УДК 638.12:592:57.033

А. Б. Третьякова[1], М. Н. Мукминов[1], Н. Д. Шамаев[2]

НЕОНИКОТИНОИДЫ И ИХ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА МЕДОНОСНЫХ ПЧЕЛ: СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОСТРОЙ ПЕРОРАЛЬНОЙ ТОКСИЧНОСТИ ИМИДАКЛОПРИДА И ТИАКЛОПРИДА

[1] Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань, Россия
[2] Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К. И. Скрябина, Москва, Россия
Поступила в редакцию 19.06.2025 г.
Принята к публикации 28.09.2025 г.
doi: 10.5922/vestniknat-2026-1-4

Для цитирования: *Третьякова А. Б., Мукминов М. Н., Шамаев Н. Д.* Неоникотиноиды и их воздействие на медоносных пчел: сравнительный анализ острой пероральной токсичности имидаклоприда и тиаклоприда // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2026. №1. С. 54—69. doi: 10.5922/vestniknat-2026-1-4.

*Проведено сравнительное исследование острой пероральной токсичности неоникотиноидных инсектицидов — имидаклоприда и тиаклоприда — в отношении медоносных пчел (*Apis mellifera*). В лабораторных условиях изучены динамика выживаемости, изменение двигательной активности и репеллентный эффект при воздействии различных концентраций данных препаратов. Установлено, что оба препарата обладают выраженной токсичностью в отношении медоносных пчел, однако характер их действия различается. Имидаклоприд проявляет более быстрое начало токсического эффекта, тиаклоприд развивает токсическое действие постепенно. Анализ поведенческой активности показал, что оба инсектицида вызывают последовательное угнетение двигательных функций, за которым следует развитие гиперактивности, типичной для нейротоксических эффектов неоникотиноидов. Оценка репеллентной активности через коэффициент защитного действия продемонстрировала дозозависимое снижение потребления пищи у пчел под действием обоих веществ.*

Ключевые слова: медоносные пчелы, *Apis mellifera*, острая пероральная токсичность, неоникотиноиды, имидаклоприд, тиаклоприд

Введение

Неоникотиноиды представляют собой одну из наиболее широко используемых групп инсектицидов в современной сельскохозяйственной практике. Их высокая эффективность в борьбе с фитофагами обуслов-

лена селективным воздействием на никотиновые ацетилхолиновые рецепторы нервной системы насекомых [1]. К числу наиболее распространенных представителей данной группы относятся имидаклоприд и тиаклоприд, применяемые для защиты культурных растений от вредителей как в виде предпосевного протравливания семян, так и при обработке вегетирующих растений. Однако все большее количество исследований указывает на потенциальную опасность неоникотиноидов для нецелевых видов, особенно для важнейших опылителей — медоносных пчел, которые играют ключевую роль в поддержании экосистемной устойчивости и продуктивности сельскохозяйственных культур [2]. Пчелы могут подвергаться воздействию этих химических веществ через загрязненный нектар, пыльцу и воду, что создает риск как острой, так и хронической токсичности. Острая пероральная токсичность характеризуется быстрым развитием токсического эффекта после однократного приема вещества и может проявляться как немедленной гибелью особей, так и выраженными сублетальными эффектами, влияющими на поведение, двигательную активность и способность к выживанию.

Ранее нам удалось оценить скорость развития токсического эффекта, степень летальности и характер поведенческих изменений, что имеет важное значение для экологической оценки безопасности применения данных пестицидов в условиях реального сельскохозяйственного производства [3]. Кроме того, актуальным направлением исследований остается сравнительный анализ острой токсичности этих соединений в условиях строго контролируемого перорального воздействия. В настоящее время исследователями выявлены особенности поведения и эволюционной адаптации пчел [4—7]. Изучение динамики выживаемости, изменений двигательной активности и репеллентного поведения позволяет получить комплексное представление о токсикологическом профиле препаратов и их потенциальном воздействии на популяции опылителей [8; 9]. Настоящее исследование направлено на сравнительную оценку острой пероральной токсичности имидаклоприда и тиаклоприда в отношении рабочих пчел *Apis mellifera*, с акцентом на динамику выживаемости, изменение двигательного поведения и репеллентную активность.

Материалы и методы

Отбор медоносных пчел. В исследовании использовались молодые, физиологически зрелые рабочие особи западной медоносной пчелы (*Apis mellifera Linnaeus*, 1758), взятые с пасеки расположенной в Верхнеуслонском районе Республики Татарстан. Использование особей из одной пасеки позволяло минимизировать генетическое и физиологическое разнообразие. Сбор насекомых проводился вечером накануне экспериментальных тестов, чтобы обеспечить их переход в естественное ночное состояние покоя и снизить уровень стресса перед началом исследований. Отобранные пчелы были доставлены в лабораторию с использованием хорошо проветриваемых пластиковых контейнеров. После

сбора пчелы содержались в лабораторных условиях с контролируемыми параметрами: температура поддерживалась на уровне 25±2 °С, относительная влажность воздуха составляла 50—70 %.

Для проведения опытов пчелы случайным образом распределялись по группам по 30 особей в каждой, включая контрольную группу [10]. Такой подход к распределению способствовал соблюдению условий равномерности тестирования и снижал влияние внешних факторов на получаемые результаты. За два часа до начала воздействия исследуемых веществ все особи были лишены доступа к пище. Эта мера была направлена на стандартизацию физиологического состояния насекомых, обеспечивая одинаковое наполнение кишечника у всех испытуемых на момент начала эксперимента, что исключало возможное влияние различий в питании на его результаты.

Рабочие растворы инсектицидов неоникотиноидной группы. В качестве модельных соединений для оценки токсического воздействия на медоносных пчел были выбраны два коммерческих препарата из группы неоникотиноидов: «Калипсо» (Bayer) и «Кофидор Экстра» (Bayer). Данные препараты содержали в качестве активных действующих веществ имидаклоприд (700 г/л) и тиаклоприд (480 г/л) соответственно (табл. 1). Все рабочие растворы готовились непосредственно перед проведением экспериментов с использованием дистиллированной воды, что обеспечивало воспроизводимость условий тестирования и минимизировало влияние посторонних факторов.

Таблица 1

Концентрации рабочих растворов инсектицидов неоникотиноидной группы

Наименование	Активное вещество	Содержание (мкг/объект)
И1	Имидаклоприд	0,2
И2		0,1
И3		0,05
Т1	Тиаклоприд	10
Т2		5
Т3		2,5

Согласно классификации токсичности пестицидов для пчел, имидаклоприд относится к первому классу опасности — веществам с чрезвычайно высокой токсичностью, при этом его медианная летальная доза (далее — LD_{50}) составляет менее 0,1 мкг на особь. Тиаклоприд характеризуется более низкой токсичностью и отнесен к третьему классу опасности, LD_{50} в диапазоне от 1,1 до 10,0 мкг на насекомое [11]. Подготовленные концентрации тестовых растворов позволили смоделировать условия острого воздействия, соответствующего случаю прямого контакта с обработанными поверхностями или потребления нектара и пыльцы, содержащих остаточные количества пестицидов.

Анализ острой пероральной токсичности. Для моделирования условий воздействия химических веществ, содержащихся в нектаре, на медоносных пчел в лабораторных условиях использовали метод кормления через кормушку. В качестве модельного нектара применяли водный раствор сахарозы с концентрацией 500 г/л (50 % масс/об) [12]. В указанный раствор добавляли исследуемые химические соединения в заданных концентрациях.

Пчелы имели свободный доступ к обработанному корму в течение 4 часов. По истечении этого времени кормушка с раствором, содержащим испытуемое вещество, удалялась из экспериментального садка и заменялась на новую, содержащую чистый раствор сахарозы без добавок. Наблюдение за состоянием пчел проводилось в течение 48 часов с момента начала экспозиции. Показатели регистрировались на фиксированных временных интервалах: через 4, 24 и 48 часов от начала эксперимента. Оценивали поведенческие реакции, уровень общей двигательной активности и количество потребленного корма в каждой тестовой группе. Средний уровень смертности (M) рассчитывался как среднее арифметическое значение процентов гибели по всем повторностям и определялся по формуле

$$M = \frac{\sum V}{n},$$

где V — процент гибели в каждом опыте, n –число повторов [13].

На основании данных, полученных при проведении острого перорального воздействия, рассчитывали инсектицидную активность вещества (Y) для каждой опытной группы по следующей формуле

$$Y = \frac{BO}{AO} \cdot \left(1 - \frac{BK}{AK}\right) \cdot 100\,\%,$$

где AO — исходное число особей в опыте, AK — исходное число особей в контроле, BO — число погибших в опыте, BK — число погибших в контроле [14].

Оценка поведенческих реакций и двигательной активности. Для анализа поведенческих реакций и уровня общей двигательной активности медоносных пчел применяли метод визуального наблюдения в условиях строгого контроля микроклимата. Экспериментальные особи содержались в садках при температуре 25 ± 2 °С и относительной влажности воздуха 50—70 %, с соблюдением стандартного фотопериода — 12 часов света / 12 часов темноты. Регистрация поведенческих показателей осуществлялась однократно в течение суток в один и тот же временной интервал, соответствующий периоду максимальной естественной активности насекомых. В ходе наблюдения фиксировали наличие или отсутствие двигательной активности, характер передвижений (ходьба, взмахи крыльями, попытки к взлету), а также степень координации движений. На основании зарегистрированных данных выделены три категории поведенческой активности:

1) нормальная активность — характеризуется высокой подвижностью, сохранением равновесия, адекватной ориентировочной реакцией на внешние раздражители, сопоставимой с показателями контрольных особей;

2) повышенная активность — проявляется в усиленной двигательной активности, частыми и хаотичными взмахами крыльев, беспокойным поведением, гиперреактивностью к внешним стимулам;

3) сниженная активность — определяется по уменьшению двигательной активности, отсутствию реакций на внешние раздражители, нарушению координации движений, а также по замедленной или полностью утраченной способности к ориентации.

Такой подход позволяет объективно оценить влияние исследуемых факторов на поведенческий статус пчел и использовать полученные данные в качестве интегративного индикатора их физиологического состояния.

Определение репеллентной активности. Определялось фактическое количество потребленного водного раствора сахарозы в группах с химическим веществом и чистого раствора сахарозы после обработки инсектицидом через 48 часов после начала эксперимента. На основе экспериментальных данных был рассчитан коэффициент защитного действия (*КЗД*, %) для каждой испытанной концентрации по формуле

$$КЗД = 100 - \frac{0 \cdot 100}{K},$$

где *О* — количество сахарного сиропа, потребленного пчелами из опытной кормушки, *К* — количество сахарного сиропа, потребленного пчелами из контрольной кормушки [11].

Результаты и обсуждение

Анализ острой пероральной токсичности. В рамках исследования острой пероральной токсичности неоникотиноидных инсектицидов — имидаклоприда и тиаклоприда — были изучены их эффекты на выживаемость особей *Apis mellifera* в контролируемых лабораторных условиях. Через 4 часа после воздействия имидаклоприда наблюдалось достоверное снижение выживаемости пчел во всех опытных группах, при этом степень летальности положительно коррелировала с концентрацией вещества. Среднее количество живых особей составило в группе с дозой 0,2 мкг/объект — 12,5, в группе с дозой 0,1 мкг/объект — 17,3, в группе с дозой 0,05 мкг/объект — 14,6 (рис. 1). Данные свидетельствуют о раннем проявлении токсического действия имидаклоприда, при этом наиболее выраженный эффект был зарегистрирован при максимальной испытанной концентрации. Полученные результаты позволяют предположить, что вещество начинает проявлять свое нейротоксическое действие уже в первые часы после контакта, что подтверждается дозозависимым характером снижения выживаемости.

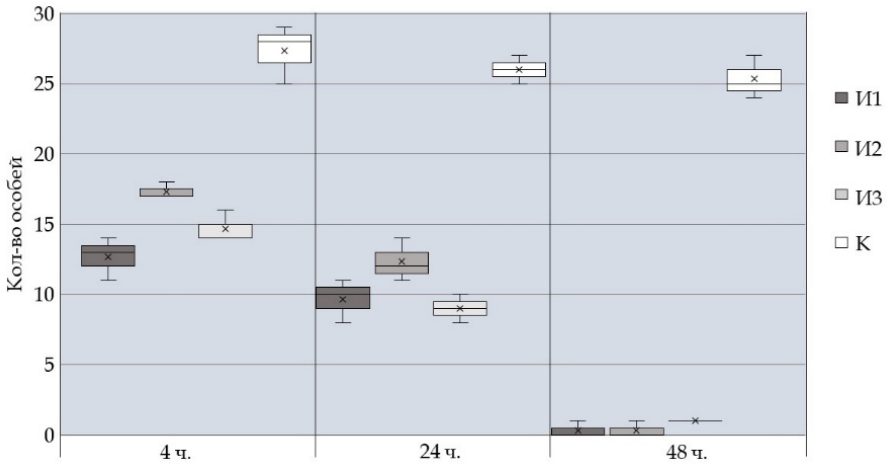

Рис. 1. Динамика выживаемости рабочих пчел *Apis mellifera* в течение 48 часов после острого однократного перорального воздействия различных доз имидаклоприда: И1 — имидаклоприд, 0,2 мкг/объект; И2 — имидаклоприд, 0,1 мкг/объект; И3 — имидаклоприд, 0,05 мкг/объект; К — контроль

К 24 часам после начала эксперимента наблюдалось значительное усиление нейротоксического действия имидаклоприда. Число живых особей в опытных группах снизилось до следующих значений: для группы 0,2 мкг/объект — 9,5; для группы 0,1 мкг/объект — 12,2; для группы 0,05 мкг/объект — 8,9. Эти результаты свидетельствуют о системном характере токсического действия препарата, проявляющегося спустя определенное время после его принятия. Постепенное нарастание эффекта указывает на последовательное развитие патофизиологических изменений в центральной нервной системе насекомых, вызванных стимуляцией никотиновых ацетилхолиновых рецепторов и последующей дезорганизацией нейронной передачи. Отсутствие полной гибели особей на данном этапе может быть связано с индивидуальной вариабельностью физиологической чувствительности пчел к действию неоникотиноидов, что, вероятно, обусловлено генетической или метаболической гетерогенностью особей внутри популяции. По прошествии 48 часов зафиксировано практически полное прекращение жизнедеятельности особей во всех опытных группах. Эти данные подтверждают высокую степень чувствительности *Apis mellifera* к имидаклоприду даже при минимальных дозах, что имеет важное значение с точки зрения экотоксикологической оценки рисков применения рассматриваемого инсектицида в сельскохозяйственной практике.

При оценке острой пероральной токсичности тиаклоприда на начальном этапе эксперимента через 4 часа было отмечено умеренное снижение выживаемости пчел преимущественно в группе с максимальной концентрацией вещества. Количество живых особей составило для группы 10 мкг/объект — 17,2; для группы 5 мкг/объект — 18,4; для группы

2,5 мкг/объект — 20,3 (рис. 2). Указанные показатели свидетельствуют о более мягком начале токсического действия тиаклоприда по сравнению с имидаклопридом, что может быть связано с различиями в скорости связывания с целевыми нейронными структурами, а также особенностями фармакокинетики и метаболизма препарата в организме насекомых.

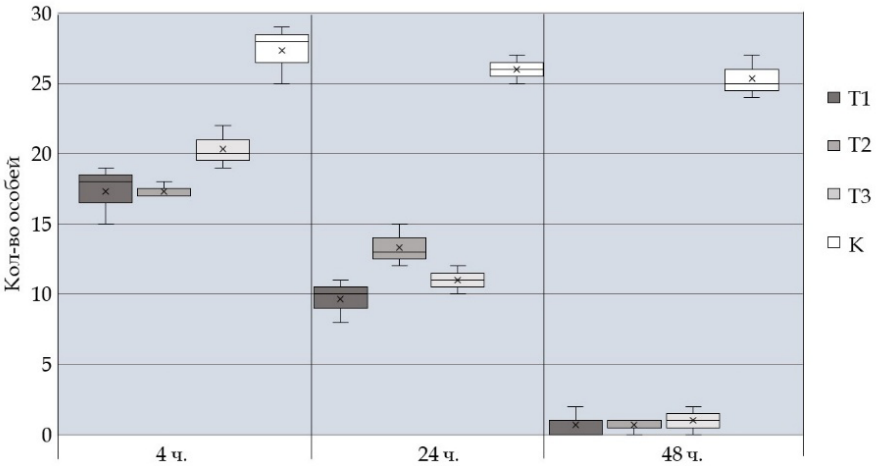

Рис. 2. Динамика выживаемости рабочих пчел *Apis mellifera* в течение 48 часов после острого однократного перорального воздействия различных доз имидаклоприда:
T1 — тиаклоприд, 10,0 мкг/объект; T2 — тиаклоприд, 5,0 мкг/объект; T3 — тиаклоприд, 2,5 мкг/объект; K — контроль

Между двумя исследуемыми неоникотиноидами наблюдались выраженные различия как в скорости развития токсических симптомов, так и в степени летальности, что позволяет предположить разный механизм действия или различную степень активности препаратов в условиях острой интоксикации у медоносных пчел. Через 24 часа после воздействия тиаклоприда наблюдалось дальнейшее усиление проявлений токсического действия. Однако скорость гибели пчел оставалась меньшей по сравнению с имидаклопридом, что указывает на различия в кинетике развития нейротоксических эффектов у данных соединений. Среднее количество живых особей в опытных группах составило для группы 10 мкг/объект — 9,5; для группы 5 мкг/объект — 13,2; для группы 2,5 мкг/объект — 10,9. Эти данные демонстрируют выраженную, но относительно замедленную динамику развития токсических симптомов под действием тиаклоприда особенно при снижении концентрации вещества. К 48 часам после начала эксперимента во всех опытных группах наблюдалось практически полное прекращение жизнедеятельности пчел. В группе с минимальной концентрацией 2,5 мкг/объект в двух из трех повторностей были зафиксированы единичные живые особи, что свидетельствует о потенциально более низкой системной токсичности этого препарата (табл. 2).

Таблица 2

Сравнительные показатели инсектицидной активности и летальности имидаклоприда и тиаклоприда в отношении медоносной пчелы *Apis mellifera*

Активное вещество	Концентрация, мкг/объект	Средняя инсектицидная активность, %			Средняя величина гибели насекомых, %		
		4 часа	24 часа	48 часов	4 часа	24 часа	48 часов
Имидаклоприд	0,2	37,4	58,4	82,3	42,2	67,7	97,7
	0,1	28,1	33,5	55,6	37,8	55,6	96,7
	0,05	26,6	49,8	67,5	32,2	63,3	95,6
Тиаклоприд	10	46,0	59,5	74,4	47,8	75,6	100,0
	5	39,7	54,5	80,3	42,2	58,9	97,8
	2,5	43,3	56,5	70,9	39,7	54,6	80,3

Полученные результаты показали, что оба исследуемых неоникотиноида — имидаклоприд и тиаклоприд — обладают выраженной острой пероральной токсичностью в отношении медоносных пчел. Однако между ними выявлены существенные различия в фармакодинамике действия. Основное различие заключается в скорости проявления токсических эффектов и эффективности при низких дозах. Имидаклоприд характеризуется более быстрым началом действия и высокой активностью даже при микроконцентрациях, тогда как тиаклоприд развивает свой токсический эффект постепенно, и его эффективность при минимальной дозе оказывается несколько ниже. Эти различия могут быть связаны с разной аффинностью к никотиновым ацетилхолиновым рецепторам, скоростью проникновения через гемолимфический барьер и особенностями метаболизма в организме насекомого [15].

Оценка поведенческих реакций и двигательной активности. Через 4 часа после перорального воздействия имидаклоприда у *Apis mellifera* наблюдалось выраженное влияние на двигательную активность. При всех испытанных концентрациях препарата зафиксировано значительное увеличение доли особей со сниженной двигательной активностью, при этом максимальный эффект был зарегистрирован при самой высокой дозе. В группе, обработанной имидаклопридом в концентрации 0,2 мкг/объект, более половины особей демонстрировали снижение двигательной активности, тогда как в контрольной группе этот показатель составлял лишь 11,0 %. Вместе с тем, отмечено существенное сокращение числа пчел с нормальной двигательной активностью, уровень особей с повышенной активностью оставался низким или практически не изменялся по сравнению с контролем (рис. 3).

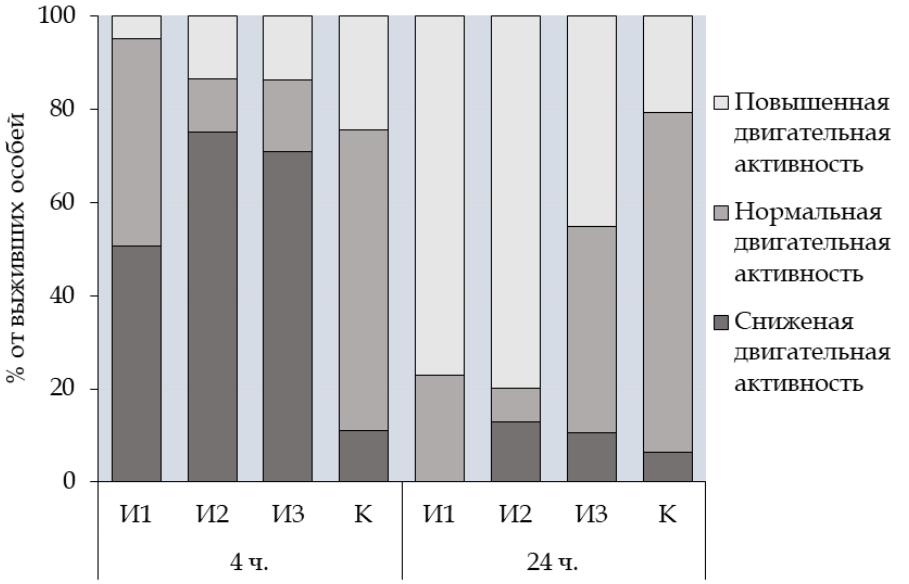

Рис. 3. Распределение двигательной активности пчел *Apis mellifera* после острого перорального воздействия имидаклоприда в различных концентрация: И1 — имидаклоприд, 0,2 мкг/объект; И2 — имидаклоприд, 0,1 мкг/объект; И3 — имидаклоприд, 0,05 мкг/объект; К — контроль

Полученные данные свидетельствуют о быстром начале действия имидаклоприда, проявляющемся уже через несколько часов после контакта и характеризующемся выраженным угнетением двигательных функций насекомых. Особенно ярко эффект проявляется при высоких дозах, что указывает на его дозозависимый токсикологический профиль. Вероятно, это связано с ранним взаимодействием вещества с нейронными структурами центральной нервной системы, приводящим к нарушению передачи нервных импульсов и снижению общей двигательной реактивности пчел. Через 24 часа после воздействия имидаклоприда наблюдалось дальнейшее развитие его токсического действия, выражающееся в существенных изменениях двигательного поведения пчел. На данном этапе отмечено резкое перераспределение между категориями активности. Если на ранних сроках преобладала угнетенная двигательная реакция, то к 24 часам основной тенденцией стало развитие повышенной двигательной активности, что может быть связано с характерными для неоникотиноидов судорожными явлениями или пароксизмальной нейронной стимуляцией. В группе с максимальной концентрацией имидаклоприда 0,2 мкг/объект у 77,0 % особей была зарегистрирована повышенная двигательная активность — наиболее выраженный эффект среди всех опытных групп. В группах со средней (0,1 мкг/объект) и минимальной (0,05 мкг/объект) дозами препарат также вызвал значительное преобладание гиперактивности, что указывает на системный характер его действия на центральную нервную

систему насекомых. Одновременно с этим число особей с нормальной двигательной активностью резко снижалось во всех опытных группах, что свидетельствует о глубоких функциональных нарушениях. В контрольной группе сохранялось относительно стабильное распределение между особями с нормальной и повышенной двигательной активностью, что подтверждает специфический токсический эффект имидаклоприда, а не случайные колебания поведенческой реакции.

Аналогичная закономерность была выявлена и при воздействии тиаклоприда: через 4 часа при всех испытанных концентрациях наблюдалось достоверное увеличение доли особей с сниженной двигательной активностью, особенно выраженное в группе со средней дозой. Максимальное снижение двигательной активности зафиксировано в группе 5,0 мкг/объект, где 79,2 % особей демонстрировали угнетенное двигательное состояние (рис. 4). Эти данные позволяют предположить, что оба неоникотиноида — имидаклоприд и тиаклоприд — оказывают значительное влияние на нейрофизиологические процессы, регулирующие двигательное поведение пчел, однако механизм и временная динамика этих изменений могут различаться в зависимости от химической структуры и фармакокинетических свойств препарата.

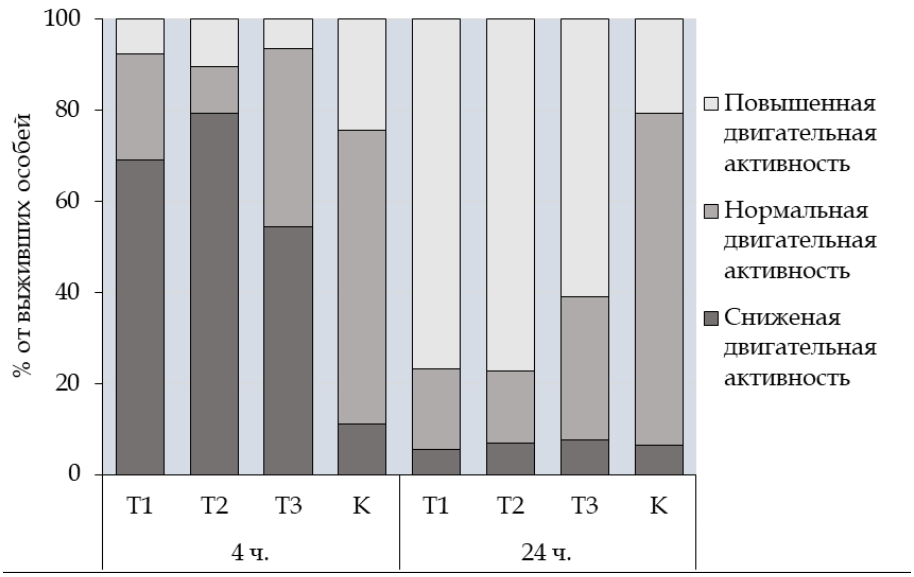

Рис. 4. Распределение двигательной активности пчел *Apis mellifera* после острого перорального воздействия имидаклоприда в различных концентрация (Т1–Т3): Т1 — тиаклоприд, 10,0 мкг/объект; Т2 — тиаклоприд, 5,0 мкг/объект; Т3 — тиаклоприд, 2,5 мкг/объект; К — контроль

Через 24 часа после воздействия тиаклоприда во всех опытных группах наблюдалось выраженное изменение двигательного поведения пчел. В группах с высокими концентрациями инсектицида 10,0 и 5,0 мкг/объект преобладающей формой реакции стала повышенная двигательная

активность, составляющая 76,7 и 77,2 % особей соответственно. Эти данные свидетельствуют о развитии выраженного нейротоксического эффекта, который может быть связан с чрезмерной стимуляцией никотиновых ацетилхолиновых рецепторов и последующей дезорганизацией нейронной передачи [16]. В группе с минимальной концентрацией тиаклоприда 2,5 мкг/объект также отмечено значительное увеличение числа особей с повышенной активностью, хотя его уровень был несколько ниже по сравнению с более высокими дозами 61,0 %. Это указывает на концентрационно-зависимый характер действия препарата, при котором максимальные эффекты развиваются при наиболее высоких дозировках. Одновременно с ростом гиперактивности было зафиксировано значительное снижение доли пчел с нормальной двигательной активностью во всех опытных группах. В контрольной группе сохранялось относительно стабильное распределение между особями с нормальной и повышенной активностью, что позволяет исключить неспецифические факторы и подтвердить фармакологическую обусловленность наблюдаемых изменений.

В связи с влиянием неоникотиноидных инсектицидов на поведенческие реакции и двигательную активность, особую актуальность приобретает вопрос о потенциале восстановления пчелиных семей после прекращения воздействия токсикантов. Некоторые исследования дают основания полагать, что при устранении источника загрязнения пчелиные семьи способны частично восстанавливать свои функции — от сбора корма до поддержания социальной структуры [17]. Однако эффективность и темпы восстановления определяются рядом факторов: длительностью и интенсивностью предшествующей экспозиции, возрастом и физиологическим состоянием семьи, доступностью качественных источников нектара и пыльцы, а также наличием сопутствующих стрессоров — вирусных инфекций или экстремальных климатических условий [18; 19].

Определение репеллентной активности. Оба исследуемых неоникотиноидных инсектицида — имидаклоприд и тиаклоприд — вызывают достоверное снижение потребления водного сахарного раствора у западной медоносной пчелы по сравнению с контрольной группой. Это указывает на их способность оказывать репеллентное действие, что может иметь важные экологические последствия для поведения и выживания опылителей в условиях воздействия данных пестицидов. Имидаклоприд проявляет наиболее выраженный эффект при максимальной концентрации 0,2 мкг/объект, где среднее количество потребляемого раствора составило 900 мкл, что на 30,1 % ниже, чем в контрольной группе. Тиаклоприд также снижает потребление пищи, но его влияние менее выражено: при дозе 10,0 мкг/объект пчелы потребили 980 мкл раствора, что соответствует снижению на 23,8 % относительно контроля (рис. 5). Эти различия могут быть связаны с особенностями фармакокинетики и фармакодинамики обоих веществ, включая степень связывания с нейронными рецепторами и скорость проникновения в центральную нервную систему насекомых.

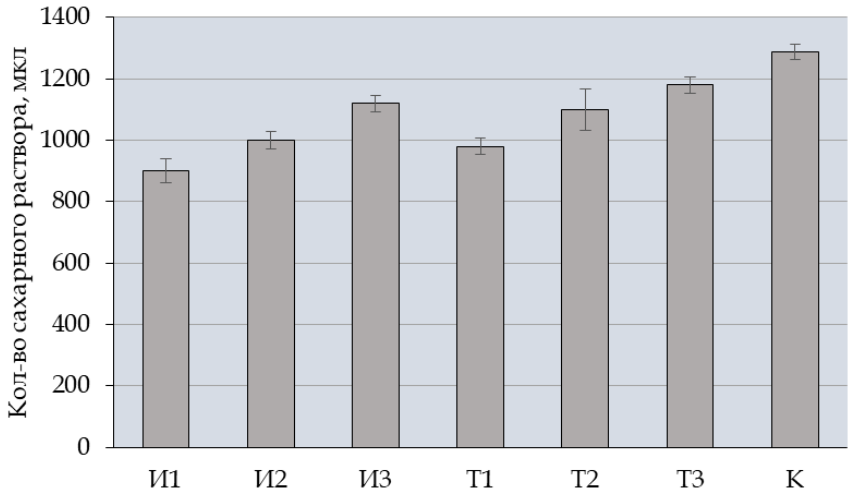

Рис. 5. Количество сахарного раствора, потребленного медоносными пчелами через 48 часов после начала эксперимента (%): *И1* — имидаклоприд, 0,2 мкг/ объект; *И2* — имидаклоприд, 0,1 мкг/ объект; И3 — имидаклоприд, 0,05 мкг/ объект; Т1 — тиаклоприд, 10,0 мкг/объект; Т2 — тиаклоприд, 5,0 мкг/объект; Т3 — тиаклоприд, 2,5 мкг/объект; К — контроль

Репеллентный эффект препаратов был количественно оценен с использованием коэффициента защитного действия, рассчитанного как процентное снижение потребления пищевого раствора в опытных группах по отношению к контролю. Высокие значения свидетельствуют о значительном угнетении аппетита у обработанных пчел. У имидаклоприда максимальный коэффициент зарегистрирован при самой высокой дозе 0,2 мкг/объект и составил 30,1 %. При снижении дозы до 0,1 мкг/объект и 0,05 мкг/объект коэффициент защитного действия составил 22,3 % и 13,0 % соответственно. Таким образом, имидаклоприд демонстрирует дозозависимое снижение потребления пищи, сохраняя стабильную репеллентную активность при всех испытанных концентрациях, хотя максимальный эффект достигается именно при высокой дозе (табл. 3)

Таблица 3

Коэффициент защитного действия имидаклоприда и тиаклоприда в отношении медоносных пчел

Активное вещество	Концентрация, мкг/объект	КЗД, %
Имидаклоприд	0,2	30,1
	0,1	22,3
	0,05	13,0
Тиаклоприд	10	23,8
	5	14,5
	2,5	8,3

У тиаклоприда наибольшее снижение потребления отмечено при средней дозе 10,0 мкг/объект, где КЗД составил 23,8 %, что значительно превышает показатели при минимальной дозе 2,5 мкг/объект — 8,3 %. Эта закономерность указывает на линейную зависимость «доза — эффект», характерную для тиаклоприда, которая может быть обусловлена особенностями его взаимодействия с нейронными структурами или изменением восприятия пищи у пчел при различных уровнях интоксикации. Имидаклоприд также демонстрирует стабильную и предсказуемую репеллентную активность, с максимумом действия при высоких дозах. Это указывает на его высокую эффективность в формировании поведенческой избегающей реакции у пчел.

Заключение

Проведенное исследование позволило установить, что оба изучаемых неоникотиноидных инсектицида — имидаклоприд и тиаклоприд — обладают выраженной острой пероральной токсичностью в отношении медоносных пчел. Оба вещества вызывают достоверное снижение выживаемости насекомых, изменяют двигательную активность и подавляют потребление пищи, что свидетельствует о системном характере их действия на центральную нервную систему пчел. Однако между препаратами наблюдаются значимые различия в скорости проявления токсических симптомов, степени летальности и эффективности при низких дозах. Имидаклоприд действует быстрее и демонстрирует более высокую эффективность. Тиаклоприд, напротив, развивает свой токсический эффект постепенно.

Анализ поведенческой реакции показал, что оба препарата вызывают значительные изменения двигательной активности: от начального угнетения к развитию гиперактивности. Это указывает на единый механизм действия неоникотиноидов, связанный с модуляцией никотиновых ацетилхолиновых рецепторов, однако кинетика развития эффектов у этих веществ различается. Результаты также продемонстрировали репеллентный эффект обоих соединений, выраженный в снижении потребления сахарного раствора. Полученные результаты подтверждают необходимость строгого регулирования использования неоникотиноидов, особенно в периоды цветения культур, когда существует высокий риск контакта с опылителями.

Список литературы

1. *Lu W., Liu Z., Fan X. et al*. Nicotinic acetylcholine receptor modulator insecticides act on diverse receptor subtypes with distinct subunit compositions // PLoS Genet. 2022. Vol. 18 (1). doi: 10.1371/journal.pgen.1009920.

2. *Klingelhöfer D., Braun M., Brüggmann D., Groneberg D. A*. Neonicotinoids: A critical assessment of the global research landscape of the most extensively used insecticide // Environmental Research. 2022. Vol. 213. doi: 10.1016/j.envres.2022.113727.

3. *Третьякова А. Б., Мукминов М. Н., Шамаев Н. Д.* Оценка острой контактной токсичности имидаклоприда и тиаклоприда в отношении медоносных пчел:

сравнительный анализ влияния на выживаемость и поведенческую активность // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. Сер.: Естественные науки. 2025. №4. С. 130—142. doi: 10.5922/vestniknat-2025-4-9.

4. *Шамаев Н. Д.* Методы биотехнологии в изучении экологии и биогеографии медоносной пчелы и решении проблем интенсификации пчеловодства // Пчеловодство и апитерапия: актуальные вопросы, достижения и инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Рыбное, 15—16 декабря 2023 года. Рыбное, 2024. С. 194—198. EDN: ISBLYO.

5. *Шамаев Н. Д., Кошпаева Е. С., Сычев К. В., Иванов А. В.* Молекулярная фитотерапия и применение пищевых добавок, направленные на борьбу с ваириморфозом у медоносных пчел // Пчеловодство и апитерапия: актуальные вопросы, достижения и инновации : материалы Междунар. науч.-практ. конф., Рыбное, 15—16 декабря 2023 года. Рыбное, 2024. С. 198—204. EDN: NASOBM.

6. *Шамаев Н. Д., Шуралев Э. А., Мукминов М. Н.* Эффективность использования *Apis Mellifera* в паразитологических исследованиях *in vitro* // XI Международная конференция молодых ученых: биоинформатиков, биотехнологов, биофизиков, вирусологов, молекулярных биологов и специалистов фундаментальной медицины : сб. тезисов, Наукоград Кольцово, 24—27 сентября 2024 года. Новосибирск, 2024. С. 242—243. doi: 10.25205/978-5-4437-1691-6-118. EDN: IVDPGF.

7. *Киркина Е. Г., Богомолов А. И., Воронежская Е. Е. и др.* Использованиеальтернативных тест-систем в доклинической практике // Консультант GLP-Planet 2024. Мнение фармацевтической отрасли. СПб., 2024. С. 299—319. doi: 10.57034/978-5-6048955-9-7-s8. EDN: ZBNVUS.

8. *Газетдинов Ф. И., Шуралев Э. А., Шамаев Н. Д.* Подбор моделей для агентного моделирования рисков изменения экологии инфекционных заболеваний у медоносной пчелы // Обеспечение безопасности: производственной, пожарной, экологической : материалы II Всерос. науч.-практ. конф. с междунар. участием. Ростов н/Д, 2025. С. 328—331. EDN: WJOLZB.

9. *Третьякова А. Б., Шамаев Н. Д.* Системы мониторинга технологий и оптимизация ухода в современном пчеловодстве // Проблемы ветеринарной санитарии, гигиены и экологии : сб. науч. тр. 2025. №123. С. 92—97. doi: 10.31016/vet.san.2025-123-17. EDN: RVRCAZ.

10. *Abay Z., Bezabeh A., Gela A., Tassew A.* Evaluating the Impact of Commonly Used Pesticides on Honeybees (Apis mellifera) in North Gonder of Amhara Region, Ethiopia // J. Toxicol. 2023. Vol. 2634158. doi: 10.1155/2023/2634158.

11. *Методические* рекомендации по оценке действия и потенциальной опасности пестицидов для медоносных пчел. М., 2001.

12. *ГОСТ* 33038-2014. Методы испытаний химической продукции, представляющей опасность для окружающей среды. М., 2019.

13. *Непоклонов А. А., Таланов Г. А.* Методические указания по испытанию инсектицидов, предназначенных для борьбы с эктопаразитами животных. М., 1973.

14. *Павлов С. Д.* Методические рекомендации по изучению эффективности репеллентов и инсектицидов в ветеринарии. М., 1982.

15. *Papke R. L.* Merging old and new perspectives on nicotinic acetylcholine receptors // Biochem Pharmacol. 2014. Vol. 89 (1).

16. *Terry A. V., Jones K., Bertrand D.* Nicotinic acetylcholine receptors in neurological and psychiatric diseases // Pharmacol Res. 2023. Vol. 191. doi: 10.1016/j.phrs.2023.106764.

17. *Di N., Zhu C., Hu Z. et al.* Honeybee colony soundscapes: Decoding distance-based cues and environmental stressors // Ecotoxicology and Environmental Safety. 2025. Vol. 297. doi: 10.1016/j.ecoenv.2025.118241.

18. *Colin T., Meikle W. G., Paten A. M., Barron A. B.* Long-term dynamics of honey bee colonies following exposure to chemical stress // Sci. Total Environ. 2019. Vol. 677. P. 660–670. doi: 10.1016/j.scitotenv.2019.04.402.

19. *Wang Y., Li X., Miao C. et al.* Varroa destructor infestation amplifies imidacloprid vulnerability in Apis mellifera // Pestic. Biochem. Physiol. 2025. Vol. 214. doi: 10.1016/j.pestbp.2025.106616.

Об авторах

Анна Борисовна Третьякова — асп., Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия.
ORCID: 0000-0002-0359-4049
E-mail: annatretyackowa@yandex.ru

Малик Нилович Мукминов — д-р биол. наук, проф., Казанский (Приволжский) федеральный университет, Россия.
ORCID: 0000-0002-5996-0271
E-mail: malik-bee@mail.ru

Николай Дмитриевич Шамаев — канд. биол. наук, доц., Московская государственная академия ветеринарной медицины и биотехнологии — МВА им. К.И. Скрябина, Россия.
ORCID: 0000-0002-0575-3760
E-mail: nikolai.shamaev94@mail.ru

A.B Tretiakova[1], M.N. Mukminov[1], N.D. Shamaev[2]

NEONICOTINOIDS AND THEIR EFFECTS ON HONEY BEES: A COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ACUTE ORAL TOXICITY OF IMIDACLOPRID AND THIACLOPRID

[1] Kazan (Volga Region) Federal University, Russia
[2] Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scryabin, Russia
Received 19 July 2025
Accepted 28 Septemder 2025
doi: 10.5922/vestniknat-2026-1-4

To cite this article: Tretiakova A.B., Mukminov M.N., Shamaev N.D., 2026, Neonicotinoids and their effects on honey bees: a comparative analysis of the acute oral toxicity of imidacloprid and thiacloprid, *Vestnik of Immanuel Kant Baltic Federal University. Series: Natural Sciences*, №1. P. 54–69. doi: 10.5922/vestniknat-2026-1-4.

A comparative study of the acute oral toxicity of the neonicotinoid insecticides imidacloprid and thiacloprid with respect to honey bees (Apis mellifera) was conducted. Under laboratory conditions, survival dynamics, changes in locomotor activity, and

the repellent effect were examined under exposure to various concentrations of these compounds. The study established that both insecticides exhibit pronounced toxicity toward honey bees; however, their modes of action differ. Imidacloprid shows a more rapid onset of toxic effects, whereas thiacloprid develops toxicity more gradually. Analysis of behavioral activity demonstrated that both insecticides cause a sequential suppression of locomotor functions, followed by the development of hyperactivity typical of the neurotoxic effects of neonicotinoids. Assessment of repellent activity using the coefficient of protective action revealed a dose-dependent reduction in food consumption by bees under the influence of both substances.

Keywords: honey bees, *Apis mellifera,* acute oral toxicity, neonicotinoids, imidacloprid, thiacloprid

The authors

Anna B. Tretiakova, PhD student, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia.
ORCID: 0000-0002-0359-4049
E-mail: annatretyackowa@yandex.ru

Prof. Malik N. Mukminov, Kazan (Volga Region) Federal University, Russia.
ORCID: 0000-0002-5996-0271
E-mail: malik-bee@mail.ru

Dr Nikolai D. Shamaev,Associate Professor, Moscow State Academy of Veterinary Medicine and Biotechnology named after K.I. Scryabin, Russia.
ORCID: 0000-0002-0575-3760
E-mail: nikolai.shamaev94@mail.ru