

**Классы современных
инсектицидов, механизмы
их действия, возникновение
резистентности у насекомых**

Природная устойчивость:

видовая – определяется морфологическими, биохимическими и прочими особенностями разных видов. Щитки у щитовок и ложнощитовок, галлы для галловых клещей служат защитой от контактных пестицидов. Разницей в метаболизме обусловлена чувствительность разных систематических групп к определённым пестицидам (клещи, как и насекомые, чувствительны к ФОС, но нечувствительны к неоникотиноидам и большинству пиретроидов).

стадийная и возрастная – связаны с изменением устойчивости в онтогенезе. Наиболее устойчива к пестицидам стадия яйца, наименее устойчива стадия личинки. При этом чувствительность личинок насекомых снижается от младших возрастов к старшим, что связано с уменьшением степени проницаемости их внешних покровов для пестицидов.

временная – объясняется особенностями суточной активности вредителей. Наиболее чувствительны к инсектицидам активнодвигающиеся и питающиеся особи. Так, из-за меньшей интенсивности дыхания у насекомых фумиганты снижают эффективность при низких температурах.

сезонная – связана с физиологическим состоянием вредных организмов. У зимующих в стадии имаго насекомых в конце лета, когда организм накапливает большое количество жира, устойчивость к пестицидам повышается (жировое тело служит барьером на пути проникновения инсектицидов в организм), перезимовавшие особи весной наиболее чувствительны.

индивидуальная - устойчивость отдельных особей к тому или иному пестициду может быть в сотни раз выше, чем популяции в среднем. Наличие в популяции таких особей обуславливает возникновение резистентности.

Приобретённая устойчивость (резистентность)

Резистентность рассматривается как возникающая в результате систематического применения пестицидов и наследуемая в популяциях способность организмов выживать и размножаться в присутствии химического вещества, которое раньше подавляло их развитие. Резистентность возникает в конкретной популяции вредителя при многократном применении одних и тех же пестицидов. Это одно из проявлений общебиологического процесса приспособления организмов к меняющимся условиям среды, при этом пестицид выступает в роли фактора отбора.

Конкретные механизмы повышения устойчивости насекомых к действию пестицидов могут быть самыми различными. Например, снижение проницаемости кутикулы, затрудняющее поступления ядов внутрь организма, что дает устойчивость среднего уровня (установлено при действии ФОС, пиретроидов, карбаматов). Устойчивость на клеточном уровне может быть обусловлена либо способностью образовывать с молекулами пестицида неактивные конъюгаты до того, как они проникнут к месту действия, либо способностью к их детоксикации. В первом случае происходит биосинтез соединений, имеющих высокое биохимическое сродство к молекулам пестицида (образующих с ними прочный комплекс), которые «перехватывают» и связывают токсикант до нанесения им вреда клетке. Во втором случае – пестицид детоксицируется (разрушается до нетоксичных метаболитов) с помощью различных ферментов. Причём это может быть связано как с появлением мутантных ферментов, эффективно разрушающих определённые пестициды (например, ДДТ-дегидрохлориназа, специфически разрушающая ДДТ, который является ксенобиотиком и ранее не присутствовал в биосфере), так и с повышением биосинтеза и активности в клетках некоторых уже существующих ферментов, что приводит к более быстрой деградации пестицидов.

Виды резистентности:

- **Специфическая** – приобретённая устойчивость к одному конкретному пестициду.
- **Групповая** — приобретенная устойчивость к препаратам, относящимся к одной группе по химическому строению и обладающим одинаковым механизмом действия.
- **Перекрестная** — устойчивость к двум или нескольким пестицидам, относящимся к разным классам, возникающая при применении одного из этих пестицидов. Например, множественные обработки фосфорорганическими препаратами могут приводить к развитию у насекомых перекрестной устойчивости к пиретроидам. Формирование кросс-резистентности характерно также для ФОС и карбаматов, ДДТ и пиретроидов и т.д. Обусловлена тем, что сформированный у резистентных особей механизм устойчивости к одному пестициду оказывается эффективным также для противостояния воздействию пестицидов из других химических классов.
- **Множественная** — это устойчивость популяции сразу к нескольким препаратам из разных химических классов, обусловленная генетически разными механизмами. Формируется, если в результате безграмотных обработок в популяции вредителя сложились условия для одновременного существования достаточного количества особей со специфической или групповой устойчивостью к различным пестицидам, что при скрещивании даёт в потомстве часть особей уже с множественной устойчивостью к этим группам токсикантов. Так, в Голландии известны популяции красного плодового клеща, устойчивого к 19 акарицидам разных химических групп.

Количественной характеристикой приобретенной устойчивости служит **коэффициент устойчивости (КУ)**. У разных видов его значение может достигать от несколько десятков до сотен и даже тысяч единиц. Это значит, что для получения одинакового эффекта резистентные популяции придется обрабатывать в десятки или в сотни раз большим количеством пестицида, чем чувствительные, что на практике неприемлемо.

Устойчивость к пестициду в популяции формируется не сразу. На первом этапе наблюдается низкая, относительно стабильная устойчивость (толерантность; $KУ$ 2-5). Наблюдается в среднем через 5-15 поколений. В этот период еще можно получить удовлетворительный хозяйственный результат от пестицида, применив повышенную норму расхода. На втором этапе происходит стремительное нарастание устойчивости в популяции, $KУ$ возрастает в десятки раз. На третьем этапе происходит стабилизация устойчивости на уровне, предельном для данного препарата и данного вида. Скорость развития резистентности может быть различна. При применении одних препаратов она развивается через 10-15 поколений, других — через 35-40. Известен случай, когда обработка диметоатом 12 поколений персиковой тли привела к увеличению $KУ$ более чем в 1000 раз.

После прекращения применения пестицида постепенно происходит восстановление прежней реакции популяции на его действие — реверсия приобретенной устойчивости. Скорость реверсии может быть различна. При стабильной резистентности применение селективирующего резистентность препарата даже через 3-5 лет быстро приводит к её восстановлению.

Для предупреждения возникновения резистентности существует только один способ – грамотное чередование пестицидов из разных химических классов. Также важны сопутствующие мероприятия, направленные на замедление процесса отбора в популяциях вредителей – не применять завышенных норм расхода пестицидов, оберегать энтомофагов, периодически использовать нехимические средства защиты.

Способствуют возникновению резистентности любые нарушения технологии применения пестицидов – несоблюдение сроков обработок по конкретным вредителям (когда в популяциях присутствуют наиболее устойчивые стадии); нарушение дозировки, правил смешивания пестицидов в баковых смесях, кратности обработок; применение пестицидов с положительным или отрицательным температурным коэффициентом при несоответствующей температуре воздуха; опрыскивание по мокрым листьям (после дождя, по росе); использование некачественных препаратов (с просроченным сроком годности, хранившихся в неподобающих условиях) и т.д.

На скорость развития резистентности и её характер влияют следующие факторы:

- селектирующие свойства пестицида
- длительность, кратность и схемы применения пестицида
- биологические особенности объекта (особенности метаболизма, генетическая гетерогенность популяции, плодовитость, количество поколений за сезон и т.д.)
- состояние популяций энтомофагов и применение нехимических средств защиты растений в саду.

Определение классов опасности пестицидов для человека

Показатель	Значение показателя при классе опасности			
	Высокоопасные	Опасные	Умеренно опасные	Малоопасные
ЛД ₅₀ перорально, мг/кг	менее 50	51-200	201-1000	более 1000
ЛД ₅₀ при нанесении на кожу, мг/кг	менее 100	101-500	501-2000	более 2000
СК ₅₀ в воздухе, мг/м ³	менее 500	501-2000	2001-20000	более 20000
Коэффициент кумуляции	менее 1	1-3	3,1-5	более 5
ДСД, мг/кг массы тела	0,0001-0,0020	0,0021-0,0050	0,0051-0,0200	более 0,02
Стойкость в почве	более 1 года	6-12 месяцев	1-6 месяцев	менее 1 мес.

Классификация инсектицидов по способу проникновения в организм насекомых:

- фумигационного действия – поступают в организм насекомых в виде газа или пара через органы дыхания;
- контактного действия – проникают в организм через наружные покровы при непосредственном контакте;
- кишечного действия – попадают в организм через пищеварительную систему вместе с пищей;
- системного действия – по своей сути являются кишечными (т.к. также попадают в организм насекомых с растительной пищей), но выделяются в отдельную группу, т.к. обладают важной способностью проникать внутрь растения и передвигаться в нём по сосудистой системе в необработанные ткани, защищая их от вредителей. К этой группе примыкают препараты, обладающие трансламинарным эффектом (они также проникают внутрь листовых пластинок, но, в отличие от истинно системных препаратов, не способны передвигаться по сосудам).

Фосфорорганические соединения (ФОС)

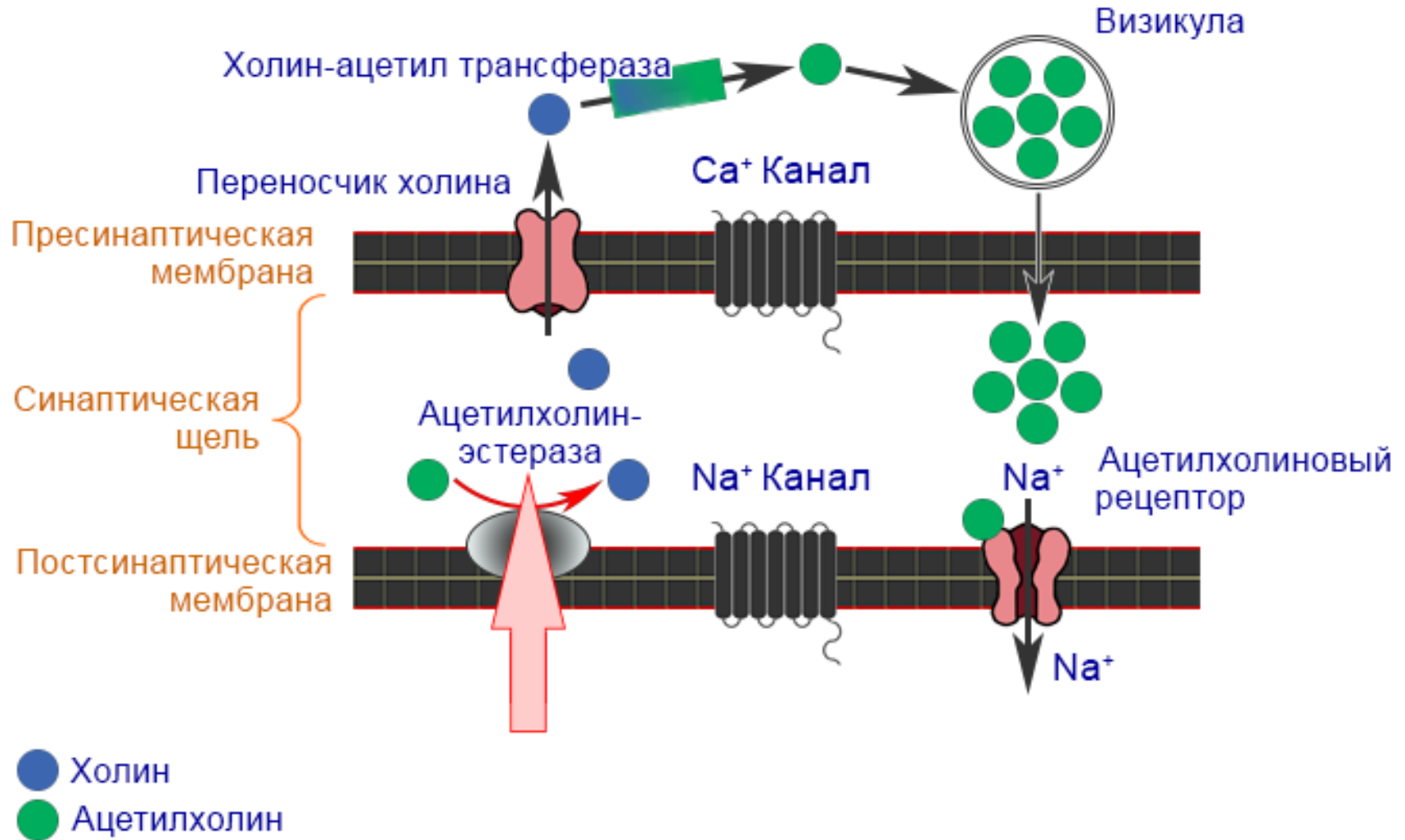
Химическая структура	Действующее вещество	Препарат	Примечание*
Производные тиофосфорной кислоты	Фенитроцион	Самурай, Сумитион	СТ
	Пиримифос-метил	Актеллик, Камикадзе	МТ
	Паратион-метил	Парашют	ВТ
	Диазинон	Баргузин, Валлар, Гризли, Гром, Гром-2, Медветокс, Муравьед, Муравьин, Почин, Провотокс	ВТ Обладает системным действием. Не проявляет акарицидных свойств
	Хлорпирифос	Дарсбан, Дурсбан, Деразган, Пиринекс, Сайрен, Фосбан, Хлорпирифос	ВТ Самый стойкий из ФОС (сохраняется в почве до двух лет)
Производные дитиофосфорной кислоты	Малатион	Фуфанон, Искра М, Карбофос, Карбофот, Кемифос, Новактион	СТ
	Фозалон	Золон, Фозалон	ВТ
	Диметоат	Би-58 Новый, Данадим, Дитокс, Ди-68, Диметоат, Бином, Нугор, Пророгор, Рогор-С, Тагор, Фостран	СТ Обладает системным действием

* ВТ, СТ, МТ – высокая, средняя, малая пероральная токсичность

Общая характеристика ФОС

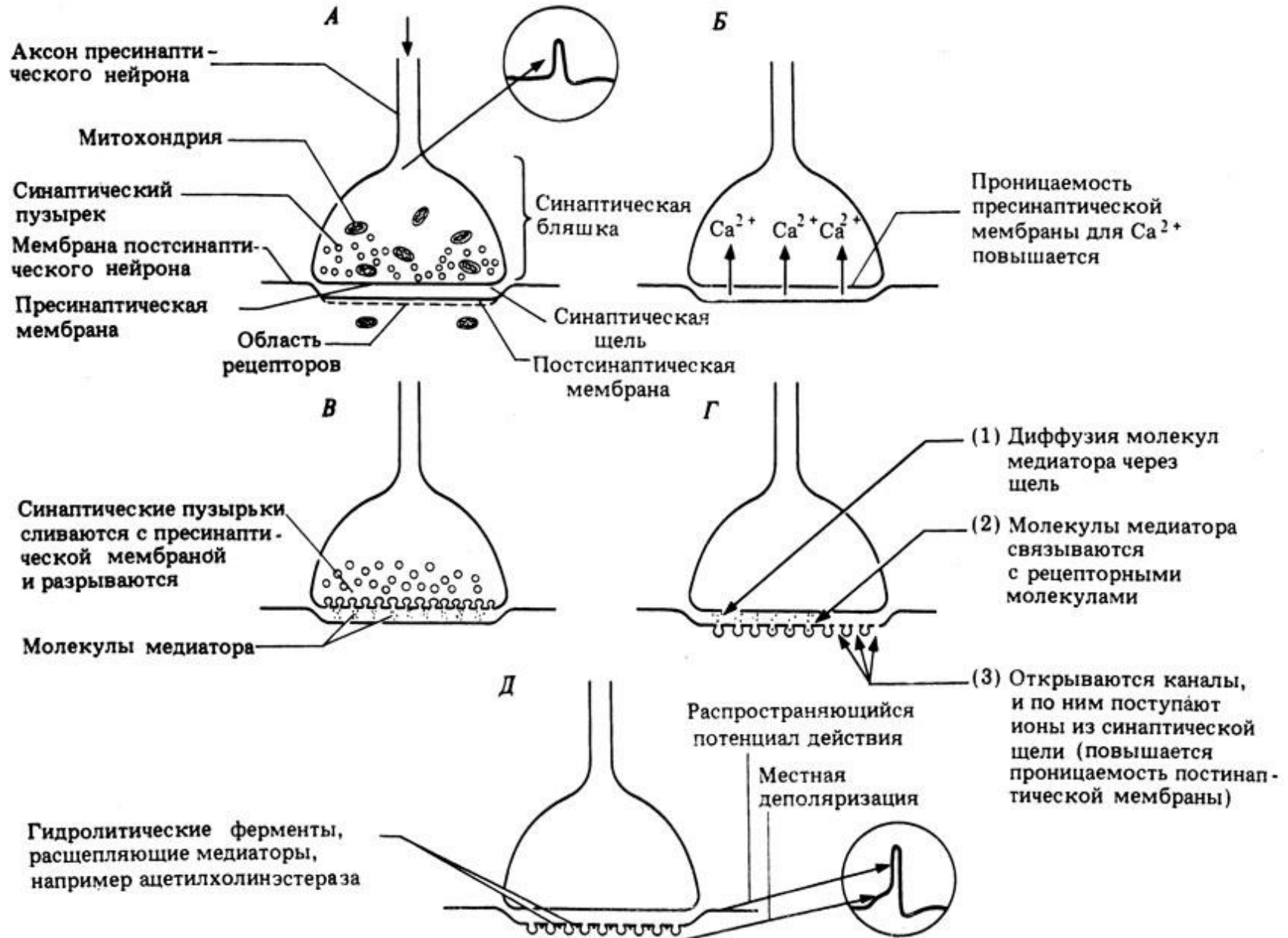
Инсектоакарициды с высокой начальной токсичностью и периодом защитного действия от 1 до нескольких недель. При $t < 11^{\circ}\text{C}$ эффективность снижается, с повышением температуры физиологическая активность возрастает (пестициды с положительным температурным коэффициентом). Ввиду невысокой химической и термической стойкости довольно быстро разрушаются во внешней среде (почва, вода, поверхность растений) до нетоксичных продуктов. Разложение в почве происходит при активном участии микроорганизмов. Длительность сохранения современных ФОС в почве не превышает 1 месяца (кроме хлорпирифоса), поэтому опасность загрязнения кормов и продуктов питания их остатками через корни сводится к минимуму. В рекомендованных дозах ФОС не фитотоксичны, в растениях разрушаются при помощи ферментов-гидролаз, процессы гидролиза идут очень активно, и даже самые стойкие из ФОС разлагаются за 30-40 дней. При соблюдении сроков последней обработки остатки этих инсектицидов в продуктах или не отмечаются, или не превышают допустимого предела.

Механизм действия ФОС



ФОС являются ингибиторами фермента ацетилхолинэстеразы. Инактивация ацетилхолинэстеразы приводит к тому, что в синаптической щели накапливается свободный ацетилхолин, который продолжает оказывать непрерывное воздействие на холиновые рецепторы. Это приводит к гипертрофированной возбудимости, что вызывает судорожную активность мышц, переходящую в паралич, и в конечном итоге - гибель насекомого.

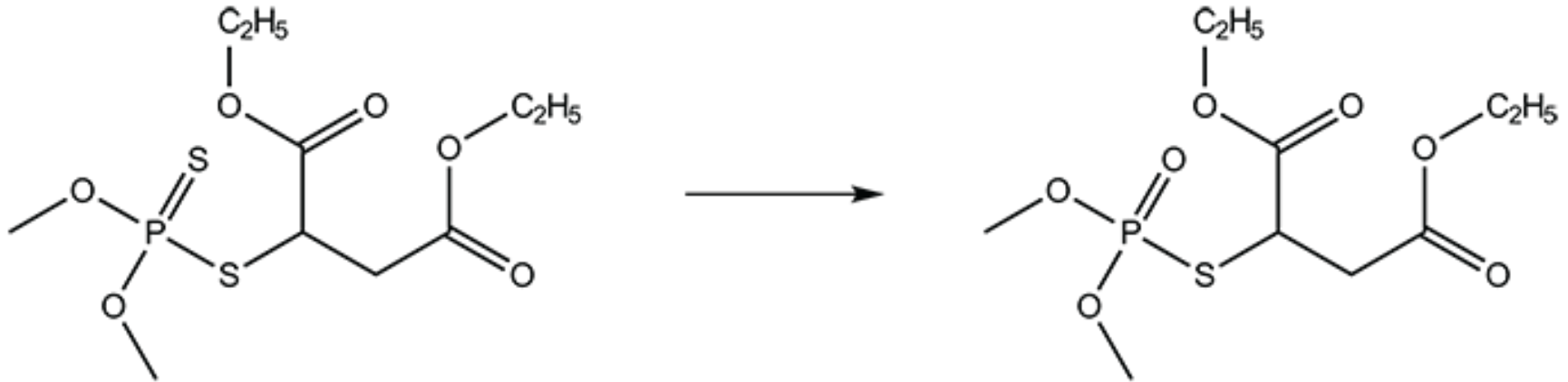
Схема передачи нервного импульса в синапсе



Самый популярный пестицид из группы ФОС – малатион (препараты Карбофос, Фуфанон, Искра М и др.). В чистом виде это бесцветная жидкость, хорошо растворимая в органических растворителях и практически не растворимая в воде. При поступлении в организм молекулы малатиона могут подвергаться различным преобразованиям под действием разных ферментов, но у насекомых и теплокровных животных эти процессы идут по-разному. В организме насекомых гидролиз (расщепление) малатиона протекает медленно, преобладают процессы окисления малатиона до малаоксона, который ещё более токсичен, чем исходное действующее вещество, поэтому малатион высокотоксичен для насекомых. В организме теплокровных животных, вследствие высокой активности ферментов карбоксиэстераз и фосфатаз, разрушение молекул малатиона идёт в первую очередь в направлении гидролиза различных частей молекулы. При этом образуются малотоксичные водорастворимые продукты, которые практически не проникают в нервную систему животного, но быстро выводятся из организма с мочой. Остатки пестицида не накапливаются в тканях. Образование малаоксона в организме млекопитающего происходит в очень ограниченном количестве. В целом для человека и теплокровных животных химически чистый малатион малотоксичен, а содержащие его препараты среднетоксичны (относятся к 3 классу опасности), поскольку в них имеются токсичные примеси.

Это наглядный пример специфичности действия токсиканта на организмы разных систематических групп, которое определяется особенностями метаболизма этих организмов.

Окисление малатиона до малаоксона



При систематическом применении препаратов на основе малатиона в обрабатываемых популяциях насекомых и клещей довольно быстро происходит отбор более устойчивых особей и развивается приобретенная резистентность. Устойчивые особи отличаются высокой способностью разрушать малатион до нетоксичных продуктов. Это обусловлено или появлением специфичного фермента малатионоксидазы, или увеличением активности ферментов-эстераз. В первом случае вырабатывается специфическая устойчивость только к малатиону, во втором — ко всей группе ФОС (групповая резистентность).

Синтетические пиретроиды

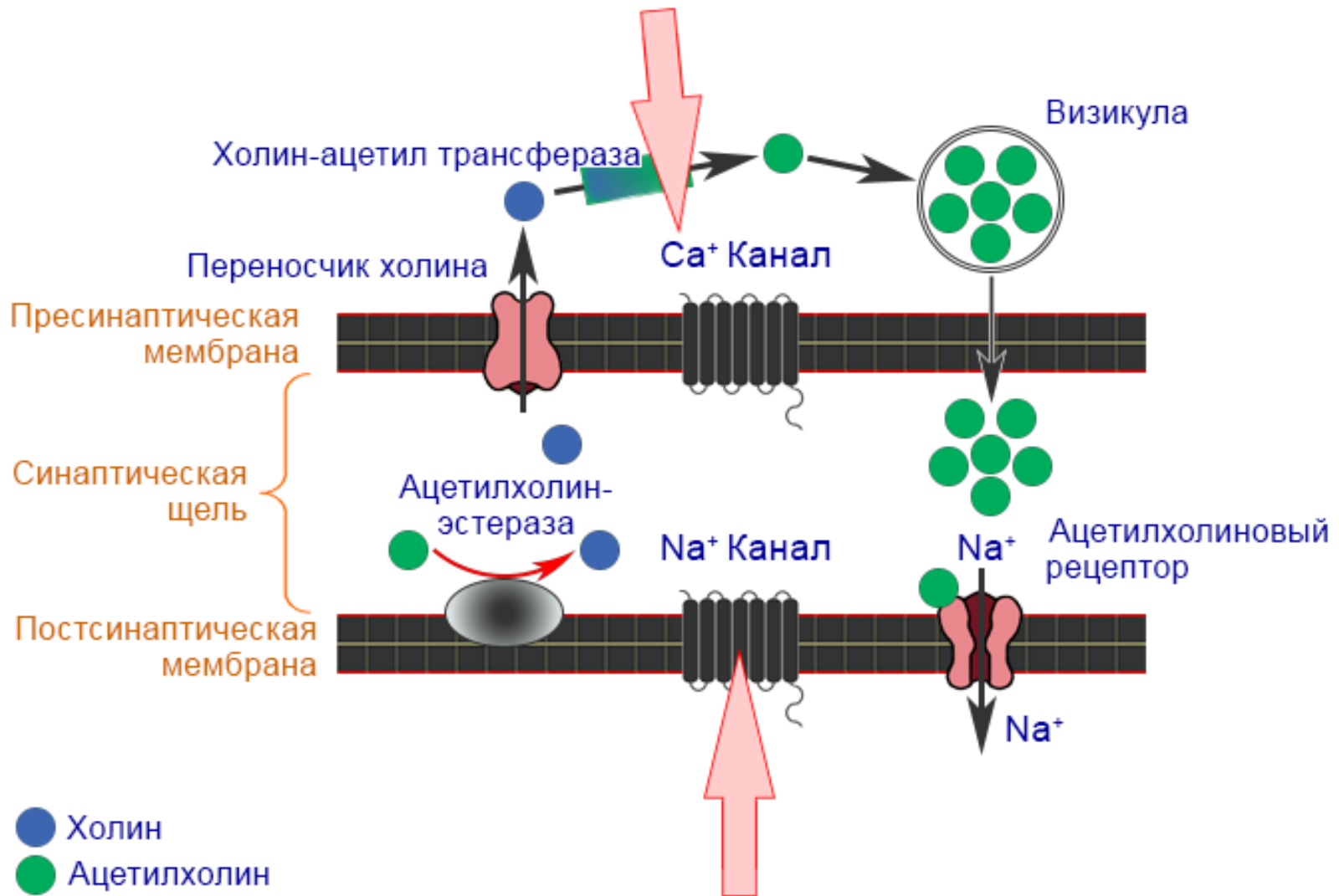
Действующее вещество	Препарат	Класс опасности для человека/пчёл
Перметрин	Искра (перметрин + циперметрин)	3/1
Циперметрин	Арриво, Инта-Вир, Шарпей, Ципи	2-3/1-2
Альфа-циперметрин	Айвенго, Аккорд, АлтАльф, Альфа Ципи, Альфацин, Альфашанс, Неофрал, Фастак, Ци-альфа, Цунами	2-3/1
Бета-циперметрин	Кинмикс	3/1
Зета-циперметрин	Таран, Фьюри	2-3/1
Дельтаметрин	Атом, Децис Профи, Децис Эксперт, ФАС	2-3/1
Эсфенвалерат	Суми-альфа, Сэмпай	3/1
Гамма-цигалотрин	Вантекс	3/1
Лямбда-цигалотрин	Каратэ Зеон, Кунгфу, Молния, Оперкот, Сенсей	2-3/1-2
Бифентрин	Клипер, Талстар	2/1 Инсектоакарицид
Тау-флювалинат	Маврик	3/3 Инсектоакарицид эффективен при высоких t°

Общая характеристика синтетических пиретроидов

Инсектициды контактно-кишечного действия. Большинство не обладает акарицидным эффектом. Низкие нормы расхода (ниже ФОС). Высокоэффективны при низких положительных температурах, при высокой температуре (выше 23-25°) эффективность резко снижается. Липофильные соединения, что обеспечивает лёгкое и быстрое проникновение в организм насекомых через их покровы, а также прочное удержание на поверхности обработанных растений (в кутикуле листьев). Не проникают в растительные ткани, не фитотоксичны. Устойчивы к смыву дождями, высокостабильны на солнечном свете, потери с обработанных поверхностей в результате испарения невелики. Период защитного действия в целом выше, чем у ФОС. Высокая токсичность в отношении как насекомых-вредителей, так и полезной энтомофауны. В почве малоподвижны, разрушаются под действием микрофлоры за 2-4 недели до нетоксичных метаболитов.

Внешние симптомы отравления насекомых те же, что и при действии ФОС (гипервозбудимость, тремор, затем паралич и смерть), что также связано с нарушением передачи нервных импульсов в синапсах, но биохимический механизм действия иной.

Механизм действия пиретроидов



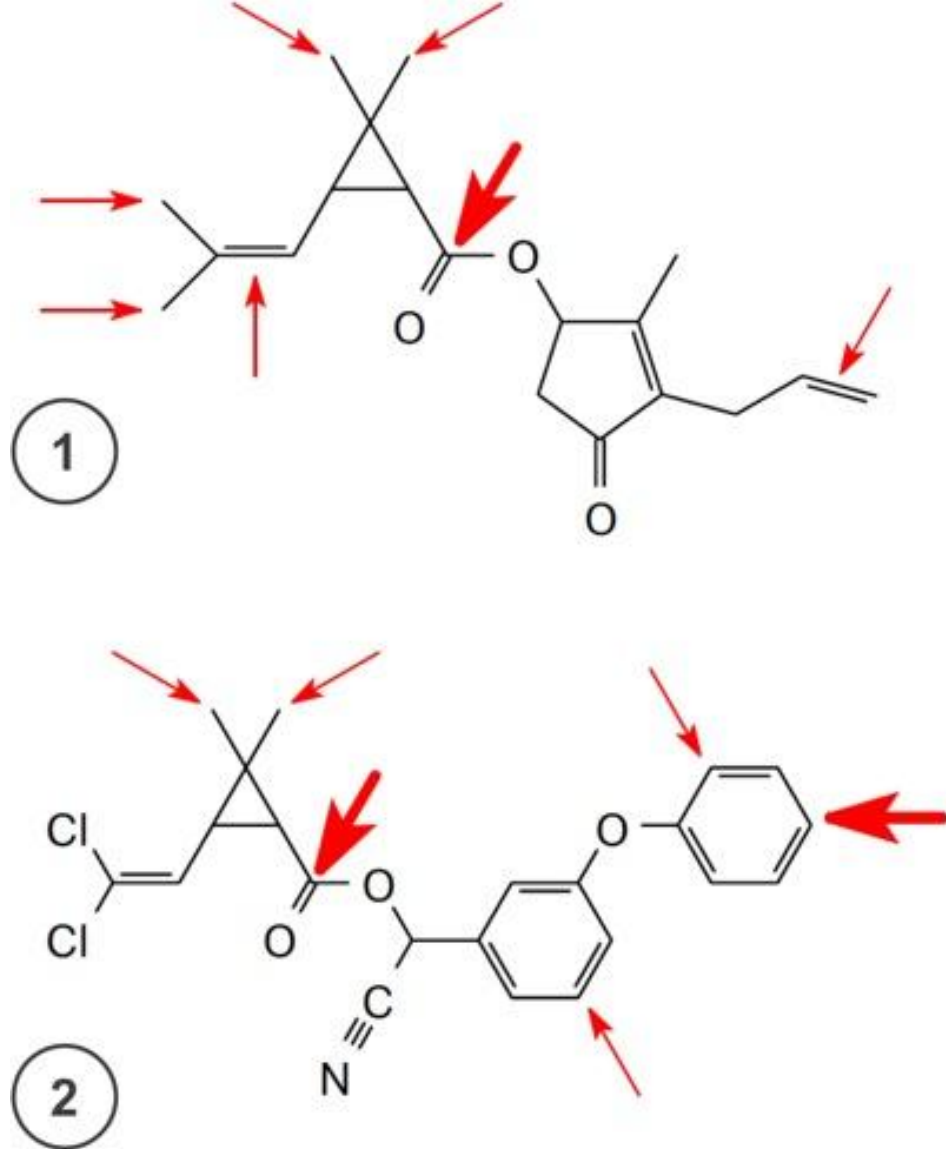
Пиретроиды активируют Ca-каналы на пресинаптической мембране, приводя к выделению излишнего количества ацетилхолина в синаптическую щель. Одновременно с этим под действием пиретроидов на постсинаптической мембране пролонгируется открытие Na-каналов, что приводит к стойкой деполяризации мембраны и, соответственно, гипертрофированной возбудимости.

Казалось бы, механизмы действия ФОС и пиретроидов разные, соответственно, у насекомых не должно возникать перекрёстной резистентности к этим группам пестицидов, однако на практике это достаточно частое явление.

Причина в том, что один из двух основных путей биodeградация пиретроидов в организме насекомых – гидролиз с помощью эстераз. А одним из механизмов детоксикации ФОС у устойчивых к этим пестицидам насекомых является как раз увеличение активности эстераз. Таким образом, за счёт одинаковых механизмов детоксикации ФОС и пиретроидов насекомые могут приобретать устойчивость одновременно к этим двум группам пестицидов. Это надо учитывать в практике защиты садов. Для снижения риска возникновения перекрёстной резистентности лучше воздерживаться от применения баковых смесей инсектицидов из этих двух групп, а также коммерческих препаратов, которые представляют собой двухкомпонентные смеси ФОС + пиретроид.

Двухкомпонентные инсектициды (пиретроид + ФОС):

- Инта-Ц-М (циперметрин + малатион)
- Ципи Плюс (циперметрин + хлорпирифос)
- Кинфос (бета-циперметрин + диметоат)
- Тибор (бета-циперметрин + диметоат)
- Пиринекс Супер (бифентрин + хлорпирифос)



Направления атаки ферментов, приводящих к дезактивации пиретроидов в живом организме. Стрелками показаны места гидролиза при действии эстераз, гидроксирования (внедрения атома кислорода по связи С–Н) и эпексидирования с последующим окислением и расщеплением. Толщина стрелок отражает относительную значимость того или иного направления атаки.

1 - Аллетрин; 2 - Циперметрин.

Неоникотиноиды

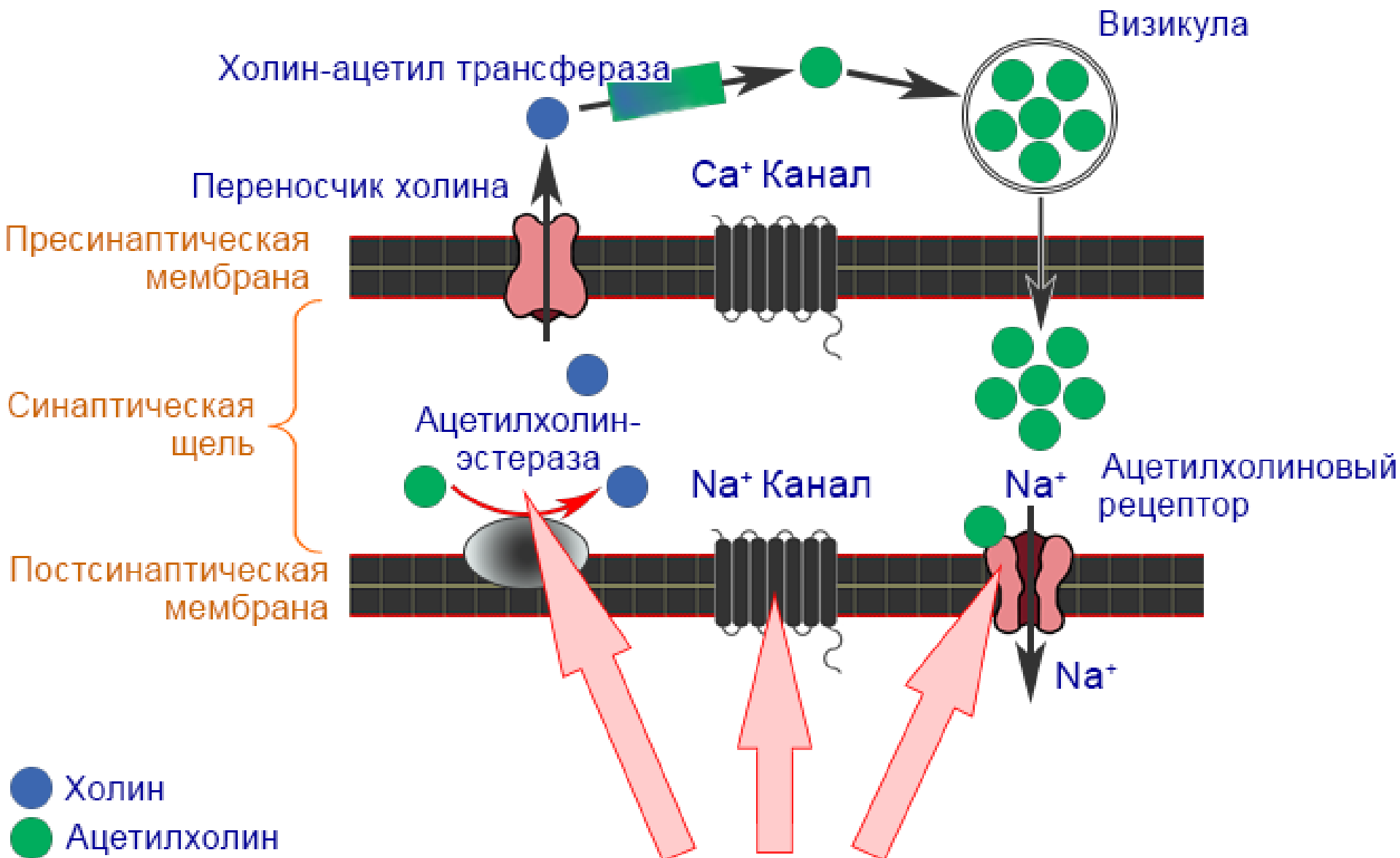
Действующее вещество	Препарат	Класс опасности для человека/пчёл
Имидаклоприд	Биотлин, Зубр, Искра Золотая, Калаш, Командор, Конфидор Экстра, Корrado, Муссон, Табу, Танрек, Цветолюкс Бау	3/1
Ацетамиприд	Моспилан, Агент, Газель, Гринда, Снейк, Стожар	3/1-3
Тиаметоксам	Актара, Доктор, Инсектор, Тиара	2-3/1
Тиаклоприд	Бискайя, Калипсо, Пондус	2/3
Клотианидин	Апачи, Бусидо, Каратель, Клотиамет	3/1

Общая характеристика неоникотиноидов

Инсектициды контактно-кишечного действия, обладающие выраженным трансламинарным и системным эффектом. Быстро передвигаются по флоэме в необработанные части растения, в т.ч. при применении в виде полива под корень. При этом проникают по сосудистой системе преимущественно в листья растений, но практически не поступают в плоды, что важно с точки зрения безопасности продукции для человека. Не фитотоксичны. Обладают высокой биологической активностью и достаточно длительным периодом защитного действия при малых нормах расхода. Применяются против колюще-сосущих и листогрызущих насекомых, а также в качестве почвенных инсектицидов и протравителей семян. Ввиду избирательности действия обладают малой или средней токсичностью для человека и теплокровных животных (хорошо аккумулируются рецепторами, имеющимися у насекомых, и плохо – рецепторами млекопитающих). Токсичны для пчёл.

Механизм действия: подавляют активность ацетилхолинэстеразы (как ФОС) и одновременно пролонгируют открытие натриевых каналов на постсинаптической мембране (как пиретроиды). Благодаря разностороннему действию, а также иному химическому строению действующих веществ, неоникотиноиды не формируют кросс-резистентности с ФОС и пиретроидами.

Механизм действия неоникотиноидов



Ювеноиды (аналоги ювенильного гормона)

Действующее вещество	Препарат	Класс опасности для человека/пчёл
Феноксикарб	Инсегар, Фазис, Фора	3/3 Инсектицид
Пирипроксифен	Адмирал /закончился срок регистрации/	3/3 Инсектицид
Фенпироксимат	Ортус	3/3 Акарицид

Ювенильные гормоны регулируют у насекомых процессы метаморфоза — рост и превращение из одной стадии в другую (например, из личинки в куколку и т. д.). Присутствуют в организме насекомых на личиночных стадиях развития, при имагинальной линьке во взрослое насекомое практически отсутствует. Внесение ювеноидов извне в этот период развития приводит к появлению уродливых особей с признаками личинки и взрослого насекомого, маложизнеспособных и бесплодных. Сейчас получены синтетические аналоги ювенильных гормонов, которые используются для борьбы с насекомыми-вредителями.

Ювеноиды имеют много преимуществ. Низкая токсичность для человека и теплокровных животных (по критериям пероральной и кожно-резорбтивной токсичности – малоопасные вещества). Безопасность для насекомых-опылителей и энтомофагов. Безопасность для окружающей среды (быстро разлагаются в почве и воде, не накапливаются в живых организмах). Эффективность против насекомых, резистентных к другим классам инсектицидов.

Недостатки. Результат обработок зависит от сроков применения (т.к. надо «попасть» на определённую стадию развития вредителя), сроки различны для разных вредителей. Отсутствие немедленной гибели вредителя (летальное действие препарата проявляется лишь через несколько фаз, спустя 10-16 дней, или даже в следующей генерации).

Ингибиторы синтеза хитина

Действующее вещество	Препарат	Класс опасности для человека/пчёл
Дифлубензурон	Герольд, Димилин	3/2
Люфенурон	Матч	3/3
Бупрофезин	Апплауд	3/
<i>комбинированный инсектицид:</i>		
Люфенурон + Феноксикарб	Люфокс	2/3

Нарушают процессы синтеза хитина у личиночных стадий насекомых, что приводит к образованию уродливых форм и гибели из-за неспособности перехода в следующую стадию развития. В качестве инсектицидов имеют примерно те же преимущества и недостатки, что и ювеноиды. Важной особенностью является проявление овицидного действия, что расширяет возможности применения данных препаратов и увеличивает их эффективность. Действующее вещество проникает через яичные скорлупы, предотвращая выход личинок из яиц или уничтожая личинок минирующих насекомых, внедряющихся в ткани листа прямо под яичевой оболочкой. Эффект обработки данными препаратами гораздо выше, если яйца отложены на уже обработанные ими листья. На взрослых особей препараты не действуют, однако установлен их стерилизующий эффект. Действующее вещество после соприкосновения с самкой попадает в формирующиеся в её теле яйца, в результате чего они погибают в процессе развития. Но стерилизующее и овицидное действие проявляется не на всех видах насекомых-вредителей.

Препараты на основе дифлубензурана не эффективны против сосущих насекомых, так как активное вещество не проникает в ткани листа.

Авермектины

Действующее вещество	Препарат	Класс опасности для человека/пчёл
Аверсектин С	Фитоверм	3/2-3
Абамектин	Вертимек, Крафт	2/1
Авертин N	Акарин	3/1
Эмамиктин	Проклэйм	3/1

Инсектоакарициды с высокой начальной, но непродолжительной токсичностью, контактно-кишечного действия. Обладают трансламинарными свойствами. В окружающей среде нестабильны, период полураспада на поверхности растений составляет 12 часов, быстро разрушаются в воде и почве. Не фитотоксичны, не накапливаются в растительной продукции, имеют очень малые сроки ожидания. С повышением температуры воздуха эффективность действия возрастает, при низких положительных температурах сильно падает. Оказывают токсическое действие в отношении широкого спектра вредителей, однако ввиду непродолжительности действия малоэффективны против насекомых с растянутым периодом лёта (яблонная и сливовая плодожорки, смородинная стеклянница и т.д.).

Механизм действия – нейротоксического типа. Попадая в организм насекомых и клещей, авермектины стимулируют освобождение нейромедиатора гамма-аминомасляной кислоты (ГАМК) из нервных окончаний и повышение связи ГАМК с рецепторами на постсинаптической мембране мышечных клеток. Это приводит к торможению и блокированию передачи нервного импульса, вследствие чего наблюдается угнетение двигательной и пищевой активности вредителей, затем наступает паралич и гибель (в течение 2-3 дней).

Токсикологические характеристики авермектинов в сравнении с малатионом:

Показатель	Малатион	Аверсектин С	Абамектин
ЛД ₅₀ орально для крыс (мг/кг)	1400	90	-
ЛД ₅₀ орально для мышей (мг/кг)	400	33	13,6
ЛД ₅₀ для пчёл (нг/особь)	710	-	17-540
ПДК в воздухе рабочей зоны (мг/м ³)	0,05	0,05	0,05
ДСД (мг/кг массы тела человека)	0,02	0,00016	0,0001
Класс опасности для человека	3	3	2

Авермектины - препараты на основе продуктов жизнедеятельности почвенных микроорганизмов *Streptomyces avermitilis*, в связи с чем их часто ошибочно называют биопрепаратами. В данном случае «биологическим» является только источник выделения действующих веществ, однако «биологическое» происхождение вещества отнюдь не гарантирует его «экологичность».

Токсичностью характеризуются не только синтетические соединения, но и многие вещества природного происхождения. Причем токсичность природных ядов может быть значительно выше, чем синтетических. В качестве примера можно сравнить показатели летальных доз для человека одного из наиболее токсичных продуктов химического синтеза и некоторых природных токсинов: цианистый калий — 10000 мкг/кг массы тела, токсин рыбы фугу — 8, токсин гремучей змеи — 0,3, ботулинический токсин бактерий — 0,00003 мкг/кг.

Нейротоксины (фенилтиосульфонаты)

Препарат **Банкол** (д.в. бенсултап) – разработан на основе природного нейротоксина, выделенного из морских кольчатых червей. В отличие от природного прототипа, значительно (на два порядка) менее токсичен для млекопитающих, сохраняя высокую токсичность для насекомых.

Нейротоксины подавляют синаптическую передачу нервного импульса, блокируя рецепторы ацетилхолина в постсинаптической мембране. В итоге нервные импульсы не воспринимаются насекомыми, они перестают реагировать на внешние сигналы и двигаться, впадая в состояние коллапса. Препарат Банкол */на данный момент срок регистрации в РФ истёк/* является инсектицидом контактно-кишечного действия, относится к 3 классу опасности для человека и для пчёл. Не фитотоксичен, малостоек в растениях, остаточные количества препарата не обнаруживаются уже через 7 дней после обработки. Особенностью препарата является медленное начальное действие. Сохраняет высокую эффективность при различных температурных условиях (от низких температур до температуры выше +30°C). Сроки ожидания после обработок 20-40 дней.

Биологические препараты

Действующее начало	Препарат	Класс опасности для человека/пчёл
бактерии <i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>kurstaki</i>	Лепидоцид	4/3
бактерии <i>Bacillus thuringiensis</i> var. <i>thuringiensis</i>	Битоксибациллин	3/3
Вирус гранулёза яблонной плодовой жорки (СрGV)	ФермоВирин, Мадекс Твин, Карповирусин	4/3
Энтомопатогенные нематоды	Немабакт, Энтонем-Ф	4/

Биопрепараты на основе *Bacillus thuringiensis* – инсектициды ярко выраженного кишечного действия, обладающие высокой избирательностью (действуют только на личинок насекомых из классов Чешуекрылые и Двукрылые). Специфичность действия на гусениц чешуекрылых связана с особенностями их пищеварительной системы, которая имеет комбинацию pH, содержания солей и ферментов, необходимую для активации токсина бактерии. Особенностью этих препаратов является проявление эффекта только при высокой пищевой активности вредителей, что наблюдается при температуре не ниже 16°. Максимальная эффективность наблюдается, когда растения обрабатывают на ранних стадиях развития вредителей (гусеницы 1-3 возраста) при температурах воздуха 18-30°. По токсическому эффекту эта группа препаратов уступает химическим инсектицидам вследствие своего замедленного действия. Из-за слабого стартового действия бактериальных препаратов их применение в промышленных садах экономически оправдано только при средней численности вредителей. Главным преимуществом препаратов на основе бактерий является отсутствие токсичности для насекомых-опылителей и энтомофагов, они полностью безвредны для растений, рыб и теплокровных животных.

Вирус гранулёза яблонной плодожорки

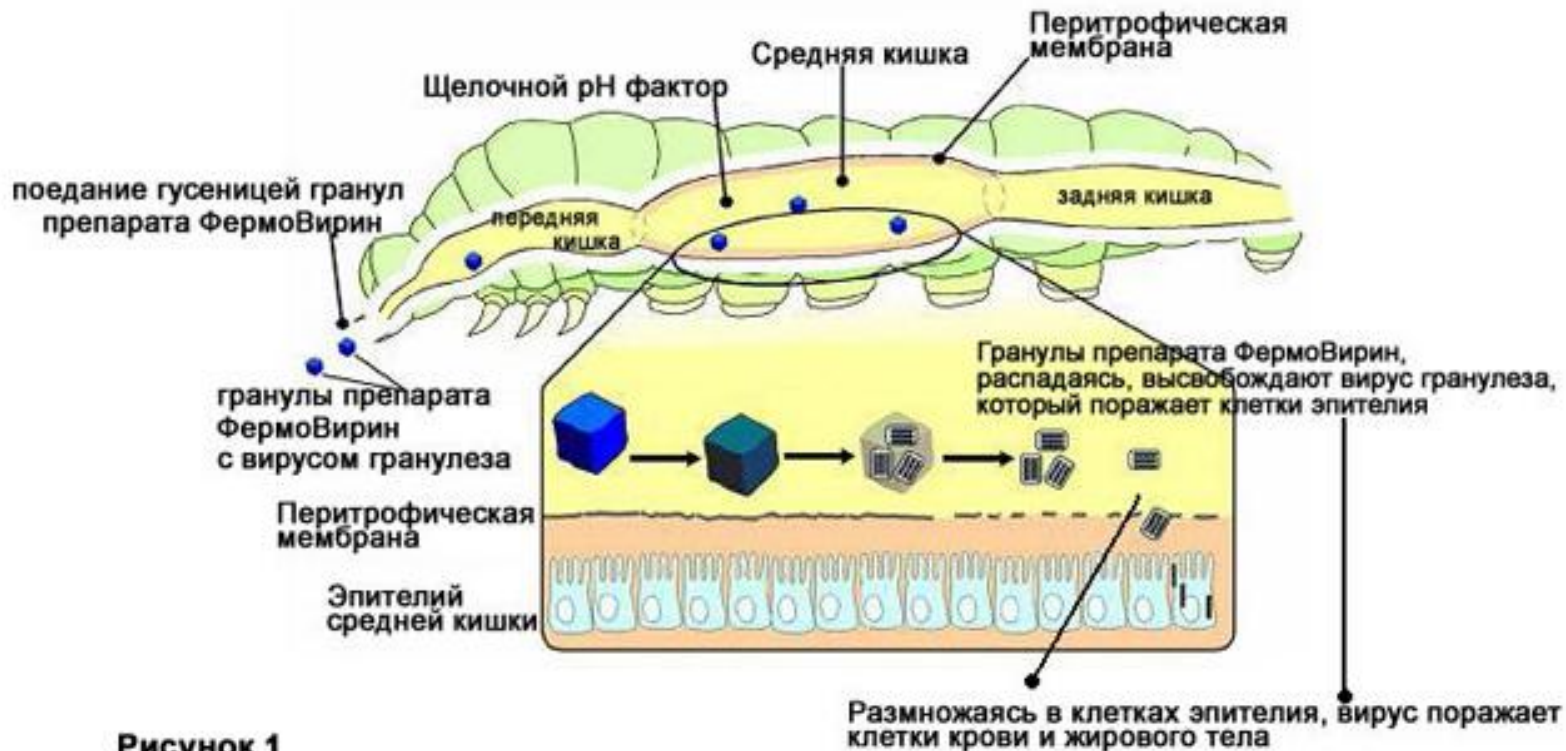


Рисунок 1

Узкоспецифичный препарат, поражающий только яблонную плодожорку. Абсолютно безвреден для теплокровных, рыб, почвенных организмов, полезной энтомофауны, не имеет сроков ожидания после обработок. При попадании препарата с пищей в кишечник гусениц яблонной плодожорки вирусные частицы проникают в клетки эпителия, а затем и другие ткани насекомого, где интенсивно размножаются, вызывая серьезные метаболические нарушения. У больных гусениц понижается активность, они перестают питаться. Время от заражения насекомого до его гибели – 6-20 дней.

Немабакт и Энтонем-Ф



Российские препараты на основе энтомопатогенных нематод. Применяются для борьбы с почвообитающими и некоторыми другими насекомыми-вредителями – капустной мухой, проволочником, колорадским жуком, западным цветочным трипсом, бороздчатым скосарем, смородинной стеклянницей, облепиховой мухой. Суспензия препарата вносится в почву вместе с поливной водой. В насекомых нематоды могут проникать как пассивно (с кормом), так и активно (через рот, дыхальца, анус). Нематоды в организме насекомого развиваются до тех пор, пока не разрушится все содержимое тела. В одном грамме массы насекомого размножается до 1,5 миллионов инвазионных личинок. Личинки способны сохранять жизнеспособность в почве без хозяина в течение нескольких лет. Нематода активна при 12-30° и поражает все стадии развития насекомых. Препараты на основе энтомопатогенных нематод абсолютно безопасны для человека, дождевых червей, растений, не имеют сроков ожидания после обработок.

Фенилпиразолы

Регент (д.в. фипронил) – инсектицид контактно-кишечного и умеренного системного действия, может поглощаться растениями из почвы, применяется в том числе для протравливания семян. Стабилен при нагревании, медленно разлагается на солнечном свете, устойчив к смыву дождями, благодаря чему обеспечивает длительное действие после опрыскивания. Кроме того, образующиеся в окружающей среде его метаболиты также обладают инсектицидным действием. Фипронил нарушает функцию нервной системы, блокируя рецепторы ГАМК на постсинаптических мембранах нервных клеток. Гибель насекомых наступает через 8 часов после поступления инсектицида в организм насекомого в результате перевозбуждения центральной нервной системы и последующего паралича. Фипронил характеризуется широким спектром инсектицидного действия, он эффективен против жуков, трипсов, саранчовых, проволочников, минёров, пилильщиков и других вредителей. Однако его применение ограничивает высокая токсичность. ЛД₅₀ для крыс 97 мг/кг. ДСД 0,0002 мг/кг массы тела человека. Относится ко 2 классу опасности для человека и 1 классу для пчёл. Имеет длительные сроки ожидания (30 дней).

Оксидиазины

Авант (д.в. индоксакарб) – новый инсектицид контактно-кишечного действия. Обладает овицидным эффектом в отношении некоторых чешуекрылых (в том числе яблонной плодожорки). Благодаря липофильности хорошо связывается с поверхностью листьев, имеет высокую дождеустойчивость, высокоустойчив к УФ-излучению. Имеет положительный температурный коэффициент – с увеличением температуры его активность возрастает. Совместим в баковых смесях с большим числом акарицидов, инсектицидов, фунгицидов. Период полураспада в почве 4-5 дней. Срок ожидания после обработок до 2 недель.

Для насекомых является ядом нейротоксического действия, но, в отличие от ФОС, пиретроидов и неоникотиноидов, вызывает не гиперстимуляцию нервных импульсов, а, наоборот, прерывает их прохождение. На биохимическом уровне индоксакарб блокирует натриевые каналы и перенос ионов натрия в нервных клетках. После интоксикации насекомые быстро прекращают питаться (в течение 1 часа), становятся неподвижными и опадают с растения. Чувствительные насекомые погибают в течение 24–60 часов после интоксикации.

Антранилдиамиды

Кораген (д.в. хлорантралилпрол) – новейший инсектицид с принципиально новым механизмом действия. Действующее вещество воздействует на риаудиновые рецепторы, которые регулируют мышечную активность насекомых посредством изменения уровня ионов кальция в клетках. В организме насекомого препарат активирует высвобождение внутренних запасов ионов кальция из мышечных клеток, вследствие чего вредитель теряет способность сокращать мышцы. Вредитель теряет способность к питанию и движению уже в первые часы после опрыскивания, с окончательным параличом и гибелью на протяжении 2–4 дней.

Кораген характеризуется длительным периодом защитного действия (до 3-х недель) благодаря трансламнарному проникновению действующего вещества, его химической стабильности в разных погодно-климатических условиях и высокой остаточной инсектицидной активности. Дождь, прошедший спустя 1-2 часа после обработки, не приводит к снижению эффективности препарата. Обладает ови-ларвицидным действием, которое наблюдается во время прогрызания отрожденной личинкой обработанной поверхности яйца. Это ведет к мгновенной интоксикации личинки, которая погибает, не успев выйти из яйца, или сразу после выхода. Проявляет дезориентирующий эффект, влияя на способность самцов бабочек правильно отслеживать источник феромона самки.

Имеет низкую токсичность для млекопитающих, пчёл, хищных клещей, паразитоидных ос, дождевых червей. Сроки ожидания 2-3 недели. Имеет низкие нормы расхода. Совместим в баковых смесях с большинством современных пестицидов.

Сравнение характеристик малатиона (ФОС) и новых инсектицидов из других химических классов

Показатель	Малатион (Карбофос)	Фипронил (Регент)	Индоксакарб (Авант)	Хлорантралилпрол (Кораген)
ПДК/ОДК в почве (мг/кг)	2,0 (ПДК)	0,05 (ПДК)	0,9 (ОДК)	0,2 (ОДК)
ПДК в водоёмах (мг/дм ³)	0,05	0,001	0,015	0,2
ЛД ₅₀ орально для крыс (мг/кг)	1400	97	5000	
ДСД (мг/кг массы тела человека)	0,02	0,0002	0,01	2,0
Класс опасности для человека	3	2	3	3
Класс опасности для пчёл	1	1	1-2	3

Советы садоводам-любителям:

- анализировать всю доступную информацию о пестицидах (эффективность, токсикологические характеристики, механизм действия и особенности применения, риски возникновения резистентности)
- не покупать в магазинах препараты с истекающим сроком годности, препараты подозрительного происхождения (не указаны действующее вещество, сроки годности, производитель)
- предпочтительна мелкооптовая совместная закупка препаратов в фирменной заводской упаковке
- продумывать схемы обработок на своём участке; фиксировать все проводимые обработки – применённый препарат, культура, дата/фенофаза применения (удобнее в виде таблиц по каждому сезону)
- грамотно чередовать препараты из различных химических классов, с учётом вредного объекта, против которого проводится обработка
- применять препараты в течение сезона с учётом их свойств (температурный коэффициент, наличие системного действия, эффективность против определённых групп, видов или стадий развития вредителей, сроки ожидания и т.д.) и биологии целевых объектов (характер питания, уязвимые фазы жизненного цикла, количество поколений за сезон, пики лёта и т.д.)

Общедоступные источники информации:

- сайт <http://www.pesticidy.ru/>
- <http://www.cnshb.ru/AKDiL/0034/default.shtm> Электронный справочник «Пестициды и регуляторы роста растений» на сайте «Сельскохозяйственная электронная библиотека знаний».
- Зинченко В.А. Химическая защита растений: средства, технология и экологическая безопасность. Москва: КолосС, 2012.
- Государственный каталог пестицидов и агрохимикатов, разрешенных к применению на территории Российской Федерации. 201... год.
- Колесова Д.А., Чмырь П.Г. Защита плодоносящих садов яблони и груши (Журнал «Защита и карантин растений», 2005 г., №6).

Перейти на сайте секции БОС МОИП: www.sad-moip.ru