

4.1.3. АГРОХИМИЯ, АГРОПОЧВОВЕДЕНИЕ, ЗАЩИТА И  
КАРАНТИН РАСТЕНИЙ (СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННЫЕ НАУКИ)

Научная статья

УДК 632.951

DOI: 10.53914/issn2071-2243\_2025\_4\_48

EDN: RDWRZD

**Сравнительная токсичность инсектицидов для медоносной  
пчелы при их раздельном и совместном применении**

**Александр Иванович Илларионов<sup>1✉</sup>, Андрей Александрович Деркач<sup>2</sup>,  
Оксана Александровна Илларионова<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I, Воронеж, Россия

<sup>2,3</sup> Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений, Рамонский район,  
Воронежская область, Россия

<sup>1</sup> Illarionov-Alexandr@yandex.ru<sup>✉</sup>

**Аннотация.** Представлены результаты токсикологических исследований, проведенных с целью выявления потенциальных эффектов воздействия отечественных препаратов Эсперо, КС (200 + 120 г/л) и Борей Нео, СК (125 + 100 + 50 г/л) на пчел-сборщиц при кишечном и контактном введении токсикантов в организм насекомых. Эксперименты проводили с медоносной пчелой карпатского подвида *Apis mellifera macedonica*. В исследованиях использовали отдельные инсектициды, а также комбинированные препараты. Показано, что двухкомпонентный инсектицид Эсперо, КС достоверно менее токсичен для насекомых, чем трехкомпонентный инсектицид Борей Нео, СК. Взаимодействие компонентов в составе комбинированных препаратов проявляется в форме синергизма, уровень которого зависит от количества компонентов в комбинированном препарате, метода введения токсиканта в организм насекомого и вида примененной дозы или концентрации. По показателям коэффициента совместного действия (КСД) наиболее сильно синергизм проявлялся при приеме насекомыми с кормом трехкомпонентного инсектицида Борей Нео, СК. При контактном действии уровень проявления синергизма комбинированных препаратов зависел от количества компонентов в препарате и места проникновения инсектицида через покровы в организм насекомых. При контакте насекомых с обработанной инсектицидом поверхностью в пределах всего интервала эффективных доз от СД<sub>0</sub> до СД<sub>100</sub> наибольшая степень проявления синергизма отмечалась при использовании двухкомпонентного инсектицида Эсперо, КС. Темпы роста показателей коэффициента совместного действия от предыдущей эффективной дозы к последующей оставались величиной постоянной, равной 1,7. В одинаковых экспериментальных условиях с применением трехкомпонентного инсектицида степень проявления синергизма в пределах эффективных доз была многократно ниже по сравнению с показателями двухкомпонентного инсектицида. Синергическое действие выявлено и в результате количественной оценки совместного действия компонентов с учетом их относительного содержания в комбинированных препаратах.

**Ключевые слова:** медоносная пчела, комбинированные инсектициды, коэффициент совместного действия (КСД), кишечное действие, контактное действие, синергизм

**Для цитирования:** Илларионов А.И., Деркач А.А., Илларионова О.А. Сравнительная токсичность инсектицидов для медоносной пчелы при их раздельном и совместном применении // Вестник Воронежского государственного аграрного университета. 2025. Т. 18, № 4(87). С. 48–57. [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2025\\_4\\_48-57](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_4_48-57).

4.1.3. AGRICULTURAL CHEMISTRY, AGRONOMIC SOIL SCIENCE,  
PLANT PROTECTION AND QUARANTINE (AGRICULTURAL SCIENCES)

Original article

**Comparative toxicity of insecticides to honey bee  
through their separate and combined application**

**Aleksandr I. Illarionov<sup>1✉</sup>, Andrey A. Derkach<sup>2</sup>, Oksana A. Illarionova<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Voronezh, Russia

<sup>2,3</sup> All-Russian Research Institute of Plant Protection, Ramonsky District, Voronezh Oblast, Russia

<sup>1</sup> Illarionov-Alexandr@yandex.ru<sup>✉</sup>

**Abstract.** The authors present the results of laboratory toxicological studies revealing the potential effects of the domestic insecticide Espero, CS (200 + 120 g/l) and preparation Borey Neo, SC (125 + 100 + 50 g/l) on fielder bees during intestinal and contact administration of toxicants into the insect body. The experiments were conducted with a honey bee of the Carpathian subspecies *Apis mellifera macedonica*. The studies used individual insecticides, as well as combined preparations. It has been shown that the two-component insecticide Espero, CS is significantly less toxic to insects than the three-component insecticide Borey Neo, SC. The interaction of the components in the composition of combined preparations manifests itself in the form of synergism, the level of

which depends on the number of components in the preparation, the method of administration of the toxicant into the body and the type of dose or concentration applied. According to the indicators of the coefficient of joint effect (CJE), the synergism was most strongly manifested when insects were fed the three-component insecticide Borey Neo, SC. In case of contact, the level of synergism of the combined preparations depended on the number of components in the preparation and the place of penetration of the insecticide into the insect body. When insects came into contact with an insecticide-treated surface within the entire range of effective doses from LD<sub>0</sub> to LD<sub>100</sub>, the greatest degree of synergism was observed when the two-component insecticide Espero, CS was applied. The growth rate of the coefficient of joint effect from the previous effective dose to the next effective dose remained constant, equal to 1.7. Under the same experimental conditions with the use of a three-component insecticide, the degree of synergism within the effective doses was much lower than that of a two-component insecticide. The synergistic effect was also revealed as a result of a quantitative assessment of the joint effect of the components, taking into account their relative content in combined preparations.

**Keywords:** honey bee, combined insecticides, coefficient of joint effect (CJE), intestinal action, contact action, synergism

**For citation:** Illarionov A.I., Derkach A.A., Illarionova O.A. Comparative toxicity of insecticides to the honey bee through their separate and combined application. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta = Vestnik of Voronezh State Agrarian University*. 2025;18(4):48-57. (In Russ.). [https://doi.org/10.53914/issn2071-2243\\_2025\\_4\\_48-57](https://doi.org/10.53914/issn2071-2243_2025_4_48-57).

## Введение

Постоянное расширение ассортимента пестицидов осуществляется не только за счет регистрации новых химических соединений, но и разработки различных смесевых препаратов, отвечающих современным требованиям по биологической эффективности в отношении вредных организмов, показателям экономической эффективности и экологической безопасности.

Для ограничения плотности популяций вредных фитофагов в Российской Федерации зарегистрированы как однокомпонентные, так и комбинированные инсектициды [1]. Сущность комбинированных препаратов состоит в том, что в каждом таком препарате содержится два или даже три действующих вещества. При этом действующие вещества, входящие в состав комбинированных препаратов, могут относиться к одному или разным классам химических соединений. В Государственном каталоге наряду с двухкомпонентными зарегистрированы и трехкомпонентные препараты, причем шире представлены двухкомпонентные препараты, а количество трехкомпонентных препаратов существенно меньше [1].

Комбинация нескольких действующих веществ в одном препарате позволяет решать весьма важные задачи при их применении с целью оптимизации фитосанитарного состояния агроценозов. Прежде всего комбинированные препараты обеспечивают, как правило, ограничение более широкого перечня видов вредных фитофагов по сравнению с применением отдельных инсектицидов за счет не только аддитивного, но и синергетического действия. Не менее важной является задача увеличения срока защитного действия препарата в отношении вредных организмов, так как позволяет снижать норму расхода препарата на единицу площади, сокращать кратность внесения токсиканта в агроценоз и, таким образом, уменьшать пестицидную нагрузку на защищаемую культуру и экосистему в целом.

Механизм токсического действия пестицидов на медоносную пчелу неизменно находился в центре внимания многих исследователей. Традиционно оценку экологического риска для медоносной пчелы инсектицидов, применяемых в агроценозах с целью ограничения плотности популяций фитофагов, проводят по отдельным активным ингредиентам. Однако уровень токсической активности действующих веществ в смесевых препаратах может не соответствовать параметрам, установленным при использовании отдельных токсикантов. Как известно, компоненты, входящие в состав комбинированных препаратов, способны взаимодействовать друг с другом различными способами в зависимости от природы самих соединений и их химических свойств, дозы и механизма действия и тем самым влиять на проявление токсических свойств комбинированного препарата [5, 11].

Некоторые исследователи считают, что стандартное тестирование смесей пестицидов в отношении медоносной пчелы не оправдано из-за низкой вероятности синергизма за исключением случаев, когда известные синергисты (азольные фунгициды) и пестициды с переменным потенциалом метаболизма, такие как некоторые пиретроиды, находятся в комбинации [6, 7]. При анализе данных 258 экспериментов по изучению воздействия комбинированных смесей пестицидов на медоносную пчелу в 34% случаев ожидаемая токсичность превышала наблюдаемую в 2 раза, в 12% – в 5 раз, а в некоторых исследованиях – даже в 100 раз, что свидетельствует о токсичности смесей, превышающей аддитивную [7].

В отечественной научной литературе не обнаружены сведения о токсичности комбинированных инсектицидов для медоносной пчелы. В иностранной литературе представлена информация о результатах изучения различных аспектов влияния смесевых пестицидов на медоносную пчелу, в том числе научные обзоры [9]. Изучается возможность прогнозирования взаимодействующих химических веществ в тройных смесях на основе данных о реакциях бинарных смесей [10]. Одним из важных вопросов является установление природы токсикантов, которые могут определять результат взаимодействия компонентов смеси [7, 11]. На основе применения широкого спектра химических веществ, анализа нормативных требований и методологий оцениваются риски и выявляются опасные смеси [13].

В ряде публикаций приводятся результаты исследований по влиянию композиционных смесей пестицидов на медоносную пчелу, при проведении которых использовались смесевые лабораторные комбинации инсектицидов, представленные веществами одного класса (фосфорорганические соединения) [14] или разных классов соединений (пиретроиды и неоникотиноиды) [12, 18], а также смеси инсектицидов с фунгицидами [8, 15, 16, 17].

С практической точки зрения изучение токсических свойств в отношении медоносной пчелы промышленных (заводских) комбинированных препаратов и их компонентов, рекомендованных для защиты растений, является наиболее целесообразным по сравнению с анализом лабораторных смесей токсикантов.

#### **Методика эксперимента**

Эксперименты проводили с медоносной пчелой карпатского подвида *Apis mellifera macedonica*.

В исследованиях использовали как отдельные инсектициды, так и комбинированные препараты, в состав которых входят следующие действующие вещества:

- альфа-циперметрин в форме препарата Фастак, КЭ (100 г/л), регистрант – БАСФ Агро Б.В.;
- имидаклоприд в форме препарата Танрек, ВРК (200 г/л), регистрант – АО Фирма «Август»;
- клотианидин в форме препарата Клотиамет, ВДГ (500 г/кг), регистрант – ООО «АГРУСХИМ»;
- двухкомпонентный инсектицид на основе представителя неоникотиноидов – имидаклоприда и синтетических пиретроидов – альфа-циперметрина в форме препарата Эсперо, КС при соотношении компонентов (200 + 120 г/л), регистрант – АО «Щелково Агрохим»;
- трехкомпонентный инсектицид, в состав которого входят альфа-циперметрин и два неоникотиноида – имидаклоприд и клотианидин в форме препарата Борей Нео, СК при соотношении компонентов (125 + 100 + 50 г/л), регистрант – АО Фирма «Август».

Изучение сравнительной токсической активности препаратов для медоносной пчелы при поступлении токсикантов в организм насекомых с кормом осуществляли методами индивидуальной (*per os constant*) и серийной оценки (*per os ad libitum*) токсичности инсектицидов.

Уровень сравнительной токсической активности инсектицидов при проникновении через покровы изучали методом аппликации токсиканта на тергиты груди насекомых (*topical*) и методом контакта насекомых с обработанной поверхностью (*deposit test*) [2].

Расчет эффективных доз и концентраций инсектицидов проводили вариационно-статистическим методом [4].

Коэффициент совместного действия (КСД) компонентов комбинированного препарата определяли по формуле, приведенной С.Я. Поповым с соавт. [5].

Показатели коэффициентов совместного действия оценивали по существующей шкале. При КСД = 1 наблюдается полная аддитивность, при КСД = 0,5–1 – неполная аддитивность, при КСД > 1 – синергизм; при КСД < 0,5 – антагонизм [5].

Для количественной оценки совместного действия компонентов с учетом их относительного содержания в смеси веществ использовали следующее уравнение [3]:

$$\frac{1}{\text{СД}_{50} (\text{СК}_{50}) \text{ смеси}} = \frac{A}{\text{СД}_{50} (\text{СК}_{50}) A} + \frac{B}{\text{СД}_{50} (\text{СК}_{50}) B} + \frac{C}{\text{СД}_{50} (\text{СК}_{50}) C},$$

где СД<sub>50</sub> (СК<sub>50</sub>) – медианная эффективная токсодоза (концентрация) расчетная;

A, B, C – относительное содержание веществ A, B и C в смеси;

СД<sub>50</sub> (СК<sub>50</sub>) A, B, C – медианные эффективные токсодозы веществ A, B и C.

Отношение расчетной СД<sub>50</sub> (СК<sub>50</sub>) смеси к сумме экспериментальных значений СД<sub>50</sub> (СК<sub>50</sub>) компонентов характеризует вид взаимного влияния веществ в смеси. Если это отношение равно 1,0, то имеет место аддитивное действие веществ, если больше 1,0, то это свидетельствует о синергизме, если меньше 1,0 – об антагонизме.

#### Результаты и их обсуждение

Полученные данные показывают, что инсектициды, действующие вещества которых входят в состав комбинированных препаратов, обладают высокой токсической активностью для медоносной пчелы при поступлении в организм с кормом (табл. 1). При этом уровень токсической активности препаратов для насекомых зависит от количества и темпов поступления токсикантов в желудочно-кишечный тракт. Введение корма с инсектицидом в организм насекомых методом *per os ad libitum* оказывает на них более сильное токсическое действие, чем методом *per os constant*. Закономерность проявляется в пределах всей зоны эффективных доз. Токсичность отдельно каждого токсиканта оценивается неоднозначно. Так, альфа-циперметрин достоверно менее токсичен для насекомых по сравнению с имидаклопридом и клотианидином. В то же время оба неоникотиноида – имидаклоприд и клотианидин – проявляли практически равную токсичность для насекомых как при однократном, так и свободном приеме корма с токсикантом.

Анализ токсичности комбинированных препаратов и их компонентов свидетельствует о том, что при введении насекомым корма с инсектицидом методом *per os constant* комбинированные препараты были достоверно более токсичными по сравнению с препаратом Фастак, КЭ (100 г/л) в пределах всей зоны эффективных доз. Токсикологические параметры препарата Эсперо, КС (200 + 120 г/л) по сравнению с препаратом Танрек, ВРК (200 г/л) представлены числовыми значениями одного порядка. Исключение отмечается только в зонах СД<sub>16</sub> и СД<sub>50</sub>, где комбинированный препарат был достоверно менее токсичным для насекомых. Не выявлено существенных различий в уровнях токсичности для медоносной пчелы препарата Борей Нео, СК (125 + 100 + 50 г/л) в сравнении как с препаратом Танрек, ВРК (200 г/л), так и Клотиамет, ВДГ (500 г/кг) в пределах всей зоны эффективных доз.

При свободном приеме корма с инсектицидом уровень токсической активности комбинированных препаратов по сравнению с аналогичными показателями компонентов во многом повторяет уровень проявления их токсической активности для насекомых при однократном приеме.

Таблица 1. Токсичность комбинированных инсектицидов и их компонентов для медоносной пчелы при кишечном действии

Дозы, концентрации	Компоненты / препарат					Кoeffициент совместного действия (КСД)
	Альфа-циперметрин / Фастак, КЭ (100 г/л)	Имидаклоприд / Танрек, ВРК (200 г/л)	Клотианидин / Клотиамент, ВДГ (500 г/кг)	Имидаклоприд + альфа-циперметрин / Эсперо, КС (200 + 120 г/л)	Альфа-циперметрин + имидаклоприд + клотианидин / Борей Нео, СК (125 + 100 + 50 г/л)	
<i>Per os constant, мкг д. в./особь</i>						
СД <sub>0</sub>	0,014 (0,008±0,026)	0,0008 (0,0004±0,0016)	–	0,0029 (0,0020±0,0056)	–	2,55
СД <sub>16</sub>	0,031 (0,019±0,050)	0,0010 (0,0006±0,0020)	–	0,0073 (0,0042±0,0126)	0,0008 (0,0004±0,0016)	9,79
СД <sub>50</sub>	0,066 (0,046±0,094)	0,0030 (0,0020±0,0047)	0,0019 (0,0011±0,0033)	0,0187 (0,0126±0,0275)	0,0019 (0,0011±0,0032)	2,19
СД <sub>84</sub>	0,142 (0,086±0,233)	0,0085 (0,0050±0,0150)	–	0,047 (0,027±0,082)	–	8,92
СД <sub>100</sub>	0,303 (0,164±0,558)	0,062 (0,031±0,126)	0,0097 (0,0057±0,0160)	0,121 (0,062±0,237)	0,0097 (0,0057±0,0164)	1,84 1,30*
			0,022 (0,011±0,041)	–	0,022 (0,011±0,042)	9,16 1,40*
<i>Per os ad libitum, % д. в.</i>						
СК <sub>0</sub>	0,00028 (0,00020±0,00030)	0,000005 (0,000003±0,000010)	–	0,00004 (0,00003±0,00007)	–	3,56
СК <sub>16</sub>	0,0004 (0,00031±0,00040)	0,00001 (0,000008±0,000030)	0,000004 (0,000001±0,000010)	–	0,000004 (0,000002±0,000008)	39,05
СК <sub>50</sub>	0,0005 (0,0004±0,0005)	0,00004 (0,000003±0,000007)	–	0,00008 (0,00005±0,00010)	–	2,34
СК <sub>84</sub>	0,0006 (0,0005±0,0007)	0,00010 (0,00007±0,0002)	0,000007 (0,000007±0,000022)	–	0,000010 (0,000005±0,000019)	19,30
СК <sub>100</sub>	0,0008 (0,0007±0,0010)	0,0004 (0,0002±0,0008)	0,000040 (0,000023±0,000054)	0,00015 (0,0001±0,0002)	–	1,73 1,28*
			–	0,0003 (0,0002±0,0004)	0,00003 (0,00002±0,00004)	10,28 1,70*
			0,00010 (0,00005±0,00020)	–	–	1,27
			–	0,0005 (0,0003±0,0009)	0,00007 (0,00004±0,00010)	5,73
			0,0003 (0,0001±0,0006)	–	–	1,20
			–	–	0,00020 (0,00009±0,00050)	3,70

Примечание: \* – в колонке КСД числовые значения под чертой – это количественная оценка совместного действия компонентов с учетом их относительного содержания в смеси веществ.

Трехкомпонентный инсектицид в форме препарата Борей Нео, СК проявлял достоверно большую токсичность для насекомых, чем двухкомпонентный инсектицид в форме препарата Эсперо, КС. Комбинированный препарат Борей Нео, СК содержит в своем составе наряду с альфа-циперметрином и имидаклопридом третий компонент – клотианидин, присутствие которого повышает его токсичность для медоносной пчелы по сравнению с препаратом Эсперо, КС.

Исследованиями установлено [5, 13], что в составе комбинированных препаратов инсектициды в результате их совместного действия могут изменять уровень токсической активности в различных направлениях. Взаимодействия компонентов в смеси описываются либо как антагонизм, либо как аддитивность, либо как синергизм.

При анализе возможного негативного воздействия применяемых химических средств защиты растений на нецелевые компоненты агробиоценоза весьма актуальной является задача прогнозирования воздействия их на организм пчел в различных концентрациях и дозах. Результаты проведенных исследований показали, что в каждом комбинированном препарате в результате взаимодействия инсектицидов токсическая активность смеси изменяется по всему интервалу эффективных доз и концентраций.

Количественным критерием изменения токсической активности совместного действия компонентов в составе комбинированного препарата является величина коэффициента совместного действия (КСД). Как видно из данных таблицы 1, абсолютные значения этого показателя превышают единицу, что свидетельствует о синергическом действии компонентов препарата в отношении насекомых данного вида. Судя по абсолютным значениям КСД, синергизм комбинированных инсектицидов достаточно контрастный, так как зависит от количества компонентов в комбинированном препарате, метода введения токсиканта в организм, а также эффективной дозы или концентрации. Более активное проявление синергизма отмечается при приеме насекомыми с кормом трехкомпонентного инсектицида по сравнению с двухкомпонентным. Эти различия при однократном приеме корма с инсектицидом возрастают с ростом эффективных доз и варьируют от 3,84 раза в зоне минимально переносимых доз ( $СД_0$ ) до 4,07, 4,98 и 5,16 раза на уровне соответственно  $СД_{16}$ ,  $СД_{50}$  и  $СД_{84}$ . Максимальные различия с величиной 5,82 отмечаются в зоне абсолютных смертельных доз ( $СД_{100}$ ).

Коэффициенты совместного действия различаются и при свободном приеме корма с инсектицидом, при этом различия в величинах снижаются с ростом эффективных концентраций действующих веществ анализируемых препаратов. Так, в зоне минимально переносимых концентраций ( $СК_0$ ) различия значений КСД максимальны и составляют 10,98 раза, несколько ниже – в зонах  $СК_{16}$  и  $СК_{50}$  – соответственно 8,25 и 5,94, а в зонах  $СК_{84}$  и  $СК_{100}$  наблюдается дальнейшее снижение различий – соответственно до 4,51 и 3,08. Количественная оценка совместного действия компонентов с учетом их относительного содержания в комбинированных препаратах показывает, что оно проявляется в форме синергизма.

Инсектициды отличались высокой токсичностью для медоносной пчелы и при контактном действии (табл. 2).

Рассчитанные коэффициенты совместного действия свидетельствуют о том, что уровень токсичности как двухкомпонентного, так и трехкомпонентного препарата превышает сумму  $\frac{1}{2}$  уровней токсичности компонентов, что дает основание утверждать, что взаимодействие компонентов в препаратах при контактном действии проявляется в форме синергизма. Вместе с тем величина синергического эффекта комбинированных препаратов отличается в зависимости от места проникновения инсектицида через покровы в организм насекомых. При аппликации токсикантов на тергиты груди величины коэффициентов совместного действия компонентов в комбинированных препаратах достаточно близки в пределах всего интервала эффективных доз как двухкомпонентного, так и трехкомпонентного препаратов.

Таблица 2. Токсичность комбинированных инсектицидов и их компонентов для медоносной пчелы при контактном действии

Дозы	Компоненты / препарат						Кoeffициент совместного действия (КСД)
	Альфа-циперметрин / Фастак, КЭ (100 г/л)	Имидаклоприд / Танрек, ВРК (200 г/л)	Клотианидин / Клотиамет, ВДГ (500 г/кг)	Имидаклоприд + альфа-циперметрин / Эсперо, КС (200 + 120 г/л)	Альфа-циперметрин + имидаклоприд + клотианидин / Борей Нео, СК (125 + 100 + 50 г/л)		
Аппликация инсектицидов на тергиты груди (topical), мкг Д. в./особь							
СД <sub>0</sub>	0,005 (0,004+0,008)	0,001 (0,0006+0,0025)	–	0,0023 (0,0014+0,0039)	–	–	1,30
СД <sub>16</sub>	0,009 (0,007+0,010)	0,003 (0,002+0,006)	0,0017 (0,0008+0,0035)	–	0,002 (0,001+0,004)	–	1,83
СД <sub>50</sub>	0,016 (0,012+0,020)	0,009 (0,008+0,013)	–	0,0045 (0,0003+0,0070)	–	0,0050 (0,0028+0,008)	1,33
СД <sub>64</sub>	0,027 (0,019 + 0,038)	0,023 (0,013+0,041)	0,004 (0,002+0,007)	0,009 (0,006+0,012)	–	–	1,60
СД <sub>100</sub>	0,046 (0,030+0,070)	0,062 (0,031+0,126)	0,010 (0,007+0,015)	–	0,011 (0,007+0,016)	–	1,39 3,90*
			–	0,017 (0,011+0,026)	–	–	1,59 1,20*
			0,024 (0,013+0,043)	–	–	0,024 (0,014+0,041)	2,94
			–	0,032 (0,019+0,055)	–	–	1,54
			0,058 (0,029+0,120)	–	–	0,055 (0,028+0,104)	1,69
Контакт насекомых с обработанной инсектицидом поверхностью (deposit test), мкг Д. в./см <sup>2</sup>							1,51
СК <sub>0</sub>	0,0027 (0,0017+0,0043)	0,008 (0,003+0,019)	–	0,0008 (0,0004+0,0015)	–	–	1,5
СК <sub>16</sub>	0,0048 (0,0033+0,0071)	0,030 (0,015+0,061)	0,0073 (0,0038+0,0141)	–	0,0036 (0,0017+0,0075)	–	2,5
СК <sub>50</sub>	0,0087 (0,0066+0,0113)	0,114 (0,069+0,188)	–	0,0017 (0,0010+0,0027)	–	–	10,2
СК <sub>64</sub>	0,015 (0,011+0,023)	0,429 (0,212+0,871)	0,0166 (0,0097+0,0281)	0,0035 (0,0025+0,0050)	0,010 (0,005+0,018)	–	2,6
СК <sub>100</sub>	0,028 (0,017+0,044)	1,618 (0,681+3,846)	0,037 (0,026+0,054)	–	0,028 (0,018+0,043)	–	17,5 21,6*
			–	0,0075 (0,0046+0,0120)	–	–	2,8 1,3*
			0,0841 (0,0490+0,1430)	–	0,079 (0,043+0,145)	–	29,6
			–	0,016 (0,0086+0,0280)	–	–	3,3
			0,1897 (0,099+0,364)	–	–	0,223 (0,107+0,468)	51,4

Примечание: \* – в колонке КСД числовые значения под чертой – это количественная оценка совместного действия компонентов с учетом их относительного содержания в смеси веществ.

Совершенно иная картина наблюдается при контакте насекомых с обработанной инсектицидом поверхностью. В пределах всего интервала эффективных доз от СД<sub>0</sub> до СД<sub>100</sub> наибольшая степень синергизма отмечается при использовании двухкомпонентного инсектицида в форме препарата Эсперо, КС (200 г/л имидаклоприда + 120 г/л альфа-циперметрина).

Следует отметить, что темпы роста показателей КСД от предыдущей эффективной дозы к последующей выражаются постоянной величиной, равной 1,7. При одинаковых условиях эксперимента с применением трехкомпонентного инсектицида степень синергизма в пределах эффективных доз была ниже по сравнению с показателями двухкомпонентного инсектицида. Тем не менее величина синергического эффекта возрастала от 2,5 до 4,1 ед. соответственно в зонах СД<sub>0</sub> и СД<sub>100</sub>.

Синергическое действие выявлено и в результате количественной оценки совместного действия компонентов с учетом их относительного содержания в комбинированных препаратах.

Известно, что инсектициды, ингибирующие фермент ацетилхолинэстеразу (фосфорорганические соединения и N-метилкарбаматы), а также триазольные фунгициды, триазиновые гербициды и пиретроидные инсектициды наиболее часто представлены в выявленных синергетических смесях [7, 11]. Результаты исследований с комбинированными препаратами, в состав которых входит инсектицид из класса пиретроидов альфа-циперметрин, подтверждают данный научный факт.

### **Заключение**

Лабораторными токсикологическими исследованиями выявлены закономерности проявления токсического действия комбинированных инсектицидов и их компонентов на медоносную пчелу при различных путях и темпах поступления препаратов в организм насекомых.

На основе полученных данных показано, что инсектициды при отдельном и совместном применении обладают высокой токсической активностью для медоносной пчелы как при поступлении в организм с кормом, так и при проникновении через покровы насекомых.

Установлено, что двухкомпонентный инсектицид Эсперо, КС (200 + 120 г/л) достоверно был менее токсичным для насекомых, чем трехкомпонентный инсектицид Борей Нео, СК (125 + 100 + 50 г/л).

Показано, что компоненты в составе комбинированных препаратов в результате их совместного действия изменяют уровень токсической активности, которая проявляется в форме синергизма в пределах всего интервала эффективных доз и концентраций (СД<sub>0</sub>, СК<sub>0</sub> – СД<sub>100</sub>, СК<sub>100</sub>) как при поступлении инсектицидов в организм с кормом, так и при проникновении через покровы насекомых. При этом уровень синергизма инсектицидов в каждой зоне эффективных доз и концентраций при контактном и кишечном действии зависит от количества компонентов в комбинированном препарате и способа введения инсектицида в организм насекомых.

Результаты проведенных исследований свидетельствуют о том, что крайне важно и с научной, и с практической точек зрения проводить комплексные исследования совместного влияния компонентов в составе комбинированных инсектицидов на медоносную пчелу, поскольку показатели токсичности отдельных соединений недостаточно информативны.

### Список источников

1. Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации (по состоянию на 10 октября 2024 г.); в 2 ч. Ч. I. Пестициды [Электронный ресурс] // Министерство сельского хозяйства Российской Федерации. Архив. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rasteniyevodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industryinformation/infoarkhiv> (дата обращения: 19.11.2024).
2. Илларионов А.И. Токсическое действие некоторых инсектицидов на медоносную пчелу // Агрохимия. 1991. № 8. С. 121–125.
3. Лощадкин Н.А., Гладких В.Д., Голденков В.Е. и др. Пробит-метод в оценке эффектов физиологически активных веществ при низких уровнях воздействия // Российский химический журнал (Журнал Российского химического общества им. Д.И. Менделеева). 2002. Т. XLVI, № 6. С. 63–67.
4. Павлов С.Д. Вариационно-статистический метод расчета эффективных и токсических доз пестицидов // Доклады Всесоюзной академии сельскохозяйственных наук имени В.И. Ленина. 1981. № 5. С. 37–39.
5. Попов С.Я., Дорожкина Л.А., Калинин В.А. Основы химической защиты растений; под ред. С.Я. Попова. Москва: Арт-Лион, 2003. 208 с.
6. Belden J.B., Brain R.A. Incorporating the joint toxicity of co-applied pesticides into the ecological risk assessment process // Integrated Environmental Assessment and Management. 2018. Vol. 14(1). Pp. 79–91. DOI: 10.1002/ieam.1957.
7. Belden J.B. The acute toxicity of pesticide mixtures to honeybees // Integrated Environmental Assessment and Management. 2022. Vol. 8(6). Pp. 1694–1704. DOI: 10.1002/ieam.4595.
8. Cang T., Lou Y., Zhu Y.C. et al. Mixture toxicities of tetrachlorantraniliprole and tebuconazole to honey bees (*Apis mellifera* L.) and the potential mechanism // Environment International. 2023. Vol. 172. Article No. 107764. DOI: 10.1016/j.envint.2023.107764.
9. Carnesecchi E., Svendsen C., Lasagni S. et al. Investigating combined toxicity of binary mixtures in bees: Meta-analysis of laboratory tests, modelling, mechanistic basis and implications for risk assessment // Environment International. 2019. Vol. 133(PtB). Article No.105256. DOI: 10.1016/j.envint.2019.105256.
10. Cedergreen N., Sorensen H., Svendsen C. Can the joint effect of ternary mixtures be predicted from binary mixture toxicity results? // Science of the Total Environment. 2012. Vol. 15. Pp. 427–428. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.03.086.
11. Hernández A.F., Gil F., Lacasaña M. Toxicological interactions of pesticide mixtures: an update // Archives of Toxicology. 2017. Vol. 91(10). Pp. 3211–3223. DOI: 10.1007/s00204-017-2043-5.
12. Johnson R.M., Pollock H.S., Berenbaum M.R. Synergistic interactions between in-hive miticides in *Apis mellifera* // Journal of Economic Entomology. 2009. Vol. 102(2). Pp. 474–479. DOI: 10.1603/029.102.0202.10.
13. Kienzler A., Bopp S.K., Linden S. et al. Worth regulatory assessment of chemical mixtures: Requirements, current approaches and future perspectives // Regulatory Toxicology and Pharmacology. 2016. Vol. 80. Pp. 321–334, DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.05.020.
14. Naggar Y.A., Wiseman S., Sun J. et al. Effects of environmentally-relevant mixtures of four common organophosphorus insecticides on the honey bee (*Apis mellifera* L.) // Journal of Insect Physiology. 2015. Vol. 82. Pp. 85–91. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2015.09.004.
15. Sgolastra F., Medrzycki P., Bortolotti L. et al. Synergistic mortality between a neonicotinoid insecticide and an ergosterol-biosynthesis-inhibiting fungicide in three bee species // Pest Management Science. 2017. Vol. 73(6). Pp. 1236–1243. DOI: 10.1002/ps.4449.
16. Wang D., Lv L., Gao Z, et al. Joint toxic effects of thiamethoxam and flusilazole on the adult worker honey bees (*Apis mellifera* L.) // Environmental Pollution. 2023. Vol. 317. Article No. 120806. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120806.
17. Wang Y., Cheng Y.Z., Li W. Comparative examination on synergistic toxicities of chlorpyrifos, acephate, or tetraconazole mixed with pyrethroid insecticides to honey bees (*Apis mellifera* L.) // Environmental Science and Pollution Research. 2020. Vol. 27(7). Pp. 6971–6980. DOI: 10.1007/s11356-019-07214-3.
18. Yao J., Zhu Y.C., Adamczyk J. Responses of honey bees to lethal and sublethal doses of formulated clothianidin alone and mixtures // Journal of Economic Entomology. 2018. Vol. 111(4). Pp. 1517–1525. DOI: 10.1093/jee/toy140.

### References

1. State Catalogue of pesticides and agrochemicals approved for use in the territory of the Russian Federation (as of October 10, 2024); in 2 parts. Part 1. Pesticides. Ministry of Agriculture of the Russian Federation. Archive. URL: <https://mcx.gov.ru/ministry/departments/departament-rasteniyevodstva-mekhanizatsii-khimizatsii-i-zashchity-rasteniy/industryinformation/info-arkhiv/>. (In Russ.).
2. Illarionov A.I. Toxic effect of some insecticides on honey bee. *Agrokhimia*. 1991;8:121-125. (In Russ.).
3. Loshadkin N.A., Gladkikh V.D., Goldenkov V.E. et al. Probit method in assessing the effects of physiologically active substances at low levels of exposure. *Ros. Khim. Zh.* 2002;46(6):63-67. (In Russ.).

4. Pavlov S.D. Variational-statistical method for calculating effective and toxic doses of pesticides. *Reports of the All-Union Academy of Agricultural Sciences named after V.I. Lenin*. 1981;5:37-39. (In Russ.).
5. Popov S.Ya., Dorozhkina L.A., Kalinin V.A. Fundamentals of chemical plant protection; under the general editorship of S.Ya. Popov. Moscow: Art-Lion Publishers; 2003. 208 p. (In Russ.).
6. Belden J.B., Brain R.A. Incorporating the joint toxicity of co-applied pesticides into the ecological risk assessment process. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2018;14(1):79-91. DOI: 10.1002/ieam.1957.
7. Belden J.B. The acute toxicity of pesticide mixtures to honeybees. *Integrated Environmental Assessment and Management*. 2022;8(6):1694-1704. DOI: 10.1002/ieam.4595.
8. Cang T., Lou Y., Zhu Y.C. et al. Mixture toxicities of tetrachlorantraniliprole and tebuconazole to honey bees (*Apis mellifera* L.) and the potential mechanism. *Environment International*. 2023;172:107764. DOI: 10.1016/j.envint.2023.107764.
9. Carnesecchi E., Svendsen C., Lasagni S. et al. Investigating combined toxicity of binary mixtures in bees: Meta-analysis of laboratory tests, modelling, mechanistic basis and implications for risk assessment. *Environment International*. 2019;133(PtB):105256. DOI: 10.1016/j.envint.2019.105256.
10. Cedergreen N., Sorensen H., Svendsen C. Can the joint effect of ternary mixtures be predicted from binary mixture toxicity results? *Science of the Total Environment*. 2012;15:427-428. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2012.03.086.
11. Hernández A.F., Gil F., Lacasaña M. Toxicological interactions of pesticide mixtures: an update. *Archives of Toxicology*. 2017;91(10):3211-3223. DOI: 10.1007/s00204-017-2043-5.
12. Johnson R.M., Pollock H.S., Berenbaum M.R. Synergistic interactions between in-hive miticides in *Apis mellifera* L. *Journal of Economic Entomology*. 2009;102(2):474-479. DOI: 10.1603/029.102.0202.10.
13. Kienzler A., Bopp S.K., Linden S. et al. Worth regulatory assessment of chemical mixtures: Requirements, current approaches and future perspectives. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*. 2016; 80:321-334, DOI: 10.1016/j.yrtph.2016.05.020.
14. Naggar Y.A., Wiseman S., Sun J. et al. Effects of environmentally-relevant mixtures of four common organophosphorus insecticides on the honey bee (*Apis mellifera* L.). *Journal of Insect Physiology*. 2015;82:85-91. DOI: 10.1016/j.jinsphys.2015.09.004.
15. Sgolastra F., Medrzycki P., Bortolotti L. et al. Synergistic mortality between a neonicotinoid insecticide and an ergosterol-biosynthesis-inhibiting fungicide in three bee species. *Pest Management Science*. 2017;73(6):1236-1243. DOI: 10.1002/ps.4449.
16. Wang D., Lv L., Gao Z. et al. Joint toxic effects of thiamethoxam and flusilazole on the adult worker honey bees (*Apis mellifera* L.). *Environmental Pollution*. 2023; 317:120806. DOI: 10.1016/j.envpol.2022.120806.
17. Wang Y., Cheng Y.Z., Li W. Comparative examination on synergistic toxicities of chlorpyrifos, acephate, or tetraconazole mixed with pyrethroid insecticides to honey bees (*Apis mellifera* L.). *Environmental Science and Pollution Research*. 2020;27(7):6971-6980. DOI: 10.1007/s11356-019-07214-3.
18. Yao J., Zhu Y.C., Adamczyk J. Responses of honey bees to lethal and sublethal doses of formulated clothianidin alone and mixtures. *Journal of Economic Entomology*. 2018;111(4):1517-1525. DOI: 10.1093/jee/toy140.

#### Сведения об авторах

А.И. Илларионов – доктор биологических наук, профессор кафедры земледелия и защиты растений ФГБОУ ВО «Воронежский государственный аграрный университет имени императора Петра I», Illarionov-Alexandr@yandex.ru.

А.А. Деркач – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник лаборатории «Биологическая защита растений» ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (Воронежская область), derkach.vrn.2010@mail.ru.

О.А. Илларионова – младший научный сотрудник лаборатории «Анализ пестицидов» ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт защиты растений» (Воронежская область), illarionova-oxana@yandex.ru.

#### Information about the authors

A.I. Illarionov, Doctor of Biological Sciences, Professor, the Dept. of Soil Management and Plant Protection, Voronezh State Agrarian University named after Emperor Peter the Great, Illarionov-Alexandr@yandex.ru.

A.A. Derkach, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Research Scientist, Biological Plant Protection Laboratory, All-Russian Research Institute of Plant Protection (Voronezh Oblast), derkach.vrn.2010@mail.ru.

O.A. Illarionova, Junior Research Scientist, Pesticide Analysis Laboratory, All-Russian Research Institute of Plant Protection (Voronezh Oblast), illarionova-oxana@yandex.ru.

Статья поступила в редакцию 20.08.2025; одобрена после рецензирования 26.09.2025; принята к публикации 10.10.2025.

The article was submitted 20.08.2025; approved after reviewing 26.09.2025; accepted for publication 10.10.2025.

© Илларионов А.И., Деркач А.А., Илларионова О.А., 2025