

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
БЕЛОРУССКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ ХИМИЧЕСКИЙ
Кафедра органической химии

ВАСИЛЕВСКИЙ Егор Алексеевич

**РАЗРАБОТКА НОВЫХ СХЕМ СИНТЕЗА ФЕРОМОНОВ
НАСЕКОМЫХ-ВРЕДИТЕЛЕЙ ЛЕСА -ЕЛОВОЙ ШИШКОВОЙ
ЛИСТОВЕРТКИ (CYDIA STROBILELLA L.), КОРОЕДА-ТИПОГРАФА
(IPS TYROGRAPHUS), ВЕРШИННОГО КОРОЕДА (IPS ACUMINATUS)
И ШЕСТИЗУБЧАТОГО КОРОЕДА (IPS SEXDENTATUS)**

Дипломная работа

Научный руководитель:
Доктор химических наук, профессор
И. В. Минеева

Допущена к защите

«__» _____ 20__ г.

Заведующий кафедрой органической химии

кандидат химических наук, доцент И. П. Антоневиц

Минск, 2025

Лесные массивы Беларуси, занимающие до 45 % площади республики, являются важнейшим возобновляемым природным ресурсом, а также одним из важнейших факторов экологоэкономической безопасности страны. Сохранение лесных ресурсов в Республике Беларусь является приоритетной целью устойчивого развития, которая не теряет своей значимости с момента обретения республикой независимости. Особенно актуальна данная проблема в последние три десятилетия, за которые лесные ресурсы республики столкнулись с множеством серьезных экологических угроз, связанных преимущественно с глобальными изменениями климата. Одним из ключевых вызовов для лесного хозяйства Беларуси является распространение насекомых-вредителей леса.

С 1992 года в республике наблюдается массовое усыхание хвойных деревьев (преимущественно ели и сосны), вызванное в первую очередь увеличением популяции короедов. Впервые очаги короедного поражения сосны были выявлены в 2010 году в Гомельской области. На 2017 год усыхание деревьев было зафиксировано уже в четырех областях республики, в том числе в Беловежской пуще, причем общая площадь зараженного вредителями леса составляла 17 тысяч га. На данный момент проблема по-прежнему актуальна, причем сложная ситуация наблюдается как в соседствующих с Республикой Беларусь государствах, так и в других странах Европы [3].

Массовое распространение короедов обусловлено комплексом причин, среди которых стоит упомянуть наблюдающееся в последние десятилетия повышение температуры воздуха, снижение уровня грунтовых вод, частые засухи, повреждение лесных массивов корневой губкой. Немаловажную роль в распространении жуков играет антропогенный фактор – хозяйственная деятельность человека и целенаправленные попытки модификации природных экосистем.

Подсемейство Scolytinae, представителей которого называют короедами, включает в себя более 6000 видов. Исключительной особенностью данных жуков является тот факт, что почти всю свою жизнь они проводят внутри защитных тканей различных растений. Короеды питаются древесиной, при передвижении по дереву они вытачивают ходы характерной для каждого вида формы. Несмотря на то, что подавляющее большинство короедов безвредны для живых растений, некоторые виды являются экономически значимыми вредителями сельскохозяйственных и лесных экосистем. Наибольшее распространение на территории Беларуси имеют три вида из подсемейства Scolytinae рода *Ips*, каждый из которых представляет серьезную угрозу для хвойных лесов республики: короед-

типограф (*Ips typographus*), вершинный короед (*Ips acuminatus*) и шестизубчатый короед (*Ips sexdentatus*).

Существенную угрозу для ели европейской, широко распространенной в белорусских лесах, представляет еловая шишковая листовертка (*Cydia strobilella* L.). По данным на 2010 год относительная заселенность шишек ели вредителем в лесных насаждениях составляла 70,7–83,5 %, а на лесосеменных плантациях – 84,0–100 %. Ухудшаются качественные показатели семян, оставшихся в поврежденных шишках: абсолютная всхожесть снижается на 12 %, энергия прорастания – на 29–43 %, масса – на 10,6 % [3]. Фактически в последние годы в лесных питомниках вредителем уничтожается до 100 % всего семенного материала, в результате чего для покрытия потребностей лесхозов семена ели европейской импортируются из зарубежа.

Традиционным и чрезвычайно трудоемким способом борьбы с вредителями леса является своевременная вырубка зараженных деревьев, также против насекомых иногда применяют инсектициды. Однако скрытный образ жизни короедов рода *Ips* и еловой шишковой листовертки ограничивает возможности использования химических средств для противодействия им, к тому же данные вещества зачастую являются опасными для человека и окружающей среды.

Тем не менее, в настоящее время борьба с вредителями осуществляется практически исключительно за счет вырубки пораженных участков леса. Авиационная обработка инсектицидами затруднена тем, что фактически препарат оказывает воздействие только на кроны деревьев, где обитает лишь небольшая часть насекомых, не затрагивая при этом стволы. Подобный метод показывает свою эффективность по отношению к еловой шишковой листовертке, в то время как в борьбе с короедами он совершенно бесполезен. Соответственно с целью противодействия вредителям требуется использовать более тонкий подход, учитывающий биологию жизнедеятельности жуков, который должен соответствовать экологическим и экономическим требованиям.

Жизненный цикл вредителей включает в себя 4 стадии: яйцо, личинка, куколка, имаго. Весной или летом происходит массовый лет взрослых особей, которые стремятся найти и колонизировать дерево-хозяина, а также встретить партнеров для спаривания. Поведение поиска хозяина и партнера, а также выбор дерева регулируются сложным взаимодействием различных сигналов окружающей среды (визуальных, вкусовых и обонятельных), в том числе исходящими от организмов различных трофических уровней.

Короеды используют разные стратегии взаимодействия со своими хозяевами. Их можно классифицировать в зависимости от того, колонизируют они мертвые, умирающие или живые деревья. Некоторые короеды являются стайными – жуки собираются вместе, чтобы колонизировать дерево, привлекая особей мужского и женского пола посредством выделения в окружающую среду агрегационных феромонов.

Феромоны – это биологически активные вещества, продуцируемые и выделяемые во внешнюю среду животными организмами, вызывающие ответные поведенческие или физиологические реакции у особей этого же вида [стр 7]. Данные соединения способствуют сосредоточению особей обоих полов в дереве и имеют разные цели: обеспечение встречи половых партнеров, концентрации популяции для занятия ареала, подходящего для размножения, а также совместного преодоления сопротивления растения-хозяина [1]. Соответственно колонизация дерева-хозяина стайными короедами может быть остановлена в случае прекращения синтеза агрегационных феромонов, а также высвобождения антиагрегационных феромонов.

Эффективным подходом к борьбе с вредителями леса является использование феромонов соответствующих насекомых. Данные соединения за счет специфического взаимодействия с рецепторами модифицируют поведение жуков, а именно привлекают их или наоборот отталкивают. Особенно просты в использовании автономные феромонные ловушки, которые оказывают бесконтактное воздействие на жуков.

Феромонная ловушка - приспособление для отлова насекомых путем приманивания их на источник синтетического агрегационного феромона. Состоит из корпуса ловушки (в виде трапеции, домика, цилиндра и т. п.), клеевого вкладыша или резервуара для отлова насекомых и диспенсера с феромоном [р 96]. Во время лета вредителей феромонные ловушки развешиваются в лесу на определенном расстоянии друг от друга, что позволяет избежать в данной части леса заселения деревьев насекомыми. Очистка пораженных вредителями деревьев может осуществляться посредством непосредственной обработки антиагрегационными феромонами. Таким образом феромонные препараты являются эффективной и экологически безопасной альтернативой применению инсектицидов.

С 2000 года на химическом факультете Белорусского Государственного университета ведутся исследования по разработке эффективных и экономически выгодных методов получения феромонов вредителей леса. Установлено, что принципиальными компонентами феромонной композиции короедов рода *Ips* являются вербенол, ундецилоксиэтанол, ипсенол,

ипсдиенол [4]. На основании смесей данных соединений на кафедре органической химии химического факультета БГУ разработаны препараты для использования в феромонных ловушках с целью контроля численности короедов на определенной территории, а также отлова основных видов вредителей. В настоящий момент зарегистрированы Главной государственной инспекцией по семеноводству, карантину и защите растений и выпускаются препараты «Ипсвабол Д» и «Ипсвабол Т» (приманивают короеда-типографа), «Ипсвабол В» (вершинного короеда), «Ипсвабол Ш» (шестизубчатого короеда).

Ключевыми компонентами феромонной смеси короедов рода являются энантиомеры ипсенола и ипсдиенола. В частности (R)-ипсенол обладает выраженным агрегационным эффектом по отношению к вершинному короеду (*Ips acuminatus*) и короеду-типографу (*Ips typographus*). Аналогичное воздействие на упомянутых насекомых, а также на шестизубчатого короеда (*Ips sexdentatus*) оказывает (S)-ипсдиенол [2].

Половым феромоном *Cydia strobilella* является додец-8-ен-1-ацетат. Оба (Z)- и (E)-изомеры данного соединения проявляют аттрактивность вредителю, причем (E)-изомер показывает высокую эффективность по привлечению самцов. Опыты по дезориентации самцов еловой шишковой листовертки показали, что половой аттрактант (E)-додец-8-ен-1-ацетат в количестве 1000 мкг/диспенсер (при концентрации 50 диспенсеров на 1 га) способен практически полностью предотвратить заселение шишек вредителем. Биологическая эффективность аттрактанта составляет от 94 до 100 %.

В 2024-2025 годах нами была проведена работа по разработке новых эффективных методик синтеза феромонов вредителей леса. Нами была предложена модификация реакции окисления α -пинена до вербенена – ключевой стадии в синтезе феромона вербенола]. Данная модификация позволяет упростить и удешевить процесс получения вербенена, который сам по себе является антиагрегационным феромоном короедов рода *Ips* [].

В дальнейшем свое внимание мы сосредоточили на поиске эффективных методик получения феромонов короедов (R)-ипсенола и (S)-ипсдиенола, а также феромона еловой шишковой листовертки (E)-додец-8-ен-1-ацетата (в дальнейшем (E)-ДДА).

Таким образом целью дипломной работы является разработка новых методик синтеза (R)-ипсенола, (S)-ипсдиенола и (E)-ДДА, которые позволят реализовать производство указанных феромонов на базе НИЛЭОС БГУ.

Задачи:

Охарактеризовать описанные ранее методы получения феромонов