

**И. М. Митюшев**

**ИНТЕГРИРОВАННЫЕ СИСТЕМЫ  
ЗАЩИТЫ РАСТЕНИЙ  
ФЕРОМОНЫ НАСЕКОМЫХ**

**УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ  
ДЛЯ АКАДЕМИЧЕСКОГО БАКАЛАВРИАТА**

*Учебное пособие содержит сведения, необходимые для формирования профессиональных компетенций при подготовке бакалавров по направлению «Агрономия» и рекомендуется Научно-методическим советом по сельскому хозяйству для использования в учебном процессе*

**Книга доступна в электронной библиотеке [biblio-online.ru](http://biblio-online.ru),  
а также в мобильном приложении «Юрайт.Библиотека»**

**Москва ■ Юрайт ■ 2019**

УДК 631.544(075.8)  
ББК 44я73  
М66

**Автор:**

**Митюшев Илья Михайлович** — кандидат биологических наук, доцент кафедры защиты растений факультета агрономии и биотехнологии Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К. А. Тимирязева, переводчик в сфере профессиональной коммуникации.

**Рецензенты:**

*Тараканов И. Г.* — доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой физиологии растений факультета агрономии и биотехнологии Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К. А. Тимирязева;

*Дорожжина Л. А.* — доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заместитель директора по науке АНО «НЭСТ М».

**Митюшев, И. М.**

М66 Интегрированные системы защиты растений: феромоны насекомых : учеб. пособие для академического бакалавриата / И. М. Митюшев. — М. : Издательство Юрайт, 2019. — 119 с. — (Серия : Бакалавр. Академический курс).

ISBN 978-5-534-10443-1

Учебное пособие составлено к программам учебных дисциплин «Защита растений», «Энтомология», «Общая энтомология», «Сельскохозяйственная энтомология», «Лесная энтомология», «Биологическая защита растений», «Фитосанитарный мониторинг сельскохозяйственных угодий», «Прогноз распространения и развития вредных организмов». Данное учебное пособие является модулем к указанному учебным дисциплинам. В книге рассмотрены особенности феромонной коммуникации насекомых, методы выделения и идентификации феромонов, а также основные приемы и методы практического использования синтетических феромонов насекомых в защите растений.

*Учебное пособие предназначено для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки «Агрономия». Может быть использовано при обучении студентов бакалавриата по направлениям подготовки «Садоводство», «Ландшафтная архитектура», «Агрохимия и агропочвоведение», «Лесное дело».*

УДК 631.544(075.8)  
ББК 44я73



Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в какой бы то ни было форме без письменного разрешения владельцев авторских прав. Правовую поддержку издательства обеспечивает юридическая компания «Дельфи».

ISBN 978-5-534-10443-1

© Митюшев И. М., 2019  
© ООО «Издательство Юрайт», 2019

# Содержание

<b>Аннотация</b> .....	5
<b>Введение</b> .....	7
<b>Тема 1. История развития исследований феромонов насекомых</b> .....	9
<i>Контрольные вопросы</i> .....	16
<b>Тема 2. Механизмы образования и выделения феромонов насекомых, их классификация и химический состав</b> .....	17
2.1. Источники феромонов у насекомых .....	17
2.2. Особенности выделения феромонов .....	25
2.3. Классификация и химический состав феромонов насекомых .....	30
<i>Контрольные вопросы</i> .....	43
<b>Тема 3. Механизмы хеморецепции насекомых</b> .....	44
<i>Контрольные вопросы</i> .....	64
<b>Тема 4. Методы исследований феромонов насекомых</b> .....	65
<i>Контрольные вопросы</i> .....	70
<b>Тема 5. Практическое использование синтетических феромонов насекомых</b> .....	71
5.1. Применение синтетических феромонов в защите растений....	71
5.1.1. Применение синтетических феромонов для мониторинга вредителей .....	72
5.1.2. Метод дезориентации .....	79
5.1.3. Метод массового отлова.....	84
5.1.4. Метод «привлечь и уничтожить» .....	85
5.1.5. Метод автоконфузии .....	87
5.2. Применение синтетических феромонов в пчеловодстве.....	88
<i>Контрольные вопросы</i> .....	90
<b>Примеры тестовых заданий</b> .....	92
<b>Словарь основных терминов</b> .....	94

Приложение .....	100
Список рекомендуемой литературы.....	114
Библиографический список .....	115
Новые издания по дисциплине .....	119

## Аннотация

Учебное пособие «Интегрированные системы защиты растений: феромоны насекомых» предназначено для студентов бакалавриата, обучающихся по направлению подготовки Агрономия. Может быть использовано при обучении студентов бакалавриата по направлениям подготовки Садоводство, Ландшафтная архитектура, Агрохимия и агропочвоведение, Лесное дело. Данное учебное пособие является модулем к учебным дисциплинам «Защита растений», «Энтомология», «Общая энтомология», «Сельскохозяйственная энтомология», «Лесная энтомология», «Биологическая защита растений», «Фитосанитарный мониторинг сельскохозяйственных угодий», «Прогноз распространения и развития вредных организмов» и рекомендуется для использования в учебном процессе и для самостоятельной работы студентов.

Основной целью использования настоящего учебного пособия является освоение студентами знаний и навыков, необходимых для применения синтетических феромонов насекомых в системах комплексной и интегрированной защиты растений от вредных организмов. Основные разделы учебного пособия предусматривают приобретение студентами:

### *знаний*

- о биологических особенностях феромонной коммуникации насекомых и методах изучения и идентификации феромонов;

### *умений*

- планировать интегрированные системы защиты сельскохозяйственных и лесных растений от вредных организмов на основе данных феромонного мониторинга;

### *навыков*

- использования современных методов феромонного мониторинга вредителей и защиты сельскохозяйственных и лесных растений от вредителей при помощи синтетических феромонных препаратов.

Учебное пособие включает пять тем. В первой теме приведен краткий исторический экскурс развития научных исследований феромонов насекомых. Во второй рассмотрены особенности морфологии и функционирования источников феромонов у насекомых, механизмы выделения феромонов, их классификация и химический состав. В третьей теме рассматриваются особенности строения хеморецепторных органов насекомых и механизмы хеморецепции. В четвертой теме приводятся основные методы изучения феромонов насекомых. В последней, пятой теме, приведены основные методы практического использования синтетических феромонов для защиты растений от вредителей, а также в пчеловодстве.

В приложении приводятся меры предосторожности при работе с феромонными препаратами и методики проведения феромонного мониторинга некоторых вредителей.

Посвящается Международному году  
здоровья растений-2020

## Введение

Феромоны — это биологически активные вещества, продуцируемые и выделяемые во внешнюю среду животными организмами, и вызывающие ответные поведенческие или физиологические реакции у особей этого же вида. Эти вещества, являясь средствами внутривидовой регуляции, играют важную роль в коммуникации многих видов насекомых, например, обеспечивая сближение самцов и самок в период размножения, концентрирование насекомых на кормовых растениях и в местах зимовки, или управляя поведением и физиологическими процессами у рабочих особей общественных насекомых. Феромоны известны у животных разных систематических групп, от беспозвоночных до млекопитающих; в настоящее время наиболее подробно изучены феромоны насекомых.

Одним из основных резервов повышения урожайности сельскохозяйственных культур и, как следствие, решением проблемы дефицита продовольствия в мире является совершенствование защиты их от вредителей (прежде всего от вредных насекомых), которые ежегодно потребляют до 20 % урожая. Основной целью концепции интегрированной защиты растений (ИЗР) является не полное уничтожение вредных организмов, а управление их численностью, с тем чтобы поддерживать вредоносность ниже пороговых значений. В рамках ИЗР упор делается на саморегуляцию агробиоценозов и поддержание в них естественных факторов, которые бы сдерживали массовое размножение вредителей (естественные враги и т. п.). Защитные мероприятия применяются лишь при превышении вредителями пороговой численности, которую необходимо

постоянно контролировать, осуществляя фитосанитарный мониторинг. Стремление к оптимизации защитных мероприятий и сокращению отрицательных последствий применения инсектицидов вызывает необходимость совершенствования существующих методов учета вредных насекомых и сигнализации сроков проведения защитных мероприятий. Для этой цели как нельзя лучше подходят синтетические аналоги феромонов насекомых, которые могут быть использованы в качестве одного из наиболее экономичных и точных способов обнаружения и оценки плотности популяций вредителей. В ряде случаев против некоторых насекомых синтетические феромонные препараты могут использоваться и как энергосберегающая и экологически безопасная альтернатива применению инсектицидов, то есть для непосредственного снижения численности вредных организмов. Синтетические феромоны используют также для управления поведением хозяйственно полезных насекомых, например в пчеловодстве.

Грамотное и эффективное использование синтетических феромонов возможно лишь при знании различных аспектов феромонной коммуникации насекомых. Феромонология — наука, изучающая феромоны, — сравнительно молодая научная отрасль, ее интенсивное развитие началось лишь во второй половине XX в. Вместе с тем круг теоретических и практических задач, связанных с феромонной коммуникацией насекомых, весьма широк, и их решение возможно лишь на стыке многих естественных наук, таких как энтомология, защита растений, этология, экология, морфология и физиология насекомых, химия и биохимия.



# Тема 1

## ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ФЕРОМОНОВ НАСЕКОМЫХ

Действие феромонов насекомых, которые они используют для коммуникации с другими особями своего вида, было обнаружено много веков назад. Пчеловодам издавна было известно, что если при осмотре улья ужалит пчела, то в воздухе чувствуется специфический запах, а вероятность быть ужаленным другими пчелами значительно увеличивается. Первой же опубликованной работой, в которой были описаны такие пахучие вещества у медоносной пчелы (*Apis mellifera* L.), является книга английского пчеловода Ч. Батлера «Женская монархия», изданная в Оксфорде в 1609 г.:

---

«Если вас или вашего спутника ужалила пчела, особенно если дело происходит в жаркую погоду, и пускай даже жало застряло в одежде, вам следует удалиться подальше как можно быстрее; иначе другие пчелы, учуяв отвратительный запах яда, сочащегося из жала, обступят вас стеной...».

---

В 1792 г. швейцарский естествоиспытатель Ф. Юбер установил, что отрезанное жало рабочей пчелы или его запах вызывает агрессивное поведение у других рабочих пчел. Немецкий пчеловод А. Берлепш в 1877 г. обнаружил, что предметы, натертые телом умерщвленной пчелиной матки, привлекают рабочих пчел.

В 1882 г. русский ученый Н. В. Насонов описал пахучую железу у пчел, которая и сейчас носит его имя. Отечественный исследователь Г. Л. Кондратенко в 1910 г. описал пахучее вещество, выделяемое брюшком пчелиной матки, и установил, что при его недостатке пчелы выводят себе новую матку. В своей работе «Теория нового пчеловодства» он писал:

---

«Брюшко матки, выделяя пахучее маслянистое вещество, усвояемое пчелами через соприкосновение усиков, дает пчелам возможность узнавать друг друга по однородному объединительному запаху и отличать пчел, извне приходящих. Если брюшко матки почему-либо потеряет способность выделять пахучее маслянистое вещество, то пчелы выведут себе новую матку из оплодотворенного яйца... Без объединительного запаха матки немислимо было бы существование семьи пчел — по отношению пчел это есть самое главное назначение матки. Прежде чем стать матерью поколения, она должна объединить семью пчел запахом своего брюшка; без объединительного запаха погибнет семья, ее принявшая, коей запасы будут расхищены и будет убита она».

---

Исследовались пахучие вещества и других групп насекомых. В 1837 г. немецкий зоолог К. Т. Сибольд впервые высказал предположение о существовании половых феромонов; он установил, что самцы некоторых видов насекомых привлекаются самками при помощи пары придатков на конце брюшка, которые выделяют аттрактивное вещество.

Биолог Ф. Мюллер в 1878 г. опубликовал список из 44 видов южноамериканских дневных бабочек, самцы которых выделяют воспринимаемый человеком запах, вызывающий половое возбуждение у самок. Получила распространение теория Мюллера о том, что андроконии (группы специализированных чешуек на теле самцов бабочек) являются пахучими органами. М. Штандфус в 1896 г. в своих работах по географической изменчивости бабочек-медведиц (*Arctidae*) указал на роль специфических запахов, обеспечивающих изоляцию вида.

Широко известны труды французского энтомолога Ж.-А. Фабра, проводившего во второй половине XIX в. эксперименты с бабочками грушевой сатурнии (*Saturnia pyri* Denis & Schiff.). Он обнаружил, что одна самка сатурнии, только что вышедшая из куколки, способна привлечь десятки самцов своего вида с расстояния в несколько километров. Фабр предположил, что самцов привлекает запах, испускаемый самками, однако полностью природа этого явления была ему не ясна. Вот как он комментировал полученные результаты:

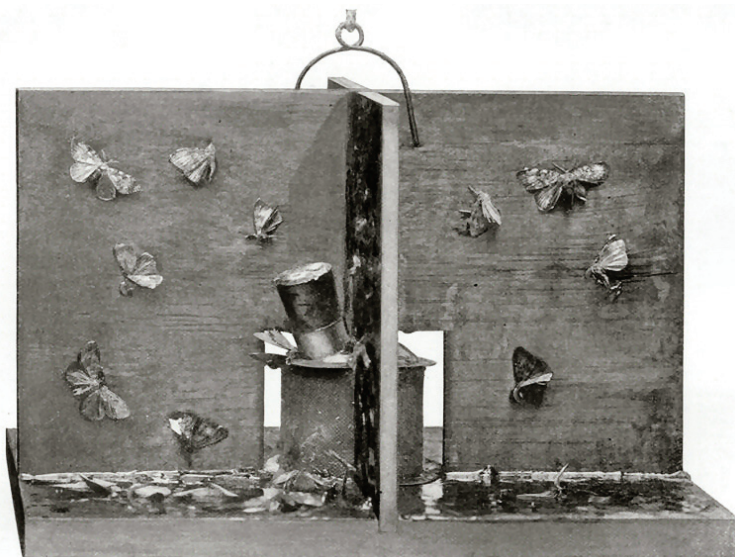
---

«Но что же материального выделяет из себя самка сатурнии? Ничего, судя по нашим обонятельным впечатлениям.

И это ничто должно было насытить воздух своими молекулами в радиусе нескольких километров! Разум отказывается поверить в это... Это все равно, что представить себе, будто можно окрасить целое озеро зернышком кармина».

---

В 1893 г. американские ученые Э. Форбуш и Ч. Ферналд попытались использовать ловушки с живыми самками непарного шелкопряда для отлова самцов (рис. 1); эти ловушки хотя и привлекали самцов, но не получили широкого распространения из-за низкой эффективности в борьбе с вредителем.



**Рис. 1. Ловушка для отлова самцов непарного шелкопряда путем приманивания их на живых самок (по Forbush, Fernald, 1896)**

Из работ американских исследователей К. Коллинса и С. Поттса, выполненных в 1913—1931 гг., стало известно, что экстракт последних сегментов брюшка девственной самки непарного шелкопряда обладает такой же аттрактивностью для самцов бабочки, как и живая самка.

В 1924 г. польский энтомолог Я. Прюффер установил, что самцы бабочек, лишённые обеих антенн, не реагируют на самок.

Из вышесказанного можно сделать вывод, что наука о феромонной коммуникации насекомых развивалась вначале

довольно медленно. Так, между появлением первой и второй публикациями о запаховых веществах насекомых прошло почти 200 лет. Лишь в XIX в., особенно в конце, появился целый ряд работ, которые в большей или меньшей степени касались вопросов феромонной коммуникации насекомых. Вместе с тем многие крупнейшие натуралисты, зоологи и энтомологи прошлого относились к роли запаховых веществ в коммуникации насекомых с большой осторожностью и недоверием. Так, в 1901 г. Н. Насонов об андрокониях как о пахучих органах писал следующее:

---

«Для выяснения места отделения пахучего вещества самцами бабочек не было сделано никаких точных физиологических опытов, так что отделение пахучих веществ через андроконии нельзя считать еще установленным фактом, и совершенно не доказано, что запах имеет то значение, которое ему приписывают».

---

Интенсивные исследования феромонов насекомых и попытки определить их химический состав начались в середине XX в.

В 1957 г. немецкому биологу Д. Шнейдеру удалось зарегистрировать первую электроантеннограмму — реакцию антенны насекомого на феромон.

В 1959 г. немецкий биохимик А. Бутенандт со своими сотрудниками после 20 лет тщательных экспериментов впервые смог установить химический состав феромона насекомого. (Еще в 1939 г. за исследования половых гормонов человека он был удостоен Нобелевской премии, которую, однако, получил лишь в 1949 г., после Второй мировой войны. — *Прим. авт.*) Полученное вещество, транс-10, цис-12-гексадекадиен-1-ол, было названо им «бомбикол».

Термин «феромон» был впервые предложен немецким биохимиком П. Карлсоном и швейцарским энтомологом М. Люшером в 1959 г.; он происходит от двух греческих слов: φέρειν (фереин — переносить) и ὄρμων (ормон — возбуждаю), т. е. «переносчик возбуждения». В январе 1959 г. они опубликовали статью под названием «Феромоны: новый термин для класса биологически активных веществ» в известном журнале *Nature*.

В 1960 г. американский ученый М. Джекобсон и его коллеги определили структуру полового феромона непарного шелкопряда и затем синтезировали его аналог; полученный препа-

рат получил название «гиплюр». В 1962 г. после интенсивных полевых испытаний гиплюра департамент сельского хозяйства США начал широко использовать полученный феромонный препарат в ловушках для непарного шелкопряда; в 1979 г. на территории США было использовано 95 тыс. феромонных ловушек с целью мониторинга данного вредителя.

В 1961 г. английский исследователь К. Батлер идентифицировал феромон медоносной пчелы, названный «маточным веществом». Это был первый феромон, регулирующий развитие насекомых, структуру которого удалось определить.

В 1950—1960-х гг. число научных публикаций, посвященных феромонам, увеличилось до 10—25 в год; в 1970—1980-х гг. число таких публикаций достигало уже 200—300 в год. К 1983 г. общее число опубликованных работ, посвященных феромонам насекомых, достигло 12 тыс. названий.

В 1970-х гг. началось широкое применение синтетических феромонов в ловушках для мониторинга вредителей и определения оптимальных сроков обработок инсектицидами. Происходило развитие и других методов защиты растений с использованием синтетических феромонов. В конце 1970-х гг. в США был зарегистрирован первый феромонный препарат для борьбы с вредителями методом дезориентации.

В 1980 г. на территории Норвегии были использованы 600 тыс. феромонных ловушек, позволившие произвести массовый отлов 2,9 млрд жуков короеда-типографа, у которого в то время произошла вспышка массового размножения.

Развитие в 1970—1980-х гг. высокоточных методов химии и электрофизиологии насекомых позволило идентифицировать и синтезировать феромоны большого количества экономически значимых видов насекомых. К 1984 г. в мире были синтезированы феромоны 670 видов насекомых. В странах Западной Европы в это время были испытаны феромонные препараты более 125 видов, их широко применяли против 25 видов вредных насекомых. В 1987 г. синтетические феромонные препараты насекомых производились в мире уже 17 международными корпорациями.

С 1991 г. в мире началось интенсивное распространение метода дезориентации для защиты растений от вредителей. Порядка 80 % феромонных препаратов, используемых для дезориентации и в настоящее время, были зарегистрированы в начале 90-х гг. XX в. К 2008 г. дезориентирующие феромоны

применялись в мире на общей площади более 650 тыс. га против вредителей лесных пород, плодовых культур, виноградников, риса, чая и других сельскохозяйственных культур.

В 1970—1980-х гг. началось бурное развитие исследований феромонов и в СССР. Значительный вклад в развитие отечественной феромонологии внесли А. В. Скиркиявичус, А. П. Сазонов, Г. И. Филимонов, Ю. Б. Пятнова, К. В. Лебедева, А. И. Сметник, В. А. Емельянов, Э. Р. Мыттус, Б. Г. Ковалев и многие их коллеги. Основные исследования в этот период проводились во Всесоюзном научно-исследовательском институте химических средств защиты растений (ВНИИХСЗР) и его Щелковском филиале, Всесоюзном НИИ биологических методов защиты растений (Молдавская ССР), Тартуском государственном университете (Эстонская ССР), Институте зоологии и паразитологии Академии наук Литовской ССР, Всесоюзном НИИ защиты растений, Всесоюзном НИИ карантина растений.

В 1976 г. для мониторинга восточной плодовой моли в СССР начали применять феромонные ловушки американского производства: так, в 1977 г. этот вредитель был выявлен в районе Минеральных Вод; с 1978 г. началось использование ловушек отечественного производства. В этот же период проводились исследования возможности подавления популяций восточной, сливовой и яблонной плодовой моли методами массового отлова и дезориентации в различных зонах СССР. Уже в 1979 г. Производственным объединением бытовой химии (ПОБХ) «Флора» Эстонской ССР было выпущено 20 тыс. комплектов ловушек, а к 1988 г. в СССР ежегодно производилось более 1,5 млн комплектов феромонных ловушек, которые применялись на общей площади более 2 млн га.

В 1981 г. во Всероссийском научно-исследовательском институте биологической защиты растений (ВНИИБМЗР) был впервые синтезирован отечественный феромон картофельной моли. Только в 1983 г. на территории Краснодарского края было использовано 38,5 тыс. феромонных ловушек отечественного производства для мониторинга этого карантинного вредителя.

В 1985 г. были разрешены к широкому применению отечественные феромонные препараты яблонной плодовой моли (производства ПОБХ «Флора» Эстонской ССР) и сливовой плодовой моли (производства Щелковского филиала ВНИИХСЗР). К 1987 г. отечественные ученые получили данные о строении феромонов более 160 видов насекомых, обитающих на тер-

ритории СССР; к 1990 г. 26 феромонных препаратов было включено в «Список препаратов, разрешенных к применению в сельском хозяйстве».

Развитие феромонологии как науки и прикладной отрасли продолжается в России и в настоящее время. В последние годы отечественные исследователи идентифицировали феромоны ряда сельскохозяйственных и лесных вредителей, создали новые препаративные формы. Основные исследования по идентификации состава феромонов насекомых и разработке новых препаративных форм ведутся сотрудниками Всероссийского НИИ химических средств защиты растений, Всероссийского НИИ биологической защиты растений, ЗАО «Щелково Агрохим», Всероссийского центра карантина растений. Над вопросами практического использования феромонов для мониторинга и защиты растений от вредителей работают сотрудники Всероссийского НИИ защиты растений, Всероссийского центра карантина растений, кафедр защиты растений аграрных вузов России (Российского государственного аграрного университета — МСХА имени К. А. Тимирязева, Кубанского государственного аграрного университета (КубГАУ), Великолукской государственной сельскохозяйственной академии (ВСХА) и др.).

В 2010 г. решением выездного Бюро отделения защиты растений Российской академии сельскохозяйственных наук (РАСХН), Всероссийский центр по карантину растений (ФГБУ «ВНИИКР») был определен в качестве координационного центра по проблемам изучения феромонов насекомых. Программой по выявлению карантинных вредителей на территории Российской Федерации с использованием феромонных и цветных ловушек в зонах наибольшего фитосанитарного риска на 2016—2018 гг. было запланировано применение более 100 тыс. феромонных ловушек для выявления более 20 видов опасных карантинных вредителей.

В последние годы в России также были разработаны отечественные феромонные препараты для пчеловодства, позволяющие управлять поведением пчел, увеличивать их продуктивность и снижать агрессивность. Основные исследования в этом направлении проводят сотрудники НИИ пчеловодства, Института органической химии учебно-научного центра Российской академии наук (УНЦ РАН) и кафедр пчеловодства аграрных вузов.