

Климко Т.И., магистр сельскохозяйственных наук
Архипова Н.В., кандидат ветеринарных наук
Зинина Н.В., кандидат биологических наук

РУП «Институт экспериментальной ветеринарии им. С.Н. Вышеселеского», г. Минск, Республика Беларусь

ОСОБЕННОСТИ И ПРЕИМУЩЕСТВА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШМЕЛЕЙ ДЛЯ ОПЫЛЕНИЯ В АГРАРНОЙ ПРАКТИКЕ

Резюме

В статье рассмотрена роль шмелей *Bombus spp.* как высокоэффективных опылителей в аграрных экосистемах. Освещены морфологические и поведенческие особенности, обеспечивающие преимущества шмелей перед медоносной пчелой *Apis mellifera*, включая способность к вибрационному опылению, активность при низких температурах и в условиях пониженной освещённости. Приведён обзор зарубежного опыта использования шмелей в сельском хозяйстве (ЕС, Канада, Япония, Украина), включая их влияние на урожайность и качество продукции. Описаны экологические угрозы, такие как неоникотиноиды и изменение климата, а также меры по сохранению шмелей в условиях Беларуси. Сделан вывод о высокой целесообразности применения шмелей в защищённом и открытом грунте.

Ключевые слова: шмели, опыление, сельское хозяйство, теплицы, устойчивость, биоразнообразие, климат, Беларусь.

Summary

This article explores the role of bumblebees *Bombus spp.* as highly effective pollinators in agricultural ecosystems. It outlines morphological and behavioral characteristics that provide bumblebees with clear advantages over the honey bee *Apis mellifera*, including the ability to perform buzz pollination, forage in low temperatures and under reduced light. The paper presents an overview of international practices in the use of bumblebees in agriculture (including the EU, Canada, Japan, and Ukraine), emphasizing their impact on crop yield and quality. The study also highlights key ecological threats such as neonicotinoid pesticides and climate change, and identifies measures aimed at bumblebee conservation under the conditions of Belarus. It was concluded that it is highly advisable to use bumblebees in protected and open ground.

Keywords: bumblebees, pollination, agriculture, greenhouses, sustainability, biodiversity, climate change, Belarus.

Поступила в редакцию 06.06.2025 г.

ВВЕДЕНИЕ

Шмели *Bombus spp.*, являясь одними из наиболее эффективных опылителей, играют ключевую роль как в естественных экосистемах, так и в сельском хозяйстве. Благодаря особенностям морфологии тела, высокой подвижности и способности к вибрационному опылению (buzz pollination) они успешно опыляют широкий спектр цветковых растений, включая те виды, которые малодоступны или полностью недоступны другим опылителям, таким как медоносная пчела *Apis mellifera*. Их способность опылять цветковые растения содействует воспроизводству флоры, постоянству популяций растений и формированию устойчивых пищевых цепей. Благодаря опылению шмелями обеспечивается не только продуктивность агроэкосистем, но и сохранение популяций насеко-

мозависимых растений, что, в свою очередь, поддерживает биоразнообразие насекомых, птиц и млекопитающих [1, 2, 3].

Эффективное опыление напрямую влияет на формирование урожая, увеличение массы и количества плодов, внешний вид и вкусовые характеристики продукции. Кроме того, шмели играют важную роль в поддержании устойчивости экосистем, обеспечивая опыление дикорастущих растений и тем самым способствуя сохранению биоразнообразия [1].

Шмели особенно ценны благодаря своей способности работать в условиях, малоподходящих для других опылителей – при температуре от плюс 5 °С, влажности выше 80 % и уровне освещённости менее 1000 лк, в то время как медоносные пчёлы становятся менее активными уже при температуре ниже плюс 12–14 °С и в пасмур-

ную погоду. Шмели обладают выраженными терморегуляторными механизмами, что позволяет им начинать сбор нектара и пыльцы раньше других насекомых-опылителей [4, 5, 1].

Эффективность опыления у медоносных пчёл в значительной степени зависит от погодных и климатических факторов [6, 7].

Целью статьи является анализ литературных данных, позволяющих оценить целесообразность использования шмелей в качестве опылителей сельскохозяйственных культур в условиях Беларуси. Особое внимание уделяется сопоставлению эффективности шмелей и медоносных пчёл, а также выявлению факторов, определяющих успешность применения шмелей в аграрных экосистемах. В работе рассматривается зарубежный опыт внедрения шмелей в систему опыления сельскохозяйственных

культур в странах Европейского союза, Канаде, Японии и других регионах, что позволяет выделить эффективные стратегии и практики, потенциально применимые в белорусском контексте [8, 9, 2].

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Биология и агрономическая эффективность шмелей как опылителей. Шмели (род *Bombus*, семейство *Apidae*) насчитывают более 250 видов и встречаются практически по всему миру. Наиболее распространёнными и изученными в Европе и Северной Америке являются шмель обыкновенный *Bombus terrestris* и шмель земляной *Bombus pascuorum* [1]. В таблице 1 представлены основные виды шмелей, используемые в опылении сельскохозяйственных культур в различных странах.

Таблица 1 – Основные виды шмелей, используемые в опылении сельскохозяйственных культур в различных странах

Страна/регион	Вид шмелей	Особенности использования
Республика Беларусь	<i>Bombus terrestris</i>	наиболее активно разводится в тепличном овощеводстве; применяется для опыления томатов, перца и др.
Европейский союз	<i>Bombus terrestris</i> , <i>Bombus pascuorum</i>	<i>B. terrestris</i> – доминирующий коммерческий вид; <i>B. pascuorum</i> – часто встречается в природной среде
Россия	<i>Bombus terrestris</i> , <i>Bombus lucorum</i>	<i>B. terrestris</i> культивируется в аграрном секторе; также применяются местные виды для полевых культур
Канада	<i>Bombus impatiens</i> , <i>Bombus ternarius</i>	<i>B. impatiens</i> – основной коммерческий вид для закрытого грунта
США	<i>Bombus impatiens</i> , <i>Bombus occidentalis</i> (ограничено)	<i>B. impatiens</i> – основной для теплиц; <i>B. occidentalis</i> – восстанавливается после снижения численности
Япония	<i>Bombus ignitus</i> , <i>Bombus terrestris</i> (интродуцированный)	<i>B. ignitus</i> – местный вид; <i>B. terrestris</i> вызвал экологические конфликты с аборигенными видами
Китай	<i>Bombus hypocrita</i> , <i>Bombus terrestris</i>	используются как местные, так и интродуцированные виды для опыления томатов и клубники
Южная Корея	<i>Bombus ignitus</i> , <i>Bombus terrestris</i>	применяются в тепличных хозяйствах; меры по контролю распространения <i>B. terrestris</i>

Bombus terrestris является наиболее коммерциализированным видом в Евразии и успешно используется в контролируемых условиях (теплицах) благодаря устойчивости к перепадам микроклимата и высокой эффективности опыления. Тем не менее в некоторых странах интродукция этого вида вызвала экологические риски для местных популяций [8, 9].

Шмели характеризуются высокоорганизованной социальной структурой, включающей три касты: матку, рабочих

особей и самцов (трутней). В отличие от медоносных пчёл, колонии шмелей имеют сравнительно меньшую численность – от 50 до 500 особей, хотя в исключительных случаях могут достигать 1000 [2].

Жизненный цикл шмелей начинается с перезимовавшей оплодотворённой самки (матки), которая ранней весной находит подходящее место для основания гнезда. После откладки яиц из них выходят первые рабочие особи, берущие на себя функции обеспечения колонии – сбор нектара и

пыльцы, кормление личинок и защиту гнезда. Поздним летом появляются половые особи – самцы и новые матки. После спаривания основная часть колонии погибает, а оплодотворённые самки уходят в зимнюю диапаузу до следующего сезона [6].

Шмели обладают рядом морфофункциональных адаптаций, повышающих их эффективность как опылителей. Одним из ключевых преимуществ является наличие удлинённого хоботка (у отдельных видов – до 20 мм), что позволяет им собирать нектар из глубоко расположенных нектарников, недоступных медоносным пчёлам, чей хоботок в среднем составляет около 6–7 мм. Среди растений, опыляемых преимущественно или исключительно шмелями, можно выделить люпин *Lupinus*, красный клевер *Trifolium pratense* и крушиновидную голубику *Vaccinium corymbosum* – у дан-

ных видов доступ к нектару и пыльце возможен только при наличии соответствующих морфологических адаптаций [10].

Кроме того, шмели способны к вибрационному опылению, или бомбилированию, – специфическому поведению, при котором насекомое, охватывая цветок, издаёт высокочастотные звуки, вызывая вибрацию тычинок и способствуя выбросу пыльцы из порообразных пыльников. Этот механизм необходим для эффективного опыления томатов *Solanum lycopersicum*, баклажанов *Solanum melongena* и клюквы *Vaccinium macrocarpon* – растений, к которым медоносные пчёлы не приспособлены физиологически [11]. В таблице 2 представлены культуры, требующие или выигрывающие от опыления шмелями *Bombus spp.*, с указанием необходимости опыления и преимуществ применения шмелей.

Таблица 2 – Основные сельскохозяйственные культуры, опыляемые шмелями в тепличных условиях

Культура	Латинское название	Необходимость в опылении	Преимущества опыления шмелями
Томат	<i>Solanum lycopersicum</i>	обязательное для формирования плодов	вибрационное опыление повышает завязываемость, улучшает внешний вид, увеличивает урожайность на 20–30 % по сравнению с ручным опылением или использованием медоносных пчёл [8]
Перец сладкий	<i>Capsicum annuum</i>	повышает урожайность и качество	увеличение количества завязей, равномерное опыление, повышение урожайности на 10–15 % по сравнению с контролем [12]
Баклажан	<i>Solanum melongena</i>	желательно для стабильного урожая	вибрационное опыление способствует лучшему формированию завязей, повышение урожайности до 25 % [13]
Клубника	<i>Fragaria</i>	повышает качество и количество урожая	улучшение формы, снижение доли деформированных ягод, увеличение массы ягод, повышение урожайности на 15–20 % [14]
Огурец	<i>Cucumis sativus</i>	требуется для сортов с мужскими и женскими цветками	эффективное опыление при наличии обоих типов цветков, повышению урожайности до 30 % в зависимости от сорта [15]
Клюква крупноплодная	<i>Vaccinium macrocarpon</i>	обязательное	вибрационное опыление, необходимое для извлечения пыльцы, увеличение завязываемости и улучшение качества ягод [16]
Черника (в теплицах редко)	<i>Vaccinium corymbosum</i>	обязательное	длинный хоботок позволяет эффективно опылять трубчатые цветки [17]

Использование шмелей в тепличном производстве, особенно при выращивании томатов, позволяет повысить урожайность на 20–30 % по сравнению с ручным опылением или использованием медоносных пчёл. Такая эффективность объясняется не только поведением, но и способностью ра-

ботать в широком диапазоне температур и погодных условий.

Таблица 3 содержит ключевые различия между двумя группами опылителей по ряду биологических и агротехнических параметров, определяющих их эффективность в различных условиях среды.

Таблица 3 – Сравнительная характеристика шмелей *Bombus spp.* и медоносной пчелы *Apis mellifera* как опылителей сельскохозяйственных культур

Параметр	Шмель <i>Bombus spp.</i>	Медоносная пчела <i>Apis mellifera</i>
Вибрационное опыление [8]	способен (эффективен для томатов, баклажанов, черники, клюквы и др.)	не способна
Температура начала активности [7]	от плюс 5 °C	от плюс 12 °C
Погодные условия для полёта [18]	активен при низкой освещенности, высокой влажности, умеренном ветре	малоподвижна при пасмурной, дождливой погоде и сильном ветре (>20 км/ч)
Использование в теплицах [8]	опыление томатов, перцев, баклажанов, клубники, огурцов	ограниченно используется, преимущественно для огурцов и при искусственной стимуляции
Страны ЕС с активным использованием [19]	Нидерланды, Бельгия, Германия, Испания, Италия, Польша, Франция, Венгрия и др.	используется в открытом грунте почти во всех странах ЕС, в теплицах – как дополнение к шмелям

Многие сельскохозяйственные культуры, например яблоня *Malus domestica*, клубника *Fragaria*, томаты *Solanum lycopersicum* и огурцы *Cucumis sativus*, демонстрируют высокую степень зависимости от насекомоопыляемости, особенно в условиях интенсивного земледелия. Эффективное опыление способствует не только увеличению общего объёма урожая, но и улучшению качественных характеристик продукции.

В частности, при использовании шмелей в качестве опылителей в закрытом грунте, в сравнении с ручным или самопроизвольным опылением, благодаря вибрационному механизму опыления, недоступному для медоносных пчёл, наблюдается значительное улучшение таких параметров плодов, как масса, симметрия, содержание сахаров и общая органолептическая привлекательность [8, 20].

При выращивании клубники использование шмелей способствует увеличению средней массы плодов и снижению доли деформированных ягод. Исследования показывают, что при недостаточном опылении значительно возрастает доля мелких и недоразвитых плодов, в то время как при оптимальном опылении формируются ягоды симметричной формы, с высокой плотностью и равномерным окрашиванием. Это обусловлено тем, что полноценное опыление стимулирует равномерное развитие завязи за счёт более полной фертилизации

семязачатков, что влечёт за собой активное деление клеток и рост плода [2, 21].

У огурца и перца сладкого опыление с участием шмелей повышает процент завязи, снижает количество пустоцветов и увеличивает выравненность плодов, что критически важно для товарного качества в условиях массового производства.

Фруктово-ягодные культуры, включая яблоню *Malus domestica* и садовую землянику *Fragaria ananassa*, занимают значимое место в структуре аграрного производства Республики Беларусь. Эти культуры не только обеспечивают внутренние потребности населения в свежей продукции, но и формируют экспортный потенциал сектора. Согласно данным Национального статистического комитета Республики Беларусь, в 2023 г. валовой сбор овощной продукции составил 2,8 млн т, из которых 105 тыс. т пришлось на продукцию закрытого грунта, преимущественно томаты и огурцы. Эти показатели подчёркивают значение интенсивного овощеводства и роль насекомых-опылителей в обеспечении стабильного урожая как в открытом, так и в защищённом грунте [22].

Как сообщают Смирнова Е.Н., Захарова Т.А., Лебедев И.О., существует чёткая зависимость урожайности от опыления [23].

Шмели играют значительную роль не только в агроэкосистемах, но и в поддержании биоразнообразия природных сообществ. Благодаря своим морфофизиоло-

гическим особенностям – способности к полёту при низких температурах, длинному хоботку и вибрационному опылению – шмели способны опылять цветки, недоступные другим насекомым.

Во многих регионах Европы шмели обеспечивают опыление таких дикорастущих растений, как василёк луговой *Centaurea jacea*, колокольчик персиколистный *Campanula persicifolia*, шалфей луговой *Salvia pratensis* и купальница европейская *Trollius europaeus*, последняя включена в Красную книгу в ряде стран. В Альпийском регионе зафиксирована высокая зависимость опыления эндемичных видов, таких как *Androsace helvetica* и *Campanula alpina*, от местных популяций шмелей *Bombus alpinus*, *Bombus monticola*. В Великобритании шмели опыляют такие редкие растения, как дикорастущая орхидея *Ophrys apifera*, которая мимикрирует под насекомых для привлечения специализированных опылителей, включая *Bombus lapidaries* [1, 24, 25].

В Северной Америке шмели *B. occidentalis*, *B. terricola* участвуют в опылении редких видов прерий и горных лугов, включая *Delphinium occidentale* и *Castilleja spp.* Исследования показали, что в Канаде исчезновение отдельных видов шмелей ведёт к снижению воспроизводства у ряда местных эндемиков [26].

В Беларуси шмели обеспечивают опыление таких охраняемых видов, как прострел раскрытый *Pulsatilla patens* и любка двулистная *Platanthera bifolia*, обитающих на лугах и в редколесьях, особенно чувствительных к деградации среды обитания [26].

Таким образом, шмели являются неотъемлемым компонентом природных экосистем, играя ключевую роль в обеспечении устойчивости фитоценозов и поддержании генетического разнообразия растений. Их исчезновение может привести к каскадным последствиям для структуры и функционирования природных сообществ.

В Республике Беларусь шмели преимущественно используются в тепличном овощеводстве для опыления таких культур, как томаты, огурцы, сладкий перец и клубника [27].

В настоящее время в Беларуси имеется ряд тепличных хозяйств, где внедрены технологии биологического опыления с ис-

пользованием шмелей. К числу таких предприятий относятся УП «Агрокомбинат “Ждановичи”» (Минский район, Минская область), УП «Минский парниково-тепличный комбинат» (г. Минск), ОАО «Тепличный комбинат “Мачулищи”» (г.п. Мачулищи, Минский район) и тепличный комбинат «Берестье» (д. Тельмы-1, Брестский район, Брестская область).

Практика использования шмелей в перечисленных хозяйствах демонстрирует высокую эффективность и может служить моделью для масштабного внедрения биологического опыления в других регионах страны. Развитие данной технологии соответствует современным тенденциям устойчивого сельского хозяйства, снижая зависимость от химических методов стимуляции плодоношения и повышая экологическую безопасность продукции.

В Польше практика использования шмелей охватывает как овощные, так и плодовые культуры. Шмели применяются для опыления яблони, клубники и тепличных овощей, в том числе томатов и огурцов. Согласно исследованию Marek Nowakowski, урожайность огурцов в теплицах возрастает с 18 т/га до 24 т/га при использовании *Bombus terrestris*, урожайность яблок увеличивается на 25 %, а клубники – на 20 % за счёт повышения эффективности перекрёстного опыления [28].

В Литве использование шмелей сконцентрировано в основном в тепличном производстве. Применение колоний шмелей при выращивании томатов позволяет увеличить урожайность до 33 т/га по сравнению с 25 т/га в контроле. Отмечается также снижение доли пустоцветов и улучшение равномерности завязывания плодов [29].

В Украине *Bombus spp.* активно применяются не только в теплицах, но и при опылении полевых культур. Наибольший эффект наблюдается при опылении подсолнечника *Helianthus annuus*, урожайность которого увеличивается на 15–20 %: с 2,1 т/га до 2,5 т/га при наличии шмелиных колоний. Также зафиксировано улучшение семенной продуктивности и равномерности формирования корзинок [30].

В Нидерландах шмели используются практически повсеместно при выращивании овощных и ягодных культур в теп-

лицах. Применение *Bombus terrestris* позволяет повысить урожайность томатов и перца на 25–35 %, а также улучшить форму и размер плодов. Схожая практика отмечается в Испании, где основными культурами, опыляемыми шмелями, являются клубника, баклажаны *Solanum melongena* и перец. Использование шмелей способствует сокращению срока созревания плодов и снижению их деформации [8].

В Италии шмели применяются при выращивании помидоров, клубники и кабачков *Cucurbita pepo*. Исследования Sabatini указывают на увеличение урожайности тепличных томатов на 27 %, а также улучшение равномерности распределения плодов по кистям [31].

Таким образом, внедрение технологий биологического опыления с участием шмелей способствует устойчивому развитию аграрного сектора и повышению продовольственной безопасности региона.

Экологические угрозы и меры по охране шмелей в агроэкосистемах. Учитывая важную роль шмелей *Bombus spp.* в опылении диких и сельскохозяйственных растений, в Республике Беларусь реализуются меры, направленные на сохранение и увеличение их популяций. Снижение численности опылителей, наблюдаемое в последние десятилетия в Европе и других регионах, связано с утратой мест обитания, интенсификацией сельского хозяйства и применением пестицидов. В связи с этим вопросы сохранения опылителей приобретают приоритетное значение в политике охраны окружающей среды [3].

Одним из ключевых направлений является разработка и внедрение агроэкологических практик, способствующих сохранению и восстановлению среды обитания шмелей. В частности, предусматривается создание цветущих полос вдоль сельскохозяйственных полей, высадка медоносных растений и сохранение участков дикой растительности, обеспечивающих пищевые ресурсы и гнездовые местообитания для опылителей [32].

Одним из ключевых факторов снижения численности шмелей является воздействие агрохимикатов, в частности неоникотиноидных инсектицидов. Эти химические вещества, широко применяемые для защиты сельскохозяйственных культур от

вредителей, оказывают токсическое воздействие на насекомых-опылителей. Неоникотиноиды влияют на нервную систему шмелей, вызывая потерю ориентации и нарушая способность к сбору пищи. Исследования показывают, что такие воздействия снижают эффективность опыления, что, в свою очередь, влияет на экосистемы и сельское хозяйство. В частности, потеря ориентации у шмелей и снижение их способности собирать пыльцу и нектар могут значительно ухудшить их выживаемость и способность к размножению [33, 34].

На законодательном уровне охрана шмелей в Беларуси обеспечивается рядом нормативных актов:

- Закон Республики Беларусь от 9 июля 2004 г. № 201-З «О животном мире» – регулирует охрану и рациональное использование диких животных, включая насекомых-опылителей, а также охрану их местообитаний [37];

- Закон Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 202-З «О растительном мире» – направлен на охрану и восстановление растительности, в том числе растений, являющихся источниками нектара и пыльцы для шмелей и других опылителей [38];

- Закон Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-XII «Об охране окружающей среды» – определяет правовые основы охраны окружающей среды, включая меры по сохранению природных экосистем, в которых обитают опылители [39];

- Национальная стратегия по сохранению биоразнообразия на период до 2025 года – стратегический документ, в котором обозначены приоритетные направления охраны биологического разнообразия, включая меры по защите опылителей и их местообитаний [35].

Также реализуются природоохранные программы под эгидой Министерства природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, включающие меры по охране и восстановлению популяций шмелей и других насекомых-опылителей.

Изменение климата также представляет собой значительную угрозу для шмелей. Повышение температуры и изменение режима осадков могут привести к изменениям в периодах цветения растений и доступности пищи для опылителей. Это соз-

дает риск расхождения временных рамок активности шмелей и пиковых периодов цветения растений. Несоответствие между временем цветения растений и активностью шмелей может негативно сказываться на их выживании и размножении. Изменения климата также могут влиять на распределение видов шмелей, что может привести к утрате ключевых опылителей в определенных регионах [36].

Особую роль в сохранении шмелей играют охраняемые природные территории, на которых сохраняется высокая степень естественности экосистем и поддерживаются условия, благоприятные для существования опылителей. К числу таких территорий относятся:

- национальный парк «Беловежская пуща» – объект Всемирного наследия ЮНЕСКО, обеспечивающий стабильную кормовую базу и среду для гнездования шмелей благодаря богатому флористическому составу;

- национальный парк «Припятский» – территория с высокой степенью природной сохранности, охватывающая болота, леса и пойменные луга, обеспечивающие широкий спектр ресурсов для опылителей;

- национальный парк «Браславские озёра» – характеризуется разнообразием экосистем, что способствует высокой плотности и устойчивости популяций шмелей;

- заповедник «Сожский» – включает лесные и луговые экосистемы, подходящие для обитания шмелей;

- национальный парк «Нарочанский» – отличается высокой флористической насыщенностью, в том числе наличием медоносных растений, обеспечивающих кормовые ресурсы для шмелей.

Таким образом, в Республике Беларусь предпринимается комплексный подход к охране шмелей, включающий правовое регулирование, экологоориентированные практики в сельском хозяйстве и сохранение природных экосистем, что способствует устойчивому функционированию агроэкосистем и поддержанию биоразнообразия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённый анализ литературных источников свидетельствует о высокой целесообразности использования шмелей

Bombus spp. в качестве эффективных опылителей сельскохозяйственных культур в условиях Беларуси. Биологические особенности шмелей, такие как способность к опылению при низких температурах, в условиях ограниченной освещённости и высокой влажности, а также наличие механизма вибрационного опыления позволяют им превосходить медоносных пчёл *Apis mellifera* по ряду показателей эффективности, особенно в тепличных хозяйствах и в регионах с нестабильным климатом.

Сравнительный анализ зарубежного опыта (Европейский союз, Канада, Япония) показал, что интеграция шмелей в аграрные системы приводит к значительному повышению урожайности и улучшению качества продукции таких культур, как томаты, огурцы, перец, клубника и яблоки. Наиболее успешные практики включают использование коммерчески разведённых колоний шмелей, создание цветущих буферных полос для поддержания кормовой базы и ограничение применения инсектицидов, токсичных для опылителей.

Факторами, определяющими успешность применения шмелей в агроэкосистемах Беларуси, являются доступность качественного биологического материала, адаптация технологий содержания колоний к местным климатическим условиям, обеспечение подходящей цветочной базы в окрестностях теплиц и полей, а также внедрение агротехнологий, минимизирующих воздействие пестицидов.

Эффективные стратегии сохранения и использования шмелей должны опираться на междисциплинарные научные исследования, охватывающие экологические, агрономические и социальноэкономические аспекты. Законодательная база Республики Беларусь формирует основу для устойчивого взаимодействия между природой и аграрной практикой [35, 37–39].

Таким образом, использование шмелей в качестве опылителей является перспективным направлением повышения биологической и экономической устойчивости сельского хозяйства Беларуси. Перенос успешных зарубежных практик в национальные условия требует учёта местной специфики и дальнейших научных исследований в области биологии шмелей, агроэкологии и агротехнологий опыления.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Гюлсон, Д. Шмели: поведение, экология и охрана / Д. Гюлсон. – Оксфорд : Oxford University Press, 2010. – 317 с.
2. Garibaldi, L. A. Wild pollinators enhance fruit set of crops regardless of honey bee abundance / L. A. Garibaldi, I. Steffan-Dewenter, R. Winfree // *Science*. – 2013. – Vol. 339, № 6127. – P. 1608–1611. – DOI: 10.1126/science.1230200.
3. Global pollinator declines: trends, impacts and drivers / S. G. Potts, J. C. Biesmeijer, C. Kremen [et al.] // *Trends in Ecology & Evolution*. – 2010. – Vol. 25, № 6. – P. 345–353. – DOI: 10.1016/j.tree.2010.01.007.
4. Как защитить шмелей в холодное время года // *Koppert Biological Systems*. – URL: <https://www.koppert.ru/opylene-shmeljami/luchshie-praktiki/kak-zashchitit-shmelei-v-kholodnoe-vremja-goda/> (дата обращения: 14.04.2025).
5. Ocko, S. A. Collective thermoregulation in bee clusters / S. A. Ocko, L. Mahadevan // *Journal of the Royal Society Interface*. – 2014. – Vol. 11, № 91. – Article 20131033. – DOI: 10.1098/rsif.2013.1033 (дата обращения: 14.04.2025).
6. Heinrich, B. *Bumblebee Economics* / B. Heinrich. – Cambridge, MA : Harvard University Press, 1979. – 245 p.
7. Winston, M. L. *The Biology of the Honey Bee* / M. L. Winston. – Cambridge, MA : Harvard University Press, 1987. – 281 p.
8. Velthuis, H. H. W. A century of advances in bumblebee domestication and the economic and environmental aspects of its commercialization for pollination / H. H. W. Velthuis, A. van Doorn // *Apidologie*. – 2006. – Vol. 37, № 4. – P. 421–451. – DOI: 10.1051/apido:2006019.
9. Inoue, M. N. Displacement of Japanese native bumblebees by the recently introduced *Bombus terrestris* (L.) (Hymenoptera: Apidae) / M. N. Inoue, J. Yokoyama, I. Washitani // *Journal of Insect Conservation*. – 2008. – Vol. 12, № 2. – P. 135–146. – DOI: 10.1007/s10841-007-9071-z.
10. Corbet, S. A. Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European Community / S. A. Corbet, I. H. Williams, J. L. Osborne // *Bee World*. – 1991. – Vol. 72, № 2. – P. 47–59.
11. De Luca, P. A. What's the 'buzz' about? The ecology and evolutionary significance of buzz-pollination / P. A. De Luca, M. Vallejo-Marin // *Current Opinion in Plant Biology*. – 2013. – Vol. 16, № 4. – P. 429–435. – DOI: 10.1016/j.pbi.2013.05.002.
12. Dogterom, M. H. Pollination of greenhouse sweet pepper by the bumble bee *Bombus occidentalis* / M. H. Dogterom, J. A. Matteoni, R. C. Plowright // *Journal of Apicultural Research*. – 2000. – Vol. 39, № 1–2. – P. 91–96.
13. Free, J. B. *Insect Pollination of Crops* / J. B. Free. – 2nd ed. – London : Academic Press, 1993. – 684 p.
14. Chagnon, M. Complementary aspects of strawberry pollination by honey and bumble bees / M. Chagnon, J. Gingras, D. de Oliveira // *Journal of Economic Entomology*. – 1993. – Vol. 86, № 2. – P. 416–420.
15. Sabbahi, R. Influence of honey bee and bumble bee pollination on cucumber yield and fruit quality / R. Sabbahi, D. de Oliveira, J. Marceau // *American Bee Journal*. – 2005. – Vol. 145, № 4. – P. 287–291.
16. Cane, J. H. Pollination ecology of *Vaccinium*: Bees and blueberry crop pollination / J. H. Cane, D. Schiffhauer // *Acta Horticulturae*. – 2003. – Vol. 626. – P. 393–400.
17. Javorek, S. K. Comparative pollination effectiveness among bees on lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium*) / S. K. Javorek, K. E. MacKenzie, S. P. Vander Kloet // *Annals of the Entomological Society of America*. – 2002. – Vol. 95, № 3. – P. 345–351. – DOI: 10.1603/0013-8746(2002)095[0345:CPEABO]2.0.CO;2.
18. Abou-Shaara, H. F. The foraging behaviour of honey bees, *Apis mellifera*: a review / H. F. Abou-Shaara // *Veterinarni Medicina*. – 2014. – Vol. 59, № 1. – P. 1–10. – DOI: 10.17221/7240-VETMED.
19. European Commission. Pollinators: Importance, threats and conservation. – URL: https://ec.europa.eu/environment/pdf/nature/conservation/species/pollinators/Progress_in_the_implementation_of_the_EU_Pollinators_Initiative.pdf (date of access: 14.04.2025).
20. Dag, A. Comparison between bumblebees and honeybees as pollinators of greenhouse tomatoes / A. Dag, Y. Kammer // *Acta Horticulturae*. – 2001. – Vol. 561. – P. 147–151.
21. Bee pollination improves crop quality, shelf life and commercial value / B. K. Klatt, A. Holzschuh, C. Westphal [et al.] // *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*. – 2014. – Vol. 281, № 1775. – Article 20132440. – DOI: 10.1098/rspb.2013.2440.
22. Национальный статистический комитет Республики Беларусь. Сельское хозяйство Республики Беларусь, 2023: статистический сборник. – Минск : Белстат, 2024. – URL: <https://www.belstat.gov.by> (дата обращения: 23.04.2025).

23. Смирнова, Е. Н. Опыление и его значение в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур / Е. Н. Смирнова, Т. А. Захарова, И. О. Лебедев // *Современные проблемы науки и образования*. – 2021. – № 6. – С. 112–117.

24. Analysis of pollen and nectar of *Arbutus unedo* as a food source for *Bombus terrestris* (Hymenoptera: Apidae) / P. Rasmont, A. Regali, T. C. Ings [et al.] // *Journal of Economic Entomology*. – 2005. – Vol. 98, № 3. – P. 656–663. – DOI: 10.1603/0022-0493-98.3.656.

25. High elevation plants specialized in pollination by bumblebees are more threatened by climate change than other plants / L. Pellissier, A. Roger, J. Bilat, S. Rasmann // *Ecological Research*. – 2010. – Vol. 25, № 3. – P. 595–603.

26. Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. Красная книга Республики Беларусь. Животные. – Минск : Белорусская энциклопедия им. П. Бровки, 2015. – С. 266–283.

27. Смирнова, Е. Н. Зависимость урожайности овощных культур от опыления имелями в тепличных условиях / Е. Н. Смирнова, Т. А. Захарова, И. О. Лебедев // *Сельское хозяйство и перерабатывающая промышленность*. – 2021. – № 4. – С. 30–35.

28. Nowakowski, M. The role of bumblebees in pollination of selected crops in Poland / M. Nowakowski, K. Jędrzejewska-Szmek, M. Woyciechowski // *Journal of Apicultural Research*. – 2020. – Vol. 59, № 3. – P. 345–352.

29. Jankauskas, J. Effectiveness of bumblebee pollination in greenhouse tomato production in Lithuania / J. Jankauskas, V. Petrauskas // *Agricultural Sciences*. – 2019. – Vol. 26, № 2. – P. 75–81.

30. Bumblebee pollination efficiency in sunflower and other crops in Ukraine / S. Korsun, A. Ivanov, V. Petrenko [et al.] // *Ukrainian Journal of Ecology*. – 2021. – Vol. 11, № 1. – P. 45–50.

31. Impact of bumblebee pollination on greenhouse tomato yield and quality in Italy / M. Sabatini, M. Rossi, F. Bianchi [et al.] // *Italian Journal of Agronomy*. – 2017. – Vol. 12, № 3. – P. 234–240.

32. Global pollination services: A conceptual framework and the state of the art / L. A. Garibaldi, M. A. Aizen, A. M. Klein [et al.] // *Biological Conservation*. – 2013. – Vol. 166. – P. 16–26. – DOI: 10.1016/j.biocon.2013.06.024.

33. Goulson, D. An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides / D. Goulson // *Journal of Applied Ecology*. – 2013. – Vol. 50, № 4. – P. 977–987. – DOI: 10.1111/1365-2664.12111.

34. A common pesticide decreases foraging success and survival in honey bees / M. Henry, M. Béguin, F. Requier [et al.] // *Science*. – 2012. – Vol. 336, № 6079. – P. 348–350. – DOI: 10.1126/science.1215039.

35. Национальная стратегия по сохранению биоразнообразия на период до 2025 года / Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь. – Минск : Минприроды РБ, 2016. – 74 с.

36. Climate change contributes to widespread declines among bumble bees across continents / J. T. Kerr, A. Pindar, P. Galpern [et al.] // *Science*. – 2015. – Vol. 349, № 6244. – P. 177–180. – DOI: 10.1126/science.aac8591.

37. О животном мире : Закон Республики Беларусь от 9 июля 2004 г. № 201-З // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2004. – № 112, 2/1062.

38. О растительном мире : Закон Республики Беларусь от 20 июля 2007 г. № 202-З // Национальный реестр правовых актов Республики Беларусь. – 2007. – № 170, 2/1346.

39. Об охране окружающей среды : Закон Республики Беларусь от 26 ноября 1992 г. № 1982-XII : в ред. 2023 г. // Национальный правовой Интернет-портал Республики Беларусь. – URL: <http://www.pravo.by> (дата обращения: 14.04.2025).

наша продукция

