ущерба при отравлениях, приводятся на сайтах филиалов ФГБУ «Россельхозцентр», региональных, муниципальных администраций и региональных обществ пчеловодов в соответствии с «Инструкцией о мероприятиях по предупреждению и ликвидации болезней, отравлений и основных вредителей пчел», утвержденной Минсельхозом России от 17.08.1998 № 13-4-2/1362, статьёй 16 «Предотвращение отравления пчел пестицидами и агрохимикатами» ФЗ от 30.12.2020 № 490 «О пчеловодстве в Российской Федерации», правилами применения опасных для пчел пестицидов и агрохимикатов в соответствии с ФЗ от 19.07.1997 № 109-ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами» и «Профилактика и диагностика отравления пчел пестицидами» (утв. Минсельхозом СССР 01.01.1985).

Основной причиной несоблюдения требований действующих в РФ нормативно-правовых документов, по мнению экспертов, стало отсутствие регулирования применения пестицидов, поскольку полномочия по надзору за пестицидами (контролю за производством, хранением, реализацией и применением пестицидов и агрохимикатов) с 2011 г. были сняты с Россельхознадзора. Роспотребнадзор отслеживал наличие остаточных количеств пестицидов и агрохимикатов в сельскохозяйственной продукции, но не контролировал их производство, хранение, реализацию и применение. В конце декабря 2019 г. Минсельхоз согласовал законопроект о наделении Россельхознадзора правом контроля в области безопасного обращения с пестицидами и агрохимикатами. С другой стороны, сказывается отсутствие в России регулярного мониторинга гибели пчел, который проводится во многих странах с развитым пчеловодством инспекциями по пчеловодству, научно-исследовательскими центрами, ведущими

пчеловодными журналами, национальными ассоциациями пчеловодов. Инспекция по пчеловодству, действовавшая при Минсельхозе РФ, была ликвидирована в 2005 г.

С июня 2021 г. на Россельхознадзор возложены обязанности, которые были исключены с 2011 г., по контролю за пестицидами. В настоящее время действуют Федеральный закон от 19.07.1997 № 109-ФЗ «О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами», Федеральный закон от 30.12.2020 № 522-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон “О безопасном обращении с пестицидами и агрохимикатами” в части совершенствования государственного контроля (надзора) в области безопасного обращения с пестицидами и агрохимикатами» [<https://rg.ru/2021/01/12/agrohimikaty-dok.html>]. В последнем указано, что «оценка соблюдения гражданами и юридическими лицами санитарно-эпидемиологических требований, а также требований охраны окружающей среды при производстве, реализации, хранении, применении, транспортировке, обезвреживании, утилизации, уничтожении и захоронении пестицидов и агрохимикатов осуществляется в рамках федерального государственного санитарно-эпидемиологического надзора и федерального государственного экологического надзора». Устанавливается также создание федеральной государственной информационной системы прослеживаемости пестицидов и агрохимикатов в целях обеспечения учета партий пестицидов и агрохимикатов при их обращении (производстве (изготовлении), хранении, перевозке (транспортировке), применении, реализации, обезвреживании, утилизации, уничтожении и захоронении), а также осуществления анализа, обработки представленных в нее сведений и информации для контроля за их достоверностью. Информация, содержащаяся в федеральной государственной информационной системе прослеживаемости пестицидов и агрохимикатов, является официальной и государственным информационным ресурсом.

Минсельхоз России ведет каталог на официальном сайте Минсельхоза России в информационно-телекоммуникационной сети Интернет (<http://www.mcsx.ru>), который является официальным документом, содержит перечень

пестицидов (часть 1) и агрохимикатов (часть 2), разрешенных к обороту на территории Российской Федерации, в том числе для применения гражданами и юридическими лицами в сельском, лесном, коммунальном и личном подсобном хозяйствах, а также основные регламенты применения пестицидов, установленные в ходе их регистрационных испытаний.

Отравление пчел химическими препаратами во многих регионах происходило при явном нарушении действующего законодательства, в том числе норм применения препаратов высокого класса опасности для обработки сельскохозяйственных культур в непосредственной близости от деревень и поселков.

Официальные меры защиты медоносных пчел сводятся к своевременному уведомлению пчеловодов о предстоящем использовании пестицидов. Пунктом 3.1.1. «Инструкции по профилактике отравления пчел пестицидами» предусмотрено обязательное заблаговременное, не менее чем за трое суток, оповещение населения, в том числе владельцев пасек, расположенных в радиусе не менее 7 км от места применения пестицидов. В оповещении рекомендуется указывать класс опасности вещества. Федеральный закон от 30.12.2020 № 490-ФЗ «О пчеловодстве в Российской Федерации» регламентирует: «Не позднее чем за три дня до проведения работ по применению пестицидов и агрохимикатов лица, ответственные за проведение таких работ, обеспечивают доведение до населения населенных пунктов, расположенных на расстоянии до 7 километров от границ запланированных к обработке пестицидами и агрохимикатами земельных участков, через средства массовой информации (радио, печатные органы, электронные и другие средства связи и коммуникации) информации о таких работах [<https://www.garant.ru/products/ipo/prime/doc/400056366/>]. Проблема заключается в том, что ни в каких нормативных документах не регламентируется начальный срок оповещения, а указывается только крайний срок до проведения обработок. В связи с этим оповещение об обработках пестицидами в начале вегетационного сезона часто трактуется как соответствие установленным правилам, поскольку осуществляется «не позднее чем за три дня до проведения работ по применению пестицидов и агрохимикатов».

Другая причина потери пчелиных семей заключается в несвоевременных или неверных действиях пчеловодов, которые обусловлены недостаточной их информированностью. Например, известно, что вывоз пчелиных семей из зоны применения инсектицида является более предпочтительным не только по биологическим, но и по экономическим причинам по сравнению с изоляцией в гнездах на месте [43]. Период изоляции в случае обработок инсектицидами, которые не вызывают контактную интоксикацию (препараты на основе фозалона, тиаклоприда, ацетамиприда), определяется периодом жизни цветков обработанных растений. Сохранение опасности для пчел обработанной пестицидами растительности зависит от продолжительности жизни отдельных цветков и продолжительности выделения ими нектара, привлекающего пчел. Продолжительность жизни отдельных цветков у большинства энтомофильных растений составляет 1–3 дня, и на 3–4-й день они обычно не выделяют достаточного количества нектара. В соцветиях увядание отдельных цветков не уменьшает их привлекательности для пчел. Поэтому сложноцветные сельскохозяйственные (подсолнечник, цикорий, сафлор) и сорные (одуванчик, осот, бодяк, татарник) растения могут представлять опасность для пчел при обработке стойкими препаратами в течение всего периода цветения. Запрещение химических обработок энтомофильных сельскохозяйственных культур в фазу цветения не может полностью исключить возможность контакта пчел с пестицидами. Если использовались препараты с высокой контактной токсичностью (препараты на основе диазинона, диметоата, фипронила, имидаклоприда и их комбинированные формы с пиретроидами), необходима кочевка пасеки за пределы погранично-защитной зоны.

Отсутствие официальной регистрации пчеловодного хозяйства и ветеринарно-санитарного паспорта пасеки также затрудняют осуществление организационных мероприятий по профилактике отравления пчел пестицидами и ядохимикатами. На примере Новосибирской области проследим тенденции изменения количества пчеловодов, регистрирующих свои пасеки (таблица).

Таблица

Количество зарегистрированных пасек и пчелосемей в районах Новосибирской области в 2020 и 2023 гг.
[\[https://mcx.nso.ru/page/1050\]](https://mcx.nso.ru/page/1050)
Number of registered apiaries and bee colonies in the districts of the Novosibirsk region in 2020 and 2023.
[\[https://mcx.nso.ru/page/1050\]](https://mcx.nso.ru/page/1050)

Район	Число пчелосемей, шт./пчеловодов, чел.		Район	Число пчелосемей, шт./пчеловодов, чел.	
	2020 г.	2023 г.		2020 г.	2023 г.
Краснозерский	601/54	742/60	Барабинский	166/15	276/29
Карасукский	423/37	441/33	Здвинский	125/20	545/25
Баганский	403/42	449/55	Каргатский	278/25	397/38
Купинский	687/68	627/60	Чулымский	650/48	669/49
Чистоозерный	161/16	112/12	Колыванский	1446/89	1485/82
Кочковский	741/55	946/59	Коченевский	656/53	1077/69
Доволенский	371/23	471/25	Новосибирский	222/12	240/18
Татарский	189/87	698/50	Искитимский	1951/89	228/16
Чановский	114/12	65/2	Ордынский	611/80	1097/52
Венгеровский	818/41	545/51	Черепановский	2918/125	3755/145
Северный	179/28	214/28	Маслянинский	1722/94	1777/94
Куйбышевский	170/8	83/9	Тогучинский	3148/201	3354/220
Мошковский	453/20	883/36	Болотнинский	3221/110	2690/110
Кыштовский	Нет данных	855/86	Усть-Таркский	Нет данных	142/30
Итого по Новосибирской области					
Пчелосемей				25062	26415
Пчеловодов				1570	1597

Увеличение в 2023 г. по сравнению с 2020 г. зарегистрированных пчелохозяйств с 1570 до 1597 и, соответственно, пчелиных семей с 25062 до 26415 свидетельствует об осознании этой проблемы пчеловодами Новосибирской области. Однако из числа зарегистрировавшихся в 2023 г. только у 23% пчеловодов был оформлен ветеринарно-санитарный паспорт.

Кроме указанных организационно-хозяйственных мероприятий, перечисленные выше факторы и их сочетания, определяющие безопасность пестицидов для медоносных пчел, следует учитывать при использовании средств защиты растений, особенно на энтомофильных культурах [44]. Следует учитывать, что токсическое действие пестицидов на медоносных пчел определяется:

– физико-химическими свойствами препарата;

– способом проникновения пестицида в организм пчел;

– временем контакта насекомых с пестицидом и его периодичностью;

– проявлением синергизма при совместном применении препаратов для защиты растений;

– породой и физиологическим состоянием пчел [45];

– абиотическими факторами (погодные условия, ландшафт местности).

Использование высокоселективных препаратов является самым эффективным способом предотвращения интоксикации медоносных пчел. Наиболее выраженной селективностью по сравнению с химическими характеризуются биологические инсектициды, поэтому они, как правило, нетоксичны для пчел и других насекомых-опылителей. Но и в пределах данной группы имеются различия, основанные на биологических особенностях энтомопато-

генных микроорганизмов-продуцентов, а также определяемые токсическими свойствами наполнителей. Тем не менее в большинстве своем биологические препараты, в том числе и инсектицидного действия, не представляют какой-либо опасности для медоносных пчел.

Современное пчеловодство сталкивается с проблемой повышения экологической опасности окружающей природной среды, прежде всего, в связи с увеличением концентрации ксенобиотиков в агроценозах. Тенденция к наращиванию использования пестицидов и агрохимикатов, несмотря на успехи в области органического растениеводства, продолжается, а эффективность инсектицидных препаратов, следовательно, их опасность для нецелевых видов насекомых, объективно возрастает. В Государственном каталоге пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации по состоянию на 27 января 2022 г. химические соединения и их комбинации с инсектицидной активностью (всего 80 соединений) и относящиеся к 1-му классу опасности составляют 65, ко 2-му – 6 и к 3-му – 28%. Преимущественное использование инсектицидов 2-го и 3-го классов опасности на энтомофильных культурах является очевидным и необходимым путём решения проблемы пестицидной интоксикации пчёл.

С другой стороны, современное пчеловодство не может избежать постоянного использования акарицидов для подавления популяций пчелиного клеща (*Varroa jacobsoni* Oudemans, 1904 и *Varroa destructor* Anderson & Trueman, 2000), что является постоянным химическим стрессом для пчелиных семей. Уровень адаптации медоносных пчёл к складывающимся экологическим условиям во многом определяется технологией пчеловодства, которая должна быть направлена на поддержание и увеличение количества пчелиных семей, которые являются не только источником уникальных продуктов пчеловодства, но и существенным фактором поддержания функционирования фитоценозов на нашей планете.

Актуальным решением для предотвращения гибели пчёл от пестицидов, в том числе и для исключения пролонгированных эффектов их негативного влияния на жизнедеятельность пчелиных семей, является кочёвка пасек и их

стационарное размещение на территориях, где ведётся органическое сельскохозяйственное производство [46].

Отказ от синтетических пестицидов в органическом земледелии имеет множество преимуществ [47]. Органическое земледелие повышает производительность и сохранность медоносных пчел в период дефицита ресурсов, вероятно, за счет непрерывного снабжения цветочными ресурсами, включая сорняки, покровные культуры и естественные энтомофильные растения. Были представлены доказательства того, что органическое земледелие повышает медопродуктивность пчелосемей, может смягчить неблагоприятное воздействие интенсивного сельского хозяйства на жизнеспособность медоносных пчел, повысить опыляемость не только полевых культур, но и в более широком ландшафте. В целом положительные эффекты (ресурсы диких цветов, запрет на пестициды) превалируют над отрицательными (например, снижение урожайности семян рапса) [48]. Это еще предстоит экспериментально подтвердить, но описанные эффекты предполагают, что органическое земледелие может принести пользу как сохранению биоразнообразия, так и сельскохозяйственному производству.

Важным аспектом является оптимизация кормовой базы пасек за счёт посева припасечных культур [49].

Для повышения устойчивости пчёл к токсическому влиянию пестицидов и агрохимикатов в современном пчеловодстве необходимо использовать препараты на основе пре- и пробиотиков, поскольку состояние микробиоты желудочно-кишечного тракта пчёл, в частности молочнокислые бактерии, оказывает влияние на устойчивость насекомых к химическим токсикозам [50].

Поскольку в большинстве технологий защиты растений, а следовательно, и в агроценозах, распространено применение нескольких химических веществ (инсектицидов, фунгицидов, гербицидов, дефолиантов и др.), вероятно, необходимо, чтобы информация о вредных интерактивных эффектах совместного применения в отношении нецелевых объектов (в том числе медоносных пчёл) была доступна на этикетках пестицидов.

Таким образом, в связи с установленным негативным влиянием пестицидов на нецелевые виды насекомых-опылителей и в целях предотвращения сокращения популяций медоносных пчёл в результате пестицидных токсикозов необходимо:

1. Соблюдение требований нормативно-правовых документов, касающихся применения пестицидов.

2. Обеспечение пасек оптимальной кормовой базой как за счёт посева припасечных культур, так и за счёт кочёвки пасек.

3. Исключение высокотоксичных (1-го и 2-го класса опасности) инсектицидов из программ защиты энтомофильных культур.

4. Реализация адаптивного потенциала медоносных пчёл в меняющихся экологических условиях окружающей среды.

5. Переход к органическому земледелию при возделывании энтомофильных культур.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Threat Ahead? An Experts' Opinion on the Need for Red Lists of Bees to Mitigate Accelerating Extinction Risks – The Case of Austria* / S. Kratschmer, H. Zettel, E. Ockermüller [et al.] // *Bee World*. – 2021. – Vol. 98, N 3. – P. 74–77. – DOI: 10.1080/0005772X.2021.1940734.
2. *Sanchez-Bayo F., Wyckhuys K. A.G., Sanchez-Bayo F.* Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers // *Biological Conservation*. – 2019. – Vol. 232. – P. 8–27. – <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>.
3. *Safeguarding pollinators and their values to human well-being* / S. Potts, V. Imperatriz-Fonseca, H. Ngo [et al.] // *Nature*. – 2016. – Vol. 540. – P. 220–229. – <https://doi.org/10.1038/nature20588>.
4. *Lu C., Warchol K.M., Callahan R.A.* In situ replication of honey bee colony collapse disorder // *Bull Insectol.* – 2012. – Vol. 65. – P. 99–106.
5. *A national survey of managed honey bee 2015–2016 annual colony losses in the USA* / K. Kulhanek, N. Steinhauer, K. Rennich [et al.] // *Journal of Apicultural Research*. – 2017. – Vol. 56. – P. 328–340. – <https://doi.org/10.1080/00218839.2022.2113329>.
6. *Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019–2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement* / A. Gray, N. Adjlane, A. Arab [et al.] // *Journal of Apicultural Research*. – 2023. – Vol. 62, N 2. – P. 204–210. – DOI: 10.1080/00218839.2022.2113329.
7. *A review of the effects of agricultural intensification and the use of pesticides on honey bees and their products and possible palliatives* / D.C. Blettler, J. A. Biurrun-Manresa, G. A. Fagúndez // *Spanish Journal of Agricultural Research*. – 2022. – Vol. 20, N 4. – P. 40–51.
8. *Пономарев А.* Отравление пчел пестицидами в России. Уроки 2019 года. [Электронный ресурс]. – URL: <https://naturalbeekeeping.ru/articles/otravlenie-pchel-pestitsidami-v-rossii-uroki-2019-goda/> (дата обращения: 20.03.2023).
9. *Любимов А.* Угрожает ли массовая гибель пчел продовольственной безопасности страны // *Российская газета – Экономика Сибири*. – 2023. – № 92. [Электронный ресурс]. – URL: <https://rg.ru/2023/04/27/reg-sibfo/ugrozhaet-li-massovaia-gibel-pchel-prodovolstvennoj-bezopasnosti-strany.html> (дата обращения: 12.08.2023).
10. *Наумкин В.П., Велкова Н.И.* Антропогенное воздействие на медоносные растения и пчёл // *Пчеловодство*. – 2023. – № 3. – С. 4–6.
11. *Bee pollination outperforms pesticides for oilseed crop production and profitability* / C. Rui, B. Vincent, P. Thomas [et al.] // *Proc. R. Soc. B*. – 2019. – Vol. 286. – P. 1550–1550. – <http://doi.org/10.1098/rspb.2019.1550>.
12. *Perrot T., Bretagnolle V., Gaba S.* Environmentally friendly landscape management improves oilseed rape yields by increasing pollinators and reducing pests // *Journal of Applied Ecology*. – 2022. – Vol. 59. – P. 1825–1836. – <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14190>.
13. *Neonicotinoid pesticide applications affect pollinator abundance and visitation, leading to implications for sunflower production (*Helianthus annuus* L.)* / M. S. Saleem, M. F. Akbar, M. A. Javed, A. Sultan // *Cogent Food & Agriculture*. – 2023. – Vol. 9, N 1. – P. – DOI: 10.1080/23311932.2023.2258773.

14. Leach A., Pecenka J., Kaplan I. Does IPPM bear fruit? Evaluating reduced-risk insecticide programmes on pests, pollinators and marketable yield // *Journal of Applied Ecology*. – 2022. – Vol. 59. – P. 2993–3002. – <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14294>.
15. Соловьева Л.Ф. Исследование опасности пестицидов для пчел // *Пчеловодство*. – 2003. – № 2. [Электронный ресурс] – URL: <https://beejournal.ru/borba-s-boleznyami-i-vreditelyami/2893-issledovanie-opasnosti-pestitsidov-dlya-pchel>.
16. Quantifying the impact of pesticides on learning and memory in bees / H. Siviter, J. Koricheva, M.J.F. Brown [et al.] // *J. Appl. Ecol.* – 2018. – Vol. 55. – P. 2812–2821. – <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13193>.
17. The weakest link: Haploid honey bees are more susceptible to neonicotinoid insecticides / A. Friedli, G. R. Williams, S. Bruckner [et al.] // *Chemosphere*. – 2020. – Vol. 42. – <https://doi.org/10.1016/j.chemosp>.
18. Negative effects of neonicotinoids on male honeybee survival, behaviour and physiology in the field / L. Straub, L. Villamar-Bouza, S. Bruckner [et al.] // *Journal of Applied Ecology*. – 2021. – Vol. 58. – P. 2515–2528. – <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14000>.
19. Demortain D. The science behind the ban: the outstanding impact of ecotoxicological research on the regulation of neonicotinoids // *Current Opinion in Insect Science*. – 2021, Vol. 42. – P. 2-17. – <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.02.017>.
20. Uh P., Brühl C.A. The Impact of Pesticides on Flower-Visiting Insects: A Review with Regard to European Risk Assessment // *Environ Toxicol Chem.* – 2019. – Vol. 38. – P. 2355–2370. – <https://doi.org/10.1002/etc.4572>.
21. Multiple routes of pesticide exposure for honey bees living near agricultural fields / C.H. Krupke, G.J. Hunt, B.D. Eitzer [et al.] // *PLoS One*. – 2012. – Vol. 7. – e29268.
22. EFSA Review of the evidence on bee background mortality/ EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR) / A.H. Jerez, P. Adriaanse, Ph. Berny [et al.] // *EFSA Journal*. – 2022. – Vol. 20, N. 1.
23. Seed treatment with neonicotinoid insecticides does not affect the foraging behavior of honey bees / K. Chandrakumara, K. Muralimohan [et al.] // *Apidologie*. – 2023. – Vol. 54 (29). – <https://doi.org/10.1007/s13592-023-01007-x>.
24. Wood T.J., Goulson D. The environmental risks of neonicotinoid pesticides: A review of the evidence post 2013 // *Environ Sci Pollut Res.* – 2017. – Vol. 24. – P. 17285–17325.
25. Rortais A., Arnold G., Dorne J.-L. Risk assessment of pesticides and other stressors in bees: Principles, data gaps and perspectives from the European food safety authority // *Science of the Total Environment*. – 2017. – Vol. 587. – P. 524–537.
26. O'Neal S., Anderson T.D., Wu-Smart J.Y. Interactions between pesticides and pathogen susceptibility in honey bees // *Current Opinion in Insect Science*. – 2018. – Vol. 26. – P. 57–62. – <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.01.006>.
27. Long-term field-realistic exposure to a next-generation pesticide, flupyradifurone, impairs honey bee behaviour and survival / S. Tosi, J. C. Nieh, A. Brandt [et al.] // *Communications Biology*. – 2021. – Vol. 4, No. 1. – P. 805. – <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02336-2>.
28. Unravelling the molecular determinants of bee sensitivity to neonicotinoid insecticides / C. Manjon, B.J. Troczka, M. Zaworra [et al.] // *Current Biology*. – 2018. – N 28. – P. 1137–1143. – <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.02.045>.
29. Field rates of Sivanto (flupyradifurone) and Transform(R) (sulfoxaflor) increase oxidative stress and induce apoptosis in honey bees (*Apis mellifera* L.) / P. Chakrabarti, E.A. Carlson, H.M. Lucas [et al.] // *PLoS One*. – 2020. – Vol. 15. – <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233033>.
30. Exposure to thiamethoxam during the larval phase affects synapsin levels in the brain of the honey bee / D.A. Tavares, T.C. Roat, E.C.M. Silva-Zacarin [et al.] // *Ecotoxicology and Environmental Safety*. – 2019. – Vol. 169. – P. 523–528. – <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv>.
31. Apitox - The COLOSS Task Force to Investigate the Impact of Pesticides on Bees / N.S. Delso, P. Mędrzycki, F. Sgolastra [et al.] // *Bee World*. – 2022. – Vol. 99, N 1. – P. 32–34. – DOI: 10.1080/0005772X.2021.2016291.
32. Калинникова Т.Б., Гатиятуллина А.Ф., Егорова А.В. Токсическое действие пестицидов на пчел: обзор // *Российский журнал прикладной экологии*. – 2021. – № 3 (27). – С. 50–57.
33. Илларионов А.И., Деркач А.А. Токсикодинамика медоносной пчелы при различных путях поступления неоникотиноидных инсектицидов в организм насекомых // *Вестник Воронежского государственного аграрного университета*. – 2009. – Вып. 1 (20). – С. 23–28.

34. *Synergistic mortality between a neonicotinoid insecticide and an ergosterol-biosynthesis-inhibiting fungicide in three bee species* / F. Sgolastra, P. Medrzycki, L. Bortolotti [et al.] // *J. Pest. Manag. Sci.* – 2017. – Vol. 73. – P. 1236–1243. – <https://doi.org/10.1002/ps.4449>.
35. *Ricke D.F., Lin C.H., Johnson R.M. Pollen Treated with a Combination of Agrochemicals Commonly Applied During Almond Bloom Reduces the Emergence Rate and Longevity of Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Queens* // *J. Insect Sci.* – 2021. – Vol. 21(6) – P. 5. – DOI: 10.1093/jisesa/icab074.PMID: 34723328.
36. *Iwasaki J.M., Hogendoorn K., Iwasaki J.M. Non-insecticide pesticide impacts on bees: A review of methods and reported outcomes* // *Agriculture, Ecosystems&Environment.* – 2021. – Vol. 314. – <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107423>.
37. *Tosi S., Nieh J.C. Lethal and sublethal synergistic effects of a new systemic pesticide, flupyradifurone (Sivanto(R)), on honeybees* // *Proceedings. Biological Sciences.* – 2019. – Vol. 286. – <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0433>.
38. *Effects of sublethal doses of glyphosate on honeybee navigation* / M.S. Balbuena, L. Tison, M.L. Hahn [et al.] // *The Journal of experimental biology.* – 2015. – Vol. 218 (17). – P. 2799–2805.
39. *Honey bee queen health is unaffected by contact exposure to pesticides commonly found in beeswax* / A. McAfee, J.P. Milone, B. Metz [et al.] // *Sci Rep.* – 2021. – Jul 26, Vol. 11 (1). – DOI: 10.1038/s41598-021-94554-1.
40. *Milone J.P., Tarpy D.R. Effects of developmental exposure to pesticides in wax and pollen on honey bee (Apis mellifera) queen reproductive phenotypes* // *Sci Rep.* – 2021. – Vol. 11 (1). – P. 1020. – <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80446-3>.
41. *Sublethal exposure to clothianidin during the larval stage causes long-term impairment of hygienic and foraging behaviours of honey bees* / N. Morfin, P.H. Goodwin, A. Correa-Benitez [et al.] // *Apidologie.* – 2019. – N 50. – P. 595–605. – <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00672-1>.
42. *Tong L., Nieh J.C., Tosi S. Combined nutritional stress and a new systemic pesticide (flupyradifurone, Sivanto(R)) reduce bee survival, food consumption, flight success, and thermoregulation* // *Chemosphere.* – 2019. – Vol. 237. – P. 124408. – <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124408>.
43. *Деркач А.А., Илларионов А.И. Обоснование приемов защиты медоносной пчелы от инсектицидов в агроценозах* // *Защита и карантин растений.* – 2021. – № 12. – С. 7–10.
44. *Осинцева Л.А. Экология медоносной пчелы, Apis mellifera L.: влияние пестицидов и других антропогенных факторов.* – Новосибирск, 1999. – 45 с.
45. *Toxicity of neonicotinoid insecticides on different honey bee genotypes* D. Laurino, A. Manino, A. Patetta [et al.] // *Bulletin of Insectology.* – 2013. – Vol. 66 (1). – P. 119–126.
46. *Organic beekeeping in Russia* / L.A. Osintseva, V.L. Petukhov, A.I. Zheltikov [et al.] // *BIO Web Conf.* – 2021. – Vol. 36: International Scientific and Practical Conference “Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture” (FSRAABA 2021). – DOI: 10.1051/bioconf/20213606022; [https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2021/08/bioconf_fsraaba2021_06022/bioconf_fsraaba2021_06022.html](https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2021/08/bioconf_fsraaba2021_06022/bioconf_fsraaba2021_06022/bioconf_fsraaba2021_06022.html).
47. *The rejection of synthetic pesticides in organic farming has multiple benefits* / C.A. Brühl, J.G. Zaller, M. Liess [et al.] // *Trends in Ecology & Evolution.* – 2021. – <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.11.001>.
48. *Organic farming positively affects honeybee colonies in a flower-poor period in agricultural landscapes* / D. Wintermantel, J.-F. Odoux, J. Chadœuf [et al.] // *J. Appl. Ecol.* – 2019. – Vol. 56. – P. 1960–1969. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13447>.
49. *Осинцева Л.А. Кормовая база пчеловодства Новосибирской области.* – Новосибирск, 2005. – 74 с.
50. *Characterization of Apis mellifera Gastrointestinal Microbiota and Lactic Acid Bacteria for Honeybee Protection-A Review* / A. Nowak, D. Szczuka, A. Górczyńska [et al.] // *Cells.* – 2021. – Mar 22, Vol. 10 (3). – P. 701. – DOI: 10.3390/cells10030701. PMC article.

REFERENCES

1. *Kratschmer S., Zettel H., Ockermüller E. [et al.], Threat Ahead? An Experts' Opinion on the Need for Red Lists of Bees to Mitigate Accelerating Extinction Risks – The Case of Austria, Bee World, 2021, Vol. 98, No. 3, pp. 74–77, DOI: 10.1080/0005772X.2021.1940734.*

2. Sanchez-Bayo F., Wyckhuys K.A.G., Sanchez-Bayo F., Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers, *Biological Conservation*, 2019, Vol. 232, pp. 8–27, <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>.
3. Safeguarding pollinators and their values to human well-being / S. Potts, V. Imperatriz-Fonseca, H. Ngo [et al.], *Nature*, 2016, Vol. 540, pp. 220–229, <https://doi.org/10.1038/nature20588>.
4. Lu C., Warchol K.M., Callahan R.A., In situ replication of honey bee colony collapse disorder, *Bull Insectol*, 2012, Vol. 65, pp. 99–106.
5. Kulhanek K., Steinhauer N., Rennich K. [et al.], A national survey of managed honey bee 2015–2016 annual colony losses in the USA, *Journal of Apicultural Research*, 2017, Vol. 56, pp. 328–340, <https://doi.org/10.1080/002188>.
6. Gray A., Adjlane N., Arab A. [et al.], Honey bee colony loss rates in 37 countries using the COLOSS survey for winter 2019–2020: the combined effects of operation size, migration and queen replacement, *Journal of Apicultural Research*, 2023, Vol. 62, No. 2, pp. 204–210, DOI: 10.1080/00218839.2022.2113329.
7. Blettler D.C., Biurrun-Manresa J.A., Fagúndez G.A., A review of the effects of agricultural intensification and the use of pesticides on honey bees and their products and possible palliatives, *Spanish Journal of Agricultural Research*, 2022, Vol. 20, No. 4, pp. 40–51.
8. Ponomarev A., *Otravlenie pchel pestitsidami v Rossii. Uroki 2019 goda*. (Poisoning of bees with pesticides in Russia. Lessons from 2019.): <https://naturalbeekeeping.ru/articles/otravlenie-pchel-pestitsidami-v-rossii-uroki-2019-goda/>. (In Russ.)
9. Lyubimov A., *Rossiiskaya gazeta-Ehkonomika Sibiri*, 2023, No. 92: <https://rg.ru/2023/04/27/reg-sibfo/ugrozhaet-li-massovaia-gibel-pchel-prodovolstvennoj-bezopasnosti-strany.html>. (In Russ.)
10. Naumkin V.P., Velkova N.I., *Pchelovodstvo*, 2023, No. 3, pp. 4–6. (In Russ.)
11. Rui C., Vincent B., Thomas P. [et al.], Bee pollination outperforms pesticides for oilseed crop production and profitability, *Proc. R. Soc. B*, 2019, Vol. 286, pp. 1550–1550, URL: <http://doi.org/10.1098/rspb.2019.1550>.
12. Perrot T., Bretagnolle V., Gaba S., Environmentally friendly landscape management improves oilseed rape yields by increasing pollinators and reducing pests, *Journal of Applied Ecology*, 2022, Vol. 59, pp. 1825–1836, URL: <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14190>.
13. Saleem M.S., Akbar M.F., Javed M.A., Sultan A., Neonicotinoid pesticide applications affect pollinator abundance and visitation, leading to implications for sunflower production (*Helianthus annuus* L.), *Cogent Food & Agriculture*, 2023, Vol. 9, No. 1, DOI: 10.1080/23311932.2023.2258773.
14. Leach A., Pecenska J., Kaplan I., Does IPPM bear fruit? Evaluating reduced-risk insecticide programmes on pests, pollinators and marketable yield, *Journal of Applied Ecology*, 2022, Vol. 59, pp. 2993–3002, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14294>.
15. Solov'eva L.F., *Pchelovodstvo*, 2003: <https://beejournal.ru/borba-s-boleznyami-i-vreditelyami/2893-issledovanie-opasnosti-pestitsidov-dlya-pchel>. (In Russ.)
16. Siviter H., Koricheva J., Brown M.J.F. [et al.], Quantifying the impact of pesticides on learning and memory in bees, *J. Appl. Ecol*, 2018, Vol. 55, P. 2812–2821, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13193>.
17. Friedli A., Williams G.R., Bruckner S. [et al.], The weakest link: Haploid honey bees are more susceptible to neonicotinoid insecticides, *Chemosphere*, 2020, Vol. 42, <https://doi.org/10.1016/j.chemosp>.
18. Straub L., Villamar-Bouza L., Bruckner S. [et al.], Negative effects of neonicotinoids on male honeybee survival, behaviour and physiology in the field, *Journal of Applied Ecology*, 2021, Vol. 58, pp. 2515–2528, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14000>.
19. Demortain D., The science behind the ban: the outstanding impact of ecotoxicological research on the regulation of neonicotinoids, *Current Opinion in Insect Science*, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.cois.2021.02.017>.
20. Uh P., Brühl C.A., The Impact of Pesticides on Flower-Visiting Insects: A Review with Regard to European Risk Assessment, *Environ Toxicol Chem*, 2019, Vol. 38, pp. 2355–2370, <https://doi.org/10.1002/etc.4572>.
21. Krupke C.H., Hunt G.J., Eitzer B.D. [et al.], Multiple routes of pesticide exposure for honey bees living near agricultural fields, *PLoS One*, 2012, Vol. 7, e29268.
22. Antonio Hernandez Jerez, Paulien Adriaanse, Philippe Berny [et al.], EFSA Review of the evidence on bee background mortality/ EFSA Panel on Plant Protection Products and their Residues (PPR), *EFSA Journal*, 2022, Vol. 20, No. 1.

23. Chandrakumara K., Muralimohan K. [et al.], Seed treatment with neonicotinoid insecticides does not affect the foraging behavior of honey bees, *Apidologie*, 2023, Vol. 54 (29), <https://doi.org/10.1007/s13592-023-01007-x>.
24. Wood T.J., Goulson D., The environmental risks of neonicotinoid pesticides: A review of the evidence post 2013, *Environ Sci Pollut Res*, 2017, Vol. 24, pp. 17285–17325.
25. Rortais A., Arnold G., Dorne J.-L., Risk assessment of pesticides and other stressors in bees: Principles, data gaps and perspectives from the European food safety authority, *Science of the Total Environment*, 2017, Vol. 587, pp. 524–537.
26. O'Neal S., Anderson T.D., Wu-Smart J.Y., Interactions between pesticides and pathogen susceptibility in honey bees, *Current Opinion in Insect Science*, 2018, Vol. 26, pp. 57–62, <https://doi.org/10.1016/j.cois.2018.01.006>.
27. Tosi S., Nieh J.C., Brandt A. [et al.], Long-term field-realistic exposure to a next-generation pesticide, flupyradifurone, impairs honey bee behaviour and survival, *Communications Biology*, 2021, Vol. 4, No. 1, pp. 805, <https://doi.org/10.1038/s42003-021-02336-2>.
28. Manjon C., Troczka B.J., Zaworra M. [et al.], Unravelling the molecular determinants of bee sensitivity to neonicotinoid insecticides, *Current Biology*, 2018, No. 28, pp. 1137–1143, <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.02.045>.
29. Chakrabarti P., Carlson E.A., Lucas H.M. [et al.], Field rates of Sivanto (flupyradifurone) and Transform(R) (sulfoxaflor) increase oxidative stress and induce apoptosis in honey bees (*Apis mellifera* L.), *PLoS One*, 2020, Vol. 15, <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0233033>.
30. Tavares D.A., Roat T.C., Silva-Zacarin E.C.M. [et al.], Exposure to thiamethoxam during the larval phase affects synapsin levels in the brain of the honey bee, *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 2019, Vol. 169, pp. 523–528, <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.05.045>.
31. Delso N.S., Mędrzycki P., Sgolastra F., [et al.], Apitox - The COLOSS Task Force to Investigate the Impact of Pesticides on Bees, *Bee World*, 2022, Vol. 99, No. 1, pp. 32–34, DOI: 10.1080/0005772X.2021.2016291.
32. Kalinnikova T.B., Gatiyatullina A.F., Egorova A.V., *Rossiiskii zhurnal prikladnoi ehkologii*, 2021, No. 3 (27), pp. 50–57. (In Russ.)
33. Illarionov A.I., Derkach A.A., *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2009, Vyp. 1 (20), pp. 23–28. (In Russ.)
34. Sgolastra F., Medrzycki P., Bortolotti L. [et al.], Synergistic mortality between a neonicotinoid insecticide and an ergosterol-biosynthesis-inhibiting fungicide in three bee species, *J. Pest. Manag. Sci*, 2017, Vol. 73, pp. 1236–1243, <https://doi.org/10.1002/ps.4449>.
35. Rieke D.F., Lin C.H., Johnson R.M., Pollen Treated with a Combination of Agrochemicals Commonly Applied During Almond Bloom Reduces the Emergence Rate and Longevity of Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Queens, *J. Insect Sci*, 2021, Vol. 21 (6), pp. 5, DOI: 10.1093/jisesa/ieab074.PMID: 34723328/.
36. Iwasaki J.M., Hogendoorn K. Iwasaki J.M., Non-insecticide pesticide impacts on bees: A review of methods and reported outcomes, *Agriculture, Ecosystems&Environment*, 2021, Vol. 314, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2021.107423>.
37. Tosi S., Nieh J.C., Lethal and sublethal synergistic effects of a new systemic pesticide, flupyradifurone (Sivanto(R)), on honeybees, *Proceedings. Biological Sciences*, 2019, Vol. 286, <https://doi.org/10.1098/rspb.2019.0433>.
38. Balbuena M.S., Tison L., Hahn M.L. [et al.], Effects of sublethal doses of glyphosate on honeybee navigation, *The Journal of experimental biology*, 2015, Vol. 218 (17), pp. 2799–2805.
39. McAfee A., Milone J.P., Metz B. [et al.], Honey bee queen health is unaffected by contact exposure to pesticides commonly found in beeswax, *Sci Rep.*, 2021, Jul 26, Vol. 11 (1), DOI: 10.1038/s41598-021-94554-1.
40. Milone J.P., Tarpay D.R., Effects of developmental exposure to pesticides in wax and pollen on honey bee (*Apis mellifera*) queen reproductive phenotypes, *Sci Rep*, 2021, Vol. 11 (1), pp. 1020, <https://doi.org/10.1038/s41598-020-80446-3>.
41. Morfin N., Goodwin P.H., Correa-Benitez A. [et al.], Sublethal exposure to clothianidin during the larval stage causes long-term impairment of hygienic and foraging behaviours of honey bees, *Apidologie*, 2019, No. 50, pp. 595–605, <https://doi.org/10.1007/s13592-019-00672-1>.

42. Tong L., Nieh J.C., Tosi S., Combined nutritional stress and a new systemic pesticide (flupyradifurone, Sivanto(R)) reduce bee survival, food consumption, flight success, and thermoregulation, *Chemosphere*, 2019, Vol. 237, 124408, <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2019.124408>.
43. Derkach A.A., Illarionov A.I., *Zashchita i karantin rastenii*, 2021, No. 12, pp. 7–10. (In Russ.)
44. Osintseva L.A., *Ehkologiya medonosnoi pchely, Apis mellifera L.: vliyanie pestitsidov i drugikh antropogennykh faktorov* (Ecology of the honey bee, *Apis mellifera* L.: influence of pesticides and other anthropogenic factors), Novosibirsk, 1999, 45 p.
45. Laurino D., Manino A., Patetta A. [et al.], Toxicity of neonicotinoid insecticides on different honey bee genotypes, *Bulletin of Insectology*, 2013, Vol. 66 (1), pp. 119–126.
46. Osintseva L.A., Petukhov V.L., Zheltikov A.I. [et al.], Organic beekeeping in Russia, *BIO Web Conf.*, 2021, Vol. 36, International Scientific and Practical Conference “Fundamental Scientific Research and Their Applied Aspects in Biotechnology and Agriculture” (FSRAABA 2021), DOI: 10.1051/bioconf/20213606022, https://www.bio-conferences.org/articles/bioconf/abs/2021/08/bioconf_fsraaba2021_06022/bioconf_fsraaba2021_06022.html.
47. Brühl C.A., Zaller J.G., Liess M. [et al.], The rejection of synthetic pesticides in organic farming has multiple benefits, *Trends in Ecology & Evolution*, 2021, <https://doi.org/10.1016/j.tree.2021.11.001>.
48. Wintermantel D., Odoux J.-F., Chadœuf J. [et al.], Organic farming positively affects honeybee colonies in a flower-poor period in agricultural landscapes, *J. Appl. Ecol*, 2019, Vol. 56, pp. 1960–1969, <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13447>.
49. Osintseva L.A., *Kormovaya baza pchelovodstva Novosibirskoi oblasti* (Feed base for beekeeping in the Novosibirsk region), Novosibirsk, 2005, 74 p.
50. Nowak A., Szczuka D., Górczyńska A. [et al.], Characterization of *Apis mellifera* Gastrointestinal Microbiota and Lactic Acid Bacteria for Honeybee Protection-A Review, *Cells*, 2021, Mar 22, Vol. 10 (3), pp. 701, DOI: 10.3390/cells10030701. PMC article.